

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ НАУЧНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВСЕРОССИЙСКИЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ
ГИДРОТЕХНИКИ И МЕЛИОРАЦИИ им. А.Н. КОСТЯКОВА
ВОЛГОГРАДСКИЙ ФИЛИАЛ

На правах рукописи

Семененко Артем Сергеевич

**ПРИЕМЫ ВОЗДЕЛЫВАНИЯ НУТА В СИСТЕМЕ
РЕСУРСОСБЕРЕГАЮЩИХ АГРОТЕХНОЛОГИЙ
НИЖНЕГО ПОВОЛЖЬЯ**

06.01.01 – общее земледелие, растениеводство

Диссертации на соискание ученой степени
кандидата сельскохозяйственных наук

Научный руководитель –
академик РАН, доктор
сельскохозяйственных наук,
профессор, Заслуженный
деятель науки РФ

В.В. Бородычев

Волгоград-2018

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	4
1. Агробиологические особенности и перспективы возделывания нута в условиях засухи	10
1.1 Агробиологические особенности культуры	10
1.2 Нут и влага: результаты опубликованных исследований	15
1.3 Приемы возделывания нута в различных агроклиматических зонах. Обоснование направления исследований	20
2. Рабочая гипотеза и методики проведения исследований	29
2.1 Программа исследований	29
2.2 Условия проведения эксперимента	35
2.2.1 Агрометеорологические условия проведения опытов	35
2.2.2 Почвенные условия опытного участка	43
2.3 Особенности агротехники нута в опытах	48
2.4 Методики исследований	51
3. Водный режим и физические свойства почвы при разных способах обработки	57
3.1 Динамика водно-физических характеристик почвы в зависимости от способа обработки в посевах нута	57
3.2 Послойное распределение запасов общей и продуктивной влаги при разных способах обработки почвы	63
3.3 Динамика водного режима почвы в зависимости от сочетания приемов возделывания нута	73
3.4 Основные статьи водного баланса и суммарное водопотребление нута	77
3.5 Эффективность использования воды на формирование урожая нута при разных сочетаниях изучаемых приемов возделывания	93

4.	Закономерности развития и фотосинтетическая активность нута при разных сочетаниях изучаемых факторов	100
4.1	Закономерности развития нута в условиях дефицита естественной влагообеспеченности	100
4.2	Динамика развития листового аппарата и формирование фотосинтетического потенциала посева	107
4.3	Фотосинтетическая активность посевов при разных сочетаниях изучаемых факторов	119
4.4	Оценка эффективности сочетания факторов по динамике накопления органического вещества посевами	126
5.	Реализация потенциала продуктивности и экономическая эффективность возделывания нута в зависимости от сочетания применяемых агроприемов	136
5.1	Структура урожая и продуктивность нута в зависимости от сочетания применяемых агроприемов	136
5.2	Оценка экономической эффективности изучаемых агроприемов возделывания нута в условиях засухи	146
	Заключение	157
	Список литературы	161
	Приложения	180

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы исследования. Нут является одной из привлекательнейших культур сельскохозяйственного производства Нижневолжского региона, поскольку выгодно сочетает в себе такие ключевые качества, как востребованность, высокую агроэкологическую адаптивность к жестким условиям засушливого континентального климата и высокий приоритет в качестве предшественника биологизированных севооборотов. Востребованность его определяется широкой сферой применения, как в питании людей, так и в кормлении животных. Семена нута содержат более 20 % сбалансированного по аминокислотному составу белка, около 10 % высокоценных пищевых волокон, богатых витамином РР, калием и кальцием, содержание которых составляет, соответственно 16,7 %, 38,7 % и 19,3 % от суточной нормы потребления человека.

По занятым площадям пашни культура нута стоит на третьем месте среди бобовых в мире. Общая, занимаемая посевами нута площадь в мире сегодня превышает 12,5 млн./га, а в России его успешно выращивают в Средне – и Нижневолжском регионах, на Северном Кавказе, на Урале и в Западной Сибири. Однако общие площади посева нута в России едва превышают 400 тыс. га, что несопоставимо с потенциальными ресурсами роста производства этой высокоценной культуры только в указанных регионах.

Потенциальная урожайность нута, полученная в лучшие по метеорологическим условиям годы, на государственных сортоучастках достигает 3-3,4 т/га, тогда как в производственных условиях Нижневолжского региона хорошими урожаями считаются сборы нутового зерна в пределах 1,0-1,2 т/га. Решение задачи сокращения этого разрыва связано с необходимостью разработки новой системы агроприемов, отвечающих требованиям современных энергосберегающих агротехнологий: влагонакопления и влагосбережения, как основного фактора стабилизации производства растениеводческой продукции в условиях засухи; ресурсосбережения, понимаемого как рациональное использование всех задействованных видов ресурсов; снижения антропогенной нагрузки и биологизации производства.

Необходимость решения указанного круга вопросов определяет актуальность выбранной темы исследования.

Степень разработанности темы исследования. Изучению закономерностей роста, продукционного процесса и разработке эффективных агроприемов возделывания нута посвящены работы многих отечественных и зарубежных исследователей, которые однозначно характеризуют эту культуру как одну из наиболее перспективных культур богарного севооборота. Исследованиями В.В. Балашова, А.В. Балашова (2016), Л.П. Шевцовой, Н.А. Шьюровой (2017), К.И. Пимонова (2008, 2012), Е.П. Денисова (2017), Н.Н. Дубенка (2007), Г.А. Медведева, А.М. Хабарова (2010) установлено, что благодаря активному симбиозу с азотофиксирующими бактериями в качестве предшественника нут не уступает орошаемым культурам сои и гороха. Н.И. Германцева (2014), В.В. Бородычев, Т.В. Подольская, С.Б. Адьяев (2008), О.В. Столяров (2003), А.Г. Ванифатьев (1981), И.В. Сеферова (2001), В.В. Зубков, Е.В. Зуев (2011), А.В. Нечаев (2005), В.Н. Павленко (2016) и многие другие учетные обоснованно позиционируют культуру нута в ряду наиболее засухоустойчивых культур мира. Указывается, что вода в клетках нута имеет более высокий осмотический потенциал в сравнении с соей, фасолью, горошком и другими зернобобовыми культурами за исключением чины. Высокий осмос в клетках нута способствует снижению транспирации и увеличивает полноту использования почвенной влаги. В тоже время исследования Я.М. Бодягина (2003), С.О. Лавренко, В.Н. Иванец (2014), Л.С. Силохиной, И.С. Алексейко (2009) показали высокую эффективность орошения нута. Указывается, что своевременное создание запасов продуктивной почвенной влаги активизирует рост, фотосинтез, увеличивает число сформировавшихся бобов на растении. Поэтому разработка и внедрение агроприемов, направленных на создание стабильных, высоких запасов почвенной влаги и рациональное ее использование в сочетании с улучшением агрофизического состояния почвы и оптимизацией архитектуры посева, видится актуальным продолжением исследований в рамках выбранной темы.

Цель исследований – повышение эффективности возделывания нута за счет разработки агротехнических приемов, обеспечивающих в засушливых условиях

Нижеволжского региона гарантированное получение урожайности высококачественных семян не ниже 2,0 т/га при соблюдении принципов ресурсосбережения и рационального природопользования

Задачи исследований в рамках выбранной тематики и в соответствии с поставленной целью сводятся к следующему:

– провести анализ современного уровня разработанности направления исследований с обоснованием перспективных путей совершенствования технологии возделывания нута в условиях острого дефицита естественной влагообеспеченности, обоснованием рабочей гипотезы и программы исследований;

– установить закономерности послойного распределения запасов общей и продуктивной влаги, и формирования водного режима почвы при разных способах обработки почвы под нут;

– изучить закономерности суммарного водопотребления нута и эффективность использования естественных ресурсов влаги при использовании влагосберегающих агроприемов;

– оценить динамику агрофизических свойств почвы в зависимости от сочетания изучаемых агроприемов;

– установить закономерности роста, развития и фотосинтетической активности посевов при разных сочетаниях изучаемых агроприемов;

– обосновать эффективные сочетания агроприемов возделывания нута с использованием показателей зерновой продуктивности посевов и экономической эффективности производства.

Научная новизна. Исследованиями впервые предложена концепция локализации энергоемких приемов возделывания сельскохозяйственных культур, реализуемой на основе геопозиционной синхронизации разновременных агротехнических приемов, проводимых в рамках реализации агротехнологического цикла. В рамках реализуемой концепции изучены закономерности влагонакопления и использования почвенной влаги посевами нута, закономерности изменения агрофизических свойств почвы под влиянием изучаемых агроприемов, закономерности

фотосинтетической деятельности и формирования урожая нута при оптимизации архитектоники посева.

Теоретическая и практическая значимость работы. Установлены закономерности послойного формирования запасов общей и продуктивной почвенной влаги в зависимости от способа обработки почвы, проведена количественная оценка влагосберегающего эффекта полосового мульчирования почвы, установлены закономерности изменения агрофизических свойств почвы и продукционного процесса нута в зависимости от сочетания изучаемых агроприемов.

Практическая значимость работы определяется возможностями повышения урожайности посевов нута и обеспечения гарантированного производства нутового зерна на уровне 2,0 т/га в сложных почвенно-климатических условиях Нижневолжского региона. Исследованиями разработаны и научно обоснованы эффективные сочетания инновационных агроприемов возделывания нута для достижения указанных целевых показателей.

Методология и методы исследований. При разработке системы инновационных агроприемов возделывания нута ориентировались на возможности неиспользуемого потенциала современных агротехнологий, почвенно-климатические особенности региона исследований и агробиологический потенциал культуры. Методологической основой исследований стал метод факторного полевого эксперимента. Разработка программы исследований, изучение агрофизических свойств почвы, влагонакопления и водопотребления, биометрические учеты и определение продуктивности посевов проводили в соответствии с требованиями общепринятых методик (Б.А. Доспехов (1985), Г.Ф. Лакин (1990), Б.Д. Кирюшин (2004), И. Д. Соколов (2016) и др.). Анализ полученных в опыте данных проводили с использованием методов корреляционного, дисперсионного и регрессионного анализа.

Положения, выносимые на защиту:

– закономерности послойного распределения запасов общей и продуктивной влаги, и формирования водного режима почвы при разных способах обработки почвы в посевах нута;

– динамика агрофизических свойств и формирования водного режима почвы в зависимости от способа обработки и применения влагосберегающих агроприемов;

– закономерности фотосинтетической деятельности и продуктивность посевов нута в зависимости сочетания изучаемых агроприемов.

Достоверность результатов исследований. Полученные опытные данные согласуются с общими представлениями в данной области сельскохозяйственной науки, не противоречат биологии культуры и законам земледелия. Достоверность результатов подтверждается удачным выбором мест проведения исследований, проведением опытов в годы с типичным для климата региона агрометеорологическим фоном, использованием общепринятых частных методик. Результаты исследований были внедрены в ООО «Гнилоаксайское ХПП» на площади 50 га. Средняя урожайность производственных посевов составила 1,93 т/га, а экономический эффект от внедрения инновационных агроприемов с площади 50 га составил 1435 тыс. руб.

Апробация работы. Результаты исследований и основные положения диссертационной работы докладывались на национальной научно-практической конференции «Экологические аспекты использования земель в современных формациях» (Волгоград: ВолГАУ, 2017 г), международных научно-практических конференциях «Роль мелиорации земель в реализации государственной научно-технической политики в интересах устойчивого развития сельского хозяйства» (Волгоград: ВНИИОЗ, 2017 г), «Современное экологическое состояние природной среды и научно-практические аспекты рационального природопользования» (с. Соленое Займище: ВНИИАЗ, 2018 г), а также на ежегодных конференциях профессорско-преподавательского состава Волгоградского ГАУ (Волгоград, 2016-2018 гг.).

Публикации. По материалам исследований опубликовано 7 научных работ, из которых 4, – в ведущих рецензируемых журналах из списка рекомендованных ВАК РФ. Общий объем публикаций составил 3,95 п.л., в том числе автора, - 2,85 п.л.

Структура и объем работы. Содержание диссертационной работы включает введение, 5 глав основного текста исследования, заключение, список литературы и приложения. Общий объем работы - 210 страниц, включая 32 таблицы, 28 рисунков и 31 приложение. Объем основного текста диссертации – 137 страниц. Список литературы включает 173 использованных наименований, из которых 6 - иностранных авторов.

1. АГРОБИОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ И ПЕРСПЕКТИВЫ ВОЗДЕЛЫВАНИЯ НУТА В УСЛОВИЯХ ЗАСУХИ

1.1 Агробиологические особенности культуры

Согласно известной классификации культура нута (*Cicer arietinum* L.) входит в состав рода *Cicer* подсемейства *Papilionatoe* (мотыльковых) широко распространенного в агросфере семейства бобовых [42, 74, 134]. Во всем мире нут известен под множеством названий, - chickpeas, нохут, горох турецкий, горох бараний, гнут, гарбанзо и другими [12].

Главной биологической особенностью нута является его засухоустойчивость и жаростойкость. При этом культура отличается и хорошей холодостойкостью, что делает ее исключительно приспособленной к сложным условиям резко континентального климата [11, 12, 140].

Корневая система нута, как правило, хорошо развита, имеет стержневое строение [42, 137, 142]. Отмечено развитие стержневого корня до глубины в 2,5 м. Корневая система нута отличается хорошим ветвлением: от главного корня отходят корни второго порядка, которые тоже хорошо ветвятся, формируя корни третьего, четвертого порядка и т.д.

Развитие корневой системы нута отличатся высокой агроэкологической пластичностью. В хорошо разрыхленном пахотном слое формируется большая часть корневой системы, однако при создании неблагоприятных условий корни нута могут извлекать влагу и питательные вещества из гораздо более глубоких слоев [63]. В первые фазы роста и развития нута корневая система развивается наиболее интенсивно. По опубликованным данным [12] к исходу 20 суток вегетативного развития масса корней нута в 1,2 раза превышает массу сформированных надземных органов.

Корни нута характеризуются менее плотным распределением в почве, чем злаковые культуры, однако все сегменты почвы, как в горизонтальном, так и в вертикальном направлениях оказываются охвачены более равномерно [107]. Корни ну-

та отличаются высокой прочностью и хорошо приспособлены к освоению горизонтов с высокой плотностью механических препятствий различного генеза и происхождения.

Интенсивный рост корней нута вкуче со специфичным распределением корневой системы по слоям и горизонтам почвы обуславливает высокую приспособленность растений к жестким условиям внешней среды. Мощная, хорошо разветвленная корневая система с охватом самых глубоких слоев почвы дает культуре нута существенное преимущество в плане приспособляемости к условиям засухи и жаркого климата [11, 12, 61, 107].

При быстром начальном росте и углублении уже в начальные фазы развития корневая система нута продолжает наращивать массу до фазы созревания. Характер роста и развития корней существенно изменяется под влиянием элементов агротехники, таких как внесение удобрений или особенности обработки почвы [12, 42, 140]. Например, при преимущественном кормлении минеральным азотом общая масса корней нута снижается, тогда как внесение полного минерального удобрения обеспечивает нормальное развитие корневой системы.

Отличительной особенностью корней нута, характерной для всех бобовых культур, является образование клубеньков [63, 107, 142]. Этот симбиоз растения с азотофиксирующими бактериями способен в существенной мере восполнять дефицит потребления минерального азота.

Основой вегетативной части растения нута является жесткий прямой стебель, характерной особенностью которого является способность к сильному ветвлению в зависимости от агроэкологических условий произрастания [44, 61]. С возрастом стебель и ветви растения древеснеют.

Линейный рост растений нута в значительной мере определяется сортовыми особенностями и сильно зависит от условий произрастания. Во влажные годы, с хорошей доступностью почвенной влаги линейный рост нута может возрастать более, чем в 1,5 раза относительно засушливых годов. Так, по данным [12] высота нута во влажный год достигала 0,57 м, тогда как в условиях засухи формировались, преимущественно, низкорослые растения, с высотой не более 0,38 м

К линейным показателям роста нута следует отнести и такой важный показатель, как высота прикрепления нижнего боба. Высота прикрепления нижнего боба определяет потери урожая при механизированной уборке: при низком прикреплении часть бобов остается ниже уровня жатки и уходит в потери. Фактическая урожайность при этом может существенно снижаться. Исследования [11, 16] показали, что высота прикрепления нижнего боба у нута также сильно зависит от наличия и доступности почвенной влаги. В годы с хорошей влагообеспеченностью высота прикрепления нижнего боба достигала 0,3 м, тогда как в сухие годы – не превышала 0,19 м.

Листовые пластинки нута обратно яйцевидные или эллиптические, к стеблю крепятся укороченным черешком. Листья непарноперистые, хорошо опушены, с мелко-зубчатыми краями. Листья включают неодинаковое число листовых пластинок, которое увеличивается к середине растения и уменьшается в верхних или нижних ярусах. Величина листовых пластинок может изменяться от крупных (с продольным линейным размером более 13 мм) до мелких (с продольным линейным размером менее 12 мм). Отмечено, что в годы с острым дефицитом влагообеспеченности величина пластинок может снижаться, однако в большей мере определяется сортовыми особенностями. Окрас листовых пластинок зеленый с варьирующими у сортов оттенками, - светлыми, темными или сизыми.

Особенностью листового аппарата нута является высокое содержание яблочной и щавелевой кислот, которые обильно выделяются в засушливые периоды. В условиях засухи листья нута обладают повышенной способностью удерживать влагу. Это подтверждается и результатами исследований [142], которыми было установлено повышенное содержание связанной воды в листовых пластинках нута относительно других бобовых культур.

Цветки у нута размещаются в пазухах листьев, одиночные и обоеполые. Нутовый цвет отличается очень небольшими размерами, белого, а также светло-розового или красновато-фиолетового окраса [107]. Окрас цветка нута является характерным сортовым признаком и не изменяется в зависимости от складывающихся погодных условий.

Цветок состоит из 5 чашелистиков, а венчик представляет собой так называемую «лодочку», - 5 лепестков, из которых два сросшихся, еще один по форме напоминает парус, а оставшиеся – два весла. Пестик типичный для бобовых, расширяется кверху. Совокупное число семян в завязи обычно составляет 1-2 шт., но в общем случае может достигать и пяти. Цветки самоопыляемые, однако опыление происходит еще в бутоне, до раскрытия цветка.

Бобы у нута овальные, близкие к шаровой форме, вздутые, укороченные, железисто-опушены [42, 74, 137]. Окрас созревших бобов зависит от сорта, может быть фиолетовым или светло-желтым. Размер бобов, как правило небольшой, - от 18 до 20 мм, однако бывают и формы с длинной боба до 35 мм. Бобы нута устойчивы к растрескиванию, что дает возможность проводить уборку прямым комбайнированием без потерь. Число бобов на растении является одним из самых экологически пластичным показателем. В опытах [12] число бобов на растениях нута изменялось от 9 до 138 штук.

Особенностью генеративного развития нута является относительно большая продолжительность этого периода [12, 41]. Нут рано переходит к образованию репродуктивных органов и сохраняет эту способность еще в течение длительного периода. Продукционный процесс из-за этого представляет собой совокупное наложение развития многих органов. Активно растет и развивается вегетативная составляющая растений, закладываются новые пазушные цветки и одновременно наблюдается рост уже сформированных бобов. Сорта нута с выраженной особенностью такого генеративного развития нута обладают высокой потенциальной продуктивностью, но в реальности формируют низкие урожаи.

Зерно нута чаще представлено гороховидно формой, но также встречаются и угловатые семена [63, 74, 134]. В отличие от большинства зернобобовых семена нута имеют вытянутый «клювик». Как правило, в бобе нута формируется от 1-го до 2-х зерен, однако встречаются бобы и с большей озерненностью. Окрас зерен у нута сильно различается в зависимости от выращиваемой разновидности и сорта.

По величине зерновок нут разделяют на три фракции [41]. Зерновки с диаметральной размер от 9 до 11 мм считаются крупными, масса 1000 семян при

этом может достигать 300 грамм и более. Масса 1000 семян средней фракции варьирует от 200 до 300 грамм, а их диаметральный размер составляет 7-8 мм. Мелкая фракция зерна нута включает семена с диаметром от 4 до 6 мм и массой 1000 семян не более 200 грамм. Показатель крупности семян в значительной мере определяется агроэкологическими условиями выращивания.

Нут является типичным представителем культур длинного дня [107, 140, 142]. Для нормального роста и развития растений продолжительность светового периода должна быть выше 9 часов. Это- критический уровень, если продолжительность светового периода меньше развитие нута идет по другому типу – увеличивается ветвление и, напротив, снижается линейный рост растений. Линейный рост растений сокращается особенно значительно, - до 2-х, а в отдельных случаях и до 3-х раз.

Нут относится к группе холодостойких культур [11, 61]. Для прорастания семян нута бывает достаточным поддержание температуры окружающей среды в пределах 6-8 °С. Однако, в полевых условиях при такой температуре всходы получаются слабыми, с сильными выпадами по площади пашни. Достаточной температурой почвы для получения быстрых и дружных всходов является 15-18 °С. При этом сами всходы способны переносить кратковременные заморозки до 5-6 °С.

Отмечая холодостойкость культуры нута, часто забывают, что в совокупности это теплолюбивая культура [137, 140]. Например, полнота всходов нута продолжает возрастать с увеличением температуры окружающей среды до 35 °С. Причем, при температуре почвы от 30 до 35 °С обеспечивается максимальная, 100 %-ная всхожесть семян.

Для полного завершения продукционного процесса посевам нута требуется накопить от 1800 до 2000 °С активных температур воздуха. Для вегетативного роста благоприятной температурой считают 25-30°С [11, 42, 44, 63]. Критическим по отношению к уровню теплообеспеченности у нута является период цветения и формирования бобов. Если температура в эти фазы меньше 20 °С у нута резко со-

кращается число завязавшихся бобов, часто формируются «пустые» бобы, в которых отсутствуют зерновки.

В отношении нута к плодородию почвы у ученых нет единого мнения. Ряд исследователей считают нут нетребовательной культурой по отношению к почвенным условиям [61, 107]. В качестве обоснования своей позиции они приводят доводы о способности культуры образовывать клубеньковый симбиоз и, таким образом, восполнять, дефицит азотного питания. Кроме того, отмечается и ранее отмеченная способность развития корневой системы нута на грубых почвах.

С другой стороны, отмечается высокая положительная реакция в реализации продукционного потенциала нута при возделывании его на хорошо освоенных, черноземных, темно-каштановых и каштановых почвах [12, 101]. Наилучшей реакцией почвенного раствора для нута является нейтральная и слабощелочная.

В отношении солонцеватых почв нут занимает первое место среди зернобобовых по устойчивости. В тоже время большинство учетных и практиков [42, 61] не рекомендуют сеять нут на солонцеватых почвах. Не рекомендуется размещать нут также на подтапливаемых, заболоченных участках, а также на землях с близким уровнем залегания грунтовых вод.

Среди других важных отличительных особенностей культуры нута является его засухоустойчивость [11, 12, 107, 142]. Для региона исследований это критически важная особенность, рассмотрению которой посвящен следующий раздел настоящей работы.

1.2 Нут и влага: результаты опубликованных исследований

Засушливые условия климата Нижневолжского региона, острый дефицит естественного увлажнения, частая повторяемость засух и суховеев обуславливают первостепенное значение почвенной влаги для возделывания большинства сельскохозяйственных культур. В условиях засухи, так или иначе, используются адаптированные культуры и специально выведенные, районированные сорта сельскохозяйственных растений. Приспособляемость растительного организма к услови-

ям засухи обусловлена особенностями водного режима самого растения и определяется генетически обусловленным потенциалом сохранения структуры протоплазмы как целостной системы [12, 42, 39].

В самых общих чертах водообмен растений можно представить тремя основными процессами [39, 65, 112]:

- поглощение влаги. Преимущественное значение здесь имеет почвенное водное питание, которое зависит от доступности почвенной влаги, биологических особенностей культуры, роста и распространения корневой системы и многих других факторов;

- передвижение влаги, - определяется биологическими особенностями, строением и развитостью сельскохозяйственных растений, в значительной мере обусловлено физиологическим состоянием растения и др.;

- транспирацией. Транспирация рассматривается как превалирующая часть водопотребления культур на сельскохозяйственном поле, определяется комплексом внешних факторов, которые в совокупности характеризуют энергетические ресурсы атмосферы, агробиологическим потенциалом растений, текущей (мгновенной) оводненности растительных тканей, биологическими регуляторами и пр.

Каждый из процессов характеризуется текущей (мгновенной) областью потенциальных значений и только, если эти области пересекаются можно говорить об оптимальном водном режиме растений. Область потенциальных значений для каждого из рассматриваемых процессов определяется нормами биологических реакций растений, способностью адаптироваться к изменившимся условиям без ущерба для собственного развития. В этом плане крайне важным показателем является величина осмотического давления клеточного сока, которая определяет возможности растения к сохранению собственной влаги на границе процесса устойчивого увядания. Как отмечают большинство исследователей [11, 12, 20, 25, 26, 35, 42, 128, 162], по величине осмотического давления сока нута занимает лидирующие позиции среди зернобобовых. В опытах [42] величина осмотического давления сока у нута достигало 17 атм., что на 70 % больше, чем у гороха.

Нут относится к ярким представителям ксерофитов, специфическое строение органов и тканей которых обуславливает повышенную засухоустойчивость посевов. Все органы нута покрыты волосками, которые позволяют ему бережно расходовать влагу в условиях жаркого климата и острой засухи [61, 128, 135, 154]. Хорошо развитая корневая система, способная осваивать даже грубые подстилающие породы и проникать на значительную глубину, позволяет нуту максимально использовать имеющиеся ресурсы почвенной влаги. При создании критически неблагоприятных условий, дефицита влаги и высокой температурной напряженности физиологические процессы нута почти останавливаются, но растение выживает и способно к дальнейшему росту при возобновлении притока необходимых ресурсов.

Наряду с высокой адаптационной способностью к условиям жаркого климата и дефицита естественного увлажнения многими учеными [11, 42, 83, 137, 140] отмечается отрицательная реакция нута на влажную погоду, особенно в сочетании с низкими температурами воздуха. Особенное негативное влияние на состояние посевов и продукционный процесс нута оказывает влажная холодная погода в фазы цветения и формирования бобов. Растения нута при этом подвержены поражению грибными болезнями, особенно это касается фузариоза и аскохитоза. Сопровождающая избыточное увлажнение повышенная влажность воздуха в фазу цветения обуславливает снижение эффективности оплодотворения цветков из-за склеивания пыльцевых зерен. В результате этого процесса резко снижается среднее число зерен в бобах, в значительной части бобов семена нута совсем не образуются.

В совокупности все выше рассмотренные процессы приводят к снижению зерновой продуктивности нута в относительно прохладные годы с избыточным увлажнением. Следует понимать, что «избыточное увлажнение» не исключает характерных для региона засух. Негативное влияние могут оказать и относительно кратковременное понижение термического режима с обильными атмосферными осадками, особенно, если это совпадает с рассмотренными выше фазами развития [11, 61].

В тоже время отмечается, что высокие почвенные влагозапасы в сочетании с благоприятными метеорологическими условиями активизируют ростовые процессы и способствуют формированию более высоких урожаев зерна [35, 61, 128, 151].

В исследованиях [42] интенсивность транспирации нута достигала 533 г/м², что более, чем в полтора раза больше, чем транспирация гороха, полученная в таких же условиях. Показано, что интенсивность транспирации зависит от сортовых особенностей, а также в значительной мере определяется периодом роста и развития нута.

В опытах [82, 83] на юге Украины суммарное водопотребление нута достигало 3600 м³/га, а в отдельные годы и более. При этом запасы влаги в почве поддерживались в доступной растениям форме путем проведения регулярных вегетационных поливов. На орошение при этом затрачивалось до 45 % расходуемой посевами влаги.

В условиях Приамурья суммарное водопотребление нута определялось при разных порогах предполивной влажности почвы [135]. При поддержании дифференцированного предполивного порога по схеме 70-60-50 % НВ суммарное водопотребление нута достигало 4200 м³/га в засушливые годы и было не менее 3500 м³/га во влажный. При этом коэффициент водопотребления по годам исследований изменялся от 1800 до 2400 м³/т, а урожайность достигала 2,0 т/га.

При выращивании нута на маломощных каштановых почвах Хакасии эффективность орошения нута зависела от срока и способа посева [20]. При посеве нута в ранние сроки, до 10 мая, сплошным способом урожайность на богаре и орошаемых участках оказалась сопоставимой, а различия не превышали статистической ошибки опыта. Однако, при посеве широкорядным способом посева нута на орошении оказались более продуктивными, чем на богаре. Наиболее эффективным орошение оказалось при посеве нута в поздние сроки, - во вторую или третью декады мая. Различия в урожайности нута достигали 0,45 т/га. Наряду с этим исследованиями отмечено значительное снижение урожайности нута в избыточно

влажный 2003 год. Зерновая продуктивность посевов снизилась до 0,36-0,85 т/га как на богарных землях, так и на орошаемых участках.

Исследованиями [83, 84] в Херсонской области Украины отмечено почти двукратное увеличение фотосинтетического потенциала посева. Рост и развитие нута при проведении вегетационных поливов существенно активизировались, обеспечивая увеличение зерновой урожайности посевов более, чем на 80 %. При этом отмечена возможность без орошения получать до 2,0 т/га зерна нута, а с поливом, - до 3,6 т/га высококачественных семян. Несмотря на высокую ресурсоемкость, экономическая эффективность орошения нута была убедительно доказана. Себестоимость зерна снижалась почти на 15 % при почти двукратном росте чистой экономической прибыли. Рентабельность производства нута в условиях орошения возрастала до 165 %, тогда как на богаре не превышала 130 %.

В условиях южной агроклиматической зоны Амурской области наиболее эффективным оказалось поддержание постоянного предполивного уровня 60 % НВ [135]. В среднем за годы исследований урожайность нута на участках этого варианта составила 1,88 т/га. Отмечено, что даже при проведении вегетационных поливов вариация урожайности нута в большей мере обуславливалась погодными условиями, нежели по вариантам опыта.

Таким образом, культуру нута можно охарактеризовать как исключительно засухоустойчивую, жаростойкую, в полной мере приспособленную к агроклиматическим условиям региона. При этом пополнение запасов почвенной влаги в сочетании с теплой и сухой погодой обеспечивает почти двукратное увеличение урожайности, что свидетельствует о высокой пластичности нута в плане формирования урожая и отзывчивость на улучшение влагообеспеченности. Преимущественная роль в восполнении потребности нута в воде отводится запасам почвенной влаги, так как несвоевременные и обильные атмосферные осадки могут стать причиной существенного снижения продуктивности посевов.

1.3 Приемы возделывания нута в различных агроклиматических зонах. Обоснование направления исследований.

Современная система агроприемов возделывания нута в первую очередь направлена на создание условий для формирования равномерных и дружных всходов, обеспечение фитосанитарной чистоты посевов, обеспечение оптимального минерального и бактериального питания растений, защиту от болезней и вредителей [2, 7, 11, 35, 42, 107, 140].

При всей своей неприхотливости культура нута отзывчива на плодородие почвы, ее агрофизическое состояние и содержание доступных форм питательных элементов [1, 7, 52, 61, 119, 160, 162]. Отмечено, что в первую очередь необходимо обеспечить фосфорное и калийное питание растений, тогда как азот нут может получать благодаря азотфиксирующему симбиозу с клубеньковыми бактериями.

В опытах [1] на обыкновенных черноземах Ростовской области за счет оптимизации сочетания минерального и бактериального питания нута была достигнута урожайность в 2,5 т/га. При этом минеральной азот было необходимо вносить в дозе 12,5 кг д.в./га, фосфор, - 50 кг д.в./га, а семена перед посевом обрабатывать инокулятом штамм 527. Увеличение дозы минерального азота вдвое сопровождалось снижением общей урожайности посева на 0,3 т/га, а при внесении 50 кг д.в./га азота, - урожайность сокращалась до 1,9 т/га. Следует признать, что исследования проводились на высокоплодородных почвах, с содержанием гумуса до 3,5 % и валовых форм азота до 0,18 %.

Исследования [7, 8, 9, 18] ставили задачей обоснование оптимального для нута содержания доступных форм минерального питания в почве. По средним за годы исследований данным было получено, что для формирования наибольших, до 2,0 т/га, урожаев нута, необходимо чтобы перед посевом в пахотном слое почвы содержалось не менее 21 мг/кг доступных форм азота и 27 мг/кг доступных форм фосфора. В фазу всходов содержание доступных элементов должно повышаться, до 29 мг/кг по азоту и до 28 мг/кг по доступным формам фосфора. Однако, наиболее обеспечены доступными формами минерального питания почвы должны быть

в фазу образования бобов, - не менее 32 мг/кг по азоту и не менее 29 мг/кг по фосфору. Оптимальной дозой минерального питания на каштановых почвах Саратовской области оказалась $N_{60}P_{60}$, при которой средняя за три года урожайность нута составила 1,9 т/га. Повышение доз минерального питания, как по азоту, так и по фосфору не обеспечило статистически значимой прибавки зерновой продуктивности посевов.

По данным [12] на формирование 1 тонны урожая зерна нут потребляет до 53 кг азота, не менее 18 кг доступных элементов фосфора и около 75 кг калийного питания. В тоже время [35] на основании результатов собственных исследований, проведенных в условиях Акмолинской области Казахстана предостерегает от использования такого рода ориентиров ввиду их высокой динамичности.

В опытах [13] в условиях Волгоградской области эффективным приемом оказалась обработка семян нута перед посевом ризоторфином. Обработка ризоторфином в 6 раз увеличивало долю растений с образованными на корнях клубеньками и в три раза, - число клубеньков на среднем растении. В среднем за годы исследований это обеспечивало возможность получения до 1,6 т/га зерна нута, что существенно превышало продуктивность посевов на контроле (без инокуляции семян). При этом отмечается, что для активной азотификации клубеньковые бактерии должны располагаться в достаточно увлажненной среде с весовым содержанием влаги не менее 15-20 %.

Содержание доступной почвенной влаги является одним из определяющих факторов эффективности применения минеральных удобрений. Например, в опытах [10, 11] влияния минеральных удобрений на продуктивность нута за три года исследований доказано не было из-за высокого дефицита почвенной влаги.

Почвенная влага является также определяющим фактором и при выборе сроков посева нута. В опытах [11] оптимальным сроком посева нута оказалась 1 декада мая. В тоже время по отдельным годам какой либо строгой закономерности нет, а наибольшая связь прослеживается с фактически складывающимися погодными условиями.

Норма высева является одним из ключевых агротехнических факторов, определяющих в последующем архитектуру посева и продуктивность нута. В опытах [101] уже при посеве нормой 700 тыс. сем./га урожайность нута возростала до 1,92 т/га. Дальнейшее увеличение посевной нормы сопровождалось лишь незначительным увеличением зерновой продуктивности посевов. Следует признать, что посев нута в данном исследовании проводили сплошным способом, тогда как при широкорядных способах норму высева существенно сокращают. В частности, в опытах [10, 11] наибольшая урожайность нута при посеве широкорядным способом через 0,45 м была получена на участках, где нормы высева составляла 350 тыс. всх. сем./га. При этом, однако, прослеживается выраженный нарастающий тренд повышения урожайности нута с увеличением нормы высева от 150 до 350 тыс. всх. сем./га. Это определяет возможность существования области оптимума вне результатов исследований автора.

В опытах [4] на севере центрально-черноземной зоны наибольшая урожайность нута была получена при широкорядном, через 0,45 м, способе посева нута нормой 500 тыс. сем./га. Продуктивность посевов при этом достигала 1,81 т/га и была на 10 % выше, чем при посеве сплошным способом. Повышение нормы высева до 800 тыс. сем./га снижало урожайность.

На засушливых регионах юга России снижение урожайности при увеличении нормы высева определяется, прежде всего, усиленным расходом почвенной влаги [11, 12, 20, 35, 60, 61, 107, 162]. Не компенсированный расход влаги обуславливает создание неблагоприятных условий для функционирования нутового симбиоза, ингибирует ростовые процессы и налив бобов.

Эффективным оказалось увеличение нормы высева нута в плане сокращения засоренности посевов [21]. Так, увеличение нормы высева по всхожим семенам на 200 тыс. шт./га (с 500 до 700 тыс. всх. сем./га) обеспечило сокращение общего количества сорных растений на 21 %. Еще в большей степени, на 40 %, число сорных растений в посевах нута снижалось при норме высева 900 тыс. сем./га. По массе сорных растений засоренность посевов снижалась соответственно на 25 и 47 %.

Исследованиями [93] изучалась эффективность применения средств химической борьбы в посевах нута с сорной растительностью. Опыты были поставлены с гербицидом Гезагард, Дуал голд, их сочетанным применением, а также гербицидом Харнес. Наиболее эффективным в плане подвлияния однолетней и многолетней сорной растительности оказалось применение гербицида Гезагард нормой 3,0 л/га, Дуал голд нормой 1,2 л/га, смеси Гезаграда и Дуал голда в норме 0,8 и 2,0 л/га. Однако все эти гербициды оказывали угнетающее действие на развитие и продуктивность самого нута. Наиболее оптимальным в плане эффективного подавления сорной растительности при минимизации негативного влияния на продукционный процесс нута оказался гербицид Харнес. Обеспечивая высокую чистоту посевов по однолетникам, этот гербицид позволял собирать, в среднем, до 1,56 т/га высококачественных семян нута.

Из современных гербицидов эффективными по нуту оказались сочетания Пивота и Прометрина [46, 64, 108]. Данное сочетание позволяет наиболее продолжительное время держать «экран», что дает посевам нута сформировать хорошую биомассу и максимально снизить негативное влияние сорняков на продуктивность посевов.

Одним из наиболее ресурсоемких и спорных вопросов в возделывании нута являются применяемые системы обработки почвы. В различных климатических зонах изучались и нашли научное обоснование различные приемы и способы обработки почвы [11, 12, 26, 42, 66, 92, 107, 125, 137, 140, 142]. Вместе с тем эту работу нельзя назвать завершенной, ввиду активного продвижения и освоения новых систем земледелия.

В зоне черноземных почв юга Украины [151] эффективной оказалась глубокая отвальная вспашка, позволяющая оборачивать пласт до 0,3 м. Урожайность нута при этом возрастала на 10-15 % в сравнении с вариантами, где проводилась обычная вспашка, на глубину 0,22 м. Авторы отмечают, что увеличенная мощность разрыхленного слоя благоприятно влияет на продукционный процесс нута, но должен быть ограничен мощностью гумусового горизонта.

К такому же выводу пришел [11] в исследованиях с нутом на черноземах Волгоградской области. Стерню предшественника при этом рекомендуется обрабатывать дисковыми орудиями на глубину до 0,06 м при преимущественной засоренности однолетниками и до 0,12 м при преимущественном распространении многолетних сорняков.

На маломощных почвах глубокая вспашка не дает положительного эффекта, а дополнительные затраты энергоресурсов не оправдываются прибавкой урожая. На сероземных почвах Жамбылской области Казахстана наряду с традиционной , вспашкой на глубину 0,20-0,22 м изучалась эффективность плоскорезной обр, аботки на глубину 0,1-0,12 м [60]. Значимых различий в продуктивности посевов нута выявлено не было, тогда как энергоемкость плоскорезной обр/аботки оказалась существенно ниже. Себестоимость зерна, выращенного на фоне плоскорезной обработки, была на 18 % ниже, чем при применении отвальной вспашки.

На выщелоченных черноземах Тюменской области [125] наибольшие урожаи нута были получены по зяблевой вспашке на глубину 0,2-0,22 м. Урожайность зерна нута при этом составила 2,6 т/га, тогда как при использовании безотвальных технологий продуктивность посевов существенно сокращалась. Например, безотвальное рыхление почвы на ту же глубину, 0,2-0,22 м, сопровождалось снижением продуктивности нута на 0,5 т/га, а при мелком безотвальном рыхлении, на глубину 0,12 м, - урожайность нута снижалась на 0,7 т/га. Другим важным преимуществом применения отвальной вспашки в почвенно-климатических условиях Тюменской области оказалось формирование семян нута с массой до 280 г/1000 сем. На участках, где применяли безотвальные технологии семена нута оказались более мелкими, что определяет и более низкую цену продукции.

Исследованиями в южной зоне Оренбургской области [167.] наиболее продуктивные посевы нута были получены при возделывании нута по пару. Урожайность нутового зерна при этом составила 1,96 т/га, что существенно выше, чем при посеве по вспашке на глубину 0,22-0,25 м (1,12 т/га) и при посеве на фоне безотвального глубокорыхлителя (0,97 т/га).

В опытах [2] на южных черноземах Оренбургского Предуралья наиболее эффективной оказалась безотвальная обработка почвы на глубину до 0,27 м. Урожайность нута при этом составила 19,2 т/га и на 2,5 ц превышала варианты, где под зябь применяли вспашку на глубину до 0,27 м. При этом отмечена эффективность безотвальной обработки почвы и под культуру-предшественник.

В опытах [66, 67] на каштановых почвах Северного Казахстана изучались три варианта обработки почвы под зябь и перед посевом. Контролем стала традиционная интенсивная обработка почвы, с зяблевой оборотной вспашкой и интенсивной предпосевной агротехникой. В рамках второго варианта изучалась эффективность минимальной обработки почвы, где под зябь почву обрабатывали чизелями с активной заменой ряда интенсивных предпосевных обработок почвы применением гербицидов. По третьему варианту обработки почвы исключали совсем, а по сорной растительности, преимущественно, работали химическими средствами. Результаты исследований показали, что влага в посевах наилучшим образом накапливается при проведении минимальных обработок: обеспечивалась наибольшая глубина смачивания почвы с осенне-зимний период, наблюдались минимальные потери влаги перед посевом. Запасы продуктивной влаги перед посевом на участках с минимальной и нулевой обработками почвы достигали 109-113 мм, что существенно выше, чем при традиционной обработке, на основе отвальной зяблевой вспашки. На участках с минимальной обработкой почвы отмечена и наилучшая сохраняемость продуктивной почвенной влаги в течение вегетационного периода нута. В совокупности это обеспечило формирование наибольших и наиболее стабильных урожаев нута. В среднем за три года урожайность составила 14,9 т/га, что статистически значимо больше, чем при использовании отвальной зяблевой вспашки.

Таким образом, нут относится к той группе редких культур, которые наиболее стойко переносят частые неблагоприятные явления и дефицит естественной влагообеспеченности, которые так характерны для региона Нижней Волги. Это культура отличается широкими адаптационными способностями, позволяет получать

всходы при минимальных температурах, хорошо переносит весенние заморозки и, одновременно, хорошо отзывается на сухую и теплую (даже жаркую) погоду активизацией ростовых процессов и репродуктивной функции. В условиях резко-континентального климата Нижнего Поволжья культура нута, одна из немногих, которая способна обеспечивать почти гарантированный урожай. Благодаря активному симбиозу с азотофиксирующими бактериями посевы нута способны формировать урожай и на относительно малоплодородных почвах. Сегодня уже выведены и зарекомендовали себя ряд адаптированных к условиям региона, высокопродуктивных сортов, хорошо проработаны вопросы применения минеральных удобрений, есть приемлемые решения по защите растений, обоснованные как с позиций применяемой номенклатуры препаратов, так и по способам их применения. Многочисленными исследованиями в разных агроклиматических зонах страны обоснованы сроки сева и глубина заделки семян при посеве. Рекомендации по нормам высева разнятся, однако можно проследить достаточно четкие закономерности по агроклиматическим зонам, взаимосвязи со способами посева и общей стратегией борьбы с сорной растительностью. Из способов посева наибольшее распространение получили загущенные сплошные и широкорядные, со сниженной посевной нормой. В первом случае стратегия направлена на подавление сорной растительности за счет превалирования биомассы основной культуры, во втором, - предполагается высокая культура земледелия и активное применение химических средств защиты растений. Несмотря на высокие адаптационные способности к условиям засухи, нут хорошо отзывается на улучшение условий влагообеспеченности активизацией продукционного процесса и прибавкой урожая. Потенциальная урожайность нута, которая в современном сортаменте достигает 3,5 т/га, реализуется только при достаточных запасах почвенной влаги. Рядом исследователей накоплен положительный опыт орошения нута, получены данные о формировании высоких урожаев нутового зерна, перекрывающих прибавкой значительные дополнительные расходы на орошение. При этом все исследователи говорят о недопустимости переувлажнения посевов, особенно в репродуктивную фазы. Посевы нута при этом могут резко снижать продуктивность, прежде всего,

из-за чрезмерного повышения относительной влажности воздуха, которая крайне негативно сказывается на формировании завязи и увеличивает долю пустых бобов на растении. Поэтому, в плане улучшения водного питания растений, видится правильным основным упор делать на повышение и рациональное использование запасов почвенной влаги на фоне сухой и теплой погоды. Другим важным аспектом эффективного производства нута является создание благоприятных условий для формирования и развития клубенькового симбиоза, использования этого преимущества для максимально сбалансированного развития растений при рациональном использовании минеральных удобрений. В этом плане сегодня обоснованы способы и технологии применения бактериальных удобрений, найдены их наиболее эффективные виды, сформирован регламент использования. Неблагоприятным фактором в плане эффективного использования этого ресурса при возделывании нута в регионе Нижней Волги является высокая равновесная плотность каштановых почв. Поэтому другим стратегическим ориентиром совершенствования технологии возделывания нута в регионе является создание технологий, направленных на улучшение агрофизических свойств почвы при минимальном воздействии на почвенные пласты с соблюдением принципов сухого земледелия. Технологии, обеспечивающие накопление с рациональное использование почвенной влаги, улучшение агрофизических свойств почвы при минимальных затратах агроэнергетических ресурсов могут стать существенным резервом повышения продуктивности и обеспечения стабильных урожаев зерна нута высокого качества.

Сельскохозяйственные технологии сегодня получили весьма значимый рывок, основанные на использовании последних достижений в области информатизации, мониторинга и автоматизированного управления. Использование космических технологий в аграрной сфере уже не является чем-то исключительным. Автоматизированные системы наблюдения, параллельного вождения, управления машино-тракторными агрегатами не только облегчают выполнения основных сельскохозяйственных операций и создают основу для создания новых, высокоэффективных технологических комплексов, выполнение которых ранее было неосу-

ствимо. Одним из таких направлений является использование технологий координатного контроля перемещения агрегатов на основе GPS или ГЛОНАСС для выполнения разновременных, но координатно совмещенных операций. В частности, это позволяет на практике реализовать идею о создании разноплотных, дифференцированных по площади поля участков почвенного покрова способом глубокого рыхления под зябь с последующим весенним посевом культур точно в разрыхленные зоны. Технология предполагает использование для решения задач накопления почвенной влаги и обеспечения оптимальных агрофизических свойств почвенного покрова. Для использования этих преимуществ при возделывании нута необходимо решение круга важных вопросов, предполагающих изучение закономерностей накопления почвенной влаги (есть ли эффект, какое его количественное выражение?), изучение динамики агрофизических свойств почвы в зависимости от применяемых обработок, обоснование параметров глубокого полосного рыхления, поиск путей повышения эффективности использования накопленной влаги, изучение закономерностей формирования архитектуры посева с обоснованием оптимальных способов посева при глубоком полосном рыхлении, в том числе, с учетом параметров его проведения. К кругу основных вопросов относится и необходимость изучения закономерностей продукционного процесса нута во всех проявлениях, вопросов окупаемости затрат прибавкой урожая и т.д. Необходимость решения указанного круга вопросов для достижения поставленной цели определило направление проведения исследований.

2. РАБОЧАЯ ГИПОТЕЗА И МЕТОДИКИ ПРОВЕДЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ

2.1 Программа исследований

Оптимальные агрофизические свойства почвы являются необходимым условием обеспечения ее эффективного плодородия. Зяблевая вспашка в России традиционно является одним из основных способов улучшения агрофизических свойств почвенного покрова. Вместе с тем и она имеет, в настоящее время активно обсуждаемые, недостатки, которые обуславливают дальнейший поиск и разработку новых, эффективных систем обработки почвы. Среди таких недостатков сегодня выделяют активное перемешивание и одностороннее усиление минерализации органического вещества при обработке культурными и оборотными плугами, усиление эрозионных процессов, создание переуплотненной слабоводопроницаемой прослойки, - так называемой плужной подошвы, ограничение глубины рыхления мощностью гумусового горизонта. Последнее предполагает создание благоприятных условий для развития корневой системы растений в пахотном слое, который в засушливых условиях Нижневолжского региона довольно рано теряет запасы доступной почвенной влаги.

Рабочей гипотезой исследований стало предположение о возможности повышения эффективности возделывания нута за счет разработки и внедрения агротехнических приемов с элементами Strip-Till. Одним из перспективных направлений развития систем земледелия является локализация энергоемких приемов возделывания сельскохозяйственных культур, реализуемая на основе геопозиционной синхронизации разновременных агротехнических приемов, проводимых в рамках реализации агротехнологического цикла.

Одним из примеров такого направления развития агротехнологий может стать создание разноплотных, дифференцированных по площади поля участков почвенного покрова за счет локального (полосного) глубокого рыхления почвы на

глубину h , заведомо превышающей глубину стандартных приемов основной обработки почвы. Это позволяет:

- а) минимизировать затраты ресурсов на проведение наиболее энергоемких приемов основной обработки почвы сельскохозяйственных культур, включая нут;
- б) создать локальные участки с наиболее благоприятными для роста и развития сельскохозяйственных культур почвенными условиями.

Одной из основных в этом случае задач является необходимость гарантированного посева сельскохозяйственных культур непосредственно в зоне полосного объемного рыхления, с целью обеспечения культурным растениям наиболее благоприятных почвенных условий (рисунок 2.1). Современный уровень развития сельскохозяйственной техники позволяет уверенно решать эту задачу с применением новейших достижений в сфере GPS-ГЛОНАСС технологий.

Учитывая технологическую реализуемость совмещения одновременно исполняемых агротехнических приемов возделывания сельскохозяйственных культур, к исследованию были поставлены вопросы оптимального совмещения локальных (полосных) обработок почвы и способа посева нута. Методологической основой исследований стало проведение многофакторного полевого эксперимента (рисунок 2.2).

В рамках фактора А полевого опыта к изучению были поставлены варианты системы основной обработки почвы:

- вариант А1 – зональная система основной и предпосевной обработки почвы под нут, включающая обработку поверхности поля дисковыми луцильниками непосредственно после уборки предшествующей культуры, отвальную зяблевую вспашку, покровное боронование и предпосевную культивацию;
- вариант А2 – предлагаемая система основной и предпосевной обработки почвы под нут, включающая обработку поверхности поля дисковыми луцильниками непосредственно после уборки предшествующей культуры, дискование и глубокое полосное рыхление на глубину 0,4 м, покровное боронование и предпосевное фрезерование в зоне размещения полос глубокого рыхления.

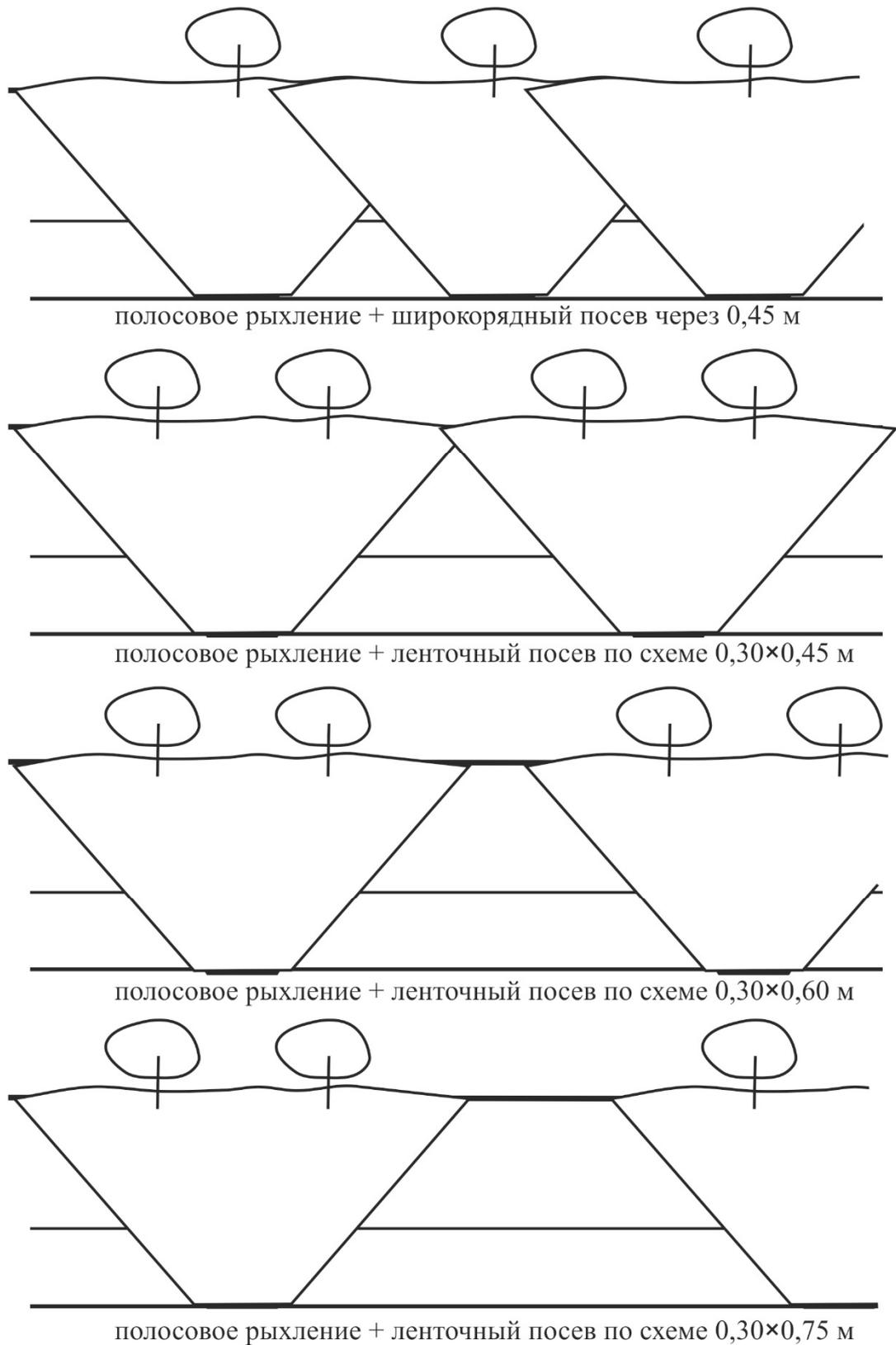


Рисунок 2.1 – Схема формирования полос локального глубокого рыхления почвы при разных способах посева нута

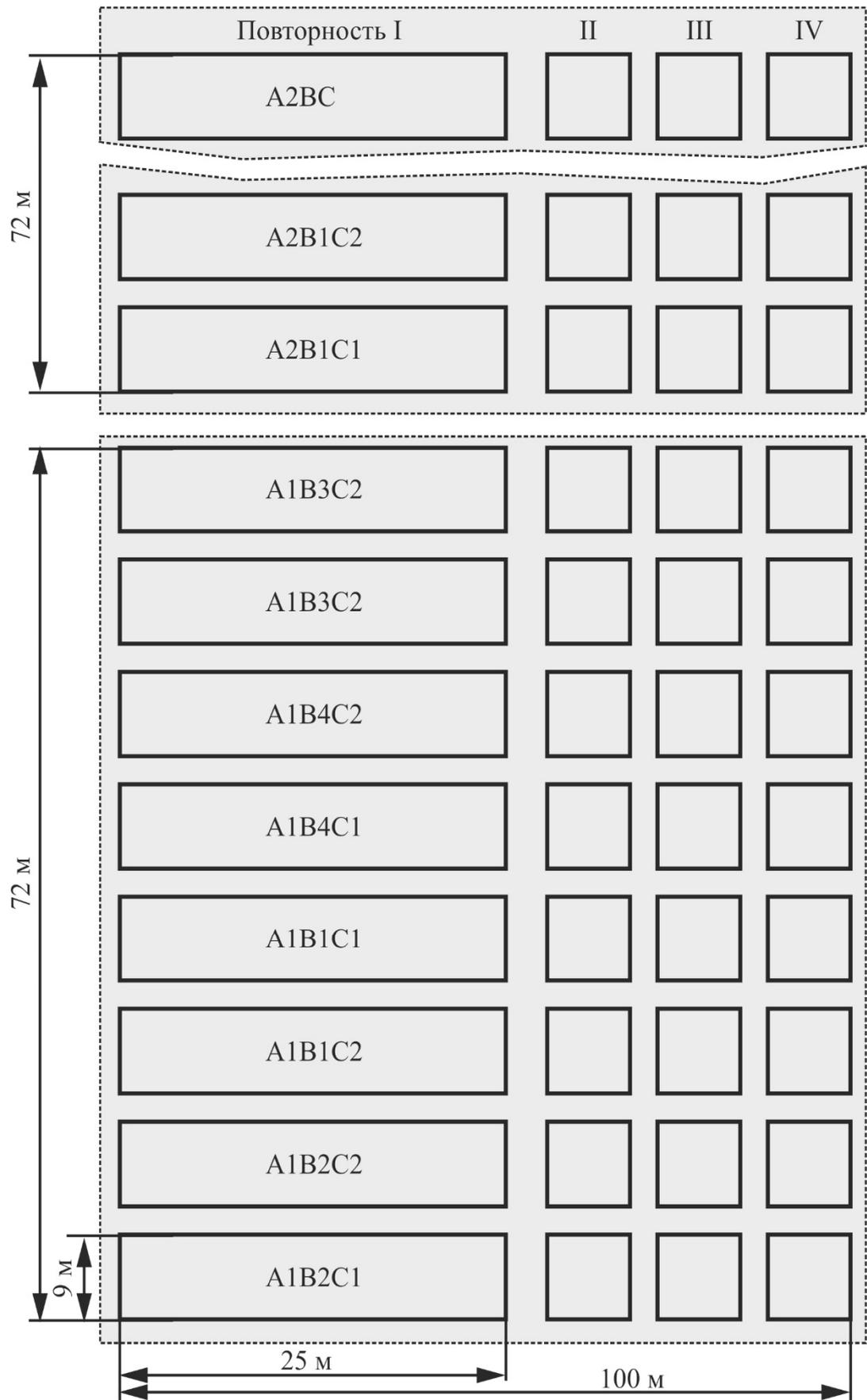


Рисунок 2.2 – Схема размещения вариантов в опытных посевах нута

Полосы глубокого безотвального рыхления почвы выполняли непосредственно в зоне последующего посева нута.

Исследование оптимальных способов посева нута при локальной (полосной) обработке почвы проводили в рамках фактора В:

- вариант В1 – посев нута с шириной междурядий 0,45 м (контроль);
- вариант В2 – ленточный двустрочный посев нута по схеме 0,30×0,45 м;
- вариант В3 – ленточный двустрочный посев нута по схеме 0,30×0,6 м;
- вариант В4 – ленточный двустрочный посев нута по схеме 0,30×0,75 м.

Из известных влагосберегающих методов для создания ресурсосберегающего агротехнологического комплекса возделывания нута использован прием мульчирования с использованием самых доступных органических материалов, - соломенной резки. В отличие от ранее проведенных исследований мульчирующий слой формировали только в зоне размещения посевных полос. Исследование эффективности применения мульчирования в опытах проводилось в рамках фактора С:

- вариант С1 – посевы нута без мульчирования почвы;
- вариант С2 – создание мульчирующего слоя в границах зоны размещения растений (посевной полосы).

При закладке эксперимента использовали широко известный метод расщепленных делянок, когда участок опытного поля с условиями, регламентируемыми одним вариантом, разделяется на несколько делянок вариантов другого фактора [54]. В наших исследованиях несущим являлся фактор А (система обработки почвы). Варианты опыта этого фактора, например, А1 или А2, расщеплялись на несколько вариантов другого фактора, в частности В1, В2 В3 и В4. В результате условия, регламентируемые вариантом А1 или А2 накладываются условия еще четырех вариантов фактора В. Далее, еще на каждый вариант В1, В2, В3 и В4 накладывали еще фактор С, - то есть каждую из указанных делянок делили на 2 части – вариант С1 и вариант С2. Результатом является представленная на рисунке 2.2 схема опыта, образованная системой множества делянок, образованных сочетаниями А1В1С1, А1В1С2, А1В2С1.... и т.д.

В соответствии с требованиями известны методик опытные деланки закладывались в четырех повторностях [54, 72]. Форма деланок прямоугольная, площадь учетной деланки в одной повторности составляет 225 м. Опыт заложен методом организованных повторений. Наиболее крупными деланками опыта являются деланки первого порядка, размер которых составляет 100 на 72 м (0,72 га). Это обеспечивает удобство реализации наиболее энергоемких технологических операций по обработке почвы. Общая площадь опытного поля составляет 1,44 га (100 на 144 м). Совокупная площадь всех вариантов опыта в одной повторности составляет 0,36 га.

При закладке вариантов полевого опыта учитывали:

– требования репрезентативности. В частности с учетом этого требования выбирали опытный участок с типичными для региона почвенными и климатическими условиями, разрабатывали агротехнику культуры нута, осуществляли выбор сорта для опытных посевов;

– требования единственного различия. С учетом этого требования при организации исследований соблюдали условие идентичности всех условий выращивания нута кроме изучаемого фактора. В части организации опыта по фактору А единственным различием понималась система обработки почвы, - то есть вся совокупность агротехнических приемов обработки почвы, реализуемых за технологический цикл возделывания нута. Кроме того, при закладке вариантов по фактору А учитывалось требование проведения полосовых обработок почвы в зоне последующего размещения растений. Это требование также следует отнести к реализуемой системе обработки почвы;

– требование проведения полевого опыта на специально выбранном участке. Это требование обуславливается необходимостью соблюдения принципа единственного различия на самых различных уровнях. В опытах участок под закладку вариантов выбирали с хорошо известной агрономической историей. В годы исследований под опыты отводили участки с одинаковой историей, севооборотами, историей применения удобрений и других агрохимикатов и пр.

1.2 Условия проведения эксперимента

1.2.1 Агрометеорологические условия проведения опытов

Территория Нижнего Поволжья, в том числе подзоны распространения каштановых почвы является одним из крупнейших сельскохозяйственных районов страны. Однако сложные климатические условия, регулярно возникающие воздушные и почвенные засухи, неравномерное и крайне неравнозначное поступление атмосферных осадков, предъявляют особые требования к организации сельскохозяйственного производства [3, 78].

Климат рассматриваемой территории резко-континентальный, жаркий и сухой. Воздушные массы, приходящие на территорию региона с азиатского материка или арктических широт почти всегда характеризуются низкой влажностью. Особенно это характерно для теплого периода года, когда низкая влажность воздуха сочетается с высокими температурами [3].

Среднегодовая температура воздуха составляет $5,0^{\circ}\text{C}$, однако внутригодовой перепад температур может превышать 70°C [3]. Максимальная температура в летние месяцы может превышать $41,0^{\circ}\text{C}$, тогда как зимой возможны заморозки до $(-30,0^{\circ}\text{C})$ и ниже. Среднее число суховеев средней интенсивности может достигать 46 за теплый период года. При этом в отдельные, неблагоприятные годы наблюдается до 10 суховеев очень интенсивного типа.

Одним из наиболее подходящих и признанных критериев оптимальности водного режима почвы в плане географического деления территорий является гидротермический коэффициент. Определяется он отношением радиационного баланса поверхности почвы в суммарной теплоте парообразования объема поступающих атмосферных осадков [157]. Другим, близким по смыслу методом расчета гидротермического коэффициента, является отношение суммы атмосферных осадков к сумме положительных температур воздуха за одинаковый период времени [3]. С.А. Сапожникова характеризует территории с гидротермическим коэффициентом ниже 1,0 как засушливые, очень засушливые и сухие. Для рассматриваемой

территории гидротермический коэффициент оценивается значением 0,6, что относит регион к очень засушливым территориям.

В тоже время в почве на дату перехода температуры воздуха через 10°C в весенний период содержится, в среднем, 125 мм продуктивной (легко подвижной, доступной растениям) влаги на метр слоя [3]. При рациональном использовании это является важнейшим ресурсом влаги для выращивания большинства сельскохозяйственных культур региона.

Агрометеорологические наблюдения подтвердили широкую вариабельность метеопказателей погодам проведения исследований. Собранные за период проведения эксперимента данные систематизированы и приведены в таблице 2.1. Наблюдения показали, что в первую декаду апреля в регионе еще недостаточно тепла для посева теплолюбивой культуры нута. Средняя декадная температура воздуха в годы исследований изменялась от $5,6$ до $8,5^{\circ}\text{C}$. Несмотря на относительную холодостойкость культуры нута и его способность прорасти при таких температурах, нельзя не учитывать существенного увеличения продолжительности периода от посева до всходов и создания благоприятных условий для грибкового поражения семян.

Посев нута в годы исследований проводили в 2-ю и 3-ю декады апреля. Средняя декадная температура воздуха к этому времени возрастала до $9,8-12,9^{\circ}\text{C}$, что обеспечивало хорошее прогревание почвы на глубину посевного слоя, дружное проращивание семян и появление всходов. Атмосферные осадки в целом за месяц поступили в объеме 22,3 мм в 2015 году, в объеме 45,1 мм в 2016 году и 31,7 мм в 2017 году. Вкупе с имеющимися почвенными влагозапасами это обеспечило доступность почвенной влаги в довсходовый период и начальные фазы развития растений. Теплообеспеченность периода в целом за апрель оказалась выше среднего многолетнего уровня на $1,8-3,8^{\circ}\text{C}$.

Наращивание температурного режима в мае характеризовалось неспешным, плавным ходом. Так, в 2015 году первые две декады мая средняя температура воздуха находилась в пределах $13,7-13,8^{\circ}\text{C}$ и только в третьей декаде отмечено быстрое наращивание температурной напряженности до $22,0^{\circ}\text{C}$ по среднему уровню.

Таблица 2.1 - Агрометеорологическое окружение опытов

Ме- сяц	Пери- од	Агрегати- рование данных	2015 год			2016 год			2017 год		
			Темпе- ратура воздуха, °С	Относи- тельная влаж- ность, %	Осадки, мм.	Темпе- ратура воздуха, °С	Относи- тельная влаж- ность, %	Осадки, мм.	Темпе- ратура воздуха, °С	Относи- тельная влаж- ность, %	Осадки, мм.
Апрель	1	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
	I де- када	Сумма	55,9	-	6,1	82,7	-	13,0	84,5	-	8,7
		Среднее	5,6	63,0	-	8,3	60,3	-	8,5	63,8	-
		Сумма	98,4	-	5,6	129,2	-	9,3	100,8	-	7,6
	II де- када	Среднее	9,8	58,4	-	12,9	62,5	-	10,1	65,2	-
		Сумма	123,9	-	10,6	127,1	-	22,8	101,1	-	15,4
	III де- када	Среднее	12,4	50,7	-	12,7	67,9	-	10,1	59,1	-
		Сумма	278,2	-	22,3	339,0	-	45,1	286,4	-	31,7
	За ме- сяц	Среднее	9,3	57,4	-	11,3	63,5	-	9,5	62,7	-
		Среднемесячное	7,5	55,0	25,0	7,5	55,0	25,0	7,5	55,0	25,0
Май	Отклонение	Сумма	1,8	2,4	-2,7	3,8	8,5	20,1	2,0	7,7	6,7
		Среднее	137,9	-	34,4	145,0	-	9,3	169,3	-	17,6
	I де- када	Сумма	13,8	76,4	-	14,5	59,2	-	16,9	49,5	-
		Среднее	136,6	-	15,5	149,8	-	28,1	126,6	-	35,1
	II де- када	Среднее	13,7	60,7	-	15,0	78,4	-	12,7	72,2	-
		Сумма	220,2	-	7,4	194,6	-	25,1	156,0	-	9,5
	III де- када	Среднее	22,0	37,5	-	19,5	69,7	-	15,6	56,5	-
		Сумма	494,7	-	57,3	489,4	-	62,5	451,9	-	62,2
	За ме- сяц	Среднее	16,5	58,2	-	16,3	69,1	-	15,1	59,4	-
		Среднемесячное	16,5	53,0	30,0	16,5	53,0	30,0	16,5	53,0	30,0
Отклонение	Сумма	0,0	5,2	27,3	-0,2	16,1	32,5	-1,4	6,4	32,2	
	Среднее	0,0	5,2	27,3	-0,2	16,1	32,5	-1,4	6,4	32,2	

Продолжение таблицы 2.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Июнь	I де-када	Сумма	208,0	-	8,6	155,4	-	9,1	180,7	-	18,0
		Среднее	20,8	46,0	-	15,5	60,7	-	18,1	52,2	-
	II де-када	Сумма	256,0	-	0,0	237,4	-	1,4	193,5	-	30,2
		Среднее	25,6	27,9	-	23,7	50,1	-	19,4	62,0	-
	III де-када	Сумма	254,4	-	22,0	254,8	-	0,0	233,2	-	12,6
		Среднее	25,4	52,3	-	25,5	50,9	-	23,3	50,7	-
	За ме-сяц	Сумма	718,4	-	30,6	647,6	-	10,5	607,4	-	60,8
		Среднее	23,9	42,1	-	21,6	53,9	-	20,2	55,0	-
		Среднемесяч-	20,5	50,0	40,0	20,5	50,0	40,0	20,5	50,0	40,0
		Отклонение	3,4	-7,9	-9,4	1,1	3,9	-29,5	15,9	225,7	5,0
Июль	I де-када	Сумма	249,7	-	2,8	229,3	-	48,1	22,6	46,3	-
		Среднее	25,0	39,1	-	22,9	48,1	-	22,6	46,3	-
	II де-када	Сумма	207,5	-	14,5	284,0	-	5,5	252,8	-	0,0
		Среднее	20,8	49,7	-	28,4	38,4	-	25,3	42,1	-
	III де-када	Сумма	260,4	-	0,0	222,4	-	23,6	265,4	-	12,6
		Среднее	26,0	34,7	-	22,2	66,2	-	26,5	42,3	-
	За ме-сяц	Сумма	717,6	-	17,3	735,7	-	45,0	743,9	-	20,4
		Среднее	23,9	41,2	-	24,5	50,9	-	24,8	43,6	-
		Среднемесяч-	23,5	53,0	35,0	23,5	53,0	35,0	23,5	53,0	35,0
		Отклонение	0,4	-11,8	-17,7	1,0	-2,1	10,0	1,3	-9,4	-14,6

В 2016 году отмечено постепенное нарастание температуры с $14,5^{\circ}\text{C}$ в 1-й декаде мая до $15,0^{\circ}\text{C}$ во второй декаде и $19,5^{\circ}\text{C}$, - в третьей декаде мая. В 2017 году самой теплой оказалась 1-я декада мая, средняя температура воздуха в которую составила $16,9^{\circ}\text{C}$. Вторая декада мая в 2017 году отметилась существенным снижением температуры воздуха, среднее декадное значение которой составило $12,7^{\circ}\text{C}$. Средняя декадная температура воздуха в третью декаду мая составила $15,1^{\circ}\text{C}$.

Если теплообеспеченность мая оказалась ниже климатической нормы, то по атмосферным осадкам во все годы исследований отмечено почти двукратное превышение среднемноголетнего уровня. Однако если в 2015 и 2017 годах основной объем осадков поступил в первые две декады мая, то в 2016 году наиболее обильные осадки отмечались во вторую и третью декаду мая. Дождливая погода в 2016 году перекрыла фазу бутонизации и цветения нута, что негативно отразилось на озерненности бобов и формировании урожая.

Июнь 2015 года характеризовался высокой теплообеспеченностью, средняя месячная температура воздуха на $3,4^{\circ}\text{C}$ превысила среднемноголетний уровень. Особенно высокой температурной напряженностью характеризовались вторая и третья декады июня, средняя декадная температура которых достигала $25,4-25,6^{\circ}\text{C}$. Атмосферных осадков в июне 2015 года, напротив, выпало меньше среднемноголетнего уровня на $9,4$ мм.

Теплообеспеченность июня в 2016 году была близка к среднемноголетнему уровню. Однако, внутримесячная вариабельность температур воздуха была аномально высока. Например, средняя декадная температура воздуха первой декады июня не превышала $15,5^{\circ}\text{C}$, а последней, - достигала $25,5^{\circ}\text{C}$. Другой особенностью стала засушливость периода. Несмотря на общую, достаточно высокую обеспеченность осадками вегетационного периода нута в 2016 году, за весь июнь выпало $10,5$ мм осадков, что на $29,5$ мм меньше климатической нормы.

Средняя месячная температура воздуха в июне 2017 году составила $20,5^{\circ}\text{C}$, что на $0,3^{\circ}\text{C}$ меньше среднемноголетнего уровня. Самой теплой, $23,3^{\circ}\text{C}$, оказалась третья декада июня. Осадков в июне 2017 года выпало на $20,8$ мм больше

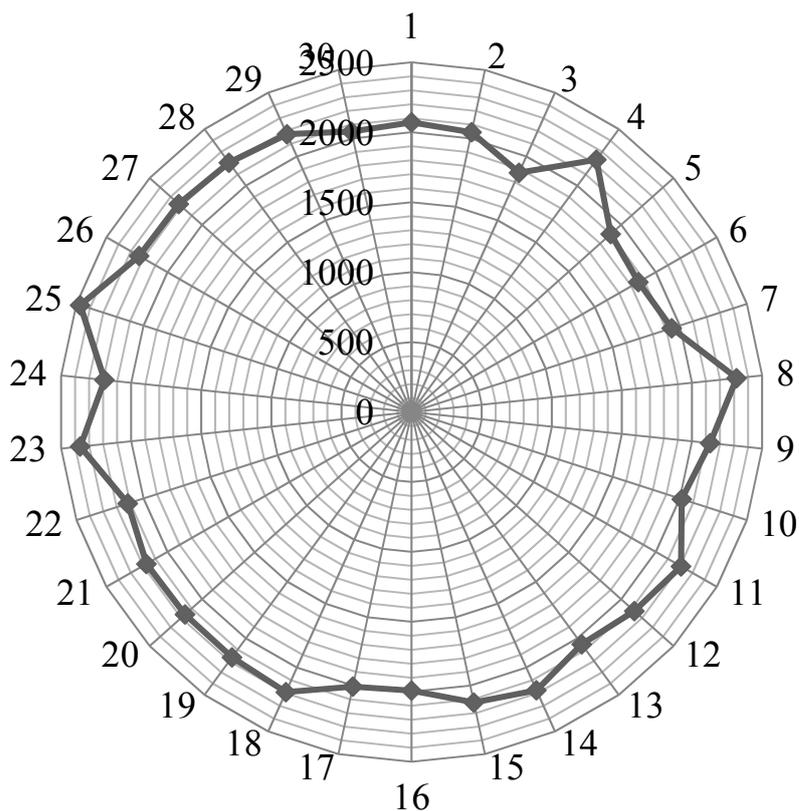
климатической нормы. Основные дожди пришлись на фазу роста и налива бобов, что благоприятно отразилось на формировании урожая.

Средняя месячная теплообеспеченность июля во все годы исследований была близка к среднемноголетнему уровню. Наряду с этим, исследованиями отмечена высокая температурная напряженность последней декады июля в 2015 и 2016 годах. Средняя декадная температура воздуха в эти периоды достигала 26,0-26,5 °С. В целом, посевы нута к этому времени вступали в фазу созревания и такие погодные условия способствовали повышению качества урожая.

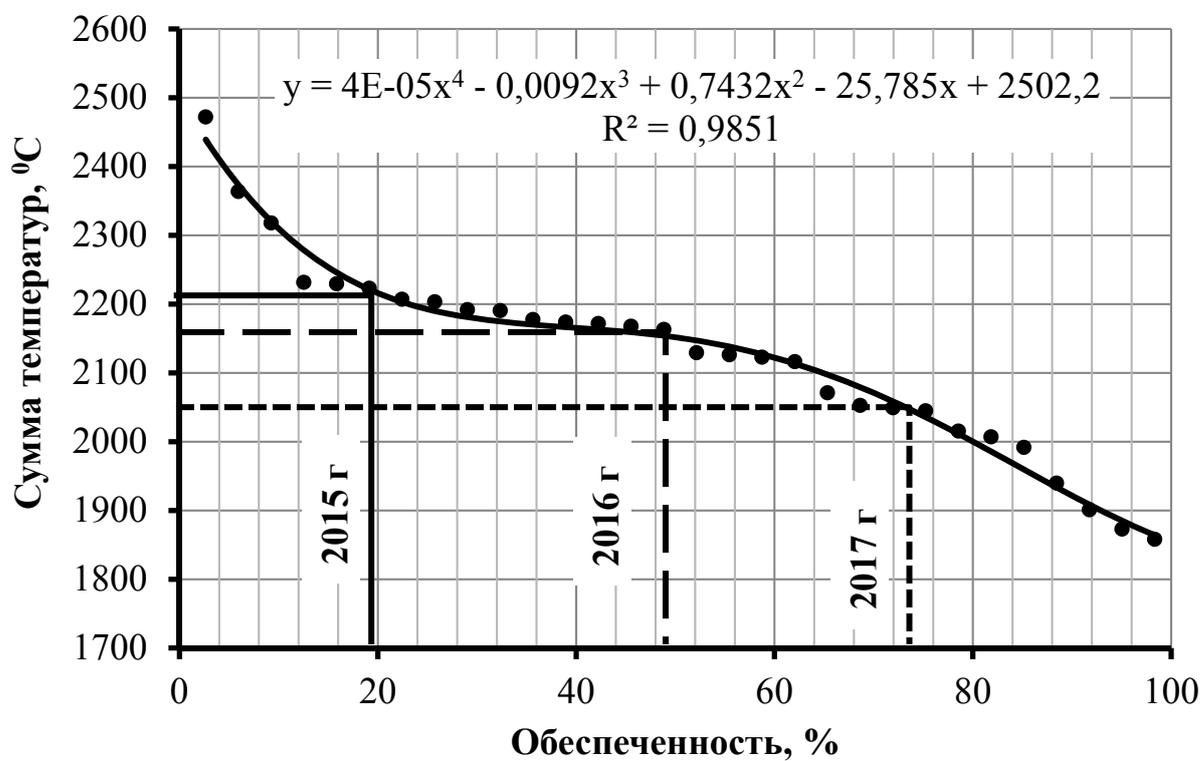
За период с 11 апреля по 31 июля в годы проведения исследований обеспечивалось накопление 2049-2203 °С среднесуточных температур воздуха и поступление 105-166 мм атмосферных осадков. На рисунках 2.3-2.4 приведены результаты статистического анализа обеспеченности поступления тепла и осадков за указанный период. Анализ проводился с использованием многолетней базы метеорологических данных. Непрерывный ряд метеорологических показателей для рассматриваемой территории составил 30 лет (с 1988 по 2017 годы включительно).

Анализ обеспеченности поступления метеоресурсов в климатическом разрезе показал широкий охват погодных ситуаций за период проведения эксперимента. В частности, накопление фактической суммы среднесуточных температур воздуха в 2015 году, которое составило 2203 °С в климатическом разрезе региона обеспечивается не более, чем в 20 случаях из 100. В 2016 году за рассматриваемый период накапливалось 2173 °С среднесуточных температур воздуха, что практически соответствовало среднемноголетнему уровню. Вегетационный период 2017 году оказался прохладнее среднемноголетнего уровня, обеспеченность поступления тепла в таком объеме в регионе составляет 73 %.

Поступление атмосферных осадков в регионе является намного более переменчивым показателем, чем теплообеспеченность. Это убедительно подтверждается данными многолетних диаграмм изменчивости показателей, приведенных на рисунках. Обеспеченность поступления атмосферных осадков в объеме 105 мм, что фактически наблюдалось в 2015 году, составляет 61 %. Это характеризует год как среднезасушливый относительно региональной климатической нормы.

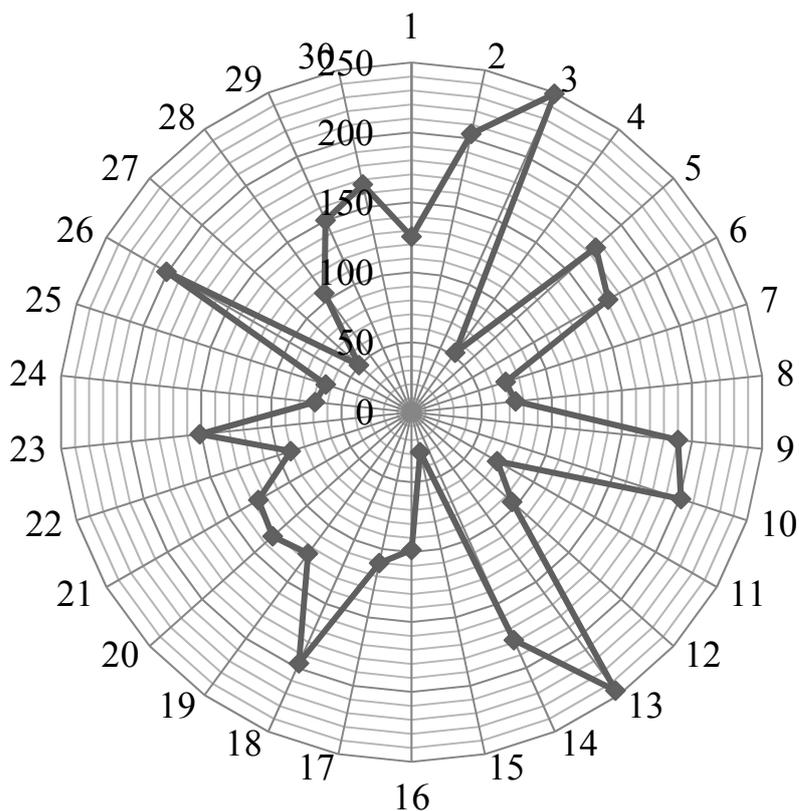


а)

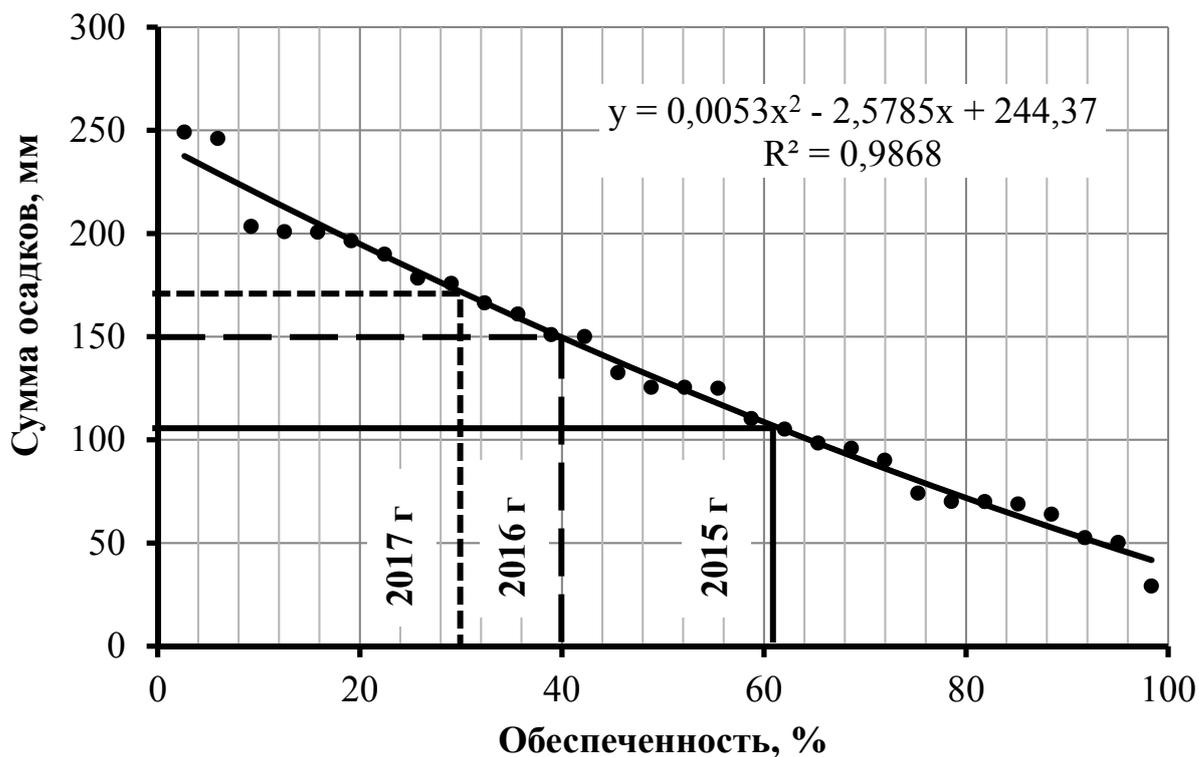


б)

Рисунок 2.3 - График обеспеченности накопления среднесуточных температур воздуха в регионе: а) многолетняя диаграмма варибельности показателя (1988-2017 гг), б) кривая обеспеченности



a)



б)

Рисунок 2.4 - График обеспеченности поступления атмосферных осадков в регионе: а) многолетняя диаграмма variability показателя (1988-2017 гг), б) кривая обеспеченности

В тоже время в 2016 и 2017 годах атмосферных осадков поступило существенно больше климатической нормы: обеспеченность, соответственно, составила 40 и 30 %. Вегетационный период нута в эти годы относительно климатической нормы региона характеризуется как средневлажный и влажный.

Таким образом, погодные условия в годы проведения исследований складывались неодинаково, различаясь и динамикой поступления метеоресурсов и суммарной их обеспеченностью за вегетационный период нута. Это позволило апробировать эффективность предлагаемых агроприемов в самом широком диапазоне агрометеорологических условий.

1.2.2 Почвенные условия опытного участка

Географическое местоположение опытного участка определяется Приволжской возвышенностью в административных пределах Волгоградской области и междуречьем Иловли и Медведицы. Формирование рельефа возвышенности происходило под воздействием интенсивного проявления новейших тектонических поднятий и эрозионных процессов [34]. Этот район раньше других начал развиваться в континентальных условиях и постоянно разрушался процессами денудации. Район расчленен многочисленными оврагами, балками и небольшими речками, впадающими в Медведицу и Иловлю. Балки имеют глубины врезов до 80-100 м, однако склоны их, как правило, задернованные, хотя и довольно крутые. Наличие обширных и плоских водораздельных пространств и широких балок с задернованными склонами способствует сохранению почв и благоприятствует сельскохозяйственному освоению территории.

Почвы опытного участка каштановые, среднесуглинистого гранулометрического состава (таблица 2.2, рисунок 2.5). Содержание физической глины (сумма фракций менее 0,01 мм) изменяется от 42,7-43,3 % (средний суглинок) в пахотном и ближайшем подпахотном горизонте до 40,7 % на глубине свыше 1,0 м. Среди физического песка (частицы размером более 0,01 мм) преобладали фракции 0,05-0,01 мм и 0,25-0,05 мм.

Таблица 2.2 - Гранулометрический состав почвы опытного участка

Горизонт почвы, м	Содержание частиц размером, мм						Сумма фракций менее 0,01 мм	Классификация
	1,0-0,25	0,25-0,05	0,05-0,01	0,01-0,005	0,005-0,001	менее 0,001		
0,0-0,2	2,5	17,7	37,1	12,6	8,2	21,9	42,7	Средний суглинок
0,2-0,4	2,1	18,4	36,2	9,2	9,2	24,9	43,3	Средний суглинок
0,4-0,6	1,8	19,2	35,2	10,3	9,6	23,9	43,8	Средний суглинок
0,6-0,8	2,0	20,1	34,9	9,8	9,1	24,1	43,0	Средний суглинок
0,8-1,0	1,9	21,3	35,7	9,3	8,8	23,0	41,1	Средний суглинок
1,0-1,2	2,1	21	36,2	8,7	8,6	23,4	40,7	Средний суглинок

Причем доля первых в составе дисперсной среды почвы достигает 34,9-37,1 %, а вторых, - составляет 18,4-21,3 %. Содержание крупных песчинок, размером до 1,0 мм в почвенном покрове опытного участка минимально и не превышает 1,8-2,5 %.

Среди физической глины (частицы размером менее 0,01 мм) основную долю занимали иловатые частицы, с размером менее 0,001 мм. Содержание частиц этой фракции в опытных образцах почвенного покрова участка достигало 21,9-24,9 %, тогда как более крупные фракции, 0,005-0,001 и 0,01-0,005 мм, были представлены практически в равной степени, по 8,2-12,6 %.

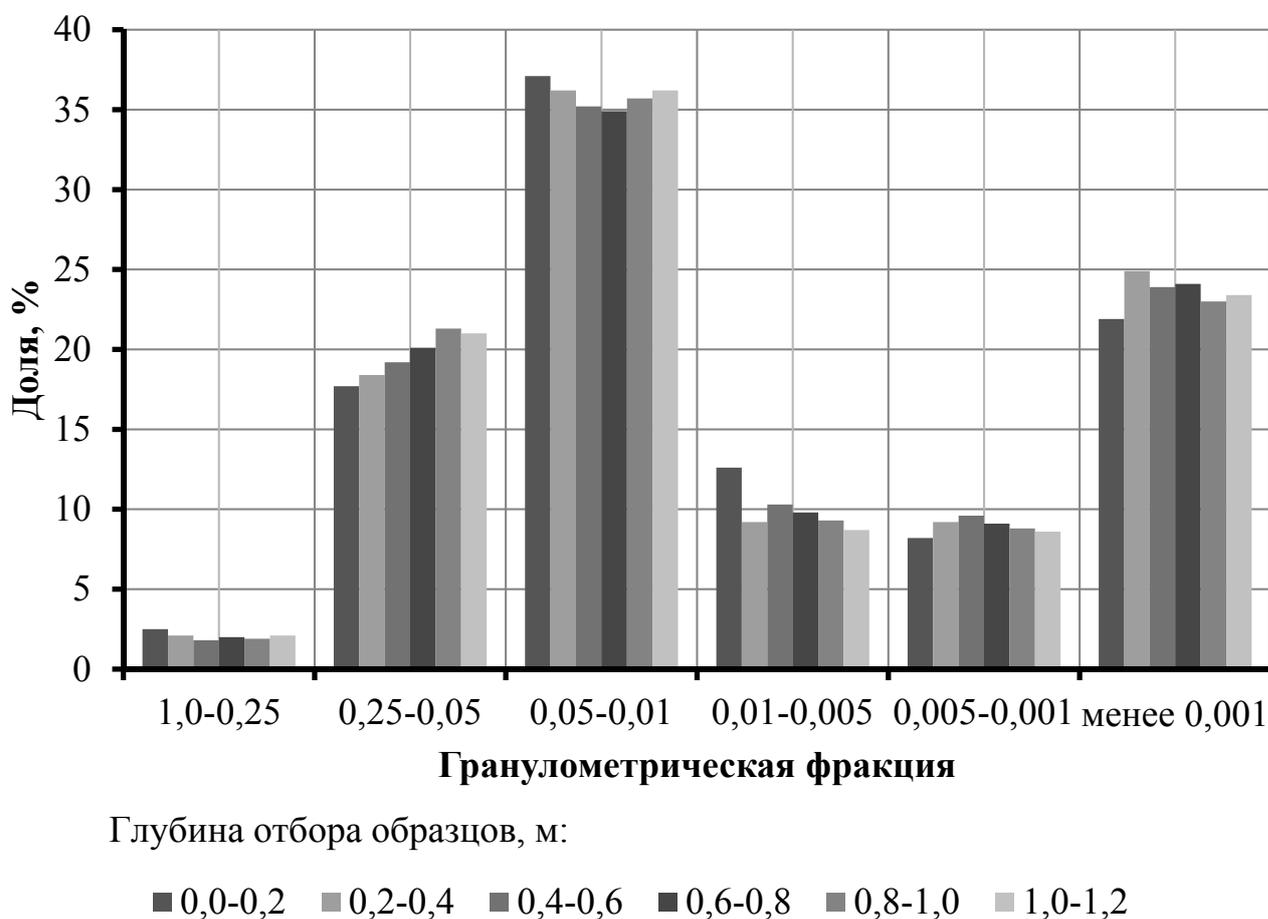


Рисунок 2.5 - Диаграмма распределения гранулометрических фракций в составе почвенного покрова опытного участка

Содержание гумуса в почвенном покрове опытного участка составляет 1,91-2,45 %, в подпахотных слоях снижается до 1,23 % и далее, до 0,17 % на глубине свыше 0,6 м (таблица 2.3). Почвенная среды в пахотном слое слабокислая, pH =

6,1-6,7, с увеличением глубины почвенных горизонтов выравнивается до нейтральной (рН= 7,1-7,2).

Таблица 2.3 - Основные агрохимические характеристики почвы

Горизонт почвы, м	рН водной вытяжки	Гумус, %	Емкость поглощения, мг экв./100 г	Содержание		
				Азота легкогидролизуемого, мг/кг	Фосфора подвижного, мг/кг	Калия обменного, мг/кг
0-0,1	6,1	2,45	23,4	35,7	22,4	194
0,1-0,2	6,7	2,24	22,5	34,9	21,7	187
0,2-0,3	7,1	1,91	21,8	29,2	21,7	131
0,3-0,4	7,2	1,23	21,0	19,2	18,5	107
0,4-0,6	7,2	0,55	19,4	15,4	16,2	84
0,5-0,8	7,2	0,17	19,2	11,3	12,2	77

Емкость поглощения почвы в пределах пахотного слоя составляет 21,8-23,4 мг экв./100 г, со снижением в подпахотных горизонтах до 19,2-21,0 %. Легкогидролизуемого азота в почве содержится 29,2-35,7 мг/кг к сухой массе, в подпахотных слоях его концентрация снижается до 11,3-19,2 мг/кг. Содержание подвижного фосфора в почвенном покрове опытного участка низкое, не превышает 21,7-22,4 мг/га почвы. Содержание калия в пахотном слое колеблется от 131 до 194 мг/кг. Содержание всех элементов минерального почвенного питания недостаточно для формирования высоких планируемых урожаев нута, однако позволяет уверенно возмещать потребности растений в начальные фазы развития.

Водно-физические свойства почвы опытного участка определялись по стерне предшественника, что, в том числе, позволяло обоснованно подойти к выбору опытного участка на следующий исследовательский год. Из всей совокупности показателей определяли плотность сложения, плотность твердой фазы, общую пористость (скважность), наименьшую влагоемкость и общий уровень максимальной гигроскопичности (таблица 2.4). Последнее использовалось для расчета влажности устойчивого завядания растений.

Лабораторные исследования показали достаточно высокую плотность сложения почвы, формирующуюся к исходу производственного сезона. В пахотном

слое плотность сложения почвы изменялась от 1,25 до 1,29 т/м³. Однако уже в ближайших подпахотных горизонта плотность сложения почвы возрастала до 1,30-1,35 т/м³. Такая плотность почвы негативно отражается на развитии и функционировании корневой системы большинства сельскохозяйственных культур. Для бобовых, к которым относится и нут, это еще более депрессивный фактор, так как ингибируется развитие азотофиксирующего симбиоза.

Таблица 2.4 – Водно-физические свойства почвы на опытном участке (стерня предшественника, среднее за 2015-2017 гг)

Слой почвы, м	Плотность сложения, т/м ³	Плотность твердой фазы, т/м ³	Скважность, %	Наименьшая влагоемкость, % от массы сухой почвы	Максимальная гигроскопичность, %	Влажность устойчивого завядания растений, %
0-0,1	1,25	2,49	49,8	26,9	10,1	15,2
0,1-0,2	1,25	2,49	49,8	27,2	10,1	15,2
0,2-0,3	1,29	2,54	49,2	25,7	9,5	14,3
0,3-0,4	1,30	2,56	49,2	25,5	9,5	14,3
0,4-0,5	1,33	2,56	48,0	24,7	9,3	14,0
0,5-0,6	1,35	2,58	47,7	24,3	9,1	13,7
0,6-0,7	1,35	2,58	47,7	24,2	8,9	13,4
0,7-0,8	1,36	2,58	47,3	23,8	8,9	13,4
0,8-0,9	1,35	2,57	47,5	23,7	8,8	13,2
0,9-1,0	1,37	2,58	46,9	23,3	8,7	13,1
1,0-1,1	1,38	2,58	46,5	22,8	8,5	12,8
1,1-1,2	1,37	2,57	46,7	22,6	8,4	12,6
0-0,2	1,25	2,49	49,8	27,1	10,1	15,2
0-0,4	1,27	2,52	49,5	26,3	9,8	14,8
0-1,2	1,33	2,56	48,0	24,6	9,2	13,8

Плотность твердой фазы характерна для почвенного покрова региона и изменяется от 2,49 до 2,58 т/м³. Меньшие значения относятся к верхним, гумусовым горизонтам почвы, большие – к минеральным подстилающим породам.

Наименьшая влагоемкость почвы для пахотного слоя составил 25,7-26,9 %, тогда как в подпахотных горизонтах наблюдалось снижение водоудерживающей

способности почвы до 22,6-25,5 % от массы сухой почвы. Это хорошие показатели для каштановых почв, однако следует учитывать, что значительная часть почвенной влаги недоступна растениям. Максимальная гигроскопичность почвы по горизонтам изменялась от 8,4 до 10,1 %, а влажность устойчивого завядания растений, - от 12,6 до 15,2 % к весу сухой почвы.

В целом, по совокупности агрофизических и агрохимических характеристик почвенного покрова, почвы опытного участка типичны для региона исследований.

1.3 Особенности агротехники нута в опытах

Опытные посевы кукурузы во все годы исследований размещали после озимой пшеницы. При возделывании использовали перспективный гибрид Приво 1. Это районированный гибрид, характеризующийся дружным цветением и созреванием, высокой продуктивностью и хорошей устойчивостью к неблагоприятным факторам внешней среды. Сорт выведен в Волгоградском филиале ВНИИ селекции и семеноводства сорговых культур, то есть в природных условиях региона исследований и без адаптации может использоваться в производственной деятельности. Отличается исключительно высоким качеством семян, кулинарная оценка составляет 5 баллов. Содержание протеина в семенах достигает 21,8-26,0%. Сорт устойчив к гороховой зерновке и аскохитозу, приспособлен к возделыванию в условиях засухи, однако хорошо отзывается на улучшение условий водного питания растений.

Система обработки почвы различалась по вариантам опыта и разрабатывалась в соответствии с программой проведения полевых исследований. На всех вариантах опыта обработку почвы начинали сразу после уборки предшественника со сплошного лущения на глубину 0,06-0,08 м дисковыми орудиями ЛДГ-15Б в агрегате с трактором МТЗ 1523. Следующей операцией на участках варианта А1 с типизированной, зональной системой обработки почвы, являлась зяблевая вспашка, которую на опытном поле осуществляли отвальным трехкорпусным плугом с культурной поверхностью корпуса ПЛН-3-35П, агрегатируемым с любым тракто-

ром класса тяги 3,0. На участках варианта А2 с предлагаемой под нут системой обработки почвы вместо вспашки проводили дискование. Для выполнения этой операции на опытном поле использовали двухрядный дискатор БДМ 4×2, который также агрегатировали с трактором МТЗ 1523. При назначении сроков обработки ориентировались на появление массовых всходов сорной растительности. Для гарантированного уничтожения сорняков и разработки верхнего плодородного слоя почвы обработку проводили на глубину 0,17 м. Следующая технологическая операция, проводимая под зябь на участках варианта А2 с предлагаемой системой обработки почвы, заключалась в полосном глубоком рыхлении почвы на глубину 0,4 м. Обработка проводилась серийным глубокорыхлителем КРЕТ В5 в агрегате с трактором МТЗ 1523. Осевое расстояние между полосами глубокого рыхления выбиралось, в соответствии с программой эксперимента, равным 0,45 м (для варианта В1), 0,75 м (для варианта В2), 0,90 м (для варианта В3), 1,05 м (для варианта В4). Установка заданного межосевого расстояния на глубокорыхлителе проводилась путем перемещения рабочих органов по раме, а также демонтажом ряда серийно-устанавливаемых зубьев. Агрегат позволяет рыхлить почву на глубину до 0,5 м с формированием зоны рыхления на поверхности до 0,6 м в поперечном сечении.

В весенний период обработку почвы на всех вариантах опыта начинали с покровного боронования средними скоростными зубовыми боронами БЗСС-1,0 в агрегате со сцепкой и трактором МТЗ 1523. На участках варианта А1 с реализуемой зональной системой подготовки почвы непосредственно перед посевом проводили сплошную культивацию на глубину заделки семян нута. Операцию осуществляли агрегатом из двух культиваторов КПС-4, сцепки и трактора МТЗ 1523. На участках варианта А2, где апробировали предлагаемую систему подготовки почвы под нут, предпосевная обработка почвы заключалась в полосном фрезеровании непосредственно в зоне глубокого рыхления почвы. Операцию проводили агрегатом из легкой тракторной фрезы ФЛ-100 и трактора МТЗ 572.

Посев проводили во второй-третьей декаде апреля, когда почва прогревалась выше 10 °С в минимальном среднесуточном ходе. Способ посева регламентирован

вался условиями проведения эксперимента: в зависимости от закладываемого варианта нут высевали либо широкорядным способом через 0,45 м, либо ленточными по схеме 0,30×0,45 м, 0,30×0,60 м и 0,30×0,75 м. Норма высева определялась в зависимости от способа посева в соответствии с действующими рекомендациями. При посеве нута широкорядным способом через 0,45 м (контроль по фактору В) норма высева составила 450 тыс. сем./га. В рядке при этом семена размещали через 5 см. С переходом на другие способы посева закладываемое расстояние между смежными растениями нута сохраняли. При посеве ленточным способом по схеме 0,30×0,45 м норма высева составила 530 тыс. сем./га, по схеме 0,30×0,60 м, - 450 тыс. сем./га, по схеме 0,30×0,75 м, - 370 тыс. сем./га.

Учитывая способность нута создавать активный азотофиксирующий симбиоз, посевной материал непосредственно перед проведением посевной компании обрабатывали нитрагином (штамм 522). В опытах использовали минеральные удобрения, которые вносили дозой $N_{20}P_{55}K_{40}$. Доза внесения минеральных удобрений была определена балансовым методом по планируемому уровню урожайности 2,0 т/га. При определении дозы внесения минерального азота учитывали возможности возмещения дефицита питания по этому элементу за счет азотофиксирующей активности клубеньковых бактерий.

Для защиты посевов от сорняков во все годы исследований применяли баковую смесь гербицидов Пивот, ВК (100 г/л) и Прометрин, СК (500 г/л). Дозы указанных гербицидов в указанной смеси устанавливали половинные, – по Пивоту, - 0,4 л/га, а по Прометрину, - 1,5 л/га. Баковую смесь готовили из расчета расхода рабочей жидкости в норме 250 л/га.

Распространения вредителей и болезней в посевах нута в годы проведения исследований не наблюдалось. Однако для профилактики посевы обрабатывали фунгицидом Альто Супер, КЭ, нормой 0,5 л/га.

Уборку нута начинали в фазу побурения бобов. Перед уборкой посевы обрабатывали десикантом Руандап Экстра нормой 3л/га.

2.4 Методики исследований

Для всестороннего анализа влияния изучаемых агроприемов на агроэкологические условия выращивания и продукционный процесс нута в рамках программы проведения полевого эксперименты выполняли следующие исследования и наблюдения.

1. Осуществляли наблюдения за метеорологическими условиями [70, 88, 111, 138]. Учет основных, агрономически важных показателей и их динамику в течение вегетационного периода нута проводили непосредственно на опытном поле. Учет объема и характера поступления атмосферных осадков проводили с использованием специального оборудования, - дождемеров модели М-99. Контроль температурного режима и относительной влажности воздуха осуществляли на основе показаний малогабаритной мобильной метеостанции, укомплектованной соответствующими датчиками. Для всестороннего анализа агрометеорологического окружения полевых исследований и сопоставления с климатическими данными использовали многолетние материалы гидрометеорологических наблюдений по г. Камышин. Анализ метеоданных проводили общепринятыми методами климатической статистики [86].

2. Систематически определяли почвенные характеристики опытного участка. Для оценки почвенных условий использовали как смешанные пробы, так и дифференцированные для изучаемых вариантов опыта [37, 68, 69, 118, 122, 123].

Для оценки почвенных условий в части определения водно-физических свойств и гранулометрического состава опытного участка пробы отбирали до глубины 1,2 м послойно, через 0,1 м. Общее число закладываемых шурфов составило 20, – по 5-ти исследованиям в четырех повторностях. Дополнительно, для определения динамики агрофизических свойств почвы, отбор проб проводили на дату посева нута, в третьей декаде мая и первой декаде июля. Почву отбирали дифференцированно, для вариантов с различными способами обработки. Производилась закладка по одному шурфу в каждой из четырех повторностей.

Определение плотности сложения почвы проводили методом цилиндров [118]: проведение отбора почвенных проб в ненарушенном состоянии с заранее известным объемом. Почва после отбора проб распределялась по бьюксам. Высушивалась до воздушно-сухого состояния и взвешивалась. Плотность сложения почвы по полученным данным определялась по известной зависимости:

$$\rho = \frac{M}{V},$$

где ρ – плотность сложения почвы, т/м³; M – масса почвенного образца, извлеченного из цилиндра и доведенная до воздушно-сухого состояния, т; V – объем цилиндра, м³.

Для определения плотности фазы массу почвенного образца относили к объему V_1 , который в совокупности занимает твердая фаза почвы [37, 118]:

$$\rho_{т.ф.} = \frac{P}{V_1},$$

где $\rho_{т.ф.}$ - плотность твердой фазы почвы, т/м³. При этом объем V_1 определяли по добавочному объему водной дисперсии из смеси дистиллированной воды с добавлением почвенной навески.

Сквашность почвы определяли расчетным путем с использованием полученных данных по плотности сложения и плотности твердой фазы почвы [123]:

$$V_{скв.} = \frac{\rho_{т.ф.} - \rho}{\rho_{т.ф.}} \cdot 100,$$

где $V_{скв.}$ - пористость почвы, %.

Анализ гранулометрического состава почвы проводили с использованием сит, а также по методике Стокса. На сите отсевали фракцию почвы крупнее 0,25 мм. Разделение частиц менее 0,25 мм проводили по скорости осаждения в водной среде с использованием известной зависимости Стокса.

Наименьшую влагоемкость определяли в совокупности, для опытного участка, а также для вариантов с разными способами обработки почвы в отдельности. Оценку наименьшей влагоемкости проводили методом заливаемых площадок [118].

Для оценки максимальной гигроскопичности почвы использовали почвенные образцы, дифференцированно, для исследуемых слоев с 0 до 1,2 [118].

Для агрохимического анализа почвенного покрова на опытном участке использовали образцы, собранные послойно, через 0,1 м до глубины 0,4 м, и далее через 0,2 м до глубины 0,8 м. Образцы почв готовили из смешанной пробы по 5-ти скважинам в каждой из четырех повторностей [59, 98, 122].

В лабораторных условиях для определения содержания гумуса в почвенных образцах использовали известную модификацию ЦИНАО метода Тюрина [122]. Азот определяли в легкогидролизуемых формах по методике Тюрина и Кононовой. Актуальная кислотность почвы определялась потенциометрическими измерениями водной вытяжки. Фосфор и калий определяли в подвижных формах по известной методике Мачигина, усовершенствованной ЦИНАО [166].

Полученные данные использовали для определения расчетных на планируемый уровень урожайности доз минеральных удобрений и определения запасов продуктивной влаги [126, 153].

3. Проводили систематические определения влажности почвы. Для определения влажности почвы использовали хорошо зарекомендовавший себя термостатно-весовой метод [118, 126]. Отбор проб проводили послойно, до глубины 1,2 м через 0,1 м. В даты наступления основных фаз роста и развития нута влажность почвы определяли в слое 2,0 м. Эти данные использовали для составления водного баланса и определения суммарного водопотребления.

Запасы влаги в почве определяли исходя из полученных значений весовой влажности и ранее определенных агрофизических свойств [77]:

$$W = 100 \cdot \rho \cdot h \cdot \beta_T,$$

где W – суммарный запас почвенной влаги ($\text{м}^3/\text{га}$) в расчетном слое h (м), β_T – фактические значения влажности почвы в расчетном слое h , ρ – количественная оценка плотности сложения почвы в расчетном слое h , ($\text{м}^3/\text{га}$).

Запасы продуктивной влаги находили из разности запасов почвенной влаги при фактической текущей влажности и влажности устойчивого завядания растений (принимали равной полуторной максимальной гигроскопичности).

Для определения суммарного водопотребления нута использовали упрощенное уравнение водного баланса [48]. Среднесуточное водопотребление находили

из отношения суммарного водопотребления за рассматриваемый период к продолжительности этого периода в сутках [77]. Количественную оценку биоклиматических коэффициентов проводили на основании полученных данных по суммарному водопотреблению нута [106]:

$$\delta_i = \frac{E_i}{10 \sum_i t^2}$$

где δ_i – численная оценка биоклиматических коэффициентов, мм/ $^{\circ}$ С; E_i - суммарное водопотребление нута, м³/га, $\sum_i t$ - сумма температур, накопленных за тот же расчетный период, $^{\circ}$ С; i – порядковый номер межфазного периода, принятого в расчетах.

Для определения коэффициента водопотребления нута использовали расчетные значения суммарного водопотребления и фактические значения урожайности нута для каждого варианта в отдельности [77].

4. Осуществляли фенологические наблюдения [54, 79, 95, 96]. Наблюдения вели по каждому варианту опыта в отдельности. Для регистрации дат наступления очередных фенологических фаз роста и развития нута проводили систематическое обследование и учет растения с 10-ти погонных метров в каждой из четырех повторностей на каждом варианте опыта. В соответствии с требованиями общепризнанных методик дату начала фазы отмечали при вступлении в нее не менее 10 % обследованных растений. При вступлении в фазу более 75 % растений отмечали дату полного наступления фенофазы. В соответствии с биологией роста и развития нута в опытах регистрировали даты посева, всходов, ветвления растений, цветения, налива бобов и полного созревания семян.

5. Проводили биометрический контроль развития ассимиляционного аппарата нута в динамике [85, 95, 96, 120, 136]. Измерения площади листьев проводили систематически, на начало каждой фазы роста и развития нута. Площадь листового аппарата оценивали по 5-ти типичным растениям на каждой повторности варианта. Площадь листьев посева в пределах варианта принималась равной средней от определений по повторностям.

Полученные значения средних по площади листового аппарата на каждом из изучаемых вариантов опыта использовали для расчета фотосинтетического потенциала. Расчет проводили по формуле:

$$Fp = S_{\text{ср.}} \cdot Dn,$$

где Fp – количественная оценка фотосинтетический потенциал посева за расчетный период, тыс. м²дн./га, $S_{\text{ср.}}$ – среднее значение площади листьев для расчетного периода, тыс. м²/га, Dn – число дней в расчетном периоде, дн.

Значения $S_{\text{ср.}}$ определяли из известного соотношения:

$$S_{\text{ср.}} = \frac{S_1 + S_2}{2},$$

где S_1 – измеренное среднее по площади листьев на начало расчетного периода, тыс. м²/га, S_2 – на конец расчетного периода, тыс. м²/га.

6. Осуществляли контроль накопления биомассы посева нута на опытных делянках. Биомассу посева определяли в сухом веществе [95]. Исследования проводили путем прямого взвешивания 5-ти модельных растений в воздушно-сухом состоянии. Для взвешивания использовали электронные весы с предельной допускаемой погрешностью не более $1,0 \times 10^{-4}$ г. Высушивание модельных растений проводилось естественным путем без доступа прямого солнечного освещения. Высушивание образцов проводилось в хорошо проветриваемом помещении оборудованном системой искусственной циркуляции воздуха.

Учет сухой биомассы нута проводили в основные, регистрируемые фазы роста и развития растений. Среднесуточные приросты сухого вещества в посевах находили отношением накопленной за период биомассы в продолжительности этого периода.

Принимая во внимание, что основную долю (до 98-99 %) в составе сухого вещества нута занимает органическое вещество, определяемые в ходе опытов значения использовали для расчета чистой продуктивности фотосинтеза [102]:

$$P_F = \frac{M_2 - M_1}{Fp},$$

где P_F – количественная оценка чистой продуктивности фотосинтеза нута за расчетный период, г/м² в сут., M_2 – сухая биомасса посева на конец выбранного

расчетного периода, M_1 – сухая биомасса посева на начало выбранного расчетного периода, Fp – фотосинтетический потенциал, накопленный посевами нута за расчетный период, тыс. м² дн./га.

7. Урожайность зерна нута определяли в фазу полного созревания семян путем прямого комбайнирования на каждом из исследуемых вариантов опыта [54, 79, 95]. Бункерные пробы впоследствии доводили до стандартной чистоты и пересчитывали на влажность 14 %.

Непосредственно перед уборкой урожая оценивали элементы структуры продуктивности посевов. Учитывали плотность размещения растений в посевах на момент уборки, среднее число бобов на растении, озерненность боба, средний выход зерен с растения и вес тысячи зерен. Исследования проводили общепринятыми методами [72, 95, 96].

8. Математическую обработку опытных данных проводили методами дисперсионного, корреляционного и регрессионного анализа [38, 54, 152].

9. Анализ экономической эффективности предлагаемых агроприемов возделывания проводили по интегральным показателям, таким как чистый доход и рентабельность производства [36, 75, 104]. При этом особое внимание было уделено и анализу расходной части и затратности производства нута в зависимости от сочетания используемых агроприемов.

3. ВОДНЫЙ РЕЖИМ И ФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПОЧВЫ ПРИ РАЗНЫХ СПОСОБАХ ОБРАБОТКИ

3.1 Динамика водно-физических характеристик почвы в зависимости от способа обработки в посевах нута

Анализ агрофизических и водно-физических особенностей почв темно-каштановой зоны сухих степей Нижнего Поволжья с использованием опубликованных региональных данных [34, 51, 103] и результатов собственных исследований [25, 27, 129] показал относительно высокие значения равновесной плотности сложения. Возможность уплотнения почвы в естественных условиях до 1,33-1,38 т/м³ создает неблагоприятные условия для произрастания большинства культурных видов растений. Обработка почвы в этих условиях является необходимой операцией эффективного сельскохозяйственного производства. Однако и при обработке почвы, если рассматривать в динамике ее водно-физические характеристики, условия не всегда благоприятны для культурных видов растений.

Нут относится к группе культур, предъявляющих высокие требования к агрофизическим характеристикам почвы в зоне произрастания. При сравнительно высокой засухоустойчивости и выживаемости растений, для формирования высокопродуктивных посевов нута требуется хорошая аэрация в зоне размещения корневой системы и развития азотофиксирующего симбиоза. При этом важно учитывать, что в засушливых условиях Нижневолжского региона без орошения верхние слои почвы быстро теряют запасы доступной влаги и относительно благоприятные условия водного питания смещаются в более глубокие горизонты. В этом смысле важно обеспечить оптимальную структуру и физические свойства почвы именно в этих слоях.

Опыты показали, что по совокупности водно-физических свойств почвенный покров поля при отвальной вспашке и полосовом глубоком рыхлении существенно различается (таблица 3.1-3.3, рисунок 3.1-3.3).

Полученные данные подтвердили, что плотность сложения почвы уже в ближайших, подпахотных горизонтах достигает 1,29-1,32 т/м³. Развитие корневой системы нута при такой плотности сложения почвы тормозится, а образования азотфиксирующего симбиоза практически не происходит. В более глубоких слоях плотность сложения почвы со снижением общего содержания органического вещества возрастал до 1,35-1,38 т/м³. Средняя плотность сложения пахотного слоя почвы на дату посева нута при обычной, отвальной основной обработке почвы составляла 1,21 т/м³, в слое 0-0,4 м – 1,24 т/м³, а в слое 0-1,2 м – 1,32 т/м³.

Таблица 3.1 - Водно-физические свойства почвы при разных способах обработки (на дату посева нута, среднее за 2015-2017 гг.)

Слой почвы, м	Плотность сложения	Скважность, %	Наименьшая влагоемкость, %	Плотность сложения	Скважность, %	Наименьшая влагоемкость, %
0-0,1	1,21	51,4	27,6	1,20	51,8	27,6
0,1-0,2	1,20	51,8	27,7	1,20	51,8	27,6
0,2-0,3	1,27	50,0	26,1	1,23	51,6	26,9
0,3-0,4	1,29	49,6	25,7	1,24	51,6	26,6
0,4-0,5	1,32	48,4	24,7	1,31	48,8	24,9
0,5-0,6	1,35	47,7	24,3	1,34	48,1	24,3
0,6-0,7	1,36	47,3	24,2	1,36	47,3	24,0
0,7-0,8	1,36	47,3	23,8	1,36	47,3	23,8
0,8-0,9	1,37	46,7	23,7	1,37	46,7	23,7
0,9-1,0	1,37	46,9	23,5	1,37	46,9	23,5
1,0-1,1	1,38	46,5	22,9	1,37	46,9	22,9
1,1-1,2	1,37	46,7	22,8	1,38	46,3	22,8
0-0,2	1,21	51,6	27,7	1,20	51,8	27,6
0-0,4	1,24	50,7	26,8	1,22	51,7	27,2
0-1,2	1,32	48,4	24,8	1,31	48,8	24,9

Проведение полосной обработки почвы на глубину 0,4 м позволило создать к началу посева нута благоприятные почвенные условия и в подпахотных горизонтах. Если на глубине до 0,2 м плотность сложения почвы при обычной пахоте и проведении полосного глубокого рыхления практически не различалась и составила 1,20-1,21 т/м³, то в подпахотных горизонтах различия достигали существен-

ных величин. Например, в слое 0,2-0,3 м плотность сложения почвы с учетом частичного захвата горизонта отвальным плугом на дату посева нута составляла $1,27 \text{ т/м}^3$, а при полосном глубоком рыхлении, - не превышала $1,23 \text{ т/м}^3$.

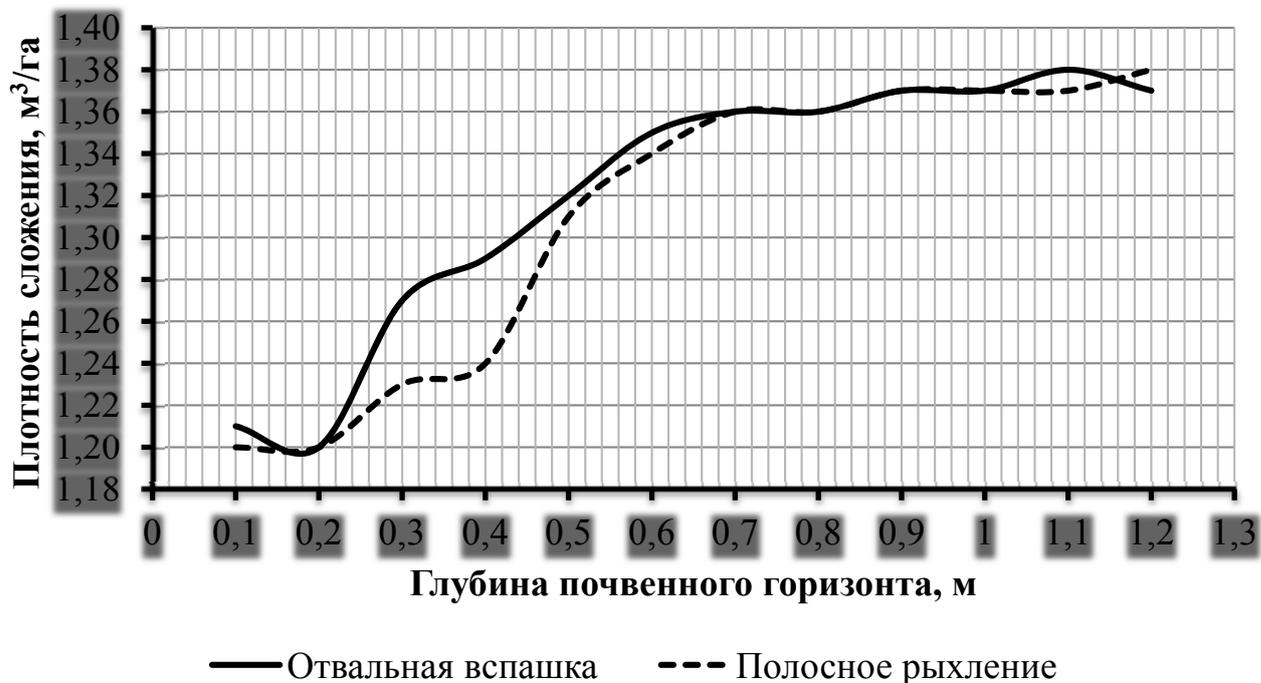


Рисунок 3.1 – Плотность сложения почвенных слоев при разных способах основной обработки (на дату посева нута, по средним данным за 2015-2017 гг)

В слое 0,3-0,4 м при полосном глубоком рыхлении к началу посева нута обеспечивалось создание пористой структуры почвы со сложением $1,24 \text{ т/м}^3$, тогда как при отвальной вспашке плотность сложения почвы в этом слое достигала $1,29 \text{ т/м}^3$. Указанные различия хорошо прослеживаются на графике (рисунок ...), в котором наибольший разрыв между кривыми приходится именно на слой почвы 0,3-0,4 м.

Из приведенных в таблице 3.1 данных видно, что проведение полосного объемного рыхления почвы отражается не только на плотности ее сложения, а оказывает комплексное влияние сразу на группу водно-физических показателей. В частности, к началу посева нута полосное объемное рыхление почвы позволило на 1,6-2,0 % повысить скважность подпахотных горизонтов.

Отдельно необходимо отметить увеличение водоудерживающей способности почвы в подпахотных горизонтах. Например, в слое 0,3-0,4 м средняя наименьшая влагоемкость почвы при полосном глубоком рыхлении составила 26,6 % от массы сухой почвы против 25,7 % на вариантах, где проводили отвальную зяблевую вспашку.

Исследования показали, что положительный эффект от применения полосного глубокого рыхления почвы сохраняется в течение всего вегетационного периода нута (таблицы 3.2-3.3, рисунок 3.2-3.3).

Таблица 3.2 - Водно-физические свойства почвы при разных способах обработки (третья декада мая, среднее за 2015-2017 гг.)

Слой почвы, м	Плотность сложения	Скважность, %	Наименьшая влагоемкость, %	Плотность сложения	Скважность, %	Наименьшая влагоемкость, %
0-0,1	1,22	51,0	27,2	1,22	51,2	27,4
0,1-0,2	1,23	50,8	27,1	1,22	51,2	27,2
0,2-0,3	1,28	49,4	26,0	1,24	51,2	26,7
0,3-0,4	1,30	49,2	25,5	1,25	51,0	26,6
0,4-0,5	1,33	48,0	24,7	1,32	48,4	24,9
0,5-0,6	1,35	47,7	24,3	1,34	48,1	24,3
0,6-0,7	1,36	47,3	24,2	1,36	47,3	24,0
0,7-0,8	1,36	47,3	23,8	1,36	47,3	23,9
0,8-0,9	1,37	46,7	23,7	1,36	47,1	23,7
0,9-1,0	1,37	46,9	23,5	1,37	46,9	23,5
1,0-1,1	1,37	46,7	22,9	1,37	46,9	23,0
1,1-1,2	1,37	46,7	22,8	1,37	46,7	22,8
0-0,2	1,23	50,9	27,2	1,22	51,2	27,3
0-0,4	1,26	50,1	26,5	1,23	51,2	27,0
0-1,2	1,33	48,1	24,6	1,32	48,6	24,8

При общем увеличении плотности сложения почвы различия между вариантами по способу обработки почвы сохранялись. Например, в слое 0,2-0,3 м к третьей декаде мая плотность сложения почвы при проведении полосной глубокой обработки составила 1,24 т/м³ против 1,28 т/м³ на участках проведением отвальной вспашки. В слое 0,3-0,4 м на участках вариантов, где проводили отвальную зябле-

вую вспашку, плотность сложения почвы в последнюю декаду мая достигала $1,3 \text{ т/м}^3$, тогда как на участках с полосной глубокой обработкой, - не превышала $1,25 \text{ т/м}^3$. Сохранялись существенные различия между вариантами в общей порозности рассматриваемых слоев и водоудерживающей способности подпахотных горизонтов почвы.

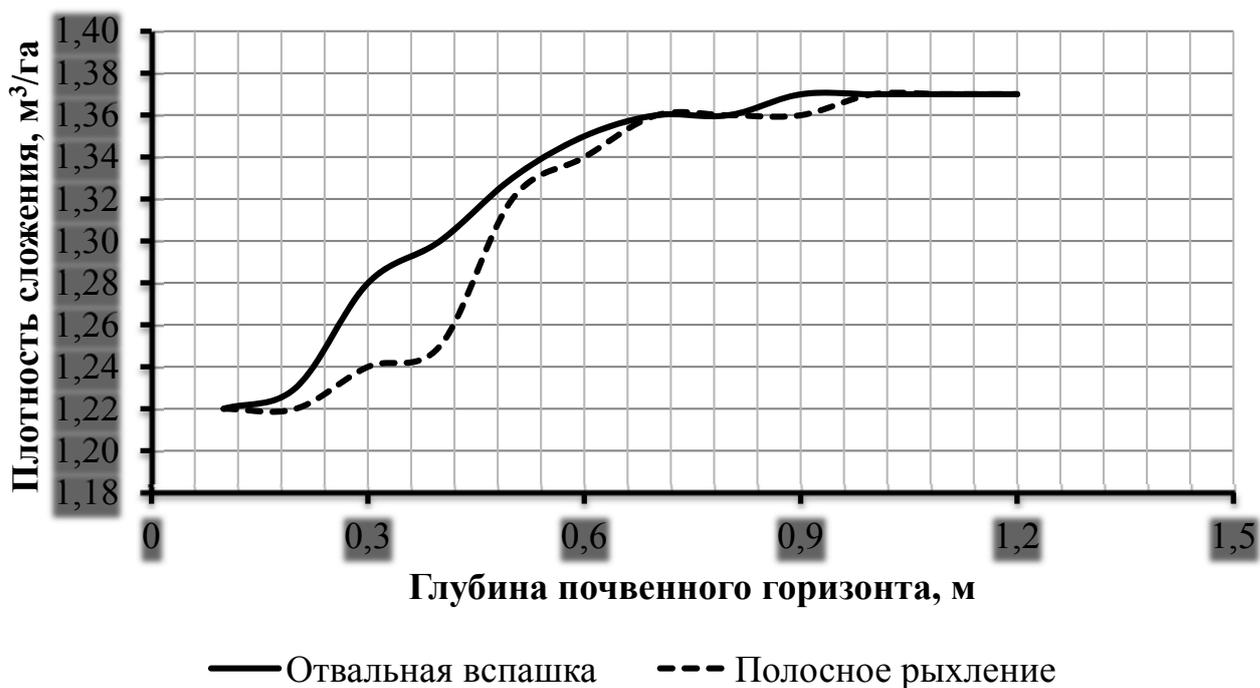


Рисунок 3.2 – Плотность сложения почвенных слоев при разных способах основной обработки (третья декада мая, по средним данным за 2015-2017 гг)

Сохранение благоприятного агрофизического состояния почвы в течение вегетационного периода культуры является важнейшей задачей любого сельскохозяйственного производства и приобретает особую значимость при возделывании бобовых культур. В период налива бобов при выращивании нута в засушливых условиях Нижневолжского региона верхние слои почвы уже, как правило, сильно иссушены, и водное питание идет за счет подпахотных горизонтов. Однако при отвальной вспашке плотность сложения подпахотных горизонтов в этот период уже достигает $1,29-1,31 \text{ т/м}^3$ (таблица 3.2, рисунок 3.2), что негативно отражается на эффективности функционирования корневой системы и, в конечном итоге, формировании урожая.

Таблица 3.3- Водно-физические свойства почвы при разных способах обработки (первая декада июля, среднее за 2015-2017 гг.)

Слой почвы, м	Плотность сложения	Скважность, %	Наименьшая влагоемкость, %	Плотность сложения	Скважность, %	Наименьшая влагоемкость, %
0-0,1	1,24	50,2	26,8	1,24	50,4	26,9
0,1-0,2	1,25	50,0	26,8	1,24	50,4	26,9
0,2-0,3	1,29	49,0	25,8	1,26	50,2	26,4
0,3-0,4	1,31	48,8	25,3	1,27	50,2	26,1
0,4-0,5	1,32	48,4	24,7	1,32	48,4	24,9
0,5-0,6	1,35	47,7	24,3	1,35	47,7	24,3
0,6-0,7	1,36	47,3	24,2	1,36	47,3	24,0
0,7-0,8	1,36	47,3	23,8	1,36	47,3	23,9
0,8-0,9	1,36	47,1	23,7	1,36	47,1	23,7
0,9-1,0	1,37	46,9	23,5	1,37	46,9	23,5
1,0-1,1	1,37	46,7	22,9	1,37	46,9	23,0
1,1-1,2	1,38	46,3	22,8	1,38	46,3	22,8
0-0,2	1,25	50,1	26,8	1,24	50,4	26,9
0-0,4	1,27	49,5	26,2	1,25	50,3	26,6
0-1,2	1,33	48,0	24,6	1,32	48,3	24,7

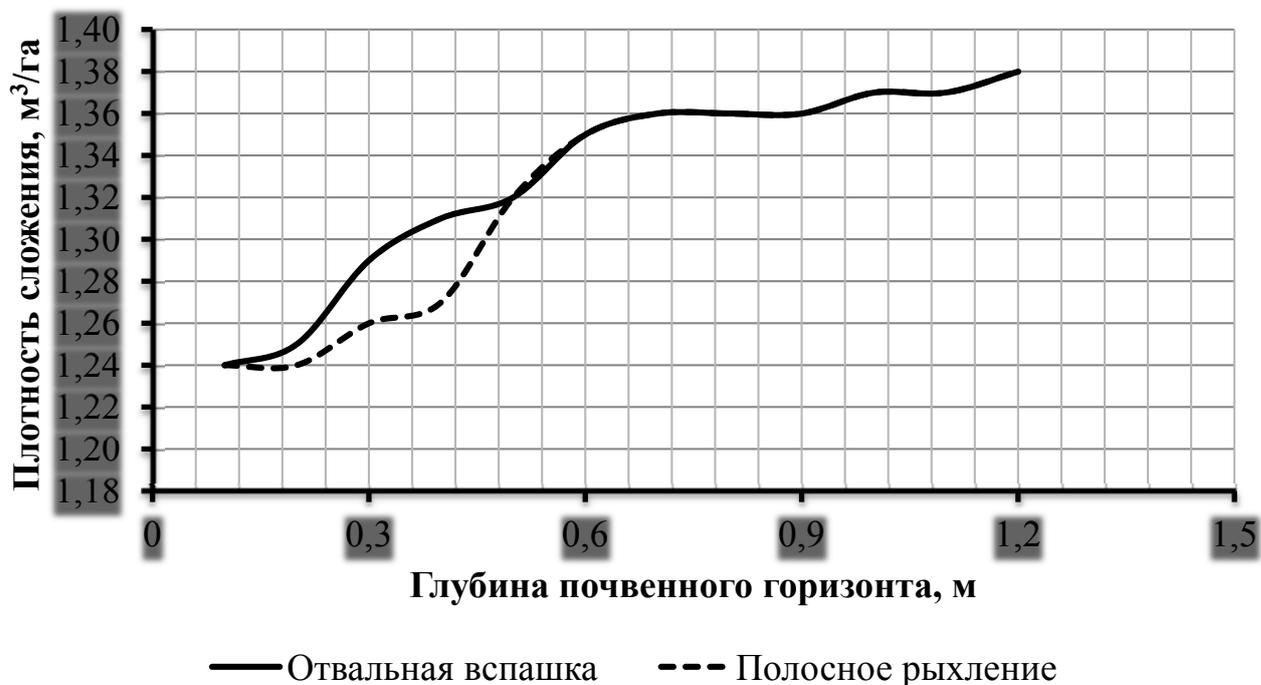


Рисунок 3.3 – Плотность сложения почвенных слоев при разных способах основной обработки (первая декада июля, по средним данным за 2015-2017 гг.)

Опытами установлено, что при использовании полосного глубокого рыхления плотность сложения почвы в слое 0,2-0,3 м не превышает 1,26 т/м³, а в слое 0,3-0,4 м – 1,27 т/м³ даже в первой декаде июля. Это позволяет сохранить динамику роста, накопления биологического вещества и формирования урожая нута в условиях типичной для региона многодневной засухи. Наряду с этим полученные данные подтверждают сокращение различий между вариантами в динамике, что является объективным трендом к равновесной плотности сложения.

Таким образом, полосное объемное рыхление почвы позволяет улучшить водно-физические свойства ближайших подпахотных слоев с сохранением положительного эффекта в течение всего вегетационного периода нута. Следует признать, что измерение водно-физических свойств на участках с полосным глубоким рыхлением проводилось непосредственно в зоне разрыхленной полосы. В связи с этим и отмеченный положительный эффект от обработки почвы относится исключительно к зонам полосного рыхления.

3.2 Послойное распределение запасов общей и продуктивной влаги при разных способах обработки почвы

Большинство ученых [11, 12, 26, 441, 42, 107, 137, 140, 142] обоснованно позиционируют культуру нута в ряду наиболее засухоустойчивых культур мира. Вода в клетках нута имеет более высокий осмотический потенциал в сравнении со всеми бобовыми культурами за исключением чины. Высокий осмос в клетках нута способствует снижению транспирации и увеличивает полноту использования почвенной влаги. Влажная, дождливая погода может негативно отражаться на продуктивности нута, резко снижая долю оплодотворенных цветков. В тоже время есть данные и о высокой эффективности орошения нута: своевременное создание запасов продуктивной почвенной влаги активизирует рост, фотосинтез, увеличивает число сформировавшихся бобов на растении [20, 82, 83, 84, 135]. Особое значение имеет создание почвенных влагозапасов в период вегетативного роста нута, обеспечивающих активизацию прироста биологической массы и ветвление

растений, - основу формирования высокопродуктивного растения. В связи с этим, наряду с общей низкой водотребовательностью нута, устойчивое обеспечение высоких почвенных влагозапасов к началу сева нута является важнейшим условием формирования продуктивных посевов на богаре.

Формирование запасов почвенной влаги в условиях сухостепной зоны каштановых почв Нижнего Поволжья зависит от объема, распределения и характера поступления атмосферных осадков в осенне-зимний и, частично, - весенний периоды. В связи с этим особое внимание важно уделить особенностям послойного распределения почвенной влаги, накопленной к началу посевного периода нута. Полученные опытные данные позволяют нам дать вариационную характеристику распределения накопленных запасов почвенной влаги по профилю почвы (таблица 3.4).

Программой исследований предусматривалось изучение влияния используемых приемов (систем) подготовки почвы на формирование запасов почвенной влаги и ее послойное распределение по почвенным горизонтам. Учитывая, что в задачи исследования входит всесторонняя оценка эффективности полосной обработки почвы, запасы почвенной влаги измеряли как послойно, по глубине профиля, так и в горизонтальном направлении, поперек полос глубокого рыхления. Вариация значений влажности почвы в горизонтальном направлении оценивалась стандартными методами математической статистики, с расчетом показателей выборочного среднего, дисперсии и стандартного отклонения выборки.

Исследования не выявили значимого уровня вариативности запасов почвенной влаги в поперечном к посеву направлении на участках, где подготовку почву проводили в соответствии с требованиями зональных рекомендаций, с применением отвальной зяблевой вспашки, покровного боронования и предпосевной культивации. Дисперсия выборки не превышала 0,8, стандартное отклонение – не более кубометра влагозапасов. Средние за годы исследований запасы влаги в пахотном слое почвы составили 885 м³/га, в слое 0-0,6 м, - 1714 м³/га, в слое 0-1,2 м, - 3408 м³/га. Однако запасы продуктивной влаги (не учитывающей малоподвижную вла-

гу, содержащуюся в почве при влажности ниже влажности устойчивого завядания) в слое 0-1,2 м не превышали 1218 м³/га.

Таблица 3.4 - Результаты вариационного анализа
послойного распределения запасов почвенной влаги при разных способах
обработки почвы (перед посевом нута, среднее за 2015-2017 гг)

Вариант опыта	Показатель	Запасы почвенной влаги, м ³ /га					Продуктивной влаги, м ³ /га
		всего в слое, м					
		0-0,3	0,3-0,6	0,6-0,9	0,9-1,2	0-1,2	
А1В(1-4): отвальная вспашка	Выборочное среднее, м ³ /га	885	830	834	857	3408	1218
	Дисперсия выборки	0,3	0,1	0,1	0,1	0,8	0,8
	Стандартное отклонение, м ³ /га	0,5	0,4	0,3	0,4	0,9	0,9
А2В1: полосное рыхление через 0,45 м	Выборочное среднее, м ³ /га	882	910	930	912	3637	1447
	Дисперсия выборки	33,8	443,9	19,4	24,3	1241	1241,1
	Стандартное отклонение, м ³ /га	5,8	21,1	4,4	4,9	35,2	35,2
А2В2: полосное рыхление через 0,75 м	Выборочное среднее, м ³ /га	882	919	945	922	3671	1481
	Дисперсия выборки	115,6	1185	191,5	77,4	3675	3675
	Стандартное отклонение, м ³ /га	10,8	34,4	13,8	8,8	60,6	60,6
А2В3: полосное рыхление через 0,9 м	Выборочное среднее, м ³ /га	878	915	942	922	3661	1471
	Дисперсия выборки	106,8	1032	151,3	44,5	3610	3610,5
	Стандартное отклонение, м ³ /га	10,3	32,1	12,3	6,7	60,1	60,1
А2В4: полосное рыхление через 1,05 м	Выборочное среднее, м ³ /га	870	893	928	917	3612	1422
	Дисперсия выборки	226	2310	856,5	229,1	10915	10915
	Стандартное отклонение, м ³ /га	15,1	48,1	29,3	15,1	104,5	104,5

На рисунке 3.4 представлен послойный анализ влажности почвы для рассматриваемого варианта до глубины 1,2 м на участке шириной 1,1 м. Такая длина поперечного среза почвенного профиля выбрана исходя из необходимости перекрытия максимального расстояния по осям посевных лент при разных, изучаемых в опыте, способах посева.

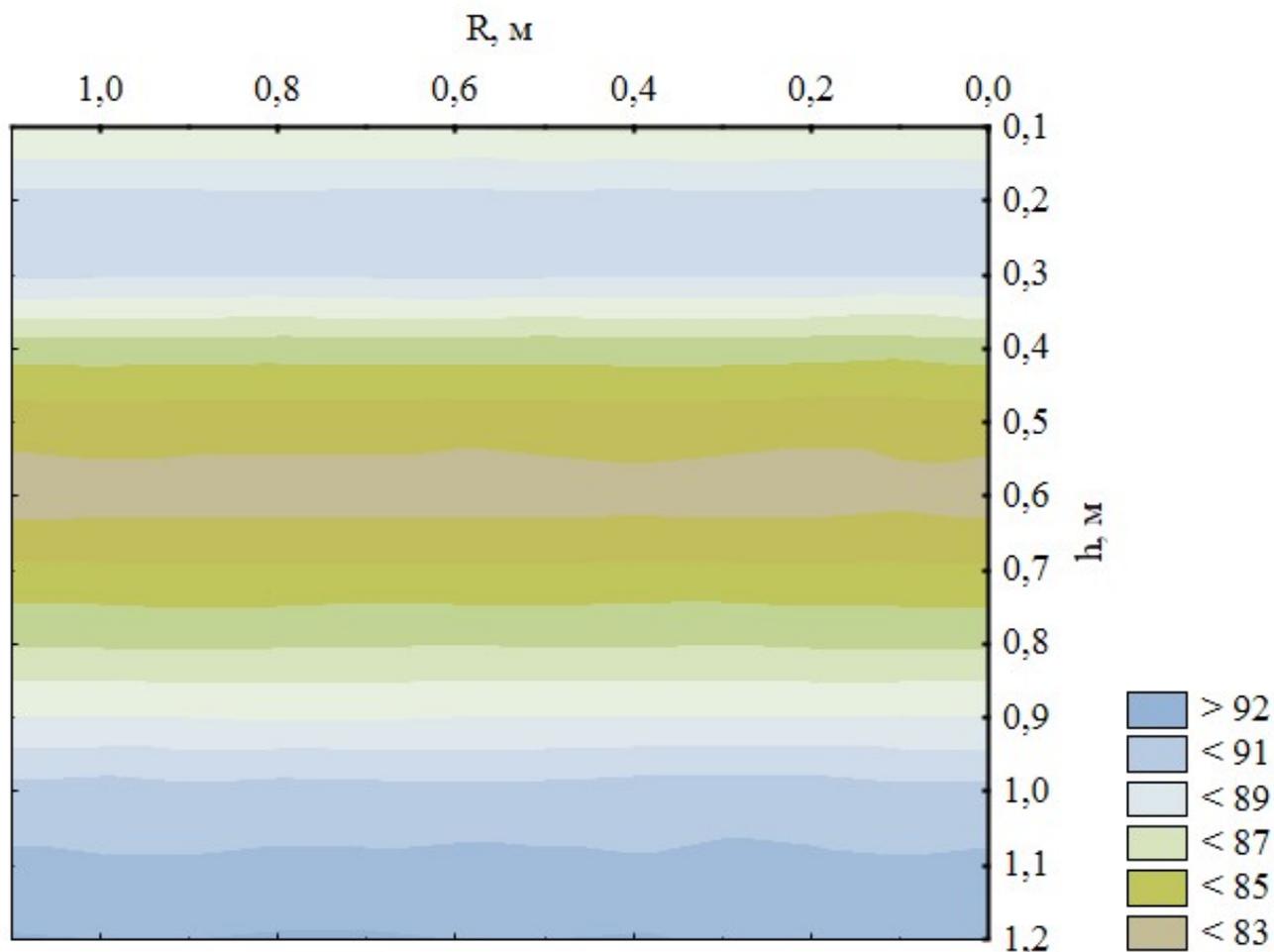


Рисунок 3.4 – Результаты послойного анализа влажности почвы перед посевом нута при обработке почвы по зональной технологии (R=1,1 м, по средним данным за 2015-2017 гг)

Осреднение полученных в годы исследований данных позволяет представить типичную картину распределения почвенной влаги в пахотных каштановых почвах Нижнего Поволжья. Наибольшие влагозапасы во все годы исследований наблюдались в слое почвы глубже 1 м. Влажность этих слоев почвы превышала 89-90 % НВ, а с глубины 1,1 м, - и более 92 % НВ. На глубине 0,8-1,0 м влажность

почвы не превышала 90 % НВ и не была меньше 87 % НВ. Горизонт почвы с 0,4 по 0,8 м, в среднем, за годы исследований оказался наиболее иссушенным, содержание почвенной влаги соответствовало диапазону 83-85 % НВ и менее. В пахотном слое, преимущественно, благодаря атмосферным осадкам ранневесеннего периода влаги содержалось больше, влажность почвы варьировалась от 87 до 89 % НВ. Следует признать, что влажность почвы в пахотном слое является наиболее вариативным показателем; в отдельные годы с сухой весной содержание почвенной влаги в этом слое может быть существенно ниже.

Применение полосной обработки почвы под зябь на глубину до 0,4 м оказывало существенное влияние на распределение влаги по почвенным горизонтам (таблица 3.4). И если в пахотном слое запасы влаги, в среднем, оставались на том же уровне, что при традиционной пахоте (отвальной вспашке), - 882 м³/га, то в нижележащих горизонтах содержание почвенной влаги возрастало до 910 м³/га в слое 0,3-0,6 м, 930 м³/га – в слое 0,6-0,9 м и 912 м³/га, - в слое 0,9-1,2 м. Общие запасы влаги в слое 0-1,2 м возросли до 3637 м³/га, продуктивной влаги, - до 1447 м³/га, что на 229 м³/га или 18,8 % больше, чем при использовании отвальной вспашки. Такая картина была характерна для вариантов с применением полосного глубокого рыхления, однако не объясняла причину существенного снижения запасов почвенной влаги в вариантах с применением рекомендованной зональной системы обработки почвы на основе отвальной вспашки. Было принято решение о проведении расширенных исследований послойного распределения влаги на участках с применением отвальной вспашки; в частности, была увеличена протяженность участка, с которого отбирали пробы на влажность почвы. Если в первом случае общая протяженность поперечного среза составляла 1,1 м, а пробы отбирались через 0,1 м, то во втором уже пробы отбирались через 0,5 м, а общая протяженность поперечного среза составила 10 м. Увеличение общей протяженности поперечного среза профиля почвы до 10 м позволило составить реальную картину распределения влаги по почвенным горизонтам (рисунок 3.5).

На рисунке четко прослеживается четкая граница по влажности почвы в пахотном и подпахотном слоях, которая довольно точно соответствует уплотненно-

му слою почвы, формируемому при использовании отвальной вспашки и именуемому «плужной подошвой». В среднем за три года исследований в подпахотном слое влажность почвы была на 4-8 % НВ ниже, чем в пахотном.

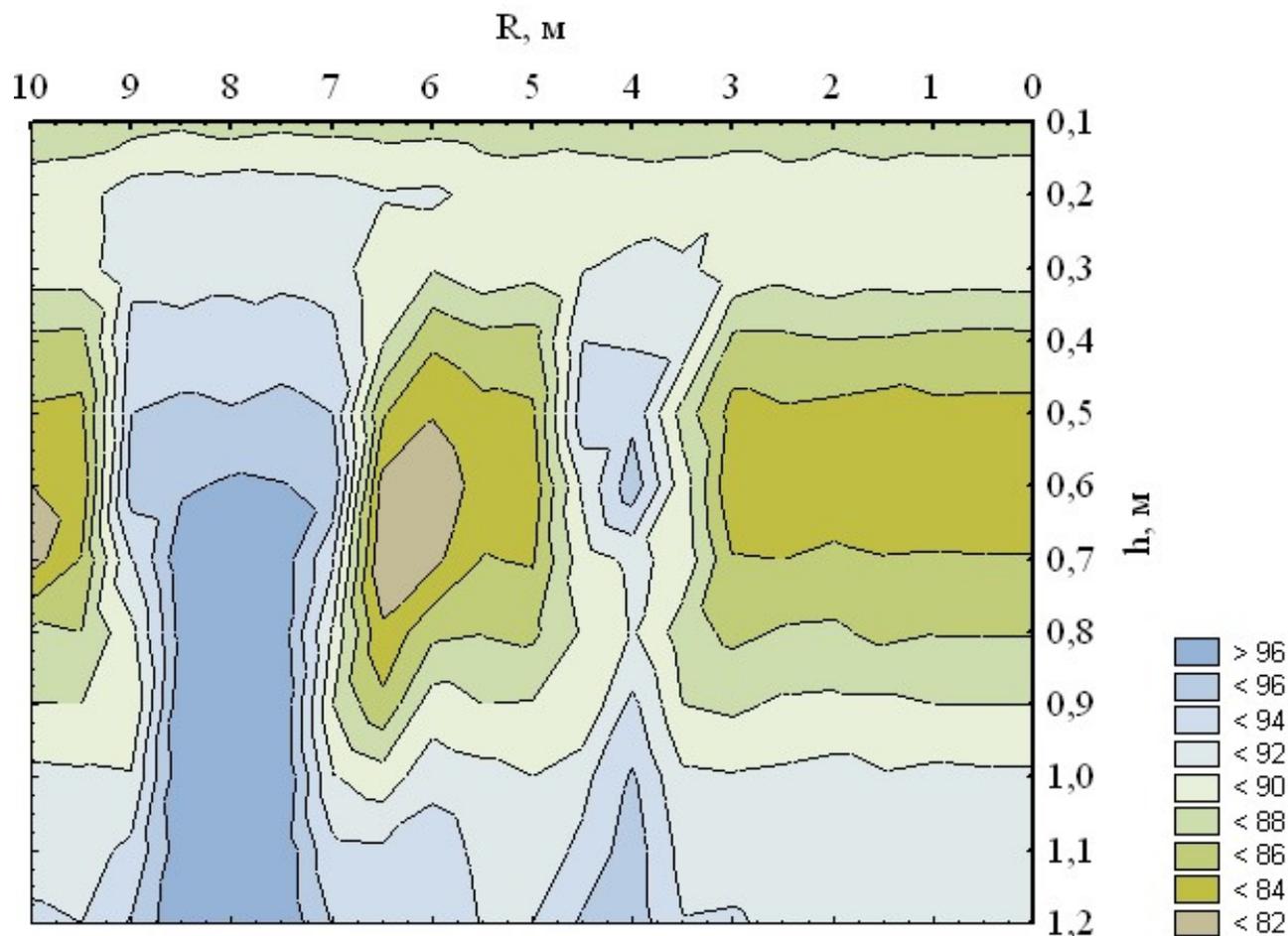


Рисунок 3.5 – Результаты послойного анализа влажности почвы перед посевом нута при обработке почвы по зональной технологии (R=10 м, по средним данным за 2015-2017 гг)

В тоже время из рисунка видно, по крайней мере, два участка, где влажность почвы в подпахотном горизонте не снижается, а возрастает. Эти участки, как правило, соответствуют локальным понижениям микрорельефа. Локальные понижения, а также местные нарушения «плужной подошвы», случайного характера, определяют местный сброс воды с инфильтрацией в нижележащие горизонты почвы. К сожалению, эти участки с повышенными запасами почвенной влаги располагаются случайным образом и не связаны с формулой формирования посевных лент (рядков) нута.

Использование полосного глубокого рыхления почвы позволяет создавать гребнистый профиль с системным разрушением плужной подошвы. В этом случае зоны с повышенным содержанием почвенной влаги формируются не случайно (как при использовании зональной технологии подготовки почвы), а с управляемой периодичностью, соответствующей зонам размещения полос глубокого рыхления (рисунок 3.6-3.9).

На рисунке 3.6 представлены результаты послойного анализа содержания почвенной влаги в поперечном срезе длиной 1,1 м, выполненного на участках варианта, где посев нута проводили рядовым способом с междурядным расстоянием, равным осевому расстоянию полос глубокого рыхления почвы, через 0,45 м.

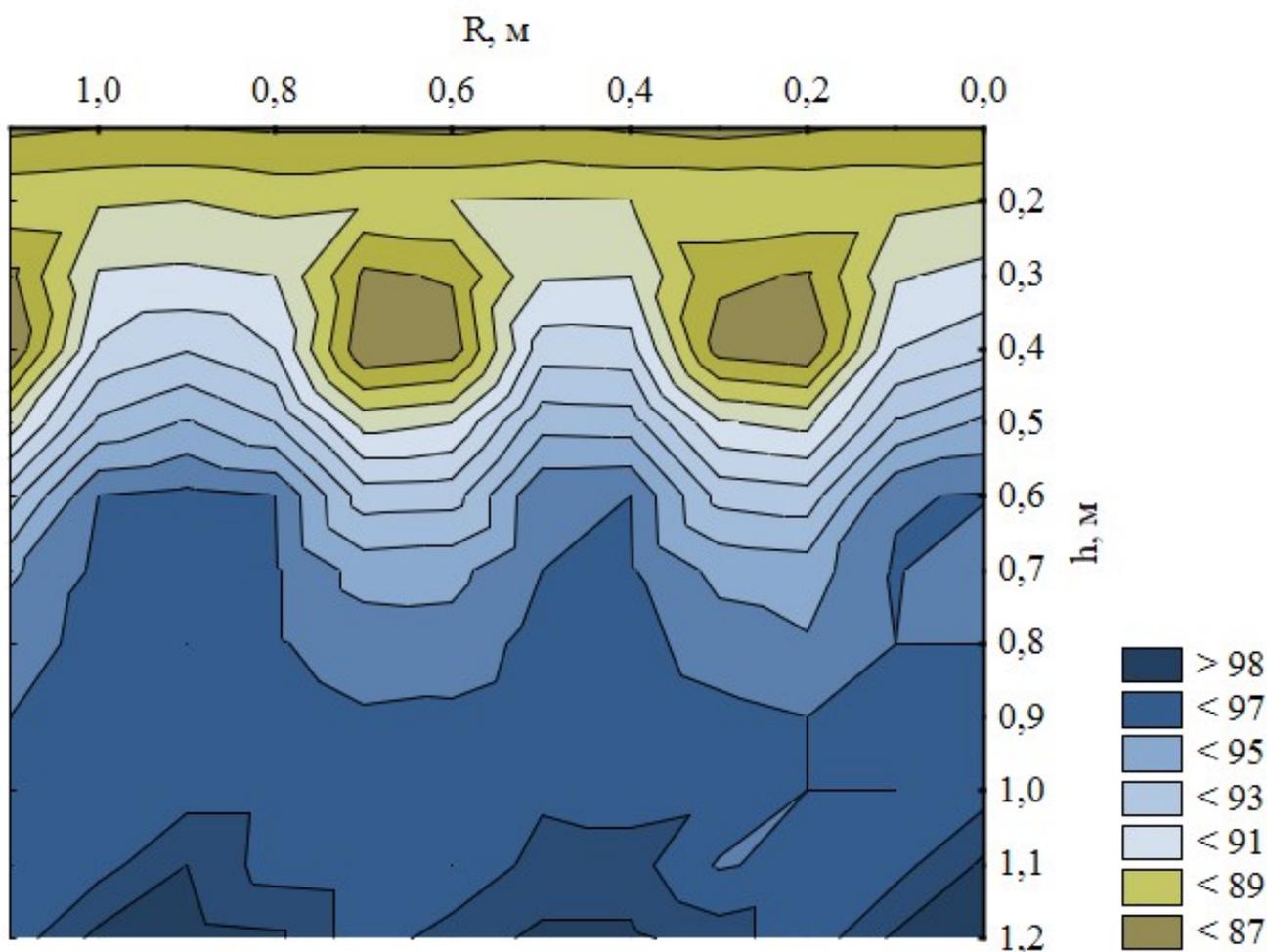


Рисунок 3.6 – Результаты послойного анализа влажности почвы перед посевом нута при обработке почвы по предлагаемой системе (вариант А2В1, R=1,1 м, по средним данным за 2015-2017 гг)

На рисунке четко прослеживаются участки с большим и меньшим содержанием почвенной влаги. Сопоставление с координатами графика позволяет сделать

вывод о соответствии зон с повышенным содержанием влаги участкам полосного глубокого рыхления.

Межполосному расстоянию (гребень профиля полосной обработки почвы) соответствовали зоны с содержанием почвенной влаги менее 87 %НВ, что на 4-8 % НВ меньше, чем в зоне рыхления. Таким образом, применение полосного рыхления способствует не только повышению запасов продуктивной влаги, но и ее перераспределению в зоны глубокого рыхления.

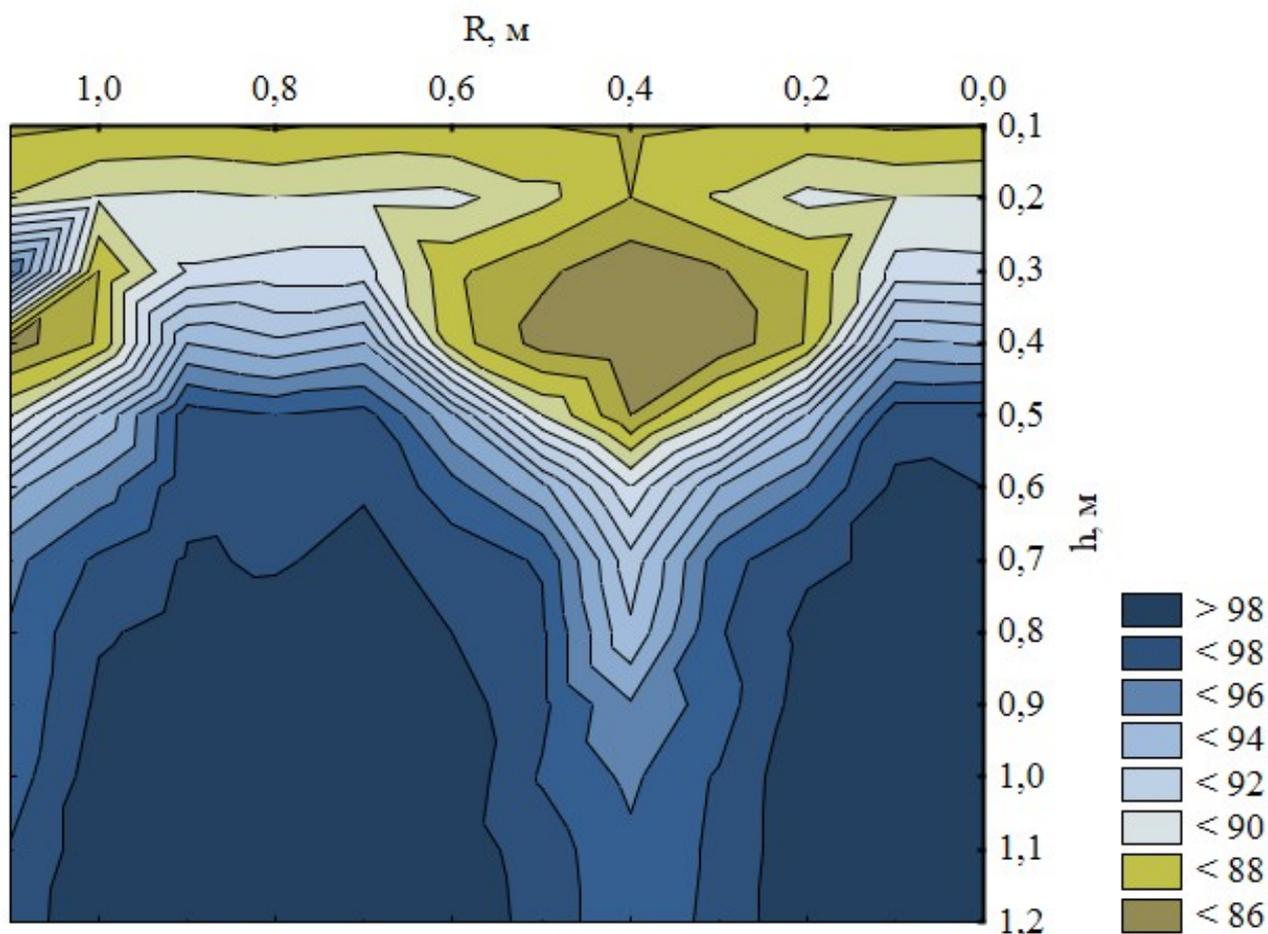


Рисунок 3.7 – Результаты послойного анализа влажности почвы перед посевом нута при обработке почвы по предлагаемой системе (вариант А2В2, R=1,1 м, по средним данным за 2015-2017 гг)

Параметры зоны рыхления почвы в опытах определялись программой эксперимента, в которой регламентировалась глубина зоны рыхления, равная 0,4 м, и технологией выполнения операции, в результате которой на поверхности почвы образовывалась разрыхленная полоса, шириной 0,56 м. Более, чем полуметровая ширина полосы рыхления почвы позволяет наряду с рядовым использовать и лен-

точные способы посева растений, с формированием двух и более посевных строк. В связи с этим опытами предусматривалось исследование эффективности ленточных двустрочных способов посева нута со схемой посадки $0,3 \times 0,45$ м, $0,3 \times 0,60$ м и $0,3 \times 0,75$ м. Учитывая, что высев нута проводили в зонах полосного рыхления, параметры рыхления (межосевое расстояние) изменялись в зависимости от используемого способа посева. На участках со схемой посадки нута $0,3 \times 0,45$ м межосевое расстояние полос глубокого рыхления составило $0,75$ м, при схеме посадки $0,3 \times 0,60$ м, - $0,90$ м, а при схеме посадки $0,3 \times 0,75$ м, - $1,05$ м. Изменение параметров проведения глубоко полосного рыхления оказало существенное влияние на распределение запасов почвенной влаги в пределах обследуемого профиля.

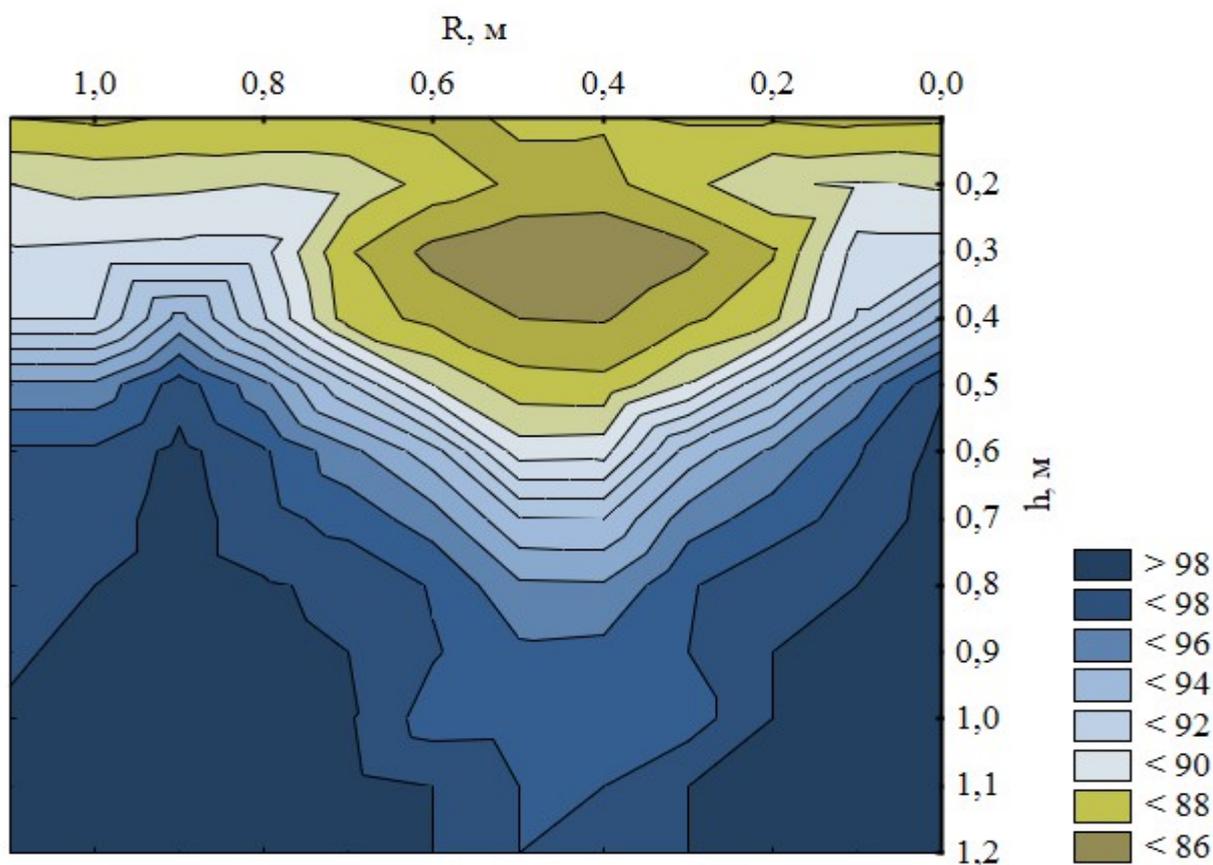


Рисунок 3.8 – Результаты послойного анализа влажности почвы перед посевом нута при обработке почвы по предлагаемой системе (вариант А2В3, $R=1,1$ м, по средним данным за 2015-2017 гг)

На рисунках 3.7 и 3.8 представлены опытные данные послойного распределения почвенной влаги на участках вариантов, где полосы глубокого рыхления проводили через $0,75$ и $0,90$ м.

Как видно из представленных данных дифференциация зон с большим и меньшим содержанием почвенной влаги с увеличением межполосного расстояния возрастает. Зоны с меньшим содержанием почвенной влаги, соответствующие гребню формируемого профиля, увеличиваются по глубине, в поперечнике и по степени иссушения. В зонах, соответствующих полосам глубокого рыхления, степень увлажнения почвы напротив, возрастает.

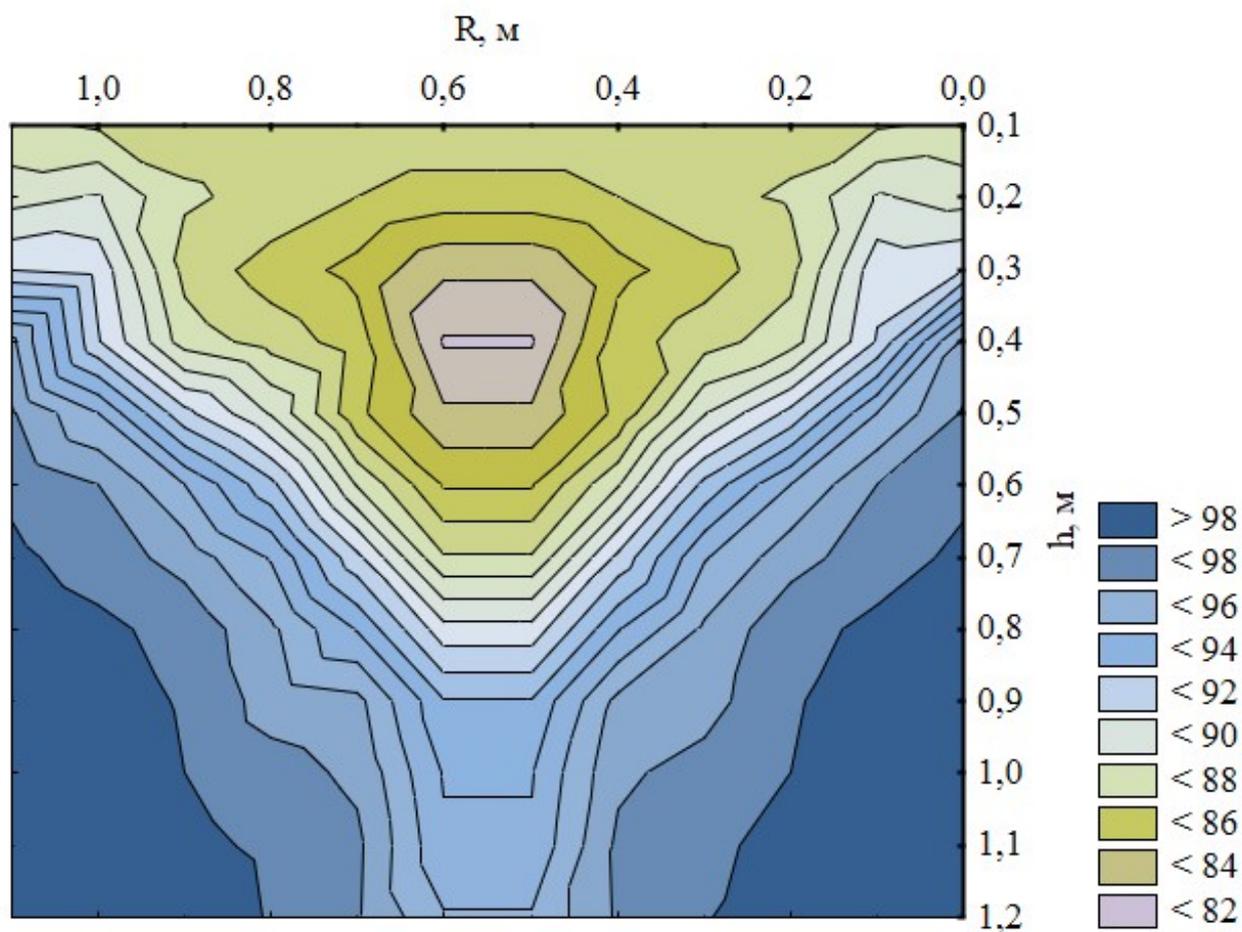


Рисунок 3.9 – Результаты послойного анализа влажности почвы перед посевом нута при обработке почвы по предлагаемой системе (вариант А2В4, $R=1,1$ м, по средним данным за 2015-2017 гг)

Например, с глубины 0,5 м влажность почвы возростала до 96-98 % НВ и более. Запасы почвенной влаги с учетом указанной дифференциации на участках рассматриваемых вариантов составили, в среднем, 3661-3671 м³/га, продуктивной, - 1471-1481 м³/га, что на 253-263 м³/га больше, чем при использовании отвальной вспашки и примерно соответствует варианту, где полосное рыхление проводилось через 0,45 м.

На рисунке 3.9 представлены опытные данные послойного распределения почвенной влаги на участках варианта с межполосным расстоянием 1,05 м, которые показали наибольшее дифференцирование влажности почвы в зоне рыхления и зоне «гребня» из поставленных к изучению вариантов. В зоне «гребня» влажность почвы опускалась до 82 % НВ и ниже, тогда как в зоне рыхления уже с глубины 0,3 м содержание почвенной влаги соответствовало 94 % НВ и более. Следует признать, что совокупные запасы продуктивной почвенной влаги на участках этого варианта составили 1422 м³/га, что на 4,2 % меньше, чем в вариантах с межполосным расстоянием 0,75 и 0,90 м.

3.3 Динамика водного режима почвы в зависимости от сочетания приемов возделывания нута

Нут относится к типичным растениям ксерофитам и имеет соответствующее строение. Растения, как правило, невысокие, листья – мелкие, на уровне клетки характеризуются высоким осмотическим давлением. Листья и бобы нута опушены, что также позволяет регулировать расход влаги в условиях жаркого, засушливого климата [12, 42, 137]. В тоже время доступность почвенной влаги определяет динамику прохождения ростовых процессов, развития, реализации репродуктивной функции. В отдельные фазы роста и развития нут неодинаково реагирует на условия увлажнения, в связи с чем особенно важно установить закономерности формирования водного режима почвы в динамике.

В таблице 5 и приложениях 1-3 приведены данные по влажности почвы и динамике почвенных влагозапасов, контроль которых осуществляли на протяжении всего вегетационного периода нута. Исследования подтвердили, что основным, определяющим динамику водного режима почвы без орошения, в регионе исследований является характер и объем поступления атмосферных осадков. Динамика приведенных данных по влажности активного слоя почвы показывает высокую обусловленность последних поступлением влаги атмосферных осадков. Наряду с этим отмечены значимые различия в формировании водного режима почвы по вариантам опыта.

Таблица 3.5 - Динамика запасов почвенной влаги в посевах нута в зависимости от сочетания изучаемых факторов (средние за годы исследований)

Фактор А (система обработки почвы)	Фактор В (способ посева)	Фактор С (мульчирование почвы)	Период роста и развития нута					Полная спелость семян	
			Посев	Всходы	Ветвление	Цветение	Налив бобов		
А1 (зональная система обработки почвы под нут)	широкорядный 0,45 м	-	3400	3305	3362	2877	2180	1955	
		+	3400	3352	3439	2959	2208	1963	
	ленточный 0,30×0,45 м	-	3400	3305	3352	2860	2140	1922	
		+	3400	3352	3439	2946	2171	1933	
	ленточный 0,30×0,60 м	-	3400	3305	3362	2870	2153	1932	
		+	3400	3352	3439	2949	2188	1946	
	ленточный 0,30×0,75 м	-	3400	3305	3365	2887	2220	1987	
		+	3400	3352	3442	2973	2258	2004	
	А2 (с полными объемами рыхлений)	широкорядный 0,45 м	-	3610	3515	3572	3072	2304	2043
			+	3610	3562	3645	3166	2339	2026
ленточный 0,30×0,45 м		-	3673	3579	3635	3129	2311	2036	
		+	3673	3625	3709	3203	2303	2020	
ленточный 0,30×0,60 м		-	3673	3579	3635	3122	2291	2016	
		+	3673	3625	3709	3193	2268	1992	
ленточный 0,30×0,75 м		-	3583	3489	3549	3059	2301	2040	
		+	3583	3535	3625	3133	2299	1999	

Опытами установлено, что на формирование водного режима каштановых почв при возделывании нута существенное влияние оказывают особенности обработки почвы в составе зональной системы земледелия и по предлагаемому варианту, с выполнением полос глубокого рыхления в зоне последующего размещения растений. Из приведенных в приложениях экспериментальных данных видно, что причиной различий в формировании водного режима почвы являются, преимущественно, различные исходные влагозапасы.

В среднем за годы исследований к моменту посева нута влажность активного слоя почвы изменялась от 87,2 % НВ на участках, где использовали зональную систему обработки почвы до 94,2 % НВ на участках, где почву обрабатывали по предложенному способу на основе полосного глубокого рыхления. Обращает внимание характерная для региона вариативность влажности активного слоя почвы на участках с применением зональной системы обработки почвы, - от 84,8 % НВ в 2016 году до 88,9 % НВ в 2017 году. На участках, где использовали предложенную систему подготовки почвы, на основе полосного объемного рыхления, средняя влажность почвы в контролируемом слое находилась в пределах 91,0-94,3 % НВ.

За период от посева до появления массовых всходов нута влажность почвы в годы исследований сохранялась на достаточно высоком уровне. К началу фазы массовых всходов, влажность почвы, в среднем, составляла 84,7-85,9 % НВ на участках с зональной системой обработки почвы, и 89,4-92,9 % НВ, - в вариантах с полосовым глубоким рыхлением почвы в зоне последующего размещения растений. В первые два, - 2015-2016, - годы исследований, благодаря поступлению влаги атмосферных осадков влажность почвы к моменту появления первых всходов осталась практически на прежнем уровне. В 2017 году к началу фазы массовых всходов наблюдалось снижение почвенных влагозапасов до 3240-3510 м³/га, что соответствует 83,0-90,0 % НВ. Меньшими запасами почвенной влаги из указанного диапазона характеризовались варианты, где применяли зональную систему обработки почвы.

Опыты показали, что при посеве нута вместе с ранними яровыми культурами обеспечивает доступность почвенной влаги до начала фазы массового ветвления. В годы исследований благодаря атмосферным осадкам влажность почвы к началу фазы ветвления изменялась в пределах 82,0-96,9 % НВ. Обращает внимание значительное увеличение вариации показателя по вариантам опыта, которое подтверждается изменением средних за годы исследований значений от 85,9 до 95,0 % НВ. Большие значение влажности, 90,9-95,0 % НВ, при этом наблюдаются на участках с применением предложенной системы обработки почвы, основанной на применении глубоких полосовых рыхлений в зоне последующего размещения растений. При обработках почвы по зональной системе содержание влаги в почве к началу фазы массового ветвления растений нута соответствовало 85,9-88,2 % НВ.

Расхождения в динамике влажности почвы на участках с применением зональной системы обработки почвы и при использовании полосовых глубоких рыхлений сохранялись в течение всего вегетационного периода, заметно сокращаясь лишь к началу фазы созревания. Например, к началу фазы цветения влажность почвы на участках с предложенной системой обработки была, в среднем, на 4,1-6,9 % НВ больше, чем содержание почвенной влаги на участках, где применяли зональную систему обработки. К началу фазы массового налива бобов этих расхождения сокращались до 2,0-4,3 % НВ, а к моменту полного созревания бобов, - не превышали 1,2-2,9 % НВ. Таким образом, независимо от исходного содержания к уборке нута запасы почвенной влаги практически выравнивались.

Применяемые в опытах варианты обработки почвы оказывали наибольшее влияние на формирование водного режима и динамику содержания доступных растениям форм почвенных растворов. Наряду с этим опытами отмечены изменения в формировании водного режима почвы и по вариантам других изучаемых факторов.

Применение различных способов посева нута на участках с использованием зональной системы обработки почвы не оказывало сколь либо определяющей роли на формирование водного режиме почвы. Отмечена скорее тенденция увели-

чения динамики иссушения почвы на участках с ленточным способом посева нута по схеме $0,30 \times 0,45$ м или $0,30 \times 0,60$ м. В тоже время при использовании предложенной системы обработки, основанной на проведении полосовых глубоких рыхлений почвы, отмечено существенное расхождения в динамике последовательных рядов влагосодержания почвы по вариантам изучаемых способов посева.

При прочих равных условиях применение полосового мульчирования почвы способствовало заметному снижению динамики иссушения почвы начальные периоды роста и развития, до начала фазы массового ветвления нута. Расхождения по влажности активного слоя почвы достигали 1,9-2,2 % к началу фазы массовых всходов нута. Однако уже с начала фазы ветвления динамика иссушения почвы на укрытых мульчей участках возрастала, интенсивно расходуя сэкономленную влагу. Уже к началу фазы цветения расхождения во влажности почвы на участках с мульчированием и без, - сокращались до 0,7-0,9 % НВ, а в последующем и полностью компенсировались.

Таким образом, все изучаемые в опытах факторы оказывают существенное влияние на формирование водного режима почвы. В тоже время следует выделить преимущественное значение применяемых систем обработки почвы, влияние которых на динамику запасов почвенной влаги при выращивании нута в течение всего вегетационного периода сравнимо с влиянием метеоусловий.

3.4 Основные статьи водного баланса и суммарное водопотребление нута

Водный режим почвы, определяющий доступность почвенной влаги растениям, является результирующим баланса поступления и расходования влаги. Уравнение водного баланса [48] содержит исчерпывающие сведения о всех возможных источниках поступления и факторах расходования почвенной влаги для рассматриваемого слоя. На практике, однако, все составляющие баланса редко бывают представлены в одной совокупности. Часть из них, в силу различных (гидрогеологических, особенностей рельефа, положение участка) причин не представлены во все, а другие имеют малый вес и слабо влияют на формирование водного режима

почвы в целом. В этом случае важно выделить и охарактеризовать основные статьи баланса почвенной влаги, наиболее значимые и типичные для рассматриваемой природной зоны.

Результаты экспериментальных исследований по определению суммарного водопотребления нута и основных статей баланса почвенной влаги представлены в таблице 3.6.

Исследования показали, что основными статьями баланса почвенной влаги при возделывании нута в равнинной сухостепной зоне каштановых почв Нижнего Поволжья без полива, являются естественные атмосферные осадки и запасы почвенной влаги.

В количественном выражении объем, поступивших за период вегетации нута, атмосферных осадков изменялся от 1030 до 1394 м³/га. Однако общая вариабельность этого показателя в регионе существенно выше, что определяет жесткую зависимость эффективности возделывания богарных культур от складывающихся погодных условий. Важно, что объем поступления влаги по данной ресурсной статье не поддается регулированию и носит практически абсолютно случайный характер. В тоже время нельзя и недооценивать этот ресурс влаги. Например, в годы исследований доля возмещения потребляемой посевами нута влаги за счет поступления атмосферных осадков достигала 39,2-50,0 %.

Накопленные за осенне-зимний период запасы почвенной влаги являются основным источником, возмещающим потребности растений нута в воде при возделывании в засушливых условиях региона без орошения. опыты показали, что за счет накопленных запасов почвенной влаги растения нута могут использовать 1328 -1716 м³/га воды за вегетационный период. В годы исследований это составляло 50,0-60,8 % от общей потребляемой посевами влаги. Характерно, что объем доступных растениям запасов почвенной влаги зависит от ряда факторов, среди которых не последнее место занимает система агротехнических приемов возделывания. То есть это статья водного баланса, которая не только имеет существенное количественное выражение, но и, в определенной мере, может регулироваться применяемыми агроприемами.

Таблица 3.6 - Основные статьи баланса почвенной влаги при возделывании нута

Способ посева	Мульчирование почвы	Год исследований	Система обработки почвы под нут									
			Зональная					С полосным объемным рыхлением				
			Использовано		Использовано		Суммарное водопотребление, м ³ /га	Влага атмосферных осадков, м ³ /га	Почвенные запасы	Влага атмосферных осадков, м ³ /га	Использовано	
			Суммарное водопотребление, м ³ /га	Влага атмосферных осадков, м ³ /га	Почвенные запасы	% к суммарному водопотреблению					Суммарное водопотребление, м ³ /га	Влага атмосферных осадков, м ³ /га
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11		
Широкорядный 0,45 м	-	2015	2460	1052	1408	57,2	2570	1069	1501	58,4		
		2016	2510	1030	1480	59,0	2700	1085	1615	59,8		
		2017	2840	1394	1446	50,9	2980	1394	1586	53,2		
	Среднее	2600	1159	1445	55,7	2750	1183	1567	57,1			
	+	2015	2460	1069	1391	56,5	2630	1069	1561	59,4		
		2016	2560	1085	1475	57,6	2710	1085	1625	60,0		
		2017	2840	1394	1446	50,9	2960	1394	1566	52,9		
Среднее	2620	1183	1437	55,0	2770	1183	1584	57,4				
Ленточный 0,30×0,45 м	-	2015	2470	1052	1418	57,4	2620	1069	1551	59,2		
		2016	2530	1030	1500	59,3	2770	1085	1685	60,8		
		2017	2910	1394	1516	52,1	3070	1394	1676	54,6		
	Среднее	2640	1159	1478	56,3	2820	1183	1637	58,2			
	+	2015	2480	1069	1411	56,9	2810	1191	1619	57,6		
		2016	2590	1085	1505	58,1	2770	1085	1685	60,8		
		2017	2880	1394	1486	51,6	3050	1394	1656	54,3		
Среднее	2650	1183	1467	55,5	2880	1223	1653	57,6				

Продолжение таблицы 3.6

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
Лен- точный 0,30×0, 60 м	-	2015	2460	1052	1408	57,2	2640	1069	1571	59,5	
		2016	2540	1030	1510	59,4	2790	1085	1705	61,1	
		2017	2880	1394	1486	51,6	3090	1394	1696	54,9	
	Среднее	2630	1159	1468	56,1	2840	1183	1657	58,5		
	+	2015	2460	1069	1391	56,5	2840	1191	1649	58,1	
		2016	2590	1085	1505	58,1	2880	1202	1678	58,3	
		2017	2860	1394	1466	51,3	3150	1434	1716	54,5	
		Среднее	2640	1183	1454	55,3	2960	1276	1681	56,9	
	Лен- точный 0,30×0, 75 м	-	2015	2380	1052	1328	55,8	2570	1052	1518	59,1
			2016	2470	1030	1440	58,3	2630	1085	1545	58,7
2017			2810	1338	1472	52,4	2960	1394	1566	52,9	
Среднее		2550	1140	1413	55,5	2720	1177	1543	56,9		
+		2015	2400	1069	1331	55,5	2720	1069	1651	60,7	
		2016	2490	1030	1460	58,6	2650	1085	1565	59,1	
		2017	2790	1394	1396	50,0	2930	1394	1536	52,4	
	Среднее	2560	1164	1396	54,7	2770	1183	1584	57,4		

В опытах объем используемых посевами нута почвенных влагозапасов возрастал на 93-320 м³/га при обработке почвы по предлагаемой системе, с применением полосового объемного рыхления.

Отмечено взаимодействие факторов обработки почвы и способа посева нута. Наибольшее использование почвенных влагозапасов при возделывании нута, 1649-1716 м³/га, было установлено на участках варианта, где при полосовой обработке почвы применяли ленточный способ посева нута по схеме 0,30×0,60 м. Важно учитывать, что полосы объемного рыхления почвы в соответствии с программой опытов выполняли в зоне последующего размещения растений, чем и объясняется эффект взаимодействия факторов.

Водопотребление нута в природных условиях региона исследований является основной расходной статьей баланса почвенной влаги (таблица 3.6-3.7). В годы проведения исследований водопотребление опытных посевов нута изменялось от 2380 до 3150 м³/га в зависимости от складывающихся погодных условий, доступных запасов почвенной влаги, факторов, определяющих рост и развитие вегетативной биомассы.

Статистический анализ долевого участия факторов в варьировании суммарного водопотребления нута выявил преимущественное значение фактора метеоусловий (рисунок 3.10). Более половины общей амплитуды варьирования суммарного водопотребления нута (53 %) объясняется изменением погодных условий в период выращивания нута по годам проведения исследований.

Вторым по значимости фактором оказались условия, определяемые применяемой системой обработки почвы. Доля вариации суммарного водопотребления, обусловленная применяемой в опытах системой обработки почвы, составила 40 %, что сравнимо с влиянием погодных условий.

Третьим по значимости фактором, определяющим варьирование суммарного водопотребления нута, стал способ посева нута. Доля вариации суммарного водопотребления нута, обусловленная применяемым в опытах способом посева, составила 3 %. Прочие факторы, а также эффекты их взаимодействия оказывают существенно меньшее влияние на суммарное водопотребление нута.

Таблица 3.7 - Суммарное водопотребление нута в зависимости от сочетания регулируемых факторов

Фактор А (система обработки почвы)	Фактор В (способ по- сева)	Фактор С (муль- чирова- ние поч- вы)	Суммарное водопотребление, Е, м ³ /га			ΔЕ в зависимости от способа обра- ботки почвы		ΔЕ при использо- вании локального мульчирующего покрытия	
			2015 г.	2016 г.	2017 г.	Среднее	м ³ /га	%	м ³ /га
А1 (зо- нальная си- стема об- работки почвы под нут)	широкоряд- ный 0,45 м	-	2460	2510	2840	2600	-	-	-
		+	2460	2560	2840	2620	-	20	0,8
	ленточный 0,30×0,45 м	-	2470	2530	2910	2640	-	-	-
		+	2480	2590	2880	2650	-	10	0,4
	ленточный 0,30×0,60 м	-	2460	2540	2880	2630	-	-	-
		+	2460	2590	2860	2640	-	10	0,4
	ленточный 0,30×0,75 м	-	2380	2470	2810	2550	-	-	-
		+	2400	2490	2790	2560	-	10	0,4
	широкоряд- ный 0,45 м	-	2570	2700	2980	2750	150	5,8	-
		+	2630	2710	2960	2770	150	5,7	20
А2 (с по- лосным объемным рыхлени- ем)	ленточный 0,30×0,45 м	-	2620	2770	3070	2820	180	6,8	-
		+	2810	2770	3050	2880	230	8,7	60
	ленточный 0,30×0,60 м	-	2640	2790	3090	2840	210	8,0	-
		+	2840	2880	3150	2960	320	12,1	120
	ленточный 0,30×0,75 м	-	2570	2630	2960	2720	170	6,7	-
		+	2720	2650	2930	2770	210	8,2	50

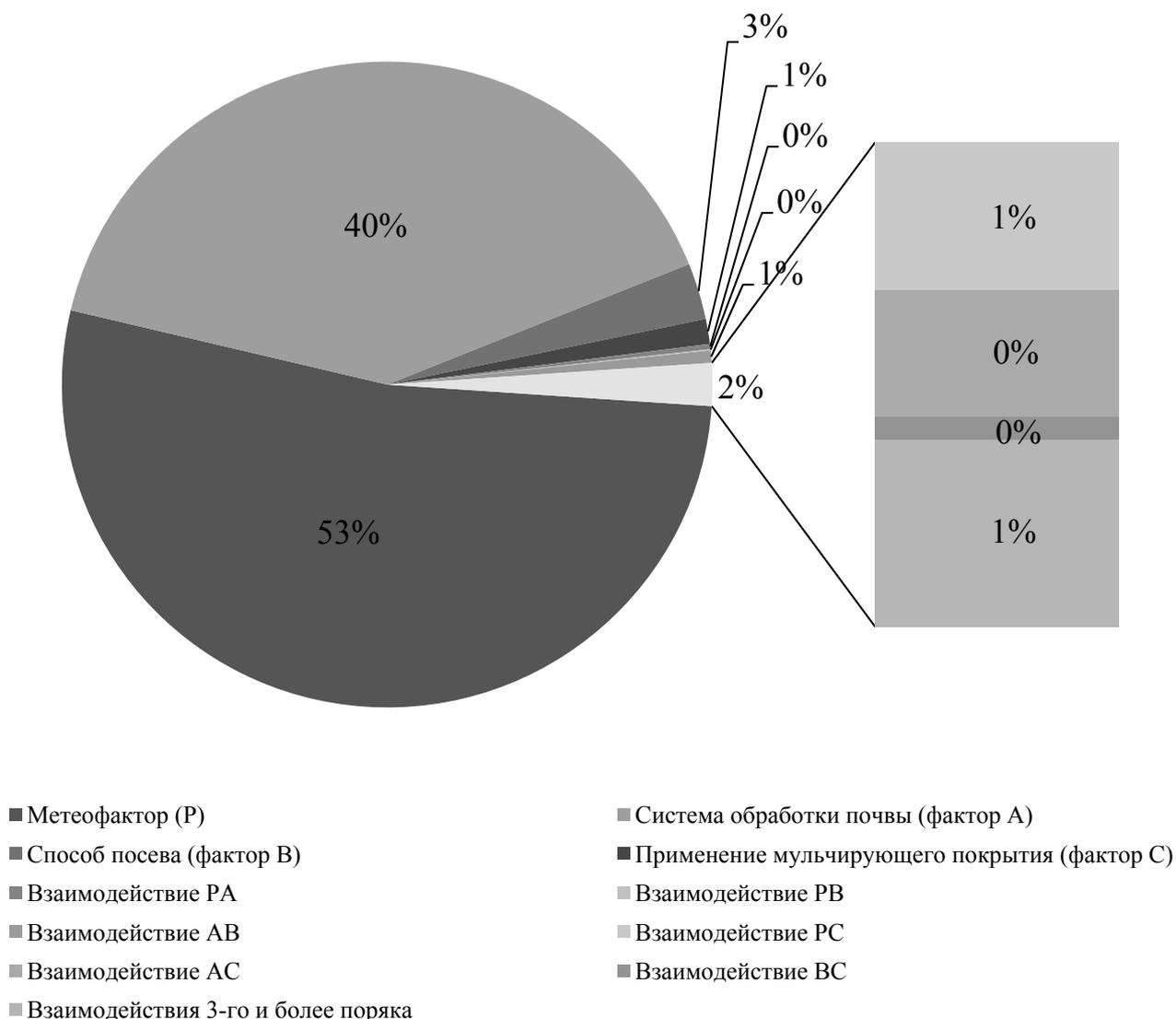


Рисунок 3.10 – Долевое участие факторов в формировании изменчивости суммарного водопотребления нута в опытных посевах

Наибольшим суммарным водопотреблением посева нута во все годы исследований отличались на участках, где для обработки почвы применяли приемы предложенной технологии, а посев проводили ленточным способом со схемой посадки $0,30 \times 0,45$ м или $0,30 \times 0,60$ м. В среднем за годы исследований суммарное водопотребление нута на участках этих вариантов составило 2820-2960 м³/га, а по годам исследований изменялось от 2620-2840 до 3050-3150 м³/га. Характерно, что использование такого водосберегающего агроприема, как полосовое мульчирование поверхности почвы соломой не оказывало существенного влияния на суммарный расход воды посевами нута за вегетационный период. Однако динамика потребления влаги в течение вегетационного периода трансформировалась (таблица 3.8).

Таблица 3.8 - Межфазная динамика суммарного водопотребления нута в опыте, м³/га (среднее за годы исследований)

Фактор А (система обработки почвы)	Фактор В (способ по- сева)	Фак- тор С (муль- чиро- вание почвы)	Период роста и развития нута					Налив бо- бов - полная спелость семян	Веgetаци- онный пе- риод
			Посев- всходы	Всходы - ветвление	Ветвление - цветение	Цветение - налив бобов	Налив бо- бов - полная спелость семян		
А1 (зо- нальная система обработки почвы под нут)	широкоряд- ный 0,45 м	-	230	320	800	870	380	2600	
		+	180	290	830	910	410	2620	
	ленточный 0,30×0,45 м	-	230	330	810	890	380	2640	
		+	180	290	850	930	400	2650	
	ленточный 0,30×0,60 м	-	230	320	810	890	380	2630	
		+	180	290	840	920	400	2640	
	ленточный 0,30×0,75 м	-	230	320	800	840	370	2550	
		+	180	290	820	870	400	2560	
	широкоряд- ный 0,45 м	-	230	320	840	930	420	2750	
		+	180	300	870	990	430	2770	
А2 (с по- лосным объемным рыхлени- ем)	ленточный 0,30×0,45 м	-	230	320	850	980	440	2820	
		+	180	300	900	1060	440	2880	
	ленточный 0,30×0,60 м	-	230	320	860	1000	440	2840	
		+	180	300	910	1130	440	2960	
	ленточный 0,30×0,75 м	-	230	320	830	920	420	2720	
		+	180	290	890	990	420	2770	

Из приведенных в таблице 3.8 данных пофазного расхода воды видно, что в начальные периоды развития объемы суммарного водопотребления нута на участках с мульчирующим слоем сокращаются, в среднем, на 6,2-21,7 %. С развитием растений нута, ростом и распространением корневой системы, водопотребление посевов на участках с формированием мульчирующего слоя возрастало, с преобладанием над объемами потребляемой посевами влаги в вариантах, где операцию мульчирования не проводили. Пофазные объемы суммарного водопотребления нута в периоды «ветвление-начало цветения» и «цветение – налив бобов» на участках, где проводили полосовое мульчирование поверхности почвы оказались, в среднем, на 2,5-8,1 % больше, чем в вариантах без использования мульчирующего слоя. Таким образом, сэкономленная почвенная влага в начальные периоды развития нута в полной мере и с большей интенсивностью расходовалась посевами уже начиная с фазы массового ветвления.

Установленные закономерности подтверждаются и данными по среднесуточному водопотреблению нута, а также динамикой значений температурных коэффициентов испарения воды посевами в основные фазы роста и развития растений (таблицы 3.9-3.10, рисунки 3.11-3.13). Например, в период «посев-всходы» среднесуточное водопотребление нута на участках со сформированным мульчирующим слоем составило, в среднем за годы исследований, 14,5 м³/га в сут., что на 20,3 % меньше, чем в вариантах без применения мульчирования. Такое же соотношение значений для сравниваемых вариантов установлено и для температурных коэффициентов испарения влаги посевами нута: на участках с мульчированием, в среднем, на один градус накопленных среднесуточных температур воздуха расходовалось 0,103 мм влаги, тогда как без мульчирования расходовалось 0,129 мм влаги. Снижение динамики расходования влаги посевами нута на участках с полосовым мульчированием поверхности почвы отмечается и в периоды «всходы-начало ветвления», а также «ветвление-начало цветения». Последнее не согласуется с объемами пофазного суммарного водопотребления нута в период «ветвление-начало цветения», что объясняется существенными различиями продолжительности этого периода в сравниваемых вариантах.

Таблица 3.9 - Межфазная динамика среднесуточного водопотребления нута в зависимости от сочетания регулируемых факторов, м³/га в сут. (среднее за годы исследований)

Фактор А (система обработки почвы)	Фактор В (способ посева)	Фактор С (мульчирование почвы)	Период роста и развития нута						Вегетационный период
			Посев-всходы	Всходы - ветвление	Ветвление - цветение	Цветение - налив бобов	Налив бобов - полная спелость семян	Вегетационный период	
А1 (зональная система обработки почвы под нут)	широкорядный 0,45 м	-	18,2	26,4	37,1	36,0	26,0	30,4	
		+	14,5	23,4	36,8	37,7	27,7	30,1	
	ленточный 0,30×0,45 м	-	18,2	27,3	37,4	37,0	25,6	30,8	
		+	14,5	23,4	37,4	38,6	27,2	30,4	
	ленточный 0,30×0,60 м	-	18,2	26,4	37,4	36,8	25,8	30,6	
		+	14,5	23,4	37,2	38,1	27,4	30,3	
	ленточный 0,30×0,75 м	-	18,2	26,1	36,8	35,7	26,7	30,2	
		+	14,5	23,1	36,3	37,2	27,0	29,6	
	широкорядный 0,45 м	-	18,2	26,4	37,8	37,8	28,8	31,6	
		+	14,5	23,7	37,5	39,9	29,3	31,3	
А2 (с полными объемами рыхлений)	ленточный 0,30×0,45 м	-	18,2	26,4	38,1	39,3	29,8	32,2	
		+	14,5	23,7	38,1	41,8	29,9	32,2	
	ленточный 0,30×0,60 м	-	18,2	26,4	38,5	39,8	29,8	32,5	
		+	14,5	23,7	38,5	43,3	30,2	32,8	
	ленточный 0,30×0,75 м	-	18,2	26,1	37,4	37,9	29,0	31,5	
		+	14,5	23,1	37,5	40,2	29,0	31,3	

Таблица 3.10 - Межфазные значения температурных коэффициентов испарения влаги посевами нута в зависимости от сочетания регулируемых факторов, м³/га в сут. (среднее за годы исследований)

Фактор А (система обработки почвы)	Фактор В (способ по- сева)	Фак- тор С (муль- чиро- вание почвы)	Период роста и развития нута					Вегетаци- онный пе- риод
			Посев- всходы	Всходы - ветвление	Ветвление - цветение	Цветение - налив бобов	Налив бо- бов - полная спелость семян	
А1 (зо- нальная система обработки почвы под нут)	широкоряд- ный 0,45 м	-	0,129	0,188	0,210	0,155	0,103	0,157
		+	0,103	0,165	0,206	0,160	0,108	0,154
	ленточный 0,30×0,45 м	-	0,129	0,192	0,211	0,159	0,102	0,159
		+	0,103	0,165	0,209	0,164	0,107	0,156
	ленточный 0,30×0,60 м	-	0,129	0,188	0,212	0,159	0,102	0,158
		+	0,103	0,165	0,208	0,162	0,108	0,155
	ленточный 0,30×0,75 м	-	0,129	0,186	0,207	0,153	0,104	0,156
		+	0,103	0,164	0,204	0,158	0,107	0,153
	широкоряд- ный 0,45 м	-	0,129	0,188	0,213	0,162	0,113	0,162
		+	0,103	0,167	0,210	0,169	0,114	0,160
А2 (с по- лосным объемным рыхлени- ем)	ленточный 0,30×0,45 м	-	0,129	0,188	0,215	0,168	0,115	0,165
		+	0,103	0,167	0,213	0,175	0,116	0,164
	ленточный 0,30×0,60 м	-	0,129	0,188	0,216	0,170	0,116	0,166
		+	0,103	0,167	0,215	0,182	0,117	0,166
	ленточный 0,30×0,75 м	-	0,129	0,186	0,212	0,162	0,113	0,162
		+	0,103	0,165	0,209	0,169	0,114	0,160

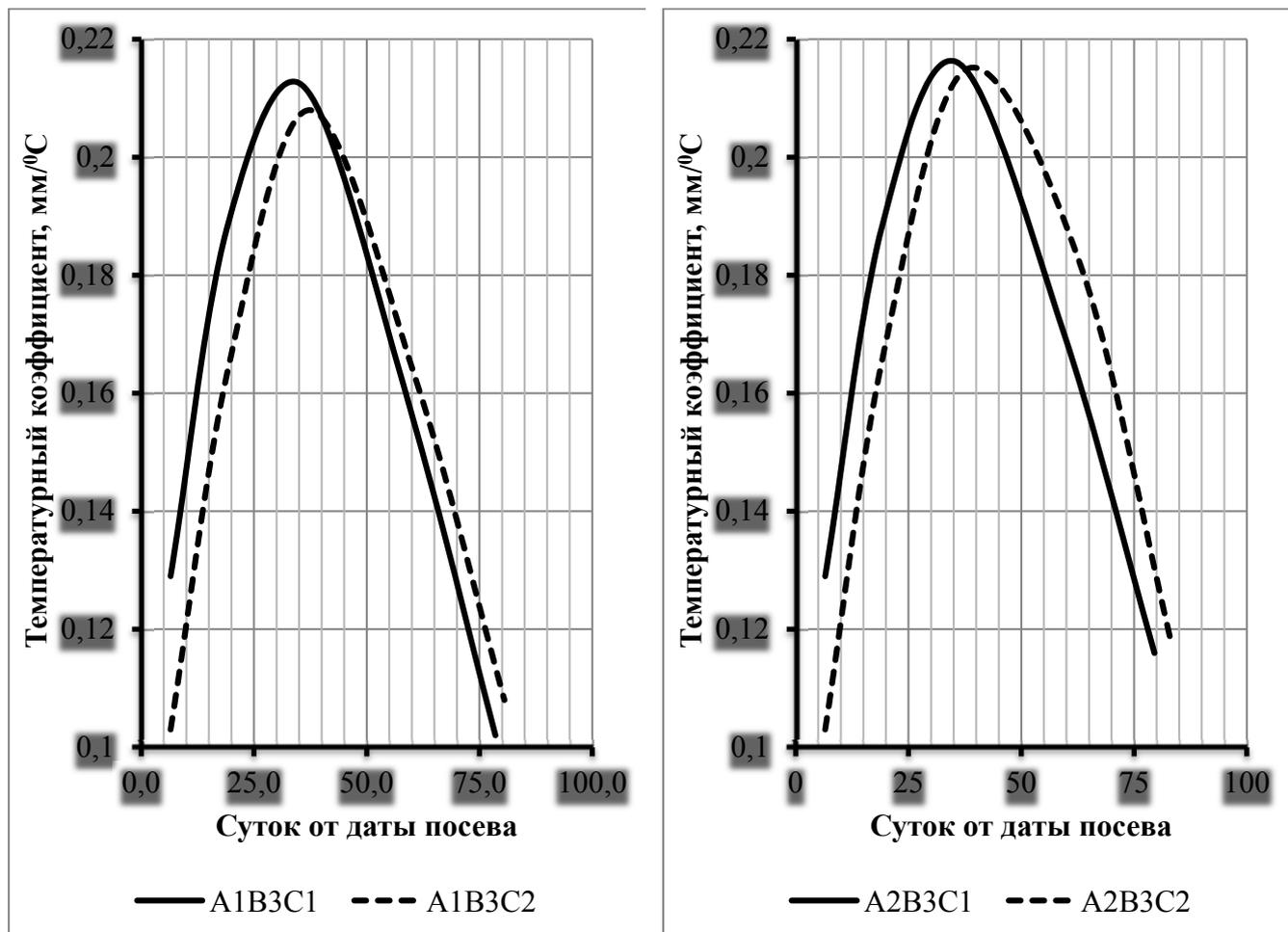


Рисунок 3.11 - Динамика температурных коэффициентов испарения посевов нута при разных способах обработки почвы и применении мульчирующего слоя (по средним за 2015-2017 гг. данным)

Экономия и сохранение почвенной влаги в начальные периоды развития нута обеспечило возможность сохранения более интенсивной транспирации растений в последующие периоды развития. Повышение интенсивности водопотребления нута как по среднесуточным значениям, так и по значениям температурных коэффициентов испарения влаги на участках со сформированным мульчирующим слоем по отношению к вариантам без мульчирования отмечено в периоды «цветение – налив бобов» и «налив бобов- полное созревание семян». Характерно, что превышение температурных коэффициентов испарения влаги посевами нута на участках со сформированным мульчирующим слоем в отношении вариантов без мульчирования наблюдается на нисходящей ветви хода биологических кривых.

Это, в частности, подтверждает обусловленность динамики водопотребления в эти фазы, преимущественно, растущим дефицитом содержания и снижающейся доступностью почвенной влаги растениям.

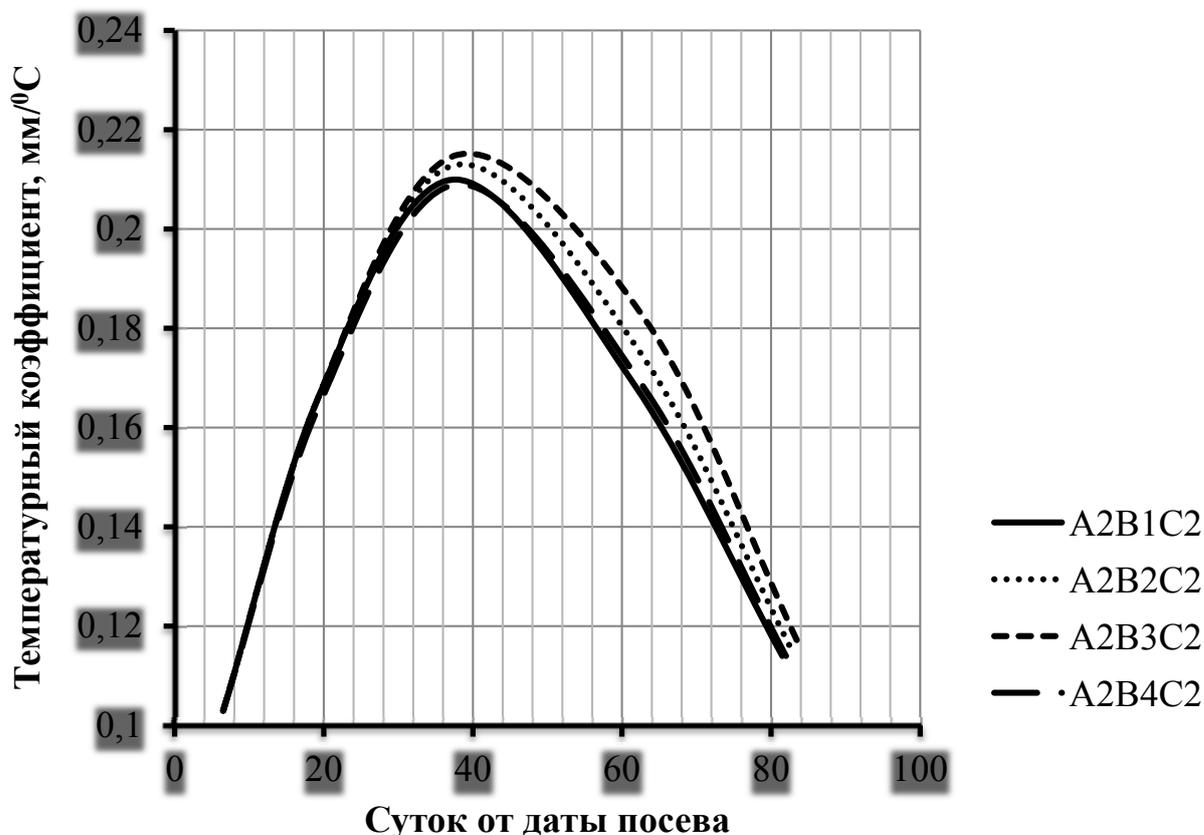


Рисунок 3.12 - Динамика температурных коэффициентов испарения посевов нута в зависимости от способа посева и параметров зоны локального рыхления почвы (по средним за 2015-2017 гг. данным)

На рисунке 3.13 на примере варианта A1B3C1 показано соотношение кривых среднесуточного водопотребления и температурных коэффициентов испарения влаги посевами нута. Качественное расхождение показанных кривых подтверждает существенное влияние метеофактора, совокупность количественных показателей которого характеризует динамику энергетических ресурсов атмосферы. Температурные коэффициенты испарения влаги посевами нута достигают максимальных значений в период «ветвление-начало цветения», тогда как для среднесуточного водопотребления максимальные значения сохраняются и в период «цветение-налив бобов».

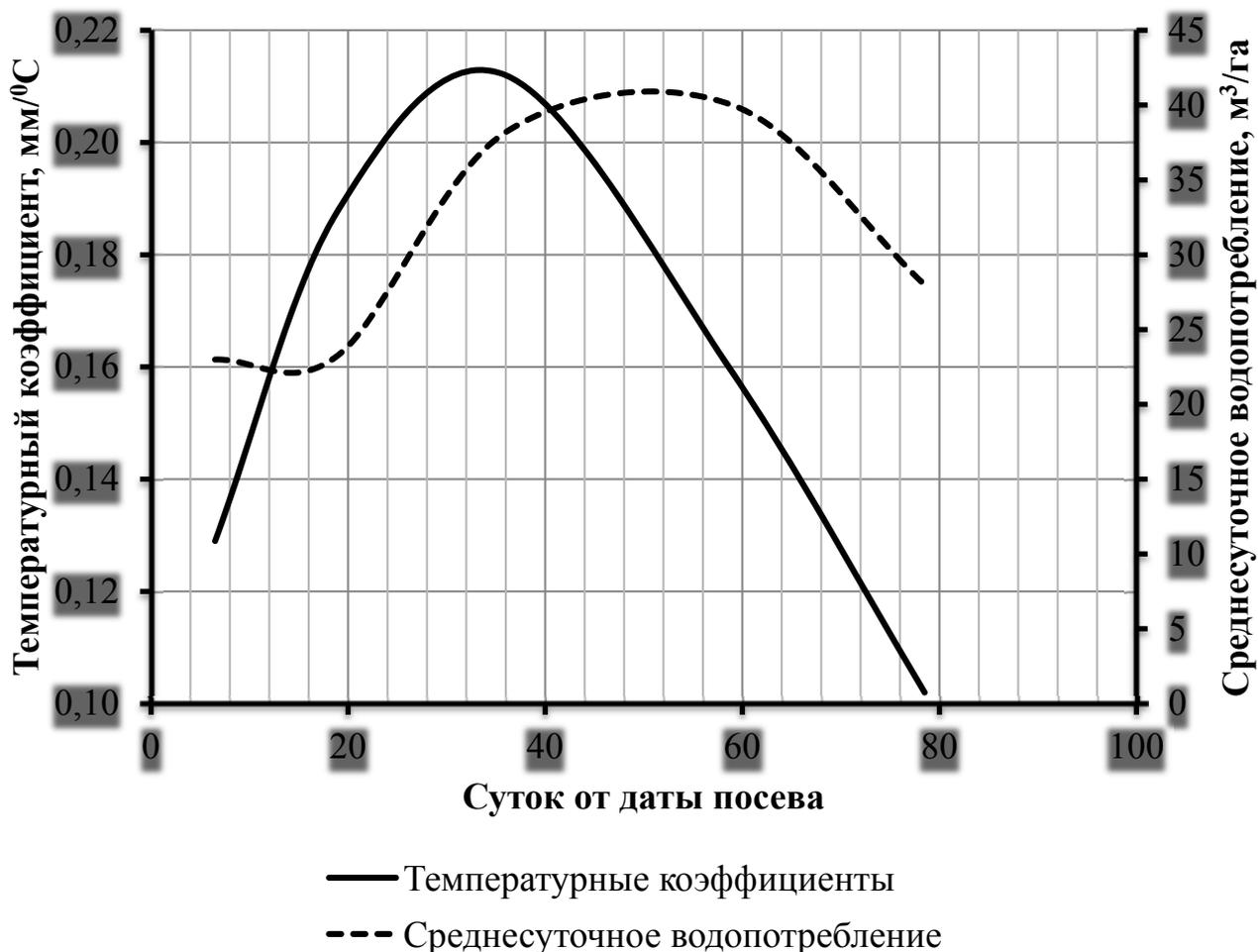


Рисунок 3.13 Соотношение кривых среднесуточного водопотребления и температурных коэффициентов испарения влаги посевами нута на неорошаемых каштановых почвах Нижнего Поволжья (на примере варианта А1В3С1, по средним за 2015-2017 гг. данным)

По вариантам опыта, в среднем за годы исследований среднесуточное водопотребление нута в период «ветвление-начало цветения» изменялось от 36,3 до 38,5 м³/га в сут. при максимальных значениях температурных коэффициентов, изменяющихся по вариантам от 0,204 до 0,216 мм/°С. В период «цветение-налив бобов» диапазон варьирования значений среднесуточного водопотребления сохранялся на уровне 35,7-43,3 м³/га в сут. при значительном снижении значений температурных коэффициентов до 0,153-175 мм/°С. Это подтверждает, что при растущих энергетических ресурсах атмосферы снижение доступности почвенной влаги лимитирует рост водопотребления нута в периоды активного формирования урожая.

Температурные коэффициенты испарения влаги для посевов богарных культур не имеют практической прогностической ценности вследствие значительной обусловленности уровнем фактических запасов доступной почвенной влаги. В то же время, позволяя компенсировать влияние метеофактора, температурные коэффициенты испарения в известной мере позволяют судить о влиянии влажности почвы и доступности почвенной влаги на динамику водопотребления посевов.

Средневзвешенные за вегетационный период значения температурных коэффициентов испарения нута приведены в таблице 3.11. Анализ приведенных данных показал существенное изменение динамики температурных коэффициентов испарения влаги в зависимости от способа обработки почвы под посевы нута. Использование предложенного способа обработки почвы с формированием полос глубокого рыхления в зоне размещения растений во все годы исследований повышало значение температурных коэффициентов. Средняя количественная оценка прироста значений температурных коэффициентов характеризуется 3,2-7,8 %. В течение вегетационного периода изменение температурных коэффициентов испарения влаги посевами нута в вариантах с разными способами обработки почвы отмечено с фазы ветвления. Однако в наибольшей степени, на 4,5-13,7 %, в вариантах с применением полосового глубокого рыхления почвы температурные коэффициенты испарения влаги возрастали в фазы цветения и налива бобов нута. Это совпадает с выходом текущих значений влажности почвы за пределы биологически оптимального диапазона. Это еще раз косвенно подтверждает эффективность предложенного способа обработки почвы в плане увеличения фактических запасов доступной почвенной влаги и ее эффективного использования растениями.

Влияния способа посева на фоне применения зональной системы обработки почвы на величину температурных коэффициентов испарения влаги посевами нута не установлено. Однако, в сочетании с предложенным способом обработки почвы изучаемые варианты способов посева нута оказывали определенное влияние на динамику водопотребления и значения температурных коэффициентов испарения влаги.

Таблица 3.1.1 - Температурные коэффициенты испарения влаги посевами нута в опытных посевах

Фактор А (система обработки почвы)	Фактор В (способ посева)	Фактор С (мульчирование почвы)	Температурный коэффициент, τ , мм/ $^{\circ}$ С			$\Delta \tau$ в зависимости от способа обработки почвы		$\Delta \tau$ при использовании локального мульчирующего покрытия		
			2015 г.	2016 г.	2017 г.	Среднее	мм/ $^{\circ}$ С	%	мм/ $^{\circ}$ С	%
А1 (зональная система обработки почвы под нут)	широкорядный 0,45 м	-	0,157	0,147	0,166	0,157	-	-	-	-
		+	0,152	0,148	0,163	0,154	-	-0,003	-1,9	-
	ленточный 0,30×0,45 м	-	0,158	0,148	0,17	0,159	-	-	-	-
		+	0,154	0,149	0,165	0,156	-	-0,003	-1,9	-
	ленточный 0,30×0,60 м	-	0,157	0,149	0,168	0,158	-	-	-	-
		+	0,152	0,149	0,164	0,155	-	-0,003	-1,9	-
А2 (с пологом объемным рыхлением)	широкорядный 0,45 м	-	0,162	0,154	0,171	0,162	0,005	3,2	-	-
		+	0,16	0,152	0,167	0,16	0,006	3,9	-0,002	-1,2
	ленточный 0,30×0,45 м	-	0,165	0,158	0,173	0,165	0,006	3,8	-	-
		+	0,166	0,156	0,169	0,164	0,008	5,1	-0,001	-0,6
	ленточный 0,30×0,60 м	-	0,166	0,159	0,174	0,166	0,008	5,1	-	-
		+	0,167	0,16	0,172	0,166	0,011	7,1	0	0,0
ленточный 0,30×0,75 м	-	0,164	0,152	0,17	0,162	0,006	3,8	-	-	
	+	0,163	0,151	0,165	0,16	0,007	4,6	-0,002	-1,2	

Приведенные на рисунке 3.12 кривые температурных коэффициентов испарения влаги подтверждают влияние способа посева, которое проявляется уже с фазы ветвления растений. Наибольшая разница в значениях температурных коэффициентов испарения влаги в вариантах с использованием различных способов посева нута отмечена в период «цветение-налив бобов» и достигала 7,7 %.

Таким образом, применение различных способов посева нута на фоне применения предложенного варианта обработки почвы связано с изменением динамики суммарного водопотребления и температурных коэффициентов испарения влаги. Важно учитывать, что способ посева и технология реализация предложенного способа обработки почвы взаимно обусловлены, так как принято, что полосное глубокое рыхление почвы проводится в зоне размещения растений. Учитывая, что при использовании зональной технологии обработки почвы (не зависящей от применяемого способа посева) способы посева нута не оказывали влияние на динамику температурных коэффициентов испарения влаги, можно предположить, что и во втором случае зависимость температурных коэффициентов обусловлена изменением параметров обработки почвы.

3.5 Эффективность использования воды на формирование урожая нута при разных сочетаниях изучаемых приемов возделывания

Выраженный дефицит естественной влагообеспеченности является отличительной особенностью Нижневолжского региона. Недостаточное и крайне неравномерное поступление влаги в течение теплого периода года определяет особенности возделывания сельскохозяйственных культур. Это один из регионов России, где наиболее развиты и эффективны гидротехнические мелиорации, широко применяются озимые культуры, заметный эффект дает влагонакопительная паровая система сухого земледелия. Эффективность использования имеющихся ресурсов влаги в полной мере определяет эффективность аграрного производства. Поэтому удельные затраты воды на формирование урожая по праву можно считать одним из определяющих критериев эффективности применяемых агротехнологий.

Коэффициент водопотребления является одним из ключевых показателей, характеризующих эффективность использования воды посевами. Исходными данными для расчета коэффициента водопотребления служат суммарное водопотребление и биопродуктивность культуры. Расчет можно проводить отношением к общему объему сформированной биомассы или к хозяйственно-ценной части урожая. Последнее позволяет характеризовать эффективность использования водных ресурсов на формирование урожайности культур, а потому предпочтительно для оценки эффективности разрабатываемых агроприемов.

Результаты расчета значений коэффициента водопотребления нута для всех сочетаний изучаемых в опыте факторов приведены в таблице 3.12. Расчеты показали, что применяемые агроприемы оказывают существенное влияние на эффективность использования доступных ресурсов влаги, коэффициент водопотребления нута изменялся от 1399 м³/т до 1875 м³/т или более, чем на 47 %. Приведенные в таблице значения позволяют отследить роль каждого из изучаемых факторов в плане эффективного использования имеющихся ресурсов влаги.

Использование соломенной резки для мульчирования почвы является известным в регионе влагосберегающим агроприемом. В наших исследованиях проводилась апробация эффективности полосовой технологии распределения мульчирующего слоя. Опыты показали, что применение полосовой технологии мульчирования поверхности почвы повышает эффективность использования доступных ресурсов влаги посевами нута на 4,3-9,4 %. Коэффициент водопотребления нута при этом снижался на 69-148 м³/т. Более эффективным приемом полосового мульчирования поверхности почвы оказался на участках, где почву обрабатывали по предложенному способу, основанному на полосовом глубоком рыхлении почвы. Сочетание полосового способа формирования мульчирующего слоя с полосовым глубоким рыхлением почвы позволило снизить коэффициент водопотребления нута на 78-148 м³/т или 4,9-9,4 %. Характерно, что выполнение полос объемного рыхления через 1,05 м с последующим укрытием их мульчирующим слоем из резки соломы оказалось малоэффективным, коэффициент водопотребления нута по отношению к вариантам без мульчирования снизился не более, чем на 4,9 %.

Таблица 3.12 - Результаты количественной оценки коэффициента водопотребления нута в зависимости от сочетания изучаемых факторов

Фактор А (система обработки почвы)	Фактор В (способ посева)	Фактор С (мульчирование почвы)	Коэффициент водопотребления, к, м ³ /г				Δ к в зависимости от способа обработки почвы		Δ к при использовании локального мульчирующего покрытия	
			2015 г.	2016 г.	2017 г.	Среднее	М ³ /г	%	М ³ /г	%
А1 (зональная система обработки почвы под нут)	широкорядный 0,45 м	-	1597	1832	1701	1710	-	-	-	-
		+	1456	1766	1569	1597	-	-	-113	-6,6
	ленточный 0,30×0,45 м	-	1479	1782	1582	1614	-	-	-	-
		+	1401	1727	1508	1545	-	-	-69	-4,3
	ленточный 0,30×0,60 м	-	1618	1728	1591	1646	-	-	-	-
		+	1456	1660	1505	1540	-	-	-106	-6,4
	ленточный 0,30×0,75 м	-	1817	1857	1951	1875	-	-	-	-
		+	1678	1804	1836	1773	-	-	-102	-5,4
	широкорядный 0,45 м	-	1530	1742	1703	1658	-52	-3,0	-	-
		+	1422	1557	1558	1512	-85	-5,3	-146	-8,8
А2 (с пологими объемными рыхлениями)	ленточный 0,30×0,45 м	-	1440	1659	1607	1569	-45	-2,8	-	-
		+	1357	1466	1439	1421	-124	-8,0	-148	-9,4
	ленточный 0,30×0,60 м	-	1404	1622	1593	1540	-106	-6,4	-	-
		+	1321	1469	1406	1399	-141	-9,2	-141	-9,2
	ленточный 0,30×0,75 м	-	1452	1665	1635	1584	-291	-15,5	-	-
		+	1439	1568	1510	1506	-267	-15,1	-78	-4,9

Опыты подтвердили, что применяемая система обработки является одним из наиболее мощных факторов повышения эффективности использования доступных ресурсов влаги при возделывании нута без полива. Численно, коэффициент водопотребления нута с переходом на предложенную систему обработки почвы снижался на 45-291 м³/т или 2,8-15,5 %. Отмечено, что эффективность предложенной системы обработки почвы зависит от способа посева нута. Так, например, при посеве нута рядовым способом с междурядьями 0,45 м применение полосовой глубокой обработки почвы в зоне размещения растений снижало коэффициент водопотребления культуры не более, чем на 3,0-5,3 %. При посеве нута ленточным способом с тем же междурядным расстоянием применение полосовой глубокой обработки почвы в зоне размещения растений позволило снизить коэффициент водопотребления уже на 2,8-8,0 %. Однако, в наибольшей степени, на 6,4-15,5 %, коэффициент водопотребления нута с переходом на предложенную систему обработки почвы снижался на участках вариантов, где посев проводили ленточным способом с междурядным расстоянием 0,6 и 0,75 м.

Таким образом, в плане повышения эффективности использования посевами нута доступных ресурсов влаги отмечено взаимодействие фактора, регламентируемого способом посева нута с вариантами применяемой системы обработки почвы и вариантами мульчирования. На рисунке 3.14 показаны аппроксимирующие кривые изменения коэффициента водопотребления нута в зависимости от ширины междурядий при использовании ленточного способа посева. Кривые аппроксимированы для следующих трех сочетаний изучаемых факторов:

– для варианта с применением зональной системы обработки почвы без мульчирования. Кривая аппроксимирована уравнением вида:

$$k = 9122,2\alpha^2 - 9915 \alpha + 4256,$$

где k – коэффициент водопотребления нута, м³/т, α – ширина междурядий, варьируемая для ленточного способа посева в опытах, м. Коэффициент корреляции зависимости 0,96;

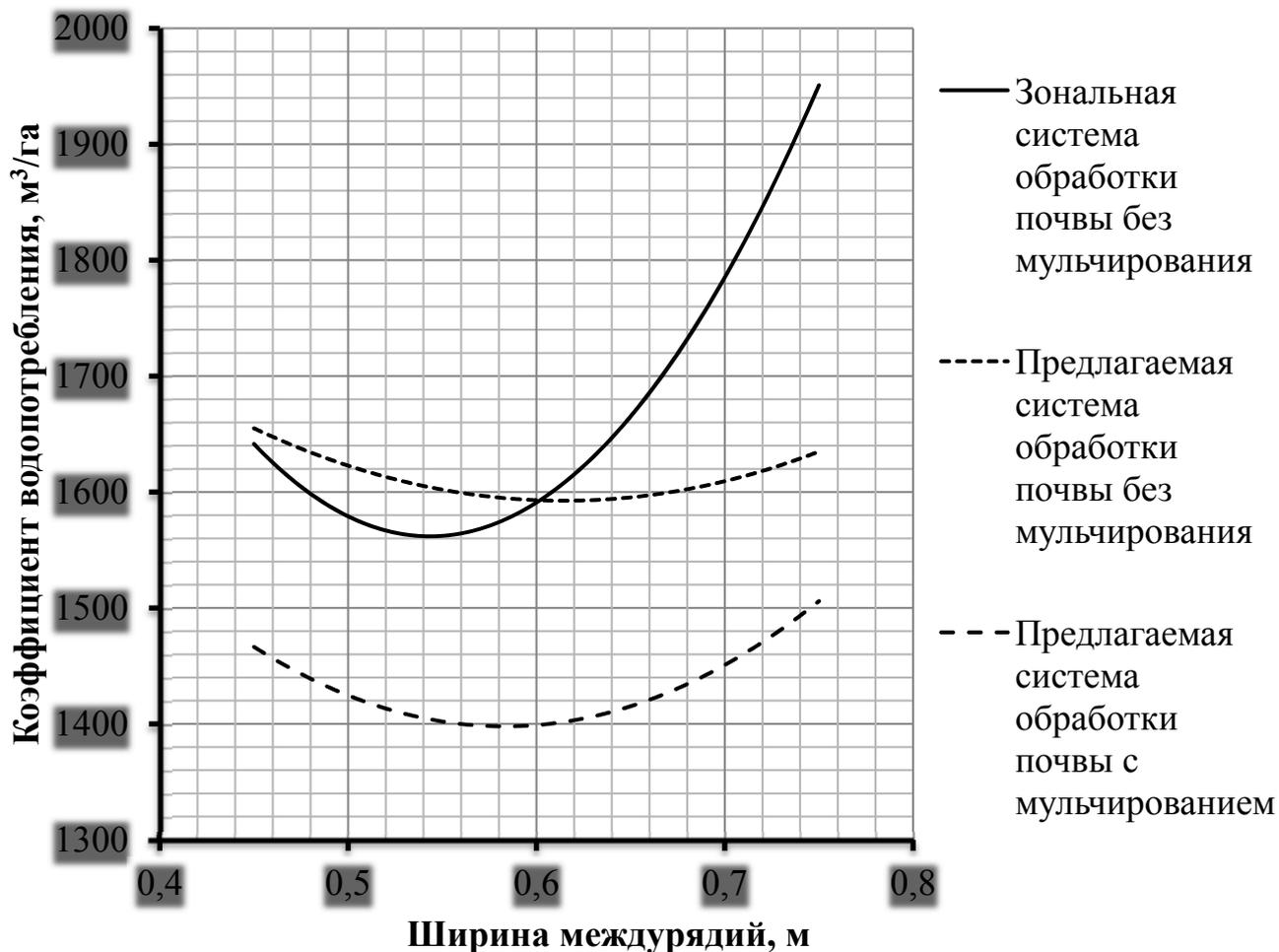


Рисунок 3.14 - Аппроксимирующие кривые коэффициента водопотребления нута в зависимости от ширины междурядий (a) при ленточном ($0,30 \times a$ м) посеве и использовании разных систем обработки почвы

– для варианта с применением предложенной системы обработки почвы без мульчирования. Кривая аппроксимирована уравнением вида:

$$k = 2311,1a^2 - 2840a + 2465$$

Коэффициент корреляции зависимости составляет 0,7;

– для варианта с применением предложенной системы обработки почвы и формированием полосового мульчирующего слоя из резки соломы. Кривая аппроксимирована уравнением вида:

$$k = 3877,8a^2 - 4521,7a + 2716$$

Коэффициент корреляции зависимости составляет 0,77.

Установлено, что все кривые наиболее хорошо описываются полиномами второй степени с выраженной зоной минимума в области практического регулирования факторов. Зависимость коэффициента водопотребления нута от ширины междурядий на участках с зональной обработкой почвы без мульчирования характеризуется наиболее выраженным ростом при увеличении междурядного расстояния до 0,75. Именно здесь получены наибольшие значения коэффициента водопотребления нута, составляющие, в среднем, 1875 м³/т.

При использовании предложенной системы обработки почвы без мульчирования зависимость коэффициента водопотребления нута от ширины междурядий в посевах трансформировалась в пологую одновершинную кривую с минимумом на участках с формированием посевных лент нута через 0,6 м. Количественно, экстремум одновершинной кривой находит решение в области, смещенной ниже 1600 м³/т, что, следует признать сопоставимо с минимальными значениями коэффициента водопотребления на участках, где применялась зональная система обработки почвы. Качественное отличие динамики коэффициента водопотребления, полученной при использовании предложенного способа обработки почвы, заключается в смещении краевых эффектов в область более низких затрат воды на формирование урожая нута. В частности, максимальное значение коэффициента водопотребления здесь определяется междурядным расстоянием 0,45 м и количественно выражается 1658 м³/т.

Динамику коэффициента водопотребления при использовании предложенной системы обработки почвы в сочетании с применением полосового мульчирования поверхности описывает такая же пологая одновершинная кривая, как и в вариантах без использования мульчи. Экстремум этой кривой также находится в области 0,6 м, - по видимому, ширина междурядья в 0,6 м при ленточном способе посева нута является наиболее выгодной в плане эффективности использования водных ресурсов при использовании предложенной системы обработки почвы и не зависит от вариантов мульчирования. Качественным отличием этой зависимости является общее ее смещение в область более низких затрат воды на формирование урожая. Минимум затрат воды на формирование урожая нута здесь оценивается

1399 м³/т, что существенно ниже значений коэффициента водопотребления, полученных при использовании зональной системы обработки почвы, а также на участках с применением полосовых глубоких обработок, но без мульчирования поверхности почвы.

Таким образом, использование глубоких полосовых обработок почвы в зоне последующего размещения растений и применение известного приема мульчирования поверхности в ее полосовой модификации, являются мощными факторами повышения эффективности использования естественных ресурсов влаги на формирование урожая. В совокупности применение этих приемов позволяет снизить общие затраты воды на формирование урожая нута на 193-369 м³/т, что составляет 11,6-16,7 %. При этом наиболее эффективно, с расходом 1399 м³/т, вода используется, если на фоне проведения полосовых глубоких обработок почвы с мульчированием поверхности взрыхленных полос, посев нута проводить ленточным способом по схеме 0,30×0,60 м.

4. ЗАКОНОМЕРНОСТИ РАЗВИТИЯ И ФОТОСИНТЕТИЧЕСКАЯ АКТИВНОСТЬ НУТА ПРИ РАЗНЫХ СОЧЕТАНИЯХ ИЗУЧАЕМЫХ ФАКТОРОВ

4.1 Закономерности развития нута в условиях дефицита естественной влагообеспеченности

Фенологические аспекты развития сельскохозяйственных культур имеют важнейшее значение, так как определяют качественные периоды роста, характеризующиеся, зачастую существенными, различиями требований к условиям окружающей среды. Динамика прохождения фенологических фаз роста в значительной степени обусловлена экологией окружающей среды и изменяется под действием внешних факторов. Сокращаясь или увеличиваясь, продолжительность прохождения тех или иных периодов роста определяет реализацию элементов продуктивности посева, формирующихся на протяжении всего вегетационного периода. Продолжительность вегетационного периода имеет и большое организационно-хозяйственное значение, так как определяет сроки уборки культуры.

В опытах использовали широко распространенный в регионе сорт местной селекции Приво 1, характеризующегося продолжительностью вегетационного периода в пределах 68-86 суток. При посеве нута после ранних яровых сроки уборки этого сорта в регионе приходятся на конец 2-3-й декады июля и 1 декаду августа. Большинство возделываемых в регионе культур к этому сроку уже убраны, либо не достигли фазы уборочной спелости. В этом плане культура нута удобна для использования в хозяйственно-организационном плане, а фактически варьируемая продолжительность вегетационного периода не является лимитирующим фактором его возделывания.

Исследования показали, что продолжительность вегетационного периода нута существенно изменяется под влиянием внешних факторов, обусловленных как реально складывающимися погодными условиями, так и совокупностью изучаемых в опыте факторов (таблица 4.1).

Таблица 4.1 – Продолжительность вегетационного периода нута (с. Приво 1) в опытных посевах

Фактор А (система обработки почвы)	Фактор В (способ по- сева)	Фактор С (муль- чирова- ние поч- вы)	Вегетационный период, Т, сут.				Δ Т в зависи- мости от спо- соба обработки почвы		Δ Т в зависи- мости от спо- соба посева		Δ Т при ис- пользовании локального мульчирующе- го покрытия	
			2015 Г.	2016 Г.	2017 Г.	Сред нее	сут.	%	сут.	%	сут.	%
А1 (зо- нальная си- стема об- работки почвы под нут)	широкоряд- ный 0,45 м	-	84	85	88	86	-	-	-	-	-	-
		+	86	86	89	87	-	-	-	-	1	1,2
	ленточный 0,30×0,45 м	-	84	85	88	86	-	-	0	0,0	-	-
		+	86	86	89	87	-	-	0	0,0	1	1,2
	ленточный 0,30×0,60 м	-	84	85	88	86	-	-	0	0,0	-	-
		+	86	86	89	87	-	-	0	0,0	1	1,2
	ленточный 0,30×0,75 м	-	83	84	87	85	-	-	-1	-1,2	-	-
		+	85	85	88	86	-	-	-1	-1,1	1	1,2
	широкоряд- ный 0,45 м	-	85	87	89	87	1	1,2	-	-	-	-
		+	87	88	90	88	1	1,1	-	-	1	1,1
А2 (с по- лосным объемным рыхлени- ем)	ленточный 0,30×0,45 м	-	85	87	90	87	1	1,2	0	0,0	-	-
		+	89	88	91	89	2	2,3	1	1,1	2	2,3
	ленточный 0,30×0,60 м	-	85	87	90	87	1	1,2	0	0,0	-	-
		+	89	89	92	90	3	3,4	2	2,3	3	3,4
	ленточный 0,30×0,75 м	-	84	86	89	86	1	1,2	-1	-1,1	-	-
		+	88	87	90	88	2	2,3	0	0,0	2	2,3

Продолжительность периода от посева до наступления фазы уборочной спелости семян изменялась от 83 суток в 2015 году до 92 суток в 2017 году. По осредненным за годы исследований данным продолжительность вегетационного периода нута изменялась от 85 до 90 суток в зависимости от сочетания изучаемых факторов. Увеличение продолжительности вегетационного периода обуславливает возможность использования дополнительных ресурсов агроэкологической среды для повышения продуктивности посевов. По сути, увеличение продолжительности вегетационного периода, является потенциалом, который, при создании условий, может быть реализован в виде существенной прибавки к урожаю.

Исследованиями установлено, что изучаемые в опыте приемы оказывали неодинаковое влияние на продолжительность вегетационного периода нута. Использование предложенных приемов обработки почвы в рамках внедряемой технологии сопровождалось увеличением продолжительности вегетационного периода, в среднем, на 1-3 суток. Отмечено взаимодействие фактора обработки почвы с другими изучаемыми в опыте факторами в плане влияния на продолжительность вегетационного периода. В среднем, на сутки продолжительность вегетационного периода нута возрастала при использовании предлагаемого способа обработки почвы в сочетании с посевом широкорядным способом, через 0,45 м, а также при посеве ленточными способами в различных вариациях на участках, где мульчирование поверхности почвы не проводилось. В среднем, на 2 суток продолжительность вегетационного периода возрастала при использовании полосовых обработок почвы в сочетании с посевом нута ленточными способами по схеме 0,30×0,45 м и 0,30×0,75 м на участках, где предусматривалось мульчирование поверхности почвы по разрыхленным полосам. В наибольшей степени, на 3 суток, продолжительность вегетационного периода нута возрастала при использовании полосовых обработок почвы в сочетании с посевом нута ленточным способом по схеме 0,30×0,60 м и мульчированием разрыхленной поверхности.

В зависимости от способа посева нута наблюдалось как увеличение, так и сокращение продолжительности вегетационного периода. Общая амплитуда вариаций вегетационного периода достигала 3 суток. На участках, где почву обрабаты-

вали по зональной технологии, на основе отвальной зяблевой вспашки, использование ленточных способов посева со схемой $0,30 \times 0,45$ м и $0,30 \times 0,60$ м не привело к какому либо изменению продолжительности вегетационного периода нута, а при посеве нута ленточным способом по схеме $0,30 \times 0,75$ м, - продолжительность вегетационного периода сокращалась, в среднем, на сутки по отношению к контролю (вариантам, где посев проводили широкорядным способом через 0,45 м).

На участках, где применяли предложенный способ обработки почвы на основе глубоких полосовых рыхлений, посев нута ленточным способом по схеме $0,30 \times 0,75$ м также сопровождался сокращением продолжительности вегетационного периода на сутки в сравнении с вариантами, где нут высевали широкорядным способом, через 0,45 м. Однако, при использовании ленточного способа посева со схемой $0,30 \times 0,45$ м продолжительность вегетационного периода нута возрастала на сутки, а при посеве ленточным способом по схеме $0,30 \times 0,60$ м, - на 2 суток относительно контрольного варианта. Характерно, что продолжительность вегетационного периода нута возрастала только на участках, где применяли известный влагосберегающий прием, - мульчирование, в полосовой модификации.

Полосовое мульчирование почвы в зоне последующего размещения растений увеличивало продолжительность вегетационного периода в любом сочетании с изучаемыми вариантами опыта. В среднем, на сутки продолжительность вегетационного периода нута возрастала при мульчировании поверхности почвы на фоне применения зональной системы обработки, а также на фоне глубоких полосовых обработок на участках, где посев проводили широкорядным способом через 0,45 м. На участках, где предложенный способ обработки почвы применяли в сочетании с ленточным посевом по схеме $0,30 \times 0,45$ м или $0,30 \times 0,75$ м, мульчирование почвы способствовало увеличению продолжительности вегетационного периода на 2 суток. В наибольшей степени, на 3 суток, продолжительность вегетационного периода возрастала при мульчировании поверхности почвы на участках, где посев проводили ленточным способом по схеме $0,30 \times 0,60$ м на фоне глубоких полосовых обработок почвы в рамках предложенной технологии.

Таким образом, обработка почвы по предложенному способу на основе глубоких полосовых обработок в зоне последующего размещения растений и полосовое мульчирование поверхности почвы сопровождаются однозначным увеличением продолжительности вегетационного периода нута. Это позволяет сделать предварительные выводы о эффективности данных приемов при возделывании нута в условиях засушливого климата. Реакция нута на способы посева неоднозначна и связана с параметрами проведения последних. В частности, при посеве нута ленточным способом по схеме $0,30 \times 0,75$ м продолжительность вегетационного периода сокращалась, тогда, как использование других параметров этого же способа посева сопровождалось ростом продолжительности вегетационного периода на 1-2 суток.

Наряду с общей оценкой продолжительности вегетационного периода, исследованиями проведен анализ динамики прохождения отдельных фаз роста и развития (таблица 4.2, приложения 4-6). Для количественной оценки были выделены следующие периоды: «посев-всходы», «всходы – ветвление растений нута», «ветвление – начало фазы цветения», «цветение посевов – начало фазы массового налива бобов», «налив бобов – фаза уборочной спелости семян». Анализ опытного материала показал отсутствие влияния изучаемых факторов на продолжительность периода от посева до появления массовых всходов. В среднем за годы исследований продолжительность этого периода составила 13 суток, однако по годам исследований изменялась от 10 до 17 суток. Наиболее продолжительным периодом от посева до появления всходов был в 2015 году, когда после длительного благоприятного по температурному фактору периода и посева нута температура воздуха снизилась до $3,2^{\circ}\text{C}$. Процессы прорастания семян активизировались лишь с наступлением второй волны тепла, что и явилось причиной задержки всходов в опытных посевах.

Период «всходы-начало ветвления» относительно непродолжителен, в опытах эти фазы развития нута проходили, в среднем, за 12-13 суток.

Таблица 4.2 – Продолжительность межфазных периодов роста и развития нута в зависимости от сочетания изучаемых в опыте факторов (среднее за 2015-2017 гг)

Фактор А (система обработки почвы)	Фактор В (способ посева)	Фактор С (мульчирование почвы)	Продолжительность периода					
			Посев-всходы	Всходы - ветвление	Ветвление - цветение	Цветение - налив бобов	Налив бобов - полная спелость семян	Посев-уборочная спелость семян
А1 (зональная система обработки почвы под нут)	широкорядный 0,45 м	-	13	12	22	24	15	86
		+	13	13	23	24	15	87
	ленточный 0,30×0,45 м	-	13	12	22	24	15	86
		+	13	13	23	24	15	87
	ленточный 0,30×0,60 м	-	13	12	22	24	15	86
		+	13	13	23	24	15	87
	ленточный 0,30×0,75 м	-	13	12	22	23	14	85
		+	13	13	23	23	14	86
	широкорядный 0,45 м	-	13	12	22	25	15	87
		+	13	13	23	25	15	88
	ленточный 0,30×0,45 м	-	13	12	22	25	15	87
		+	13	13	24	25	15	89
ленточный 0,30×0,60 м	-	13	12	22	25	15	87	
	+	13	13	24	26	15	90	
ленточный 0,30×0,75 м	-	13	12	22	24	14	86	
	+	13	13	24	25	14	88	

Исследованиями установлено, что в вариантах, где поверхность почвы мульчировали с целью снижения физического испарения влаги, продолжительность периода «всходы-начало ветвления» увеличивается, в среднем, на сутки. Влияние других изучаемых в опыте факторов на продолжительность этого периода не отмечено.

Опыты показали, что проведение операции мульчирования увеличивает также продолжительность периода «ветвление-начало цветения». Причем на участках, где обработку почвы проводили по зональной технологии, продолжительность периода при использовании мульчи возрастала на сутки, а на участках с применением предложенного способа обработки почвы, - на 2 суток.

Период цветения, до начала фазы массового налива бобов в опытах характеризовался средней продолжительностью 23-26 суток. В этот период однозначно проявляется влияние способа обработки почвы на динамику прохождения сопредельных фаз развития. Продолжительность периода с переходом на предложенный способ обработки почвы возрастала, в среднем на сутки, а на участках с применением ленточного способа посева по схеме $0,30 \times 0,60$ м и мульчированием поверхности, - на 2 суток.

Влияния изучаемых в опыте факторов на продолжительность периода «налив бобов- уборочная спелость семян» не отмечено.

Таким образом, динамика прохождения очередных фаз роста и развития нута существенно изменяется в зависимости от сочетания используемых в опыте приемов. Количественно, влияние факторов на динамику прохождения очередных фаз роста и развития нута в отдельности характеризуется 1-3 сутками. Совокупное действие факторов сопровождается изменением продолжительности вегетационного периода до 5 суток.

4.2 Динамика развития листового аппарата и формирование фотосинтетического потенциала посева

Фотосинтетическая активность посева является главным фактором, обуславливающим реализацию потенциала продуктивности возделываемых культур. Являясь генетически обусловленной стороной развития растений, фотосинтетическая активность посева также подвержена и существенным вариациям, проявляющимся как мера адаптации к условиям среды произрастания. Фотосинтетическая активность является обобщенным показателем сложной совокупности процессов, свойственных растениям данного вида. Для характеристики фотосинтетической активности посевов используются различные показатели, зачастую характеризующие совершенно разные физические и биологические процессы. В сельскохозяйственной науке принято фотосинтетическую активность посева оценивать двумя основными показателями, - это площадь непрерывно изменяющейся, развивающейся ассимиляционной поверхности посева и продуктивность фотосинтеза, характеризующая интенсивность работы фотосинтезирующей единицы.

И тот и другой из рассматриваемых показателей в естественных природных условиях может существенно варьировать в соответствии с доступностью необходимых для развития растений ресурсов. Изменение этих показателей происходит в пределах норм биологических реакций, свойственных для возделываемой культуры. Для бобовых культур, к которым относится и культура нута, характерна существенная вариабельность роста и развития листового аппарата при умеренной, адаптивной изменчивости продуктивности фотосинтеза [2, 12, 29, 42, 55]. Именно с площадью листьев, динамикой их роста и продолжительностью активного функционирования, установлены наиболее тесные корреляционные связи продуктивности посева.

Культура нута, как и все бобовые культуры отличается высокой адаптационной способностью, пластичностью в формировании листового аппарата. Опыты показали, что уже с первых фаз развития у нута активно формируется листовой аппарат (таблица 4.3, рисунок 4.1).

Таблица 4.3 - Фазовые значения площади листьев в посевах нута при разных сочетаниях изучаемых приемов, тыс. м²/га (среднее за 2015-2017 гг)

Фактор А (система обработки почвы)	Фактор В (способ посе- ва)	Фактор С (муль- чиро- вание почвы)	Фаза развития				Полная спелость семян	
			Всходы	Ветвление	Цветение	Налив бобов		
А1 (зональ- ная система обработки почвы под нут)	широкоряд- ный 0,45 м	-	1,8	9,5	23,1	23,9	15,5	
		+	1,8	9,5	23,8	24,9	16,6	
	ленточный 0,30×0,45 м	-	2,0	10,4	24,2	24,8	16,4	
		+	2,0	10,4	24,6	25,4	17,3	
	ленточный 0,30×0,60 м	-	1,8	9,5	23,5	24,5	16,4	
		+	1,8	9,5	24,5	25,4	17,4	
	ленточный 0,30×0,75 м	-	1,6	8,3	21,2	22,3	15,2	
		+	1,6	8,3	21,6	23,5	15,4	
	А2 (с по- лосным объемным рыхлением)	широкоряд- ный 0,45 м	-	1,8	9,5	23,9	25,2	16,8
			+	1,8	9,5	24,7	26,4	17,5
		ленточный 0,30×0,45 м	-	2,0	10,4	25,0	26,7	18,4
			+	2,0	10,4	26,0	28,0	19,4
ленточный 0,30×0,60 м		-	1,8	9,5	25,6	27,7	19,1	
		+	1,8	9,5	26,7	28,8	20,5	
ленточный 0,30×0,75 м	-	1,6	8,3	24,3	25,9	17,7		
	+	1,6	8,3	25,3	26,8	18,6		

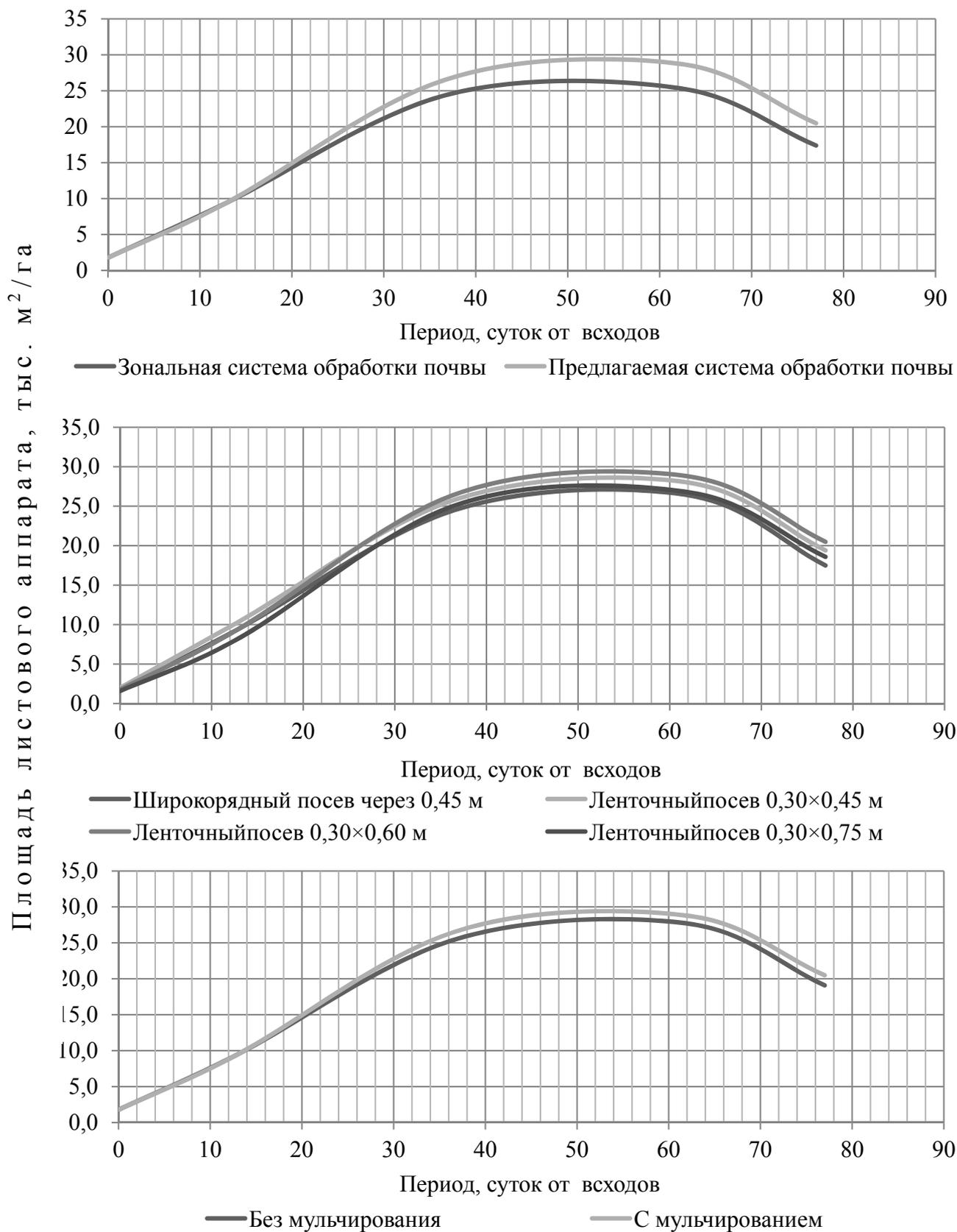


Рисунок 4.1 - Динамика развития листового аппарата нута в зависимости от условий выращивания (среднее за 2015-2017гг)

В фазу всходов проективная площадь покрытия листового аппарата к сельскохозяйственным угодьям предельно мала, однако уже в этот период состояния ассимиляционного аппарата имеет больше значение, определяя динамику дальнейшего развития растений.

В опытах в фазу всходов площадь листьев нута изменялась, в среднем, от 1,6 до 2,0 тыс. м²/га, и зависела, преимущественно, от исследуемого способа посева. Поскольку рядовой интервал между смежными растениями нута на всех вариантах опытах сохранялся неизменным, плотность посева варьировала пропорционально плотности размещения рядков в изучаемом способе посева. В силу этого, площадь проективного покрытия листового аппарата нута формировалась наибольшей в вариантах с наиболее плотными посевами и наименьшей, - в вариантах с разреженной архитектоникой. Наибольшей площадью ассимиляционной поверхности, 2,0 тыс. м²/га, отличались варианты, где посев нута осуществляли ленточным способом по схеме 0,30×0,45 м. Наименьшим проективным покрытием, 1,6 тыс. м²/га, характеризовались варианты, где посев нута осуществляли ленточным способом по схеме 0,30×0,75 м. Площадь ассимиляционного аппарата нута на участках, где посев проводили широкорядным способом, через 0,45 м и ленточным способом по схеме 0,30×0,60 м, в фазу всходов составляла 1,8 тыс. м²/га.

Быстрое развитие листового аппарата нута обусловило уже к началу фазы ветвления растений формирование хорошо развитой ассимиляционной поверхности со средней площадью листьев 8,3-10,4 тыс. м²/га. Для этого периода было характерно углубление различий, заложенных еще в фазу всходов. Отличия в опытах формировались только в вариантах с различными способами посева, тогда как влияние других факторов никак не проявлялось. Однако уже к началу фазы цветения площадь листьев нута существенно различалась по всем вариантам опыта.

Период между началом фазы ветвления растений и началом массового цветения посевов характеризовался достаточно продолжительным интенсивным развитием листового аппарата, площадь которого возросла до 2,5 раз, а в некоторых вариантах и более. Общая вариация площади листьев по вариантам опыта характеризовалась интервалом 21,2-26,7 тыс. м²/га. Причем на участках, где почву обрабатывали

по зональной технологии, наибольшая площадь листьев в самых развитых вариантах не превышала, в среднем, 24,6 тыс. м²/га. Характерные различия были установлены и по взаимодействию способа обработки почвы с фактором, обусловленными применяемыми способами посева нута. В частности, на участках с зональной системой обработки почвы, наиболее развитая ассимиляционная поверхность оказалась в вариантах, где посев нута проводили ленточным способом по схеме 0,30×0,45 м. На участках, где обработку почвы проводили по предложенной системе, основанной на применении глубоких полосных рыхлений, наиболее развитая ассимиляционная поверхность, 26,7 тыс. м²/га, оказалась в вариантах, где посев нута проводили ленточным способом по схеме 0,30×0,60 м. При прочих равных условиях преимущество в развитие листового аппарата нута оставалось на участках, где проводили полосное мульчирование поверхности почвы.

В период цветения развитие листового аппарата нута замедлялось, что, преимущественно, связано с исчерпанием природных ресурсов, потребляемых растениями и, прежде всего, - ресурсов почвенной влаги. Наряду с этим новообразование и рост листьев преобладали над процессами увядания и некроза, в связи с чем к началу фазы налива бобов площадь листьев еще увеличилась и достигла максимальных значений. В опытах максимальная площадь листьев изменялась, в среднем, от 22,3 до 28,8 тыс. м²/га (таблица 4.4).

На контроле, характеризующегося применением зональной системы обработки почвы и принятого в регионе широкорядного способа посева с междурядным расстоянием 0,45 м максимальная площадь листьев нута изменялась в пределах 22,7-25,5 тыс. м²/га, в среднем составляя 23,9 тыс. м²/га. Менее развитым ассимиляционным аппаратом в опыте характеризовались лишь варианты, где на фоне зональной системы обработки почвы посев проводили ленточным способом по схеме 0,30×0,75 м. Площадь листьев в посевах нута здесь не превышала, в среднем, 22,3 тыс. м²/га.

В приведенных выше примерах речь шла о вариантах, где проведения мульчирования поверхности почвы в предлагаемой полосовой модернизации не проводилось.

Таблица 4.4 – Максимальная площадь листьев в посевах нута при разных сочетаниях изучаемых приемов, тыс. м²/га

Фактор А (система обработки почвы)	Фактор В (способ посева)	Фактор С (мульчирование почвы)	Максимальная площадь листьев, S, тыс. м ² /га				Δ S в зависимости от способа обработки почвы		Δ S в зависимости от способа посева		Δ S при использовании локального мульчирующего ГО покрытия
			2015 Г.	2016 Г.	2017 Г.	Сред нее	тыс. м ² /га	%	тыс. м ² /га	%	
А1 (зонная система обработки почвы под нут)	широкорядный 0,45 м	-	22,7	23,6	25,5	23,9	-	-	-	-	-
		+	23,7	24,5	26,4	24,9	-	-	-	1	4,2
	ленточный 0,30×0,45 м	-	23,2	24,0	27,1	24,8	-	-	0,9	3,8	-
		+	24,1	24,4	27,7	25,4	-	-	0,5	2,0	2,4
	ленточный 0,30×0,60 м	-	22,0	24,5	26,9	24,5	-	-	0,6	2,5	-
		+	23,7	25,3	27,3	25,4	-	-	0,5	2,0	3,7
	ленточный 0,30×0,75 м	-	20,1	23,2	23,6	22,3	-	-	-1,6	-6,7	-
		+	20,9	25,6	24,1	23,5	-	-	-1,4	-5,6	5,4
А2 (с полными объемными рыхлениями)	широкорядный 0,45 м	-	23,9	25,6	26,0	25,2	1,3	5,4	-	-	-
		+	25,5	27,1	26,6	26,4	1,5	6,0	-	-	4,8
	ленточный 0,30×0,45 м	-	25,3	26,9	27,8	26,7	1,9	7,7	1,5	6,0	-
		+	27,2	28,3	28,6	28,0	2,6	10,2	1,6	6,1	4,9
	ленточный 0,30×0,60 м	-	26,6	28,1	28,4	27,7	3,2	13,1	2,5	9,9	-
		+	28,3	28,5	29,7	28,8	3,4	13,4	2,4	9,1	4,0
	ленточный 0,30×0,75 м	-	25,4	25,8	26,6	25,9	3,6	16,1	0,7	2,8	-
		+	25,6	27,5	27,4	26,8	3,3	14,0	0,4	1,5	3,5

Установлено, что применение мульчи для полосового укрытия поверхности почвы сопровождалось увеличением максимальной площади листьев, в среднем на 0,6-1,3 тыс. м²/га или 2,4-4,9 %.

Использование предложенной системы обработки почвы, основанной на глубоких полосовых рыхлениях в зоне последующего размещения растений сопровождалось увеличением максимальной площади листьев, в среднем, на 5,4-16,1 %. Причем в наименьшей степени, на 1,3-1,5 тыс. м²/га или 5,4-6,0 % площадь листьев возрастала при переходе на предложенную систему обработки почвы в сочетании с широко используемым в регионе широкорядным способом посева через 0,45 м.

Использование предложенного способа обработки почвы в сочетании с посевом ленточным способом по схеме 0,30×0,45 м обеспечило прирост максимальной площади листьев до 1,9-2,6 тыс. м²/га или 7,7-10,2 %. Однако, наибольшее увеличение максимальной площади листьев нута было отмечено при переходе на предложенный способ обработки почвы в сочетании с применением ленточного способа посева по схеме 0,30×0,60 м или 0,30×0,75 м. Максимальная площадь листьев при этом увеличивалась на 3,2-3,6 тыс. м²/га или 13,1-16,1 %.

Изменения в площади максимально развитого ассимиляционного аппарата нута отмечены и по вариантам способов посева. Характерно, что на фоне обработок почвы, проводимых по зональной технологии, влияние способа посева на формирование максимальной площади листьев нута было минимальным. В частности, при переходе с широкорядного на ленточный способ посева, проводимый по схеме 0,30×0,45 м или 0,30×0,60 м, отмечен общий тренд к увеличению площади листьев в посевах нута в пределах 2,0-3,8 %. В тоже время при переходе с широкорядного на ленточный способ посева по схеме 0,30×0,75 м максимальная площадь листьев нута снижалась на 1,4-1,6 тыс. м²/га, что составляет 5,6-6,7 %.

На фоне проведения обработок почвы по предложенной системе максимальная площадь листьев нута при переходе с широкорядного на ленточный способ посева возрастала при всех изучаемых в опыте параметрах. Однако наибольший прирост максимальной площади листьев наблюдался при переходе с широкорядного спо-

сота посева через 0,45 м на ленточный способ посева по схеме 0,30×0,60 м. Значения максимальной площади листьев нута при этом возрастали на 2,4-2,5 тыс. м²/га, что составляет 9,1-9,9 %. Это обеспечило формирование посевов с наиболее развитой в опытах ассимиляционной поверхностью, максимальная площадь листьев на которых достигала 28,8 тыс. м²/га.

Площадь листьев является статическим показателем-характеристикой фотосинтетической активности посева, отражающие лишь отдельные уровни развития листового аппарата и дающие общие представления о динамике его роста. Фотосинтетический потенциал используется в качестве более общей количественной характеристики, являющейся производной и от уровня развития листового аппарата, и от динамики его развития, и от продолжительности активного функционирования. В численном выражении фотосинтетический потенциал определяется интегралом от функции роста листового аппарата во времени. По полученным в опыте данным нами рассчитаны значения накопленного посевами фотосинтетического потенциала как в целом, за вегетационный период, так и в отдельные межфазные периоды развития (таблица 4.5-4.6, рисунок 4.2).

Суммарно за вегетационный период посевами нута накапливалось от 1154 до 1587 тыс. м²дн./га фотосинтетического потенциала. Расчеты показали, что формирование фотосинтетического потенциала нута зависит от всех изучаемых в опыте факторов. Однако, в наименьшей степени, значения накопленного за вегетационный период фотосинтетического потенциала изменялись в зависимости от фактора, определяющегося использованием приема мульчирования почвы в полосовой модификации. Мульчирование поверхности почвы в зоне рыхления и последующего высева нута сопровождалось увеличением фотосинтетического потенциала посева, однако в численном выражении прибавка не превышала 3,4-6,7 %. Более эффективным, полосовое мульчирование поверхности почвы оказалось на участках, где использовали предложенные приемы обработки почвы.

Таблица 4.5 – Общевегетационная оценка фотосинтетического потенциала нута при разных сочетаниях изучаемых приемов, тыс. м² дн./га

Фактор А (система обработки почвы)	Фактор В (способ посева)	Фактор С (мульчирование почвы)	Фотосинтетический потенциал, р, тыс. м ² дн./га				Δ р в зависимости от способа обработки почвы		Δ р в зависимости от способа посева		Δ р при использовании каменного мульчирующего покрытия	
			2015 г.	2016 г.	2017 г.	Среднее	тыс. м ² дн./га	%	тыс. м ² дн./га	%	тыс. м ² дн./га	%
А1 (зональная система обработки почвы под нут)	широкорядный 0,45 м	-	1130	1277	1436	1281	-	-	-	-	-	-
		+	1192	1335	1495	1341	-	-	-	-	60	4,7
	ленточный 0,30×0,45 м	-	1180	1306	1548	1345	-	-	64	5,0	-	-
		+	1232	1345	1596	1391	-	-	50	3,7	46	3,4
	ленточный 0,30×0,60 м	-	1089	1321	1518	1309	-	-	-	-	-	-
		+	1192	1375	1559	1375	-	-	34	2,5	66	5,0
ленточный 0,30×0,75 м	-	964	1219	1280	1154	-	-	-	-	-	-	
	+	1039	1288	1317	1215	-	-	-127	-9,9	61	5,3	
А2 (с полным объемным рыхлением)	широкорядный 0,45 м	-	1200	1393	1485	1359	78	6,1	-	-	-	-
		+	1276	1470	1531	1426	85	6,3	-	-	67	4,9
	ленточный 0,30×0,45 м	-	1274	1461	1619	1451	106	7,9	92	6,8	-	-
		+	1415	1551	1668	1545	154	11,1	119	8,3	94	6,5
	ленточный 0,30×0,60 м	-	1300	1518	1606	1475	166	12,7	116	8,5	-	-
		+	1441	1617	1702	1587	212	15,4	161	11,3	112	7,6
ленточный 0,30×0,75 м	-	1217	1371	1463	1350	196	17,0	-9	-0,7	-	-	
	+	1298	1470	1524	1431	216	17,8	5	0,4	81	6,0	

Таблица 4.6 - Динамика накопления фотосинтетического потенциала посевами нута в течение вегетационного периода, тыс. м²дн./га (среднее за 2015-2017 гг)

Фактор А (система обработки почвы)	Фактор В (способ посе- ва)	Фактор С (муль- чиро- вание почвы)	Фаза развития				За вегетац- онный период
			Всходы- начало ветвления	Ветвление – начало цветения	Цветение – начало налива бобов	Налив бобов - полная спе- лость семян	
А1 (зональ- ная система обработки почвы под нут)	широкоряд- ный 0,45 м	-	71	354	566	290	1281
		+	72	379	586	304	1341
	ленточный 0,30×0,45 м	-	77	375	590	303	1345
		+	79	396	602	313	1391
	ленточный 0,30×0,60 м	-	71	359	579	300	1309
		+	72	387	602	314	1375
	ленточный 0,30×0,75 м	-	61	321	510	263	1154
		+	62	339	528	285	1215
	широкоряд- ный 0,45 м	-	71	375	606	308	1359
		+	72	400	631	322	1426
	ленточный 0,30×0,45 м	-	77	396	648	330	1451
		+	79	432	686	348	1545
ленточный 0,30×0,60 м	-	71	394	667	343	1475	
	+	72	430	723	362	1587	
ленточный 0,30×0,75 м	-	61	365	612	313	1350	
	+	62	399	644	326	1431	

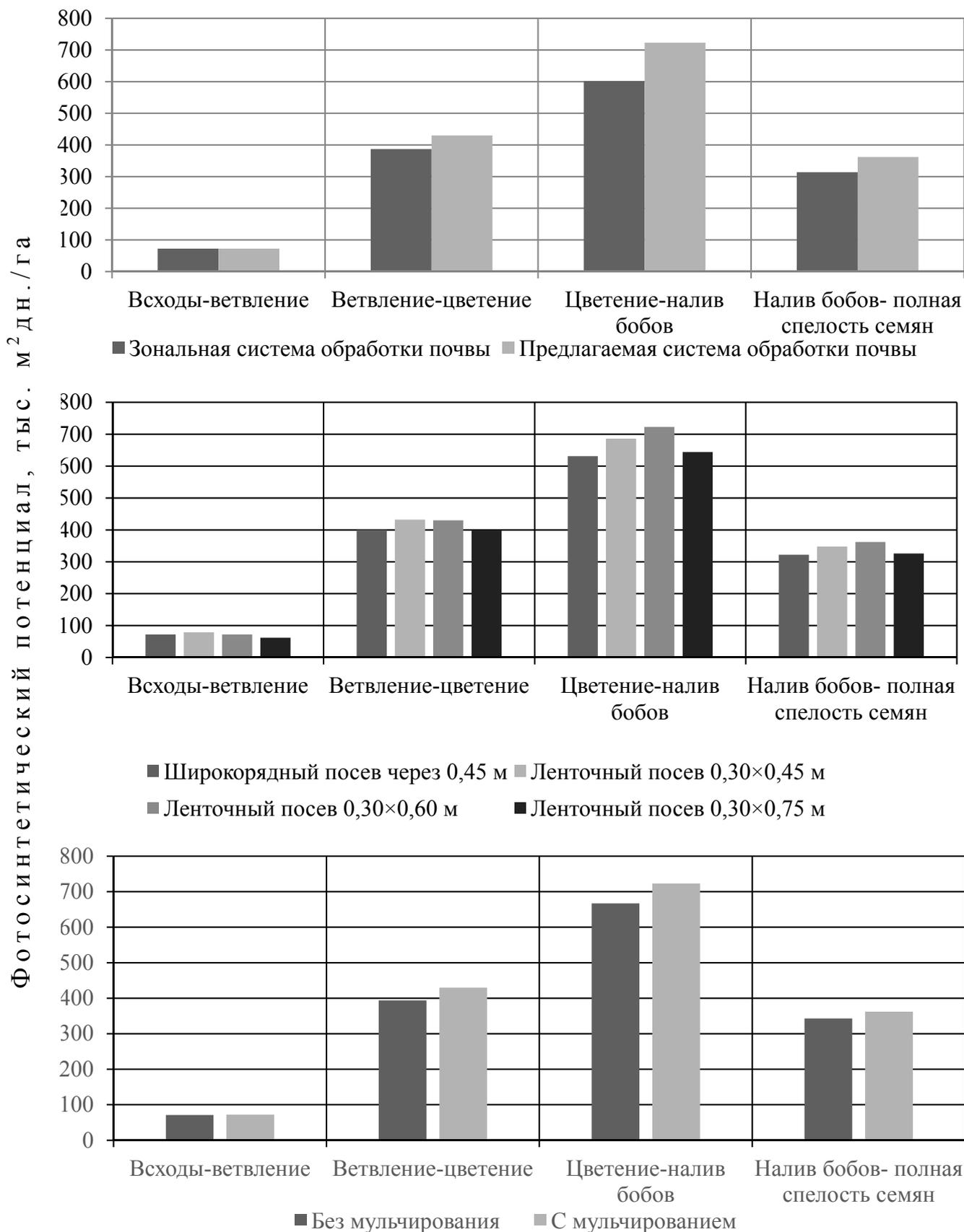


Рисунок 4.2 - Формирование фотосинтетического потенциала посевов в зависимости от условий выращивания нута (среднее за 2015-2017гг)

В зависимости от способа посева накопленные за вегетационный период значения фотосинтетического потенциала нута изменялись на 2,2-11,3 %. Отмечено, что при использовании зональной системы обработки почвы, значимое изменение фотосинтетического потенциала посева обеспечивается лишь с переходом на ленточный способ посева по схеме $0,30 \times 0,75$ м. Накопленный за вегетационный период фотосинтетический потенциал посева при этом сокращался на 126-127 тыс. $\text{м}^2\text{дн./га}$, или 9,4-9,6 %. При использовании предложенного способа обработки почвы фотосинтетический потенциал нута существенно возрастал с переходом на ленточный способ посева по схеме $0,30 \times 0,45$ м или $0,30 \times 0,60$ м. В сравнении с контрольным вариантом, где нут высевали широкорядным способом через 0,45 м, использование предложенных способов посева обеспечили увеличение фотосинтетического потенциала, суммарно накопленного за вегетационный период, на 6,8-11,3 %.

Наибольшие изменения в накоплении фотосинтетического потенциала посева наблюдались с переходом на предложенный способ обработки почвы. Проведение глубоких полосовых рыхления почвы в зоне последующего размещения растений позволило посевам накапливать на 78-216 тыс. $\text{м}^2\text{дн./га}$ фотосинтетического потенциала больше, чем на участках с зональной системой обработки почвы. Наиболее активное формирование фотосинтетического потенциала посевами наблюдалось на участках, где предложенный способ обработки почвы использовали в сочетании с применением ленточного способа посева нута по схеме $0,30 \times 0,60$ м. В сравнении с вариантами использования зональной системы обработки почвы фотосинтетический потенциал посева возрастал на 15,4 %, достигая максимальных, 1587 тыс. $\text{м}^2\text{дн./га}$, значений.

В течение вегетационного периода наибольший фотосинтетический потенциал посевами нута накапливался за период цветения, до начала фазы массового налива бобов. В среднем за годы исследований в этот период накапливалось до 510-723 тыс. $\text{м}^2\text{дн./га}$ фотосинтетического потенциала, что составляет 43,3-45,6 % от накопленного за вегетационный период.

Таким образом, наиболее динамичным развитием, формированием наибольших значений максимальной площади листьев и фотосинтетического потенциала посева во все годы исследований отличался вариант, где обработку почвы проводили по предложенному способу, нут высевали ленточным способом по схеме $0,30 \times 0,60$ м, а поверхность разрыхленных полос почвы мульчировали соломенной резкой.

4.3 Фотосинтетическая активность посевов при разных сочетаниях изучаемых факторов

Продуктивность фотосинтеза, как показатель, используется для количественной оценки интенсивности процесса ассимиляции углерода воздуха в процессе фотосинтетической деятельности зеленых растений. В плане изучения фотосинтетической активности посевов этот показатель характеризует степень реализации фотосинтетического потенциала, создаваемого непрерывно развивающимся ассимиляционным аппаратом в онтогенезе растений. В опытах определяли чистую продуктивность фотосинтеза, характеризующего динамику синтеза и накопления той части органического вещества, которая идет на создание материального тела растения (таблица 4.7).

Опыты подтвердили меньшую вариабельность значений продуктивности фотосинтеза нута в сравнении с изменениями динамики развития листового аппарата растений. Показатель чистой продуктивности фотосинтеза оказался менее пластичным в плане адаптации к изменяющимся агроэкологическим условиям среды. Наряду с этим отмечено влияние всех изучаемых факторов, что может быть использовано для оптимизации продукционного процесса нута в посевах.

Средневзвешенные за вегетационный период нута значения продуктивности фотосинтеза по вариантам опыта изменялись от 3,75 до 4,18 г/м² в сут., а общая вариабельность (без учета влияния метеорологических условий) достигала 11,5 %.

Таблица 4.7 – Средневзвешенная продуктивность фотосинтеза нуга в зависимости от сочетания изучаемых факторов, г/м² в сут.

Фактор А (система обработки почвы)	Фактор В (способ посева)	Фактор С (мульчирование почвы)	Продуктивность фотосинтеза, г/м ² в сут.				Δ i в зависимости от способа обработки почвы		Δ i в зависимости от способа посева		Δ i при использовании мульчирующего покрытия	
			2015 Г.	2016 Г.	2017 Г.	Среднее	г/м ² в сут.	%	г/м ² в сут.	%	г/м ² в сут.	%
А1 (зональная система обработки почвы под нуг)	широкорядный 0,45 м	-	3,96	3,56	3,76	3,76	-	-	-	-	-	-
		+	4,05	3,63	3,89	3,86	-	-	-	-	0,1	2,7
	ленточный 0,30×0,45 м	-	4,03	3,61	3,80	3,81	-	-	0,05	1,3	-	-
		+	4,12	3,71	3,89	3,91	-	-	0,05	1,3	0,1	2,6
	ленточный 0,30×0,60 м	-	3,96	3,68	3,83	3,82	-	-	0,06	1,6	-	-
		+	4,05	3,76	3,91	3,91	-	-	0,05	1,3	0,09	2,4
ленточный 0,30×0,75 м	-	3,95	3,64	3,66	3,75	-	-	-0,01	-0,3	-	-	
	+	3,94	3,63	3,71	3,76	-	-	-0,1	-2,6	0,01	0,3	
А2 (с пологом объемным рыхлением)	широкорядный 0,45 м	-	4,01	3,73	3,84	3,86	0,1	2,7	-	-	-	-
		+	4,15	3,85	3,99	4,00	0,14	3,6	-	-	0,14	3,6
	ленточный 0,30×0,45 м	-	4,12	3,76	3,87	3,92	0,11	2,9	0,06	1,6	-	-
		+	4,21	3,93	4,10	4,08	0,17	4,3	0,08	2,0	0,16	4,1
	ленточный 0,30×0,60 м	-	4,13	3,77	3,94	3,95	0,13	3,4	0,09	2,3	-	-
		+	4,26	4,03	4,24	4,18	0,27	6,9	0,18	4,5	0,23	5,8
ленточный 0,30×0,75 м	-	4,09	3,73	3,85	3,89	0,14	3,7	0,03	0,8	-	-	
	+	4,16	3,84	4,00	4,00	0,24	6,4	0	0,0	0,11	2,8	

Наименьшим влиянием изучаемых факторов на средневзвешенные, общевегетационные значения продуктивности фотосинтеза отличались посевы нута на участках, где обработку почвы проводили по широко распространенной в регионе, зональной системе. При этом в зависимости от способа посева нута продуктивность фотосинтеза посевов изменялась не более, чем на 0,3-2,6 %. Полученные данные позволяют говорить лишь о тенденции к увеличению чистой продуктивности фотосинтеза нута с переходом на ленточный способ посева, за исключением варианта, где посев ленточным способом проводили по схеме 0,30×0,75 м. В последнем случае продуктивность фотосинтеза посевов снижалась на 0,01-0,10 г/м² в сут.

Использование известного влагосберегающего приема мульчирования почвы в полосовой модификации на участках, где использовали зональную систему обработки почвы, также оказалось малоэффективным. Опытами отмечена тенденция увеличения фотосинтетической активности посева при мульчировании поверхности почвы, однако в количественном выражении полученный эффект не превышал 0,3-2,7 %.

Эффективность предлагаемых приемов возделывания нута существенно возросла на участках, где почву обрабатывали по предложенному способу, на основе глубоких полосовых рыхлений в зоне последующего размещения растений. В частности, применение того же влагосберегающего приема, - мульчирования поверхности почвы, обеспечило повышение продуктивности фотосинтеза нута на 0,11-0,23 г/м² в сут. или 2,8-5,8 %. Эти данные получены в среднем за три года исследований, а установленная закономерность наблюдалась по каждому из годов в отдельности.

Использование ленточного способа посева нута по отношению к принятому в регионе, - широкорядному, через 0,45 м, на фоне проведения глубоких полосовых обработок почвы обеспечивало увеличение чистой продуктивности фотосинтеза нута до 0,18 г/м² в сут., или 4,5 %. В наибольшей степени, на 0,18 г/м² в сут., продуктивность фотосинтеза нута увеличивалась при посеве культуры ленточным способом по схеме 0,30×0,60 м. Следует признать, что на участках, где посев нута

проводили по схеме $0,30 \times 0,75$ м, продуктивность фотосинтеза была сопоставима с контролем, где посев проводили широкорядным способом, через 0,45 м.

Использование предложенного способа обработки почвы оказалось самым эффективным приемом в плане активизации фотосинтетической активности посевов нута. Продуктивность фотосинтеза нута на участках, где почву обрабатывали по предложенному способу, достигала 3,86-4,18 г/м в сут., что на 0,10-0,27 г/м² в сут. или 2,7-6,9 % больше, чем при использовании зональной системы обработки почвы. Наибольший эффект был получен при сочетании предложенного способа обработки почвы, на основе глубоких полосовых рыхлений с последующим ленточным посевом нута в этих, разрыхленных зонах, по схеме $0,30 \times 0,60$ м, и применением полосового мульчирования почвы в целях снижения физического испарения с поверхности. Продуктивность фотосинтеза нута здесь достигала 4,03-4,26 г/м² в сут., что в среднем за годы исследований составило 4,18 г/м в сут.

В течение вегетационного периода продуктивность фотосинтеза нута имела характерный для культуры одновершинный ход, с максимумом в период ветвления, до начала фазы цветения посевов (таблица 4.8, рисунок 4.3). Уже в этот период на величину чистой продуктивности фотосинтеза нута оказывали влияние все изучаемые в опыте факторы с общим варьированием значений в пределах 6,15-6,53 г/м² в сут. В последующие фазы роста и развития продуктивность фотосинтеза последовательно снижалась, достигая минимума, 1,81-2,03 г/м² в сут., в период налива бобов. Общий ниспадающий тренд продуктивности фотосинтеза с начала фазы цветения посевов обусловлен как биологией культуры (старением ассимиляционного аппарата), так и ухудшением агроэкологических условий, выражающегося, прежде всего в обострении дефицита почвенной влаги.

В период цветения, до начала фазы массового налива бобов, продуктивность фотосинтеза нута изменялась от 3,00 до 3,68 г/м² в сут. в зависимости от сочетания применяемых в опыте приемов. Снижение продуктивности фотосинтеза посевов в этот период компенсировалось формированием наибольшего фотосинтетического потенциала. Поэтому именно в этот период развития использование приёмов, обеспечивающих максимально возможное сохранение фотосинтетической активности посевов, наиболее оправдано.

Таблица 4.8 - Динамика продуктивности фотосинтеза нута в основные межфазные периоды роста и развития, г/м² в сут. (среднее за 2015-2017 гг)

Фактор А (система обработки почвы)	Фактор В (способ посева)	Фактор С (мульчирование почвы)	Фаза развития				За вегетационный период
			Всходы-начало ветвления	Ветвление – начало цветения	Цветение – начало налива бобов	Налив бобов - полная спелость семян	
А1 (зональная система обработки почвы под нут)	широкорядный 0,45 м	-	4,22	6,15	3,00	1,85	3,76
		+	4,22	6,25	3,10	1,88	3,86
	ленточный 0,30×0,45 м	-	4,34	6,22	3,01	1,84	3,81
		+	4,34	6,30	3,12	1,87	3,91
	ленточный 0,30×0,60 м	-	4,31	6,27	3,07	1,85	3,82
		+	4,31	6,33	3,19	1,87	3,91
	ленточный 0,30×0,75 м	-	4,17	6,15	3,01	1,81	3,75
		+	4,17	6,17	3,04	1,82	3,76
	широкорядный 0,45 м	-	4,20	6,24	3,16	1,92	3,86
		+	4,20	6,34	3,37	1,95	4,00
	ленточный 0,30×0,45 м	-	4,27	6,28	3,25	1,94	3,92
		+	4,27	6,40	3,49	1,99	4,08
ленточный 0,30×0,60 м	-	4,32	6,40	3,32	1,95	3,95	
	+	4,32	6,53	3,68	2,03	4,18	
ленточный 0,30×0,75 м	-	4,23	6,35	3,23	1,95	3,89	
	+	4,23	6,42	3,36	1,98	4,00	

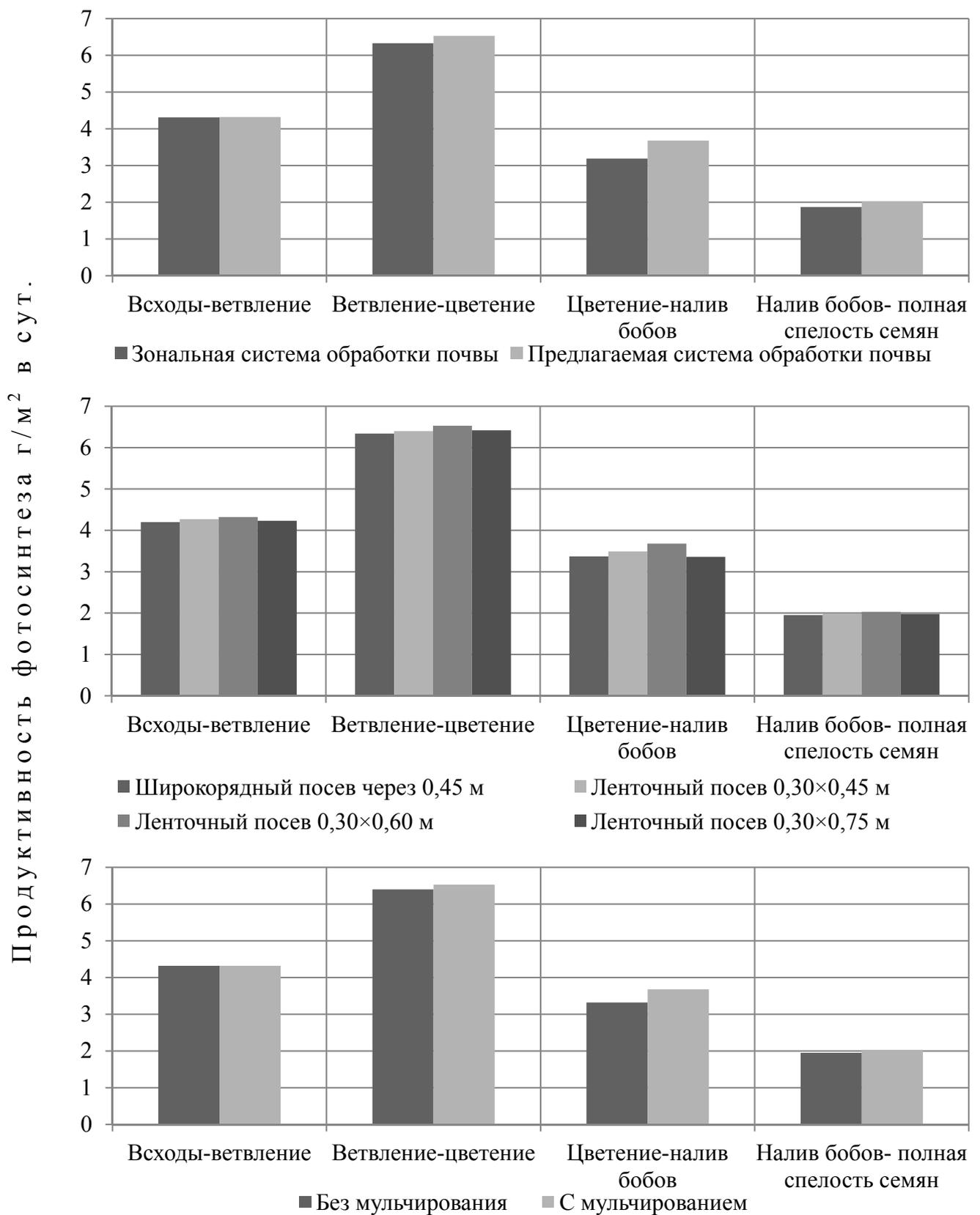


Рисунок 4.3 - Фотосинтетическая активность посевов нута при разных сочетаниях изучаемых факторов (среднее за 2015-2017гг)

Опыты показали, что при использовании зональной системы обработки почвы продуктивность фотосинтеза посевов существенно, на 0,16-0,49 г/м² в сут., меньше, чем при использовании предложенного способа, на основе глубоких полосовых обработок в зоне последующего размещения растений. Установленные различия качественно соответствуют закономерностям, установленным для средневзвешенных общевеgetационных значений продуктивности фотосинтеза, но количественно превышают из более, чем в два раза. В процентном отношении использование предложенного способа обработки почвы позволяет повысить продуктивность фотосинтеза нута в период формирования наивысших фотосинтетических потенциалов («цветение- начало налива бобов») до 15,3 %.

Установлено, что переход с широкорядного (через 0,45 м) на ленточный способ посева обеспечивает до 9,2 % увеличения продуктивности фотосинтеза в период цветения, до начала фазы массового налива бобов. Однако такое повышение продуктивности фотосинтеза обеспечивается только при определенных параметрах применяемого способа посева, определяемых схемой 0,30×0,60 м. Использование других схем ленточного способа посева нута обеспечивало меньшую эффективность, а в отдельных случаях сопровождалось и отрицательным результатом по отношению к контрольному, широкорядному способу посева (через 0,45 м). Использование приема мульчирования почвы в предлагаемой, полосовой модификации увеличивало продуктивность фотосинтеза нута в период цветения на 1,0-10,8 %. В наибольшей степени, на 0,36 г/м² в сут. или 10,8 % продуктивность фотосинтеза нута возрастала при мульчировании поверхности почвы на участках, где почву обрабатывали предложенным способом, а посев проводили в ленту по схеме 0,30×0,60 м.

Таким образом, предлагаемые приемы обработки почвы, локального мульчирования поверхности и способы посева при оптимизации параметров их выполнения обеспечивают существенную активизацию продуктивности фотосинтеза. Наибольший положительный эффект от использования предложенных приемов отмечен в период «цветение-начало налива бобов», характеризующийся формированием наибольшего фотосинтетического потенциала.

4.4 Оценка эффективности сочетания факторов по динамике накопления органического вещества посевами

Синтез и распределение ассимилянтов, накопление их в отдельных органах растений в тесной взаимосвязи с фазами онтогенеза является главным результатом фотосинтетической деятельности растений и основным фактором продуктивности посевов. Фотосинтетическая активность посевов определяет динамику формирования органического вещества на протяжении всего вегетационного периода растений. Не менее важным является оценка накопления органического вещества в отдельные межфазные периоды, характеризующиеся теми или иными элементами продуктивности растений. Например, у нута в период «всходы- начало массового ветвления» главными элементами продуктивности можно считать развитие корневой системы и ассимиляционной поверхности. В период ветвления, до начала фазы массового цветения активным ростом отличается листовая аппарата, а также формируется вегетативный скелет растения. Последнее, в частности, имеет прямое отношение к репродуктивной функции нута, определяя число формирующихся продуктивных стеблей. В фазу цветения отток ассимилянтов на формирование листового аппарата замедляется и на первый план выходит формирование репродуктивных органов растения. Активно протекают процессы новообразования бобов, что, безусловно, можно считать главным элементом продуктивности нута в этот период. Фаза налива бобов характеризуется количественным ростом семян нута, вначале, преимущественно, за счет продуктов фотосинтеза, а затем и за счет перераспределения углеводов из других органов растения. Динамика накопления органического вещества в каждый из вышеперечисленных периодов определяет формирование фазовых элементов продуктивности, от которых зависит итоговая урожайность культуры.

В опытах массу накопленного посевами органического вещества определяли ежефазно, а обработанные и систематизированные результаты измерений приведены в таблицах 4.9-4.11.

Таблица 4.9 - Динамика накопления органического вещества в посева нута при разных сочетаниях изучаемых факторов, кг/га в сут. (среднее за 2015-2017 гг)

Фактор А (система обработки почвы)	Фактор В (способ посева)	Фактор С (мульчирование почвы)	Фаза развития				За вегетационный период
			Всходы-начало ветвления	Ветвление – начало цветения	Цветение – начало налива бобов	Налив бобов - полная спелость семян	
А1 (зональная система обработки почвы под нут)	широкорядный 0,45 м	-	24	100	71	36	66
		+	24	104	76	38	70
	ленточный 0,30×0,45 м	-	27	108	74	37	70
		+	27	110	78	39	68
	ленточный 0,30×0,60 м	-	24	104	74	37	68
		+	24	108	80	39	72
	ленточный 0,30×0,75 м	-	21	91	66	33	61
		+	21	92	68	34	62
	широкорядный 0,45 м	-	24	104	78	40	71
		+	24	109	86	42	75
	ленточный 0,30×0,45 м	-	27	111	84	43	76
		+	27	116	95	47	82
ленточный 0,30×0,60 м	-	25	113	89	45	78	
	+	25	118	102	50	86	
ленточный 0,30×0,75 м	-	21	103	81	42	71	
	+	21	108	88	45	76	

Таблица 4.10 - Фазовые значения накопленной сухой биомассы нута при разных сочетаниях изучаемых приемов, т/га (среднее за 2015-2017 гг)

Фактор А (система обработки почвы)	Фактор В (способ посева)	Фактор С (мульчирование почвы)	Фаза развития					Полная спелость семян
			Всходы	Ветвление	Цветение	Налив бобов		
А1 (зональная система обработки почвы под нут)	широкорядный 0,45 м	-	0,09	0,39	2,57	4,27	4,81	
		+	0,09	0,4	2,77	4,59	5,16	
	ленточный 0,30×0,45 м	-	0,11	0,45	2,78	4,57	5,12	
		+	0,11	0,45	2,95	4,84	5,42	
	ленточный 0,30×0,60 м	-	0,09	0,4	2,66	4,44	4,99	
		+	0,09	0,41	2,86	4,79	5,37	
	ленточный 0,30×0,75 м	-	0,08	0,34	2,32	3,85	4,31	
		+	0,08	0,35	2,44	4,04	4,55	
	широкорядный 0,45 м	-	0,09	0,39	2,73	4,65	5,23	
		+	0,09	0,4	2,93	5,06	5,69	
А2 (с по- лосным объемным рыхлением)	ленточный 0,30×0,45 м	-	0,11	0,44	2,93	5,03	5,67	
		+	0,11	0,45	3,21	5,61	6,3	
	ленточный 0,30×0,60 м	-	0,09	0,4	2,92	5,14	5,81	
		+	0,09	0,41	3,21	5,89	6,62	
	ленточный 0,30×0,75 м	-	0,08	0,34	2,66	4,63	5,24	
		+	0,08	0,35	2,91	5,08	5,71	

Таблица 4.11 – Сухая биомасса нута, накопленная посевами за вегетационный период, т/га

Фактор А (система обработки почвы)	Фактор В (способ по- сева)	Фактор С (муль- чирова- ние поч- вы)	Сухое вещество, М, т/га				Δ М в зависи- мости от спо- соба обработки почвы		Δ М в зависи- мости от спо- соба посева		Δ М при ис- пользовании локального мульчирующе- го покрытия	
			2015 Г.	2016 Г.	2017 Г.	Сред нее	т/га	%	т/га	%	т/га	%
А1 (зо- нальная си- стема об- работки почвы под нут)	широкоряд- ный 0,45 м	-	4,47	4,55	5,40	4,81	-	-	-	-	-	-
		+	4,83	4,84	5,81	5,16	-	-	-	0,35	7,3	
	ленточный 0,30×0,45 м	-	4,75	4,72	5,88	5,12	-	-	0,31	6,4	-	-
		+	5,07	4,99	6,21	5,42	-	-	0,26	5,0	0,3	5,9
	ленточный 0,30×0,60 м	-	4,31	4,86	5,81	4,99	-	-	0,18	3,7	-	-
		+	4,83	5,17	6,10	5,37	-	-	0,21	4,1	0,38	7,6
А2 (с по- лосным объемным рыхлени- ем)	ленточный 0,30×0,75 м	-	3,81	4,44	4,69	4,31	-	-	-0,5	-10,4	-	-
		+	4,09	4,68	4,89	4,55	-	-	-0,61	-11,8	0,24	5,6
	широкоряд- ный 0,45 м	-	4,81	5,19	5,70	5,23	0,42	8,7	-	-	-	-
		+	5,30	5,66	6,11	5,69	0,53	10,3	-	-	0,46	8,8
	ленточный 0,30×0,45 м	-	5,25	5,49	6,27	5,67	0,55	10,7	0,44	8,4	-	-
		+	5,96	6,10	6,84	6,30	0,88	16,2	0,61	10,7	0,63	11,1
ленточный 0,30×0,60 м	-	5,37	5,73	6,32	5,81	0,82	16,4	0,58	11,1	-	-	
	+	6,14	6,52	7,21	6,62	1,25	23,3	0,93	16,3	0,81	13,9	
ленточный 0,30×0,75 м	-	4,98	5,11	5,63	5,24	0,93	21,6	0,01	0,2	-	-	
	+	5,40	5,64	6,10	5,71	1,16	25,5	0,02	0,4	0,47	9,0	

Оценка динамики накопления органического вещества посева проводилась по двум показателям, - интегральным значениям накопленной сухой биомассы и среднесуточным значениям накопления органического вещества в отдельные, межфазные периоды.

Опыты показали, что динамика накопления органического вещества посевами различается в зависимости от сочетания исследуемых факторов с самых первых дней вегетативного роста нута. Уже в период «всходы- начало ветвления» среднесуточные приросты сухого вещества в посевах изменялись от 21 до 27 кг/га в сут. в вариантах с различными способами посева. Наибольшей динамикой накопления органического вещества, 27 кг/га в сут., в этот период отличались варианты, где посев нута проводили ленточным способом по схеме 0,30×0,45 м (рисунок 4.4). В вариантах, где посев проводили тем же ленточным способом, но по схеме 0,30×0,75 м, среднесуточные приросты сухого вещества, напротив, не превышали 21 кг/га в сут.

К началу фазы ветвления накопленная биомасса посевов различалась не более, чем на 50-60 кг/га. Однако даже эти различия, определяющие интенсивность формирования корневой системы и начальные фазы развития листового аппарата, для рассматриваемого периода являются существенными. Об этом же свидетельствует и относительная оценка различий, накопленного к началу фазы ветвления нута, органического вещества. Например, переход с широкорядного (через 0,45 м) на ленточный способ посева по схеме 0,30×0,45 м сопровождался увеличением массы накопленного органического вещества на 12,5-15,4 %. Переход с широкорядного (через 0,45 м) на ленточный способ посева по схеме 0,30×0,75 м, напротив, снижал массу накопленного органического вещества на 12,5-12,8 %.

С начала фазы ветвления нута накопление органического вещества посевами существенно активизировалась. В период «ветвление –начала цветения» посевами нута накапливалось до 91-118 кг/га органического вещества в сутки.

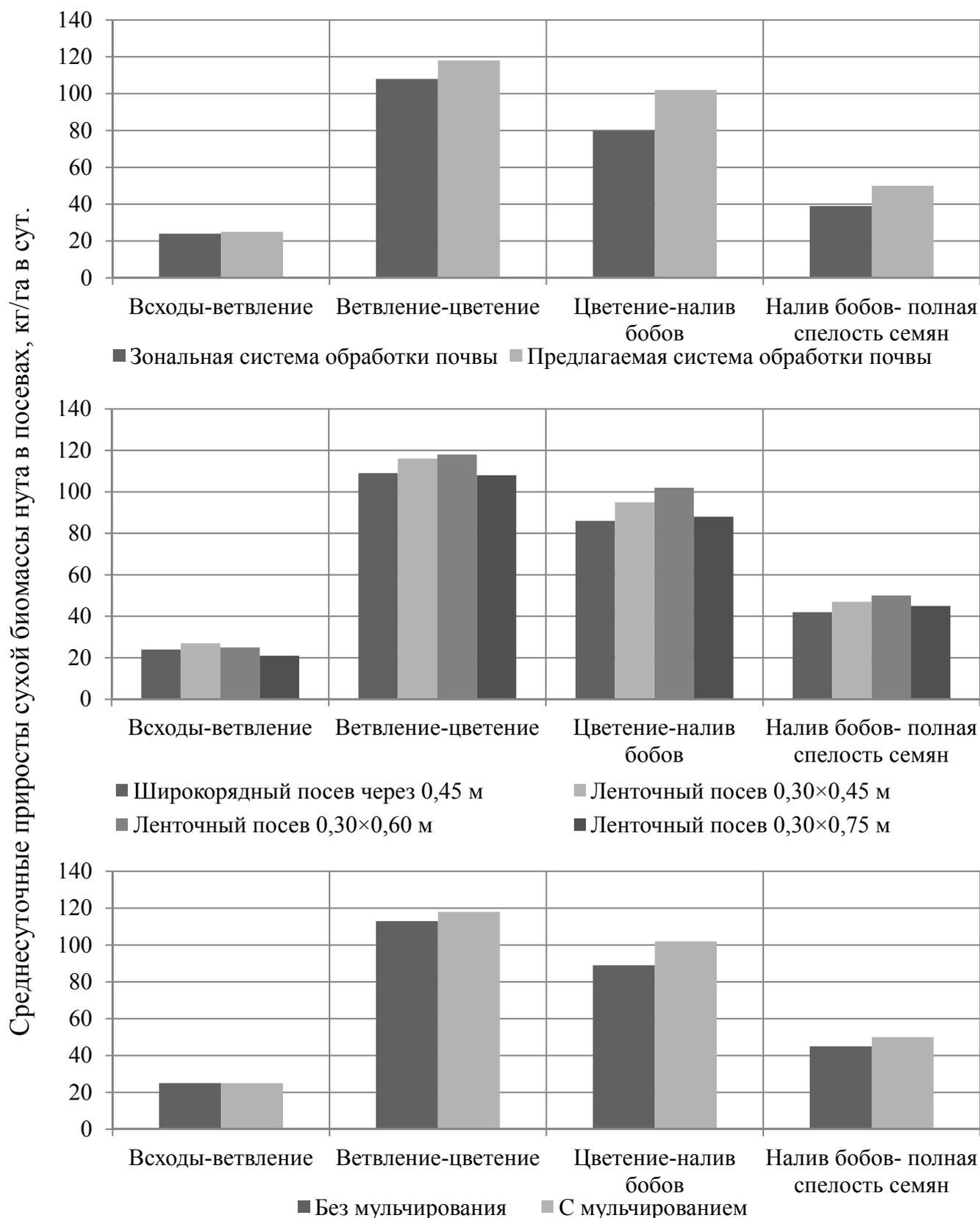


Рисунок 4.4 - Среднесуточная динамика накопления органического вещества посевами нута в основные фазы роста и развития (среднее за 2015-2017гг)

Если до начала фазы ветвления динамика накопления органического вещества нута изменялась только в зависимости от применяемого способа посева, то с начала фазы ветвления среднесуточные приросты органического вещества существенно различались и для вариантов по способу обработки почвы, и в вариантах с мульчированием поверхности. Однозначно положительно на динамику накопления органического вещества в период «ветвление – начало цветения» влияло применение приема мульчирования поверхности почвы ее полосовой модификации и использование предложенной системы обработки почвы, основанной на проведении глубоких полосовых рыхлений в зоне последующего размещения растений. Однако, если в первом случае накопление органического вещества посевами нута активизировалось не более, чем на 1,2-4,8 %, то во втором (с переходом на предложенную систему обработки почвы), - полученный эффект характеризовался 8,7-17,4 % увеличения среднесуточных приростов.

Эффективность применения ленточного способа посева нута была тесно связана с используемыми схемами формирования посевной ленты. В частности, наибольший отрицательный эффект, до 9,0-11,5 % снижения среднесуточных приростов (в сравнении с контролем) был получен при использовании ленточной схемы посева, 0,30×0,75 м, на фоне зональной системы обработки почвы. Наряду с этим, посев нута в ленту по схеме 0,30×0,60 м на фоне предложенной системы обработки почвы сопровождался увеличением среднесуточных приростов сухого вещества до 8,3-8,7 %.

Интенсивное накопление органического вещества в период ветвления позволило сформировать до 2,32-3,21 т/га сухой биомассы к началу фазы цветения. Наибольшее количество органического вещества, 3,21 т/га, к началу фазы цветения посевами нута формировалось на участках, где почву обрабатывали по предложенному способу, посев проводили ленточно, по схеме 0,30×0,45 м или 0,30×0,60 м в сочетании с локальным (полосовым) мульчированием поверхности почвы (рисунок 4.5).

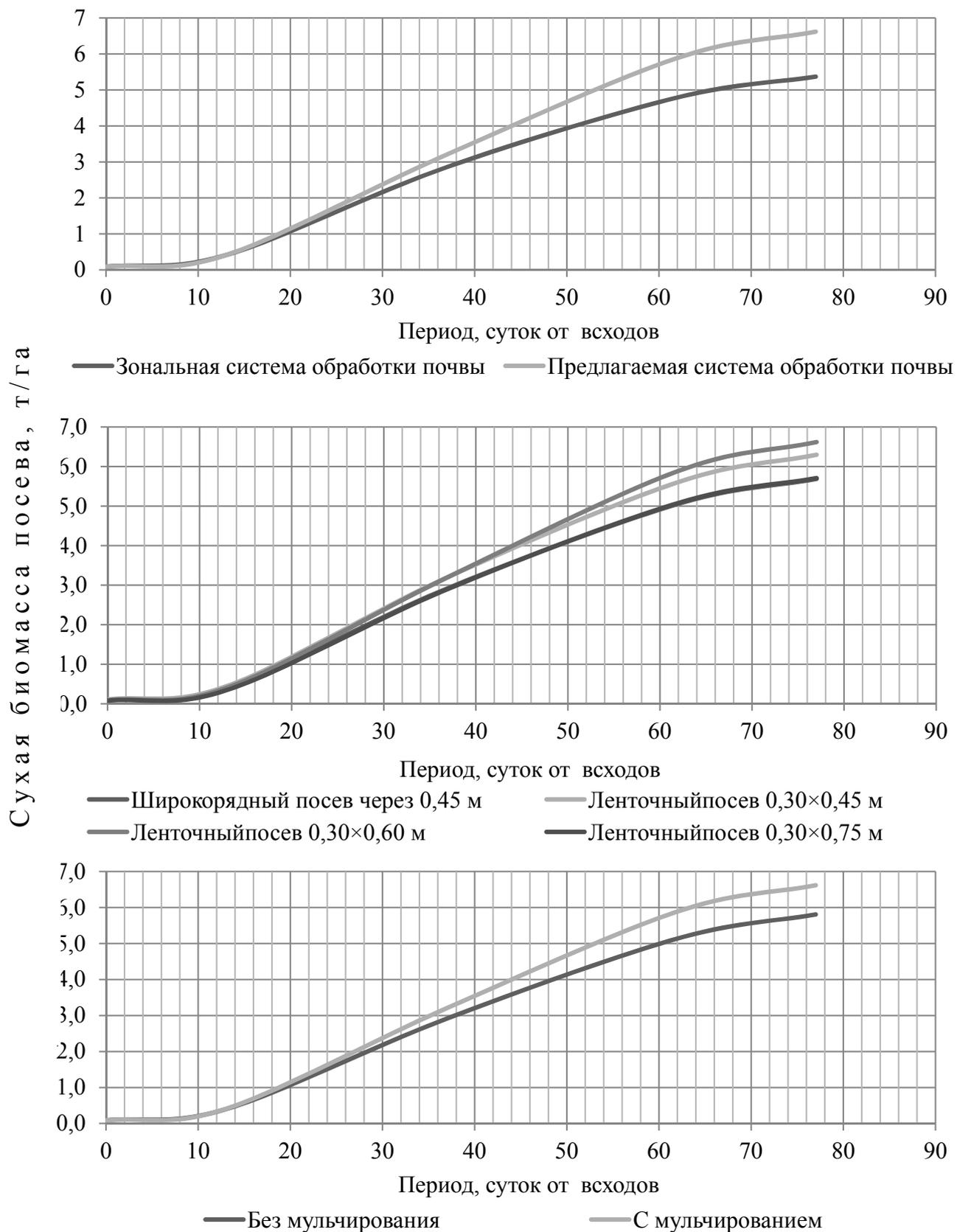


Рисунок 4.5 - Динамика накопления органического вещества в посевах нута при разных сочетаниях изучаемых факторов (среднее за 2015-2017гг)

В последующие периоды роста и развития интенсивность накопления органического вещества в посевах нута последовательно снижалась. Обусловлено это было, по-видимому, не столько биологическими особенностями культуры, сколько растущим дефицитом почвенной влаги, который является устойчивым трендом для региона исследований. Опытами отмечено, что использование предложенного способа обработки почвы позволяет сохранять динамику накопления органического вещества в период цветения посевов на уровне 78-102 кг/га в сут., что на 7-22 кг/га в сут. больше, чем при использовании зональной системы. Это позволило сформировать до 4,63-5,89 т/га органического вещества до начала фазы массового налива бобов.

Период налива бобов нута из-за жесткого дефицита почвенной влаги характеризуется наименьшей динамикой накопления органического вещества. В опытах, в зависимости от сочетания изучаемых факторов в этот период накапливалось, в среднем от 33 до 50 кг/га в сут. сухого вещества. За весь рассматриваемый период посевами накапливалось от 0,46 до 0,73 т/га сухого вещества, распределенного, преимущественно, в урожай семян.

За вегетационный период посевами нута формировалось от 4,31 до 6,62 т/га сухого вещества (таблица 4.10-4.11). Совокупное влияние изучаемых факторов на формирование органической массы посева характеризовалась диапазоном 2,31 т/га, что составляет 53,6 % от номинальных средних. Во все годы исследований наиболее развитые посевы, с суммарно накопленной массой 5,23-6,62 т/га, формировались на участках, где почву обрабатывали предложенным способом. За вегетационный период использование глубоких полосовых рыхлений почвы в зоне последующего размещения растений обеспечивало прибавку по массе накопленного органического вещества до 0,42-1,25 т/га в сравнении с вариантами, где почву обрабатывали в рамках зональной системы. Это наибольший эффект, полученный по совокупности исследуемых факторов.

Еще до 16,3 % прибавки в массе накопленного за вегетационный период органического вещества в опытах получено за счет оптимизации способа посева нута. Следует признать, что такая прибавка была получена только для варианта с лен-

точным посевом нута по схеме $0,30 \times 0,60$ м в сочетании с полосовым мульчированием поверхности на участках, где почву обрабатывали предложенным способом. На участках, где почву обрабатывали по зональной системе, наибольший положительный результат от перехода на ленточный способ посева нута не превышал $0,31$ т/га или $6,4$ %, а наибольший отрицательный эффект, полученный при посеве нута в ленту по схеме $0,30 \times 0,75$ м, - достигал $0,61$ т/га или $11,8$ %.

Применение известного приема мульчирования почвы в полосовой модификации увеличивало массу, накопленного за вегетационный период, органического вещества, в среднем, на $0,24-0,81$ т/га или $5,6-13,9$ %. Наибольшая прибавка накопленной биомассы, $0,81$ т/га или $13,9$ %, за счет использования приема мульчирования, в опытах была получена на участках, где обработку почвы проводили по предложенному способу, а нут высевали в ленту, по схеме $0,30 \times 0,60$ м. В совокупности это позволило сформировать наиболее развитые посевы нута и накапливать до $6,14-7,21$ т/га органического вещества за вегетационный период.

Таким образом, наиболее интенсивные приросты сухого вещества, 86 кг/га в сут., и наибольшая сухая биомасса посева, в среднем до $6,62$ т/га, посевами нута формируется при использовании предложенной системы обработки почвы, на основе глубоких, полосовых рыхлений почвы, в сочетании с мульчированием поверхности по разрыхленным полосам и применением ленточного способа посева по схеме $0,30 \times 0,60$ м. Наиболее значимыми по вкладу в совокупный прирост сухой биомассы посева оказались факторы обработки почвы и полосового мульчирования поверхности. Переход на ленточный способ посева нута оправдан только в сочетании с проведением глубоких полосовых обработок почвы с формированием разрыхленных полос для каждой посевной ленты.

5. РЕАЛИЗАЦИЯ ПОТЕНЦИАЛА ПРОДУКТИВНОСТИ И ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ВОЗДЕЛЫВАНИЯ НУТА В ЗАВИСИМОСТИ ОТ СОЧЕТАНИЯ ПРИМЕНЯЕМЫХ АГРОПРИЕМОВ

5.1 Структура урожая и продуктивность нута в зависимости от сочетания применяемых агроприемов

Реализация потенциала продуктивности нута в посевах является главным, результирующим критерием эффективности внедряемых приемов технологий. Формирование урожая и изменение этого процесса под действием того или иного фактора, приема или системы приемов, позволяет оценить их окупаемость главным результатом производственной деятельности любого агропредприятия. Соотношение полученного результата и затраченных ресурсов напрямую определяет перспективы внедрения разработанных приемов в производство.

Общая биопродуктивность посевов определяет потенциальную урожайность возделываемой культуры. Однако на выход хозяйственно-ценной части урожая качественное влияние оказывает структура накопления и распределения синтезированного органического вещества в растениях. Опыты показали, что структура урожая нута существенно изменяется в зависимости от сочетания используемых в производстве приемов (таблица 5.1, рисунок 5.1). В качестве показателей, характеризующих структуру урожая нута, выбраны показатели количественного развития репродуктивных органов растения в различных аспектах, таких как общее число бобов на растении, озерненность боба и массовая крупность семян, определяющих в совокупности выход хозяйственно-ценной части урожая. В качестве показателя, характеризующего структуру посева в целом, используется количественная оценка числа сохранившихся к уборке растений и относительной плотности их размещения по площади поля.

При использовании зональной системы обработки почвы в сочетании с распространенным в регионе, широкорядным способом посева через 0,45 м, в среднем, на квадратном метре посева к уборке сохранялось 33,2-33,7 растений нута.

Таблица 5.1 - Показатели структуры урожая нута в зависимости от сочетания изучаемых в опыте факторов (среднее за 2015-2017 гг.)

Фактор А (система обработки почвы)	Фактор В (способ посева)	Фактор С (мульчирование почвы)	Плотность размещения растений в посевах, шт./м ²	Среднее число бобов на растении, шт./раст.	Озерность боба, зерен/боб	Средний выход зерен с растения, зерен/раст.	Вес тысячи зерен, г/1000 зерен	Урожайность, т/га	
А1 (зональная система обработки почвы под нут)	широкорядный 0,45 м (контроль)	-	33,2	25,1	1,18	29,7	239	1,53	
		+	33,7	25,0	1,20	30,0	251	1,65	
	ленточный 0,30×0,45 м	-	39,7	24,8	1,17	29,0	219	1,64	
		+	40,0	24,6	1,19	29,3	227	1,73	
	ленточный 0,30×0,60 м	-	31,2	27,6	1,20	33,1	238	1,60	
		+	31,4	27,9	1,21	33,7	250	1,72	
	ленточный 0,30×0,75 м	-	21,9	32,4	1,21	39,2	244	1,36	
		+	22,4	32,7	1,21	39,6	250	1,44	
	А2 (предлагаемая система обработки почвы с полосным объемным рыхлением)	широкорядный 0,45 м (контроль)	-	35,2	23,8	1,25	29,7	244	1,66
			+	34,9	24,4	1,27	31,0	260	1,83
ленточный 0,30×0,45 м		-	40,7	24,9	1,23	30,6	222	1,80	
		+	40,5	26,8	1,25	33,5	230	2,03	
ленточный 0,30×0,60 м		-	32,3	28,0	1,25	35,0	252	1,85	
		+	32,0	30,2	1,26	38,0	268	2,12	
ленточный 0,30×0,75 м		-	23,1	36,4	1,26	45,8	250	1,72	
		+	22,8	36,9	1,27	46,9	265	1,84	
НСР ₀₅		Фактор А		0,66	0,5	0,009	-	3,8	0,03
		Фактор В		0,93	0,8	0,013	-	5,4	0,04
	Фактор С		0,66	0,5	0,009	-	3,8	0,03	
Для частных средних			1,86	1,5	0,025	-	10,9	0,08	

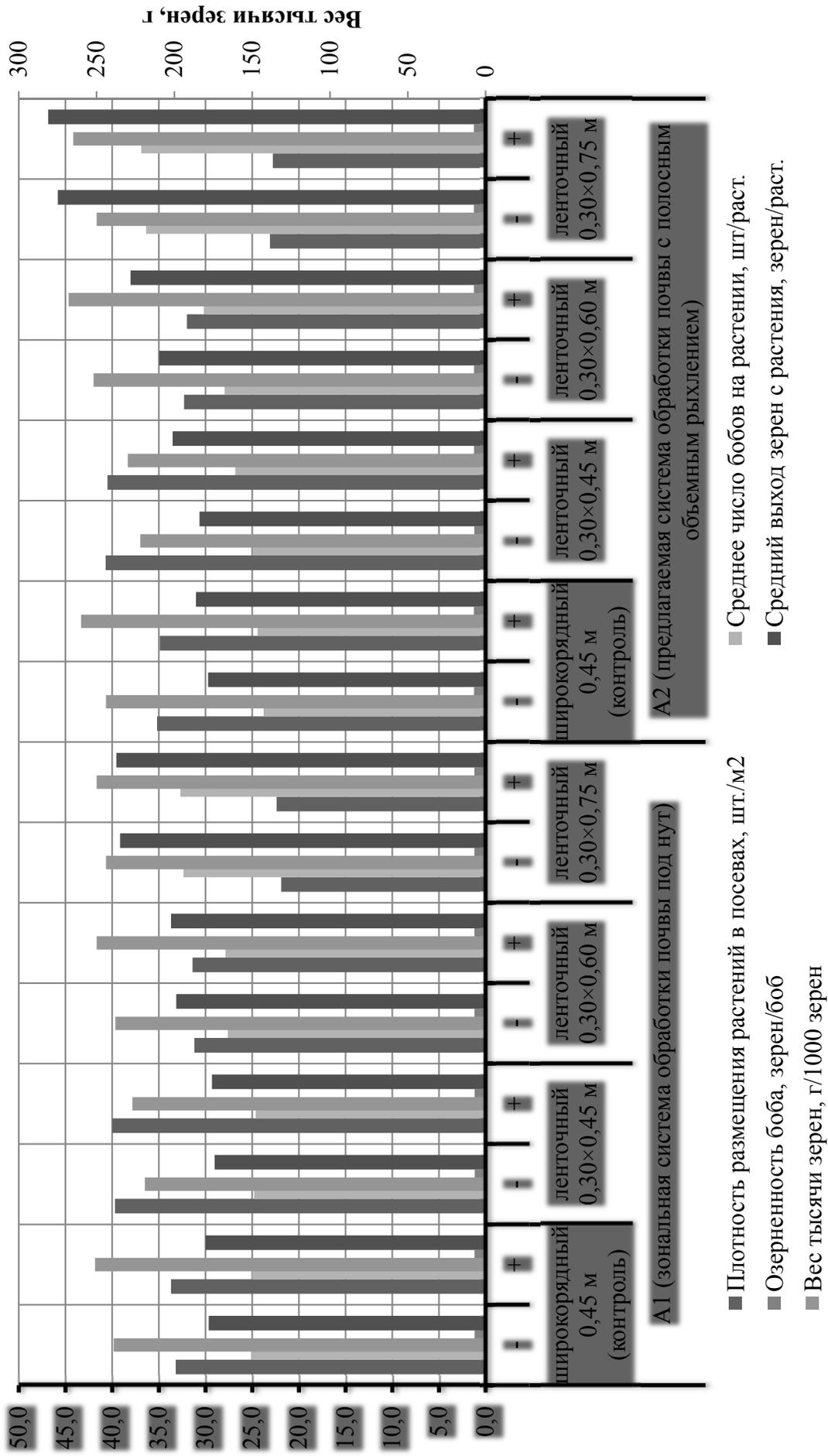


Рисунок 5.1 - Элементы структуры урожая нута при разных сочетаниях изучаемых факторов

Переход на предложенную систему обработки почвы в этом случае обеспечивал увеличение числа сохранившихся растений нута до 34,9-35,2 раст./м².

Значимого влияния полосового мульчирования почвы на количество сохранившихся к уборке растений нута не выявлено. Отмечена тенденция увеличения числа сохранившихся к уборке растений при использовании полосового мульчирования на фоне зональной системы обработки почвы и, напротив, - снижения числа сохранившихся к уборке растений при использовании полосового мульчирования на фоне глубоких, полосовых обработок почвы.

В наибольшей степени общее число сохранившихся к уборке растений нута варьировало в вариантах с различными способами посева. Следует признать, что посев нута разными способами проводили с сохранением линейного расстояния между последовательно размещенными в рядке растениями на всех вариантах. В связи с этим норма высева растений в вариантах по способам посева нута была неодинакова. Это, по видимому, и явилось основной причиной различий числа сохранившихся к уборке растений на участках вариантов с разными способами посева нута. Установлено, что наименьшей плотностью посева к уборке, 21,9-23,1 раст./м², опытные делянки нута характеризовались на участках, где посев проводили ленточным способом по схеме 0,30×0,75 м. Наибольшее число растений, 39,7-40,7 раст./м², к уборке сохранялось на участках, где схема посева нута ленточным способом характеризовалась наименьшим междурядным расстоянием, 0,30×0,45 м.

Среднее число бобов на растении в опытах изменялось от 24,6 до 36,9 шт./м². Опытами установлено, что статистически значимо число бобов на растениях нута возрастает при переходе на использование предложенного способа обработки почвы. В сравнении с контрольным вариантом, где применяли зональную систему обработки почвы, число бобов на среднем растении нута возрастало до 12,8 %. Важно учитывать, что такой эффект обеспечивается при использовании ленточного способа посева нута по схеме 0,30×0,60 м и 0,30×0,75 м. При посеве нута широкорядным способом, через 0,45 м число бобов на среднем растении нута с переходом на предложенную систему обработки почвы сокращалось на 2,3-5,4 %.

Наибольший эффект в плане увеличения числа бобов на растениях нута был получен в вариантах с применением ленточного способа посева различными схемами. При этом на фоне использования предложенного способа обработки почвы переход с широкорядного (через 0,45 м) способа посева, на ленточный по схеме 0,30×0,45 м сопровождался увеличением среднего числа бобов на растении 4,8-9,8 %. Переход на ленточный способ посева по схеме 0,30×0,60 м обеспечивал увеличение среднего числа бобов на растении на 4,1-5,7 шт. или 17,6-23,5 %. Еще в большей степени, в среднем на 12,4-12,6 шт., число бобов возрастало с переходом на ленточный способ посева нута по схеме 0,30×0,75 м.

Полосовое мульчирование почвы статистически значимо увеличивало число сформировавшихся бобов на среднем растении нута только на фоне применения предложенного способа обработки почвы.

Озерненность бобов нута достоверно возрастала, 4,1-5,9 %, только с переходом на предложенную систему обработки почвы. Достоверного влияния способа посева, а также фактора мульчирования поверхности почвы на среднее содержание зерен в бобе установлено не было.

Исследованиями установлено статистически значимое влияние изучаемых в опыте факторов на вес тысячи семян нута. Наибольший положительный эффект был получен при переходе с зональной системы обработки почвы на предложенный способ, основанный на проведении глубоких полосовых рыхлений в зоне последующего размещения растений. В сочетании с использованием ленточного способа посева по схеме 0,30×0,60 м это обеспечило увеличение массы семян, в среднем на 14-18 г/1000 сем.

Характерно, что использование ленточного способа посева по схеме 0,30×0,45 м, как на фоне предложенного способа обработки почвы, так и на фоне зональной системы, снижало массу 1000 семян нута на 8,4-11,5%.

В совокупности, активизация продукционного процесса характеризовалась количественным ростом всех элементов продуктивности нута, включая число завязавшихся бобов на растении, озерненности бобов и выход зерен с одного растения, а также увеличением крупности семян, характеризующейся массой 1000 зе-

рен. В совокупности это позволяет использовать разработанные приемы возделывания нута для повышения общей продуктивности посева и увеличения выхода хозяйственно-ценной части урожая.

Исследования показали, что сочетание изучаемых в опытах факторов в различных комбинациях оказывает существенное влияние на урожайность нута (таблица 5.2). При средней для совокупности вариантов урожайности нута 1,67 т/га среднее квадратичное отклонение составило 0,55 т/га, коэффициент вариации показателя достигал 32,9 %.

Использование зональных агротехнологий при подготовке почвы, общепринятых схем посева нута, рекомендованной системы защиты растений и общего системного подхода выращивания культуры в севообороте позволило получить на опытном поле 1,37-1,67 т/га высококачественной товарной продукции. В среднем за годы исследований урожайность нута составила 1,53 т/га. Мульчирование почвенного покрова соломой в зоне посева нута, как важный влагосберегающий агроприем предлагаемой агротехнологии, при использовании широкорядного (0,45 м) способа посева и зональной системы подготовки почвы обеспечивало прибавку урожайности нута, в среднем, на 0,12 т/га. Это статистически значимый уровень повышения продуктивности нутового поля, тем не менее, в доленом отношении он не превышал 7,8 % к урожайности нута на контроле (без применения соломенной мульчи).

Также небольшие изменения урожайности нута были отмечены и в вариантах, где изучались разные способы посева. Использование ленточного способа посева со схемой 0,30×0,45 м обеспечивало до 0,08-0,11 т/га прибавки урожайности зерна нута в сравнении с вариантом, где посев проводили широкорядным способом с формированием посевных строк через 0,45 м.

Увеличение междурядья в варианте со схемой 0,30×0,60 м снижало эффект от перехода на ленточный способ посева, урожайность по отношению к контролю (широкорядный с междурядьем 0,45 м) возрастала, в среднем на 0,07 т/га или 4,2-4,6 %.

Таблица 5.2 – Урожайность нута в зависимости от сочетания применяемых в опыте агроприемов, т/га

Фактор А (система обработки почвы)	Фактор В (способ посева)	Фактор С (мульчирование почвы)	Урожайность, Y, т/га					Δ Y в зависимости от способа обработки почвы		Δ Y в зависимости от способа посева		Δ Y при использовании локального мульчирующего покрытия			
			2015	2016	2017	Среднее	т/га	%	т/га	%	т/га	%			
			Г.	Г.	Г.	нее									
А1 (зональная система обработки почвы под нут)	широкорядный 0,45 м	-	1,54	1,37	1,67	1,53	-	-	-	-	-	-	-		
		+	1,69	1,45	1,81	1,65	-	-	-	-	0,12	7,8			
	ленточный 0,30×0,45 м	-	1,67	1,42	1,84	1,64	-	-	0,11	7,2	-	-	-		
		+	1,77	1,50	1,91	1,73	-	-	0,08	4,8	0,09	5,5	-		
	ленточный 0,30×0,60 м	-	1,52	1,47	1,81	1,60	-	-	-	-	0,07	4,6	-	-	
		+	1,69	1,56	1,90	1,72	-	-	0,07	4,2	0,12	7,5	-	-	
	ленточный 0,30×0,75 м	-	1,31	1,33	1,44	1,36	-	-	-	-	-0,17	-11,1	-	-	
		+	1,43	1,38	1,52	1,44	-	-	-	-	-0,21	-12,7	0,08	5,9	
	А2 (с полным объемом рыхления)	широкорядный 0,45 м	-	1,68	1,55	1,75	1,66	0,13	8,5	-	-	-	-	-	-
			+	1,85	1,74	1,90	1,83	0,18	10,9	-	-	0,17	10,2	-	-
ленточный 0,30×0,45 м		-	1,82	1,67	1,91	1,80	0,16	9,8	-	-	0,14	8,4	-	-	
		+	2,07	1,89	2,12	2,03	0,30	17,3	-	-	0,20	10,9	0,23	12,8	
ленточный 0,30×0,60 м		-	1,88	1,72	1,94	1,85	0,25	15,6	-	-	0,19	11,4	-	-	
		+	2,15	1,96	2,24	2,12	0,40	23,3	-	-	0,29	15,8	0,27	14,6	
ленточный 0,30×0,75 м		-	1,77	1,58	1,81	1,72	0,36	26,5	-	-	0,06	3,6	-	-	
		+	1,89	1,69	1,94	1,84	0,40	27,8	-	-	0,01	0,5	0,12	7,0	
НСР ₀₅		Фактор А		0,06	0,05	0,04	0,03								
		Фактор В		0,08	0,07	0,06	0,04								
	Фактор С		0,06	0,05	0,04	0,03									
	Для частных средних		0,16	0,14	0,11	0,08									

Исследования показали, что применение ленточного способа посева со схемой $0,30 \times 0,75$ м не оправдано. Урожайность нута, в сравнении с вариантом, где посев традиционно проводили широкорядным способом через 0,45 м, снижалась на 0,17-0,21 т/га или на 11,1-12,7 %. Это определило формирование наименьшей урожайности зерна нута, в среднем, 1,36 т/га при использовании ленточного способа посева со схемой $0,30 \times 0,75$ м без применения соломенной мульчи на фоне зональной системы основной и предпосевной обработки почвы.

Наиболее значимым в опыте фактором, оказывающим наибольшее влияние на продукционный процесс и урожайность товарного зерна нута, стала применяемая система обработки почвы.

Предлагаемая система обработки почвы, отличающаяся от зональной тем, что вместо отвальной вспашки на глубину гумусового горизонта почвы проводили полосное рыхление на глубину 0,4 м, причем расстояние между смежными полосами объемного рыхления определялось способом посева нута, а вместо предпосевной культивации применяли фрезерование почвы на глубину заделки семян, обеспечила статистически значимое повышение урожайности, даже на фоне традиционного посева широкорядным способом через 0,45 м без мульчирования поверхности почвы. Урожайность товарного зерна нута возростала на 0,13 т/га или 8,5 %.

Опытами установлена значимость взаимодействия изучаемых факторов. При посеве нута ленточным способом по схеме $0,30 \times 0,45$ м эффективность предлагаемой системы обработки почвы возростала, прибавка урожая в сравнении с зональной системой обработки составляла 0,16 т/га в вариантах без мульчирования поверхности почвы и 0,30 т/га – в вариантах, где мульчирование проводилось.

Наиболее эффективным оказалось использование предлагаемой системы обработки почвы в сочетании с применением ленточного способа посева нута по схеме $0,30 \times 0,75$ м. Прибавка урожайности нута в сравнении с вариантами, где почву обрабатывали по зональной технологии, составила 0,36 т/га на участках, где мульчирование поверхности почвы не проводилось, и достигала 0,40 т/га на участках с мульчированием поверхности почвы в зоне формирования посевных лент.

В свою очередь было отмечено, что эффективность локального мульчирования почвы соломой в сочетании с применением предлагаемой системы обработки почвы существенно возрастает. Прибавка урожая нута от применения мульчирования припосевных зон почвы соломой достигала 0,12-0,27 т/га или 7,0-14,6 %. Наибольшая прибавка урожая, 0,27 т/га, была получена при создании локального мульчирующего слоя в сочетании с ленточным способом посева нута по схеме 0,30×0,60 м. Это обеспечило возможность формирования посевов нута наибольшей продуктивности как в отдельные годы исследований, 1,96-2,24 т/га, так и в среднем, по итогам всего периода исследований, 2,12 т/га.

Таким образом, эффективность, а, следовательно, и целесообразность применения апробируемых приемов возделывания нута нельзя рассматривать изолированно, а исключительно в комплексе, с учетом взаимодействия всех изучаемых факторов. Характерной иллюстрацией правомерности настоящего утверждения является зависимость урожайности товарного зерна нута от ширины междурядья в ленточных способах посева на фоне различных сочетаний прочих, поставленных к изучению факторов (рисунок 5.2). В частности, из рисунка видно, что при использовании зональной технологии обработки почвы и отказе от таких влаго-сберегающих приемов, как мульчирование поверхности почвы соломой, наблюдается выраженная нисходящая зависимость урожайности зерна нута от расстояния между двумя смежными посевными лентами. Наибольшая урожайность во все годы исследований наблюдалась при ширине междурядий 0,45 м, снижающаяся с переходом к ширине междурядий 0,6 м и краевым минимумом при граничной (в опыте) ширине междурядий 0,75 м.

Переход на предлагаемую систему обработки почвы без мульчирования почвы уже принципиально изменяет установленную закономерность. Здесь уже наблюдается не постоянный нисходящий тренд, а кривая с выраженным максимумом. Формирование наибольшей урожайности зерна нута на фоне предлагаемой системы обработки почвы смещалось в сторону увеличения ширины междурядий до 0,6 м. Краевым минимумом при этом оставался вариант с междурядьем 0,75 м.

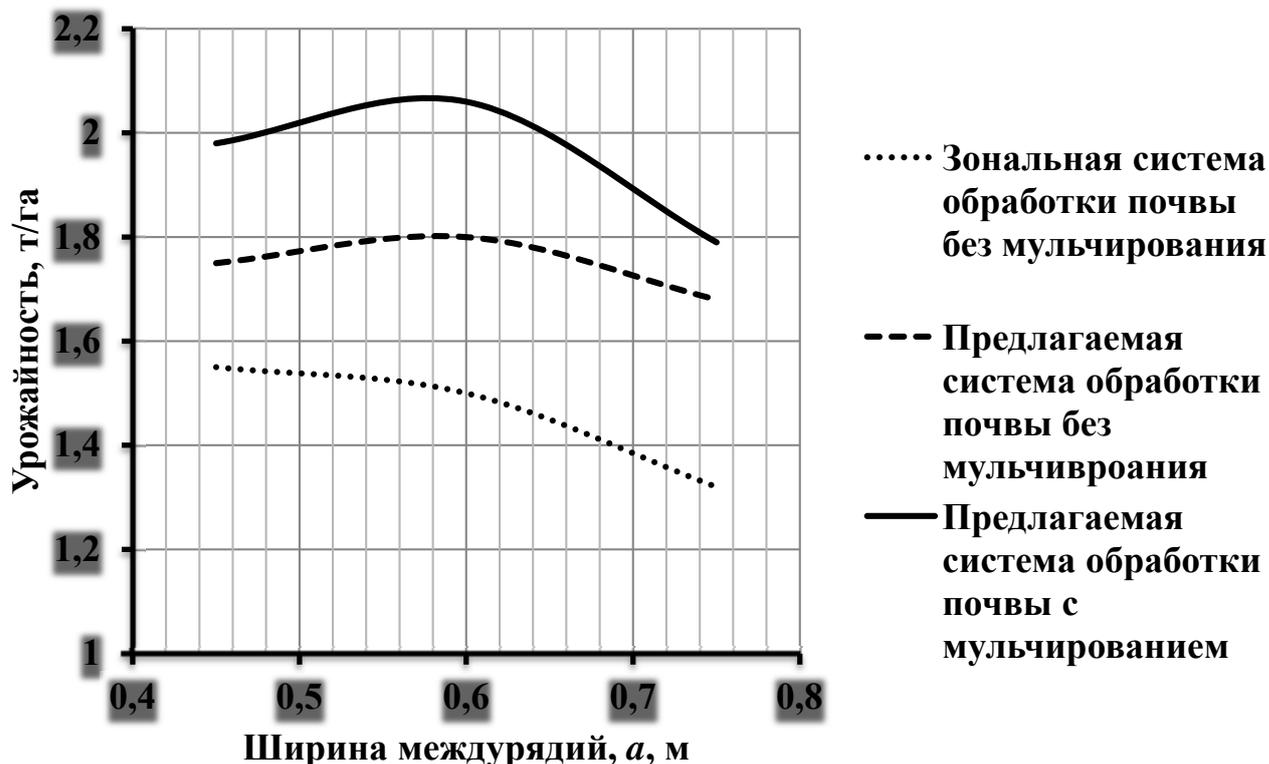


Рисунок 5.2 - Урожайность нута в зависимости от ширины междурядий (a) при ленточном ($0,30 \times a$ м) посеве и использовании разных систем обработки почвы

Применение предлагаемой системы обработки почвы в сочетании с мульчированием поверхности почвы (локально, в зоне размещения посевных лент) характеризовалось качественным сохранением кривой зависимости урожайности нута от ширины междурядий при ленточном способе посева. Вместе с тем, общий ход кривой зависимости урожайности от ширины междурядий здесь становится более выраженным, четко разграничивая эффективные и неэффективные сочетания факторов. Это позволяет сформировать эффективную систему агроприемов возделывания нута, гарантированно обеспечивающую возможность получения наибольших урожаев в условиях каштановых почв и засушливого климата Нижневолжского региона.

Таким образом, предлагаемая система обработки почвы обладает мощным потенциалом в части повышения общей и товарной продуктивности нута, стабилизации производства нутового зерна в сухостепной зоне каштановых почв Нижнего Поволжья.. Комплексная оптимизация системы основной и предпосевной обработки почвы, обоснование способа и параметров посева, обоснование влаго-

сберегающих приемов возделывания позволяет ежегодно получать около 2 т/га товарного зерна нута. Наилучшие результаты обеспечиваются при обработке почвы по предлагаемой технологии с формированием полос глубокого рыхления через 0,9 м с последующим предпосевным фрезерованием почвы, размещением посевных лент и полосовым мульчированием поверхности в зоне глубокого рыхления.

5.2 Оценка экономической эффективности изучаемых агроприемов возделывания нута в условиях засухи

В условиях рыночных отношений экономика производства является решающим критерием и главным условием успешного освоения инновационных приемов и технологий. Оценка экономической эффективности использования предложенных агроприемов при возделывании нута в засушливой зоне распространения каштановых почв Нижнего Поволжья проводили на основании сопоставления одновременно формирующихся денежных потоков и совокупного сальдо. Продолжительность периода для расчетов принималась равной одному году, в течение которого реализовывался весь технологический цикл возделывания и уборки нута. В основу расчетов были положены технологические карты, а также нормативы выработки и затрат ресурсов на все выполняемые технологические операции. Расчеты проводили по базовой технологии возделывания нута, а также по изучаемым вариантам с включением поставленных к исследованию агроприемов. Все расчеты проведены в ценах на первое ноября 2017 года.

Все прямые затраты на возделывание нута складывались из расходов на горюче-смазочные материалы и электроэнергию, амортизацию эксплуатируемой техники, включая сельскохозяйственные машины, оплату труда, проведение технического обслуживания и ремонта машин, а также расходов за закупку семенного материала, удобрений и пестицидов, применение которых предусмотрено технологией. Пооперационная структура затрат предполагает выделение, в первую очередь, системы агроприемов по зяблевой обработке почвы, весенней и предпосев-

ной обработке почвы, затраты на приобретение и применение минеральных удобрений, гербицидов, фунгицидов, затраты на подготовку посевного материала и посев нута, затраты на предуборочную обработку десикантами и уборку. Отдельной статьей расходов в приведенной структуре рассматриваются расходы на приобретение посевного материала (таблица 5.3).

Приобретение высококачественного посевного материала является залогом и необходимым условием получения высокопродуктивных посевов. В современном агропроизводстве расходы на высококачественный посевной материал уже традиционно занимают значительный сегмент, опережая и расходы на удобрения и затраты на пестициды. В зональной технологии возделывания нута расходы на приобретение высококачественного посевного материала нута достигают 37,8 % от всей совокупности затрат на реализацию технологического цикла. В опытных вариантах, где апробировали предложенные агроприемы возделывания нута доля затрат на приобретение посевного материала незначительно (до 33,6-36,1 %) снижалась из-за увеличения совокупных расходов.

Затраты на зяблевую обработку почвы в зональной технологии возделыванию нута составляют 1740 руб./га или 10,1 % от совокупных затрат на реализацию технологического цикла. Переход на предложенную систему обработки почвы, на основе полосовых глубоких рыхлений, выполняемых под зябь, потребовал увеличения расходов до 3430 руб./га. Это составляет уже 17,7 % от совокупных расходов на выполнение технологического цикла. Таким образом, использование полосовых глубоких обработок почвы является достаточно затратным приемом, увеличивающим расходы на проведения зяблевой обработки почвы более, чем в полтора раза. Переход на предложенную систему обработки почвы увеличивает и расходы на проведение весенних и предпосевных обработок. Если при использовании зональной системы подготовки почвы расходы на весенние и предпосевную обработки составляли 596 руб./га, то при использовании предложенной системы, - возросли до 952 руб./га, что составляет 4,9 % от совокупных расходов. Следует признать, что в рассматриваемом варианте полосное рыхление проводилось через 0,45 м, под традиционно реализуемый широкорядный способ посева.

Таблица 5.3 - Структура прямых затрат на возделывание нута в зависимости от сочетания применяемых агроприемов

Статья расходов	Контроль, сочетание А1В1С1		Вариант А2В1С1 (+предложенная система обработки почвы)		Вариант А2В3С1 (+ленточный способ посева 0,30×0,60 м)		Вариант А2В3С2 (+полосное мелиорирование поверхности почвы)	
	руб./га	% от суммы затрат	руб./га	% от суммы затрат	руб./га	% от суммы затрат	руб./га	% от суммы затрат
Зяблевая обработка почвы	1740	10,1	3430	17,7	2300	12,8	2300	12,2
Весенняя и предпосевная обработка почвы	596	3,5	952	4,9	682	3,8	682	3,6
Затраты на приобретение посевного материала	6500	37,8	6500	33,6	6500	36,1	6500	34,5
Минеральные удобрения	3600	20,9	3600	18,6	3600	20,0	3600	19,1
Обработка гербицидами	1038	6,0	1038	5,4	1038	5,8	1038	5,5
Обработка фунгицидами	1200	7,0	1200	6,2	1200	6,7	1200	6,4
Подготовка посевного материала и посев	220	1,3	310	1,6	310	1,7	1110	5,9
Обработка десикантами	2050	11,9	2050	10,6	2050	11,4	2050	10,9
Уборка	256	1,5	270	1,4	320	1,8	370	2,0
Всего	17200	100,0	19350	100,0	18000	100,0	18850	100,0

С целью снижения затрат на обработку почвы при использовании полосовых глубоких рыхлений в опытах были заложены варианты по изучению ленточных способов посева с различными параметрами. Полосы глубокого рыхления при этом выполняются реже, что существенным образом отражается на снижении расходов на зяблевую обработку почвы при возделывании нута. В частности, при посеве нута ленточным способом по схеме $0,30 \times 0,60$ м полосы глубокого рыхления выполнялись уже через 0,9 м, а расходы на проведение зяблевой обработки снижались до 2300 руб./га. Использование ленточного способа посева положительно отражалась и на снижении расходов при проведении весенней и предпосевной обработок почвы. Использование ленточного способа посева по схеме $0,30 \times 0,60$ м позволило снизить расходы на проведении весенних и предпосевной обработок почвы до 682 руб./га или 3,8 %.

Еще одной предлагаемой операцией по возделыванию нута в условиях засухи является полосовое мульчирование почвы. В опытах мульчирование почвы проводилось соломенной резкой, локально, в зоне рыхления почвы и посева нута. Укрытие почвы соломенной резкой проводили непосредственно после посева нута, однако в условиях производства эти операции целесообразно совмещать. Рассматривая операцию мульчирования почвы, как составной компонент технологии посева, следует отметить, что расходы на посев при этом возрастают до трех раз. Однако, в структуре совокупных расходов они остаются на уровне 5,9 %.

Среди прочих, затратных статей в пооперационной структуре расходов на возделывание нута выделяются расходы на минеральные удобрения (18,6-20,9 %) и десикацию посевов (10,6-11,9 %). Расходы на обработку посевов гербицидами и фунгицидами составляют от 5,4 до 7,0 % от совокупных расходов на реализацию технологического цикла.

Совокупные расходы денежных средств на реализацию полного технологического цикла в рамках зональной технологии возделывания нута составили 17200 руб./га (таблица 5.4). Эта цифра принята нами в качестве контроля для сравнения с вариантами, разработанными на основе различных сочетаний предлагаемых агроприемов.

Таблица 5.4 - Оценка себестоимости производства нута при разных сочетаниях включенных в опыт агроприемов

Фактор А (система обработки почвы)	Фактор В (способ посева)	Фактор С (мульчирование почвы)	Эксплуатационные затраты, руб/га	Урожайность, т/га	Себестоимость, руб/т	Δ С в зависимости от обработки почвы		Δ С в зависимости от способа посева		Δ С при использовании локального мульчирующего покрытия		
						руб/га	%	руб/га	%	руб/га	%	
А1 (зональная система обработки почвы под нут)	широкорядный 0,45 м	-	17200	1,53	11242	-	-	-	-	-	-	
		+	18050	1,65	10939	-	-	-	-	-303	-2,7	
	ленточный 0,30×0,45 м	-	17900	1,64	10915	-	-	-327	-2,9	-	-	
		+	18750	1,73	10838	-	-	-101	-0,9	-77	-0,7	
	ленточный 0,30×0,60 м	-	17200	1,60	10750	-	-	-	-4,4	-	-	
		+	18050	1,72	10494	-	-	-445	-4,1	-256	-2,4	
	ленточный 0,30×0,75 м	-	16500	1,36	12132	-	-	-	7,9	-	-	
		+	17350	1,44	12049	-	-	1110	10,1	-83	-0,7	
	А2 (с полным объемным рыхлением)	широкорядный 0,45 м	-	19350	1,66	11657	415	3,7	-	-	-	-
			+	20200	1,83	11038	99	0,9	-	-	-619	-5,3
		ленточный 0,30×0,45 м	-	20050	1,80	11139	224	2,1	-518	-4,4	-	-
			+	20900	2,03	10296	-542	-5,0	-742	-6,7	-843	-7,6
ленточный 0,30×0,60 м		-	18000	1,85	9730	-1020	-9,5	-1927	-16,5	-	-	
		+	18850	2,12	8892	-1602	-15,3	-2146	-19,4	-838	-8,6	
ленточный 0,30×0,75 м	-	16985	1,72	9875	-2257	-18,6	-1782	-15,3	-	-		
	+	17835	1,84	9693	-2356	-19,6	-1345	-12,2	-182	-1,8		

Расчеты показали, что переход на предложенную систему обработки почвы и использование полосового мульчирования поверхности почвы в зоне размещения растений в качестве влагосберегающего приема увеличивает размер совокупных денежных расходов. Использование ленточного способа посева характеризовалось как увеличением, так и снижением совокупных затрат на возделывание нута в зависимости от параметров применяемой схемы посева.

Однако на практике важен не только совокупный объем капиталовложений, но и удельные затраты потраченных ресурсов на формирование каждой единицы урожая. Такие затраты характеризует себестоимость производимой продукции. Расчетные значения себестоимости нута в зависимости от сочетания изучаемых агроприемов изменялись от 8892 руб./т до 12132 руб./т. Причем контрольный вариант, где нут выращивали по зональной технологии, не являлся ни максимумом ни минимумом и составлял 11242 руб./т (рисунок 5.3). Это свидетельствует, что изучаемые сочетания агроприемов оказывали как положительное, так и отрицательное влияние на эффективность производства. Так, при использовании зональной системы обработки почвы, на основе отвальной вспашки, переход на ленточный способ посева по схеме $0,30 \times 0,45$ м на фоне общего повышения совокупных затрат себестоимость зерна нута снижалась на 101-327 руб./т. Проведение посева ленточным способом по схеме $0,30 \times 0,60$ м обеспечило снижение себестоимости зерна нута на 445-492 руб./т. Однако, при использовании того же, ленточного способа посева по схеме $0,30 \times 0,75$ м, себестоимость зерна нута возрастала на 890-1110 руб./т в сравнении с контролем, где посев проводили широкорядным способом через 0,45 м.

При использовании предложенной системы обработки почвы, на основе глубоких полосных рыхлений, переход на ленточный способ посева со всеми изучаемыми схемами, обеспечивал существенное снижение себестоимости зерна нута. Однако, в наибольшей степени, на 1927-2146 руб./т, себестоимость зерна нута снижалась при посеве нута ленточным способом по схеме $0,30 \times 0,60$ м.

Собственно, переход на предложенную систему обработки почвы, обеспечивал снижение себестоимости зерна нута на 542-2356 руб./т.

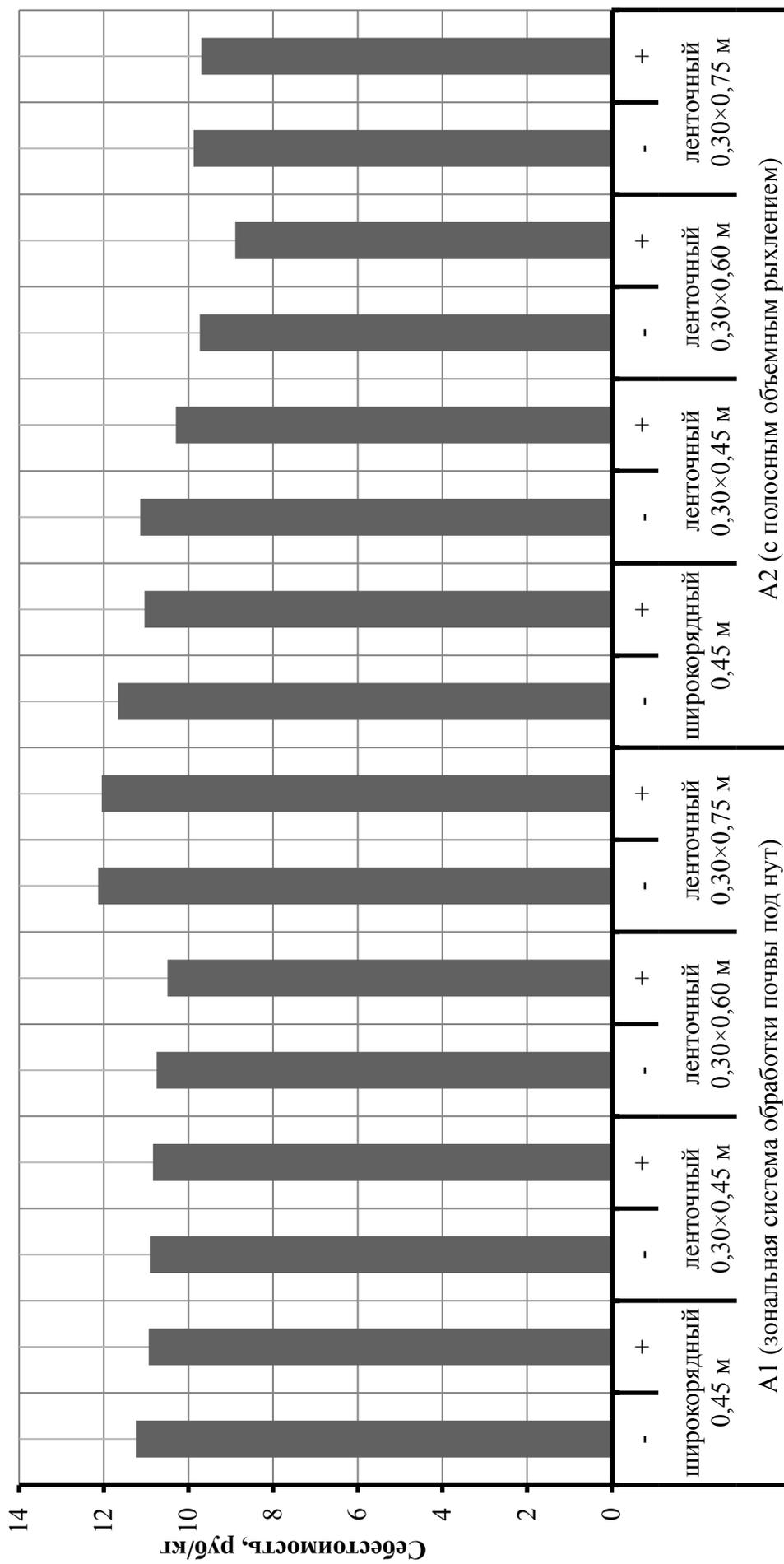


Рисунок 5.3 - Себестоимость производства нута в зависимости от сочетания изучаемых агроприемов

Однако расчеты показали, что положительный эффект обеспечивается не при всех сочетаниях изучаемых факторов. Например, при использовании широкорядного способа посева через 0,45 м себестоимость зерна нута не снижалась, а даже возрастала на 99-415 руб/т. Также рост себестоимости, в среднем, на 224 руб/т, был отмечен при посеве нута ленточным способом по схеме 0,30×0,45 м в вариантах, где полосового мульчирования почвы не проводили.

Наибольшее снижение себестоимости зерна нута, на 2257-2356 руб/т, с переходом на предложенную систему обработки почвы, обеспечивалось на фоне ленточного способа посева по схеме 0,30×0,75 м.

Использование приема полосового мульчирования почвы при всех сочетаниях изучаемых факторов оказывало существенный положительный эффект в плане снижения себестоимости зерна нута. Себестоимость зерна нута на участках этих вариантов была, в среднем, на 77-843 руб/т, меньше, чем в вариантах без мульчирования. Наиболее значимые эффекты, до 619-843 руб/т снижения себестоимости, были получены на участках, где обработку почву проводили по предложенной системе, на основе глубоких полосовых рыхлений.

Продукция наименьшей себестоимости, 8892 руб./т, была получены при использовании предложенной системы обработки почвы, ленточного способа посева нута по схеме 0,30×0,60 м и влагосберегающего приема мульчирования поверхности почвы в полосовой модификации. Совокупные затраты на возделывание нута при этом составили 18850 руб./га, что на 1650 руб/га больше, чем при использовании зональной технологии.

Совокупные затраты на возделывание сельскохозяйственных культур имеют большое значение при планировании производства. Однако решающим фактором является получение экономической прибыли. В наших исследованиях оценка экономического эффекта возделывания нута в условиях засушливого климата Нижнего Поволжья проводилась по совокупности таких интегральных показателей, как чистый доход и рентабельность производства. Расчеты показали, что величина ожидаемого чистого дохода по вариантам опыта изменяется от 51500 до 87150 руб./га, а рентабельность производства достигает 312,1-462,3 % (таблица 5.5, рисунок 5.4).

Таблица 5.5 - Интегральные показатели экономической эффективности производства нута при разных сочетаниях изучаемых факторов

Фактор А (система обработки почвы)	Фактор В (способ посева)	Фактор С (мульчирование почвы)	Эксплуатационные затраты, руб/га	Урожайность, т/га	Выручка от реализации продукции, руб/га	Чистый доход, руб/га	Рентабельность, %	
А1 (зональная система обработки почвы под нут)	широкорядный 0,45 м	-	17200	1,53	76500	59300	344,8	
		+	18050	1,65	82500	64450	357,1	
	ленточный 0,30×0,45 м	-	17900	1,64	82000	64100	64100	358,1
		+	18750	1,73	86500	67750	67750	361,3
	ленточный 0,30×0,60 м	-	17200	1,60	80000	62800	62800	365,1
		+	18050	1,72	86000	67950	67950	376,5
	ленточный 0,30×0,75 м	-	16500	1,36	68000	51500	51500	312,1
		+	17350	1,44	72000	54650	54650	315,0
	А2 (с полосным объемным рыхлением)	широкорядный 0,45 м	-	19350	1,66	83000	63650	328,9
			+	20200	1,83	91500	71300	71300
ленточный 0,30×0,45 м		-	20050	1,80	90000	69950	69950	348,9
		+	20900	2,03	101500	80600	80600	385,6
ленточный 0,30×0,60 м		-	18000	1,85	92500	74500	74500	413,9
		+	18850	2,12	106000	87150	87150	462,3
ленточный 0,30×0,75 м	-	16985	1,72	86000	69015	69015	406,3	
	+	17835	1,84	92000	74165	74165	415,8	

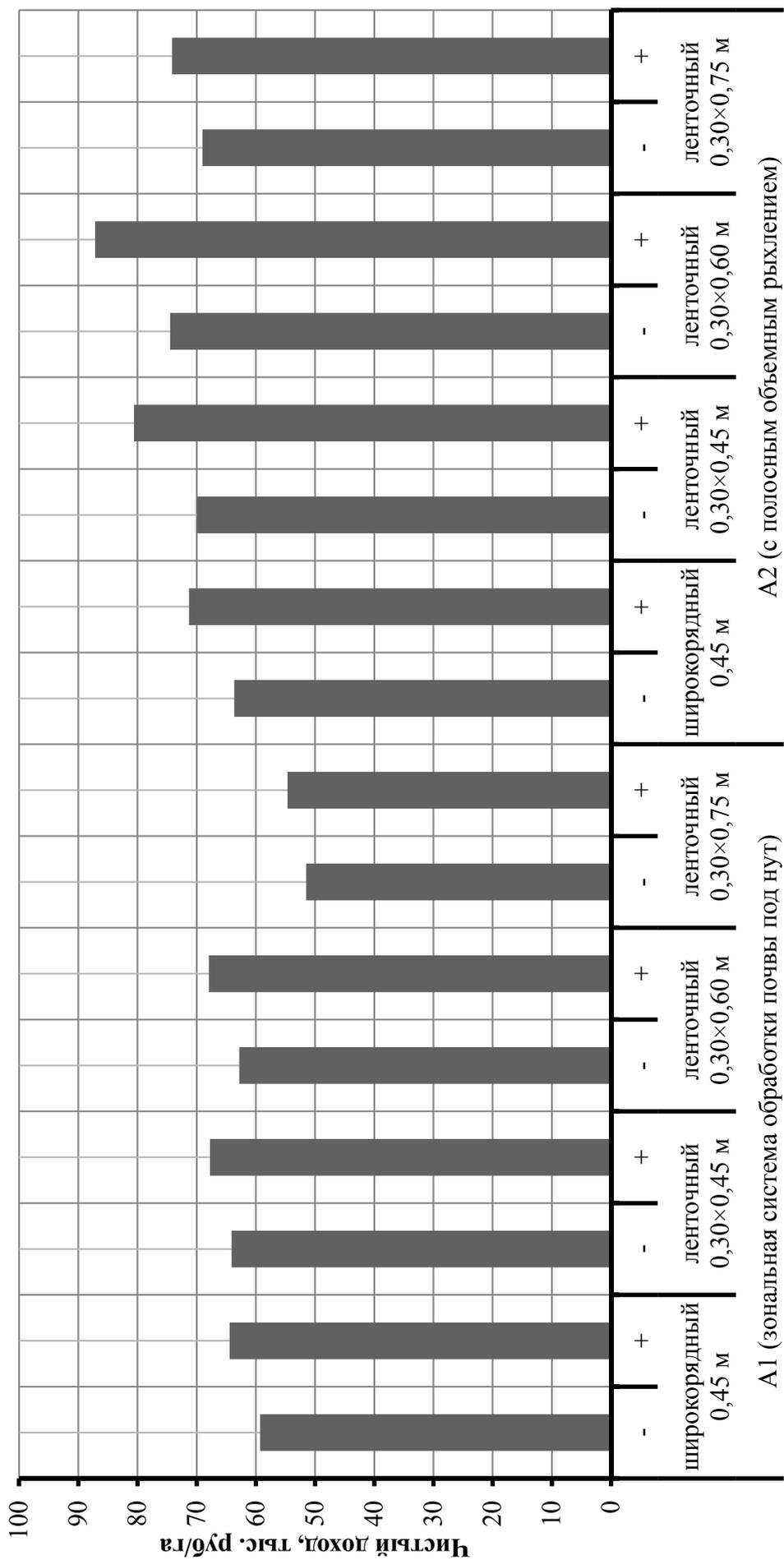


Рисунок 5.4 - Чистый доход при разных сочетаниях изучаемых агроприемов возделывания нута

Такие высокие показатели доходности производства нута обеспечиваются, прежде всего, высокой закупочной ценой на зерно этой культуры, которая составляет 50 тыс. руб./т. Наряду с этим отмечается и значительная вариабельность показателей экономической эффективности в вариантах с различными сочетаниями изучаемых агроприемов.

Расчеты показали, что при сохранении ценового паритета на ресурсы производства и производимую продукцию возделывание нута по зональной технологии обеспечивает получение 59300 руб/га чистого дохода, а рентабельность производства составляет 344,8 %. На фоне применения зональной системы обработки почвы положительные эффекты по рассматриваемым показателям в сравнении с контролем обеспечивались при посеве ленточным способом по схеме 0,30×0,45 м и 0,30×0,60 м, а также при использовании приема полосового мульчирования поверхности.

При использовании предложенной системы обработки почвы величина чистого дохода в любом из изучаемых вариантов была выше контроля. Наряду с этим, повышение рентабельности производства при использовании предложенной системы обработки почвы относительно контроля обеспечивалось только при использовании ленточных способов посева.

Наибольший чистый доход, 87150 руб./га, обеспечивается при использовании предложенной системы обработки почвы, посеве нута ленточным способом по схеме 0,30×0,60 м и применении влагосберегающего приема мульчирования почвы в полосовой модификации. Это на 35650 руб./га или 69,2 % больше, чем при использовании зональной технологии возделывания нута. Даже при существующем паритете цен на ресурсы и производимую продукцию такой дополнительный доход существенно повышает привлекательность производства и обеспечивает быструю и эффективную окупаемость капиталовложений. При возможном снижении закупочных цен на продукцию использование высокоэффективных агроприемов является главным фактором сохранения прибыльности производства. Рентабельность производства при таком сочетании факторов достигает 462,3 %, что гарантирует уверенное вхождение в этот вид агробизнеса без потерь и финансовых рисков.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Совершенствование системы агроприемов возделывания, направленное на повышение эффективности использования естественных природных ресурсов, обеспечивает в почвенно-климатических условиях засушливого Нижневолжского региона возможность формирования устойчивых урожаев нута на уровне 2 т/га.

Использование предлагаемой системы обработки почвы на основе глубоких (до 0,4 м) полосовых рыхлений, выполняемых под зябь, обеспечивает улучшение водных и физических свойств почвы. Эффект в наибольшей степени проявляется в подпахотных горизонтах, где до 1,22-1,26 т/м³ или на 0,04-0,06 т/м³ снижается плотность сложения почвы, на 1,2-2,0 % возрастает скважность, на 0,7-1,1 % увеличивается наименьшая влагоемкость. Указанное преимущество наблюдалось вплоть до первой декады июля, или, практически, в течение всего вегетационного периода нута. Для засушливых регионов России в зоне распространения каштановых почв это имеет принципиальное значение, так как в таких условиях влага быстро уходит из верхних слоев почвы, сосредотачиваясь в подпахотных горизонтах.

Результаты послойного изучения накопления почвенной влаги показали, что эффект «плужной подошвы», наблюдаемый при использовании традиционных систем обработки почвы с применением отвальной вспашки обуславливает неравномерное распределение запасов продуктивной влаги в границах микрорельефа пашни. Локальные понижения, а также местные нарушения «плужной подошвы», случайного характера, определяют местный сброс воды с инфильтрацией в нижележащие горизонты почвы. Применение полосной обработки почвы под зябь на глубину до 0,4 м позволяет создавать гребнистый профиль с системным разрушением плужной подошвы, что способствует увеличению запасов продуктивной почвенной влаги в подпахотных горизонтах. Наибольший эффект в плане накопления запасов почвенной влаги был отмечен на участках, где полосовое рыхление почвы проводили через 0,9 и 1,05 м. Это позволяло в среднем для метрового слоя накапливать до 1447-1481 м³/га продуктивной влаги, что на 229-263 м³/га больше,

чем при использовании зональной системы обработки почвы, на основе отвальной вспашки.

Использование полосового мульчирования поверхности почвы в зоне размещения посевных лент (рядов) на 9,4-21,7% снижает водопотребление посевов в период «посев-всходы» и начальные фазы вегетативного развития нута. Это позволяет за счет сокращения непроизводительного расхода влаги на физическое испарение с поверхности почвы сохранить запасы почвенной влаги и перераспределить ее использование в пользу более поздних фаз развития. За вегетационный период посевами нута расходуется, в среднем, от 2550 м³/га до 2960 м³/га воды на суммарное водопотребление.

Основной водобалансовой статьей (до 50,0-61,1 %) и ресурсом воды, расходуемой посевами нута на суммарное водопотребление, являются накопленные запасы почвенной влаги. Сочетание использования предложенной системы обработки почвы, на основе полосового глубокого рыхления под зябь, и влагосберегающего приема полосового мульчирования почвы, обеспечивают наиболее эффективное использование имеющихся водных ресурсов на формирование урожая нута. При этом наименьшие значения коэффициента водопотребления, 1357-1466 м³/т, были получены на участках, где полосовое рыхление почвы осуществлялось через 0,9 м, а нут высевали ленточным способом по схеме 0,30×0,60 м.

Улучшение водообеспеченности и физических свойств почвы при использовании полосового рыхления, применение влагосберегающего приема полосового мульчирования в сочетании с обоснованием способов посева обеспечивает активизацию продукционного процесса нута, увеличивая на 4-5 суток продолжительность вегетационного периода, на 4,2-5,6 тыс. м²/га максимальную площадь листьев нута, на 18,5-27,5 % - накопленный посевами фотосинтетический потенциал и на 0,30-0,48 г/м² в сут. – чистую продуктивность фотосинтеза. Наилучшие показатели роста и развития нута были получены при проведении полосового рыхления через 0,9 м и посеве изучаемой культуры ленточным способом по схеме 0,30×0,60 м, где накопленная биомасса посева в сухом веществе составляла 6,14-7,21 т/га, что на 1,67-1,81 т/га больше, чем на контроле.

Сочетание полосовой глубокой обработки почвы и полосового мульчирования поверхности в зоне рыхления при использовании ленточного способа посева по схеме $0,30 \times 0,60$ м обеспечивало наилучшие показатели структуры урожая с сохранением 32 раст./м², формированием, в среднем, 30,2 бобов на растении и 1,26 зерен в бобе, массой 1000 семян не ниже 268 г. В совокупности это обеспечило формирование 1,96-2,24 т/га урожая зерна нута, что на 0,57-0,61 т/га больше, чем на контроле, при обработке почвы по зональной системе и посеве нута широко-рядным способом через 0,45 м.

Использование предлагаемых агроприемов при возделывании нута экономически выгодно. Проведение полосового рыхления через 0,9 м и посев нута ленточным способом по схеме $0,30 \times 0,60$ м в сочетании с полосовым мульчированием поверхности почвы обеспечило получение продукции наименьшей себестоимости, 8892 руб./т, наибольшего чистого дохода, - 87,15 тыс. руб./га при максимальной рентабельности производства, 462,3 %. Экономический эффект от перехода на предложенную систему агроприемов возделывания нута составляет 27,85 тыс. руб./га.

Рекомендации производству:

Для получения стабильных урожаев зерна нута на уровне 2,0 т/га при рациональном использовании природных и задействуемых в производстве ресурсов использовать научно обоснованное сочетание предлагаемых агроприемов с соблюдением следующих технологических параметров:

- обработку почвы проводить по предлагаемой системе, включающей обработку поверхности поля дисковыми луцильниками непосредственно после уборки предшествующей культуры, дискование и глубокое полосное рыхление на глубину 0,4 м и с интервалом 0,9 м под зябь, покровное боронование и предпосевное фрезерование в зоне размещения полос глубокого рыхления;

- посев нута проводить ленточным двустрочным способом по схеме $0,30 \times 0,6$ м;

- обеспечивать проведение влагосберегающего агроприема, заключающегося в создании мульчирующего слоя в границах зоны размещения растений (посевной полосы);

Перспективы дальнейшей разработки темы

Перспективы дальнейшей разработки темы заключаются в подборе оптимального сортаментного состава нута для обеспечения эффективного использования природных ресурсов в разные по агрометеорологическим условиям годы, исследовании эффективных технологий применения минеральных удобрений при локальных полосовых обработках почвы, поиске эффективных мер борьбы с сорной растительностью в посевах, а также изучении основных факторов активизации симбиотического питания нута и использования этого ресурса для возмещения дефицита азота в каштановых почвах.

ЛИТЕРАТУРА

1. Агафонов, Е.В. Применение минеральных и бактериальных удобрений под нут на черноземе обыкновенном в Ростовской области / Е.В. Агафонов, Е.И. Пугач, К.И. Пимонов // Агрехимия. – 2008. – № 7. – С. 22-30.
2. Агеев, И.М. Повышение эффективности выращивания зернобобовых в Оренбургской области / И.М. Агеев, Е.М. Агеев, И.В. Васильев, А.В. Кащеев // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. – 2010. – Т. 3. – № 27-1. – С. 12-14.
3. Агроклиматический справочник по Волгоградской области. – Л.: Гидрометеоиздат, 1961. - 145 с.
4. Акулов, А.С. Сравнительная оценка различных сортов нута в зависимости от элементов технологии возделывания / Акулов А.С., Беляева Ж.А.// Зернобобовые и крупяные культуры. – 2016. – № 4 (20). – С. 51-55.
5. Алёнин, П.Г. Применение биорегуляторов в технологии возделывания нута / П.Г. Алёнин, А.Н. Кшникаткина, И.А. Зеленцов // Нива Поволжья. – 2014. – № 3 (32). – С. 2-7.
6. Астапов, С.В. Мелиоративное почвоведение / С.В. Астапов. - М.: Сельхозиздат, 1968. - 412 с.
7. Аукина, И.Г. Оптимизация минерального питания нута на каштановой почве Саратовского Заволжья / И. Г. Аукина, В. П. Белоголовцев, Т. Я. Палагина. – Саратов: Наука, 2012. - 98 с.
8. Аукина, И.Г. Почвенная диагностика минерального питания нута на каштановой почве Саратовского Заволжья / И.Г. Аукина, В.П. Белоголовцев // Вестник Саратовского госагроуниверситета им. Н.И. Вавилова. – 2008. – № 2. – С. 16-18.
9. Аукина, И.Г. Энергетическая и экономическая эффективность применения удобрений под нут / И.Г. Аукина, В.П. Белоголовцев // Вестник Саратовского госагроуниверситета им. Н.И. Вавилова. – 2009. – № 4. – С. 7-9.

10. Балашов, А.В. Увеличение площадей под нут на каштановых почвах как фактор повышения урожайности и улучшения качества зерна озимой пшеницы / А.В. Балашов, В.Н. Левкин // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. – 2006. – № 3. – С. 30-33.
11. Балашов, В.В. Волгоградский нут / В. В. Балашов, А. В. Балашов. – Волгоград: Волгоградский ГАУ, 2013. - 106 с.
12. Балашов, В.В. Нут в Нижнем Поволжье : монография / В. В. Балашов, А. В. Балашов. – Волгоград: Нива, 2009. - 190 с.
13. Балашов, В.В. Влияние биостимуляторов на продуктивность зерен нута / В.В. Балашов, В.В. Барабанов, А.В. Балашов // Вестник Московского государственного областного университета Серия «Естественные науки» - 2007.-С 132-134
14. Балашов, В.В. Влияние десикации посевов на урожайность и качество зерна нута / В.В. Балашов, А.В. Балашов, Н.А. Куликова // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. – 2010. – № 4. – С. 27-31.
15. Балашов, В.В. Влияние минеральных удобрений, предшественника и ризоторфина на развитие симбиотического аппарата и урожайность нута / В.В. Балашов, А.В. Балашов, В.В. Кудинов // Плодородие. – 2016. – № 6 (93). – С. 14-15.
16. Балашов, В.В. Результаты селекции и семеноводства нута в Нижнем Поволжье / В.В. Балашов, А.В. Балашов, С.В. Булынцев // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. – 2010. – № 4. – С. 17-21.
17. Балашов, В.В. Эффективность предпосевной обработки семян нута микроудобрениями на каштановых почвах Волгоградской области / В.В. Балашов, А.В. Балашов, И.А. Васина // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. – 2015. – № 2 (38). – С. 18-22.

18. Белоголовцев, В.П. Оптимизация минерального питания нута на основе почвенной диагностики на каштановых почвах Саратовского Заволжья / И.Г. Аукина, В.П. Белоголовцев // Вестник Саратовского госагроуниверситета им. Н.И. Вавилова. – 2012. – № 2. – С. 12-15.

19. Беляев, В.И. Технология Strip-Till: особенности конструкций машин ведущих мировых производителей и их применения / В.И. Беляев, Т. Майнель, Р. Тиссен // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2013. – № 11 (109). – С. 086-091.

20. Бодягин, Я.М. К вопросу использования нута для повышения плодородия степных почв Хакасии / Я. М. Бодягин // Матер. науч. конф. по агрохимии: Д. Н. Прянишников и развитие агрохимии в Сибири. – Новосибирск, 2003. - С.130-132.

21. Бодягин, Я.М. Приемы борьбы с сорняками / Я.М. Бодягин // Защита и карантин растений. - 2003. - №6. - С. 27.

22. Бондаренко, А.Н. Эффективность применения микробиологических препаратов и стимуляторов роста при возделывании зернобобовых культур в орошаемых условиях Северо-Западного Прикаспия / А.Н. Бондаренко // Агро XXI. – 2015. – № 4-6. – С. 31-33.

23. Борисенко, И.Б. Исследование процесса рыхления почвы по технологии Strip-Till / И.Б. Борисенко, М.В. Мезникова // 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. 143-147.

24. Борисенко, И.Б. Применение ресурсосберегающей технологии Strip-Till при выращивании сорго / И.Б. Борисенко, М.В. Мезникова // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. – 2015. – № 6 (56). – С. 82-84.

25. Бородычев, В.В. Агроэкологическая эффективность возделывания нута в Нижнем Поволжье / В.В. Бородычев, А.С. Семененко // Экологические аспекты использования земель в современных экономических формациях: материалы

Международной научно-практической конференции. – Волгоград: ВолГАУ. – 2017. – С. 90-95.

26. Бородычев, В.В. Возделывание нута в рисовых чеках / В.В. Бородычев, Т.В. Подольская, С.Б. Адьяев, И.А. Ляпкосова // Плодородие. – 2008. – № 6. С. 31-32.

27. Бородычев, В.В. Закономерности послойного распределения запасов общей и продуктивной влаги при разных способах обработки почвы под нут / В.В. Бородычев, А.С. Семененко // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. – 2017. – № 3 (47). – С. 21-29.

28. Бородычев, В.В. Кормопроизводство в Волгоградской области - проблемы и пути развития/ В.В. Бородычев, М.Н. Лытов// Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. – 2014. – № 1 (33). – С. 39-45.

29. Бородычев, В.В. Орошение и удобрение перспективных сортов сои / В.В. Бородычев, М.Н. Лытов // Плодородие. – 2004. – № 6. – С. 30.

30. Бородычев, В.В. Современное состояние и перспективы развития кормопроизводства в Волгоградской области / В.В. Бородычев, М.Н. Лытов // Комплексные мелиорации - средство повышения продуктивности сельскохозяйственных земель: материалы юбилейной международной научно-практической конференции. – М.: ВНИИГиМ, 2014. – С. 421-427.

31. Бородычев, В.В. Условия эффективного использования ресурсов почвенной влаги при возделывании горчицы в рисовых чеках / В.В. Бородычев, М.Н. Лытов, В.В. Цыбулин // Мелиорация и водное хозяйство. – 2014. – № 2. – С. 31-33.

32. Бородычев, В.В. Формирование оптимальной структуры агроценоза сои на мелиорированных землях Нижнего Поволжья / В.В. Бородычев, М.Н. Лытов, Д.А. Пахомов // Плодородие. – 2008. – № 5. – С. 27-28.

33. Бородычев, В.В. Эффективность орошения сои в условиях Нижнего Поволжья / В.В. Бородычев, М.Н. Лытов, М.Ю. Моисеев // Мелиорация и водное хозяйство. – 2004. – № 6. – С. 36.

34. Вадюнина, А.Ф. Агрофизическая и мелиоративная характеристика каштановых почв Европейской части СССР / А.Ф. Вадюнина. – М.: МГУ, 1970. – 325 с.
35. Ванифатьев, А.Г. Нут в Северном Казахстане / А.Г. Ванифатьев. – Алма-Ата: Кайнар, 1981. - 55 с
36. Виленский, П.Л. Методические рекомендации по оценке эффективности инвестиционных проектов / П.Л. Виленский, В.Н. Лившиц, С.А. Смоляк. - М.: Экономика, 2000. - 421 с.
37. Воробьев, С.А. Лабораторно-практические занятия по почвоведению и земледелию / С.А. Воробьев, М.Г. Аваев. - М.: Государственное издательство сельскохозяйственной литературы, журналов и плакатов, 1961. - 328 с.
38. Вуколов, Э.А. Основы статистического анализа: практикум по статистическим методам и исследованию операций с использованием пакетов Statistica и Excel / Э.А. Вуколов. – М.: Форум, 2004. – 464 с.
39. Генкель, П.А. Физиология жаро- и засухоустойчивости растений / П.А. Генкель. – М.: Наука, 1982. - 280 с.
40. Германцева, Н.И. Новые сорта нута и технология их возделывания / Н.И. Германцева, Т.В. Селезнева // Зернобобовые и крупяные культуры. – 2014. – № 2 (10). – С. 70-75.
41. Германцева, Н.И. Нут - культура больших возможностей / Н.И. Германцева // Теоретические и прикладные аспекты современной науки. – 2014. – № 4-1. – С. 50-53.
42. Германцева, Н.И. Ресурсосберегающая технология производства нута / Н.И. Германцева, А.В. Балашов, В.И. Зотиков, М.В. Донская, Т.С. Наумкина, А.В. Глазков, В.В. Наумкин, Е.Л. Ревякин. – Москва: ФГБНУ "Росинформагротех", 2015. - 47 с.
43. Гончар, Л.Н. Нут - перспективы выращивания в лесостепи Украины / Л.Н. Гончар, Е.Н. Щербакова // Науковий огляд. – 2014. – Т. 7. – № 8. – С. 25-30.

44. Горлов, И.Ф. Нут - альтернативная культура многоцелевого назначения : монография / И. Ф. Горлов. – Волгоград: Волгоградское научное изд-во, 2012. - 106 с.
45. Господаренко, Г.Н. Влияние азотных удобрений на питательный режим чернозема оподзоленного и урожай нута / Г.Н. Господаренко, С.В. Прокопчук // Вісник Уманського національного університету садівництва. – 2014. – Т. 1. – С. 3-8.
46. Гринько, А.В. Борьба с сорной растительностью в посевах нута / А.В. Гринько // Научный альманах. – 2016. – № 10-2 (24). – С. 234-237.
47. Гринько, А.В. Эффективность инсектицидов на нуте / А.В. Гринько // Научный альманах. – 2016. – № 7-2 (21). – С. 59-64.
48. Гушля, А.В. Воднобалансовые исследования/ А.В. Гушля, В.С. Мезенцев. – Киев: Вища школа, 1982. - 229 с.
49. Данилов, А.Н. Низкозатратная система удобрений в современной технологии нута и кукурузы / А.Н. Данилов, А.В. Летучий, Б.З. Шагиев, А.С. Линьков // Научное обозрение. – 2015. – № 19. – С. 26-29.
50. Данилов, А.Н. Фитосанитарное влияние удобрений и гербицидов на урожайность нута / А.Н. Данилов, А.В. Летучий, А.Г. Субботин // Научная жизнь. – 2016. – № 4. – С. 87-94.
51. Дегтярева, Е.Т. Агропроизводственная группировка и характеристика почв / Е.Т. Дегтярева. – Волгоград: Нижне-Волж. кн. изд-во, 1981. - 160 с.
52. Денисов, Е.П. Приемы повышения симбиотической азотфиксации зернобобовых культур / Е.П. Денисов, А.Н. Кшникаткина, А.В. Летучий, М.Н. Панасов // Аграрный научный журнал. – 2017. – № 7. – С. 14-20.
53. Донская, М.В. Содержание белка в семенах коллекционных образцов нута / М.В. Донская, С.В. Бобков // Зернобобовые и крупяные культуры. – 2015. – № 1 (13). – С. 53-55.
54. Доспехов, Б.А. Методика полевого опыта / Б.А. Доспехов. - М.: Колос, 1979. - 416 с.

55. Дубенок, Н.Н. Формирование бездефицитного баланса азота в почве при возделывании бобовых культур / Н.Н. Дубенок, В.В. Бородычев, М.Н. Лытов, Д.А. Пахомов // *Агрохимический вестник*. – 2007. – № 5. – С. 9-11.

56. Дубенок, Н.Н. Водные ресурсы - лимитирующий фактор при возделывании сои в рисовых севооборотах / Н.Н. Дубенок, М.Н. Лытов, С.Б. Адьяев, А.В. Кравченко // *Доклады Российской академии сельскохозяйственных наук*. – 2008. – № 1. – С. 28-30.

57. Дубенок, Н.Н. Орудие для мелиоративной обработки почвы и внесения удобрений / Н.Н. Дубенок, С.Я. Семенов, В.Г. Абезин, С.С. Марченко, А.С. Семенов // *Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований*. – 2017. – № 9. – С. 123-129.

58. Дубенок, Н.Н. Инновационная конструкция мелиоративного плуга для повышения плодородия почв при обработке / Н.Н. Дубенок, С.Я. Семенов, В.Г. Абезин, А.С. Семенов // *Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации*. – 2017. – № 3 (27). – С. 112-126..

59. Дурынина, Е.П. Агрохимический анализ почв, растений, удобрений / Е.П. Дурынина, В.С. Егоров. – М.: МГУ, 1998. – 113 с.

60. Елибай, Е. Урожайность и экономическая эффективность возделывания нута в условиях юга Казахстана / Е. Елибай, Л.С. Садыбекова, Е.Е. Кулкеев, Б. Толтаева // *Евразийский союз ученых*. – 2016. – № 2-5 (23). – С. 62-64.

61. Зволинский, В.П. Новые ресурсосберегающие экологически безопасные технологии возделывания бобовых культур в условиях Нижнего Поволжья / В. П. Зволинский, В.Н. Павленко, Н.Ю. Петров, В.В. Чернышков. – Москва: Вестник Российской академии сельскохозяйственных наук, 2013. - 247 с.

62. Зеленцов, И.А. Влияние некорневой подкормки микроудобрениями и регуляторами роста на урожайность нута сорта Приво-1 / И.А. Зеленцов // *Инновационные технологии в АПК: теория и практика: сборник статей Всероссийской научно-практической конференции*. – 2013. – С. 86-89.

63. Зубков, В.В. Нут. Особенности биологии и агротехника возделывания / В.В. Зубков, Е. В. Зуев. – Самара: ГНУ Самарский НИИСХ, 2011. - 15 с.

64. Зуза, В.С. Пивот и Харнес на горохе / В.С. Зуза // Защита и карантин растений. – 2006. – № 3. – С. 28-29.
65. Зялалов, А.А. Физиолого-термодинамический аспект транспорта воды по растению / А.А. Зялалов. – М.: Наука, 1984. - 136 с.
66. Карипов, Р.Х. Возделывания нута на основе сокращенной и нулевой обработки почвы / Р.Х. Карипов, А.А. Тлеппаева // Знание. – 2017. – № 1-1 (41). – С. 5-11.
67. Карипов, Р.Х. Оптимизация технологии возделывания зернобобовых культур в сухостепной зоне / Р.Х. Карипов, С.В. Диденко, А.А. Тлеппаева // Наука и Мир. – 2015. – Т. 1. – № 2 (18). – С. 91-94.
68. Кауричев, И.С. Практикум по почвоведению / И.С. Кауричев. - М., 1968. - 264 с.
69. Качинский, Н.А. Физика почв / Н.А. Качинский. - М.: Высшая школа, 1970. - 340 с.
70. Качурин, Л.Г. Методы метеорологических измерений / Л.Г. Качурин. – Л.: Гидрометеиздат, 1985. – 457 с.
71. Кашеваров, Н.И. Перспективная зернобобовая культура нут в Хакасии / Н.И. Кашеваров, Я.М. Бодягин // Кормление сельскохозяйственных животных и кормопроизводство. – 2011. – № 1. – С. 64-69.
72. Кирюшин, Б.Д. Методика научной агрономии / Б.Д. Кирюшин. – М.: Изд-во МСХА, 2004. - 167 с
73. Кислов, А.В. Минимизация обработки почвы под нут / А.В. Кислов, И.В. Васильев // Земледелие. – 2006. – № 5. –С. 16-18.
74. Классификатор рода *Cicer* L. (нут) / сост. Р.Б. Демина. – Л.: ВНИИ растениеводства им. Н.И.Вавилова, 1980. - 16 с.
75. Коваленко, Н.Я. Экономика окружающей среды в сельском хозяйстве / Н.Я. Коваленко, Е.А. Боровик. — М.: Агроконсалт, 2000. — 116 с.
76. Кононенко, С.И. Горох и нут разных сортов в кормопроизводстве /С.И. Кононенко, Ю.И. Левахин, А.Г. Мещеряков, А.М. Испанова // Зоотехническая наука Беларуси. – 2015. – Т. 50. – № 2. – С. 3-11.

77. Костяков, А.Н. Основы мелиорации / А.Н. Костяков. - М.: Сельхозгиз, 1960. - 621 с.
78. Кружилин, И.П. Агромелиоративная оценка влагообеспеченности территории Нижнего Поволжья. Волгоград / И.П. Кружилин. – 1976.-65с.
79. Кузнецова, Е.И. Методы полевых, вегетационных и лизиметрических исследований в агрономии / Е. И. Кузнецова, М. Г. Алещенко, Е. Н. Закабунина. – Москва: РГАЗУ, 2010. - 128 с
80. Куркова, С.В. Изменчивость и корреляции хозяйственных признаков нута в Северной Кулунде / С.В. Куркова // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. – 2014. – № 4. – С. 37-41.
81. Кушниренко, М.Д. Физиология водообмена и засухоустойчивости растений / М.Д. Кушниренко, С.Н. Печерская. – Кишинев: Штиинца, 1991. - 306 с.
82. Лавренко, С.О. Влияние способов основной обработки почвы на водно-физические свойства почвы при выращивании нута в орошаемых условиях юга Украины / С.О. Лавренко, В.Н. Иванец // Пути повышения эффективности орошаемого земледелия. – 2014. – № 56-2. – С. 123-127.
83. Лавренко, С.О. Нейропрограммирование урожайности зерна нута на мелиорируемых почвах / С.О. Лавренко, Н.Н. Лавренко, В.И. Пичура // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации. – 2015. – № 2 (18). – С. 16-30.
84. Лавренко, С.О. Экономическая эффективность выращивания нута в условиях юга Украины / С.О. Лавренко, Н.Н. Лавренко // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации. – 2014. – № 4 (16). – С. 49-59.
85. Лакин, Г.Ф. Биометрия / Лакин Г.Ф. — М.: Высшая школа, 1990. — 352 с.
86. Лебедева, В.М. Основы сельскохозяйственной метеорологии / В. М. Лебедева, А. И. Страшная, А. Д. Клещенко, И. Г. Грингоф. – Обнинск: ФГБУ "ВНИИГМИ-МЦД", 2012. - 215 с.
87. Лобов, А.В. Разработка полуфабрикатов в тесте с применением зернобобовой культуры нут / А.В. Лобов, А.С. Баранова, Ю.С. Савельева // Электронный научно-методический журнал Омского ГАУ. – 2016. – № 2. – С. 40.

88. Лосев, А.П. Практикум по агрометеорологическому обеспечению растениеводства / А.П. Лосев. – С.-П.: Гидрометеоиздат, 1994. – 245 с.
89. Лытов, М.Н. Минеральное и бактериальное удобрение сои / М.Н. Лытов, С.Б. Адьяев, А.В. Кравченко // Агрехимический вестник. – 2007. – № 6. – С. 27-28.
90. Магомедов, Г.О. Пищевая и биологическая ценность нута / Г.О. Магомедов, М.К. Садыгова, С.И. Лукина // Зернобобовые культуры - развивающееся направление в России: первый международный форум. – Омск: ФГБОУ ВО «Омский государственный аграрный университет им. П.А. Столыпина», 2016. – С. 86-90.
91. Макангали, К.К. Мясорастиельный паштет на основе субпродуктов / К.К. Макангали, Г.М. Тоқышева, Н.Ж. Кажгалиев, С.Н. Туменов // Наука и Мир. – 2014. – Т. 1. – № 12 (16). – С. 51-53.
92. Мамаева, Г.Г. Влияние способов щадящей обработки и мульчирования соломой на водный режим почвы, водопотребление, рост корней и урожай горчицы сарептской и нута на богаре после затопляемого риса / Г.Г. Мамаева // Экологическая безопасность в АПК. Реферативный журнал. – 1999. – № 4. – С. 795.
93. Медведев, Г.А. Нут - хороший предшественник для озимой пшеницы и подсолнечника в Нижнем Поволжье / Г.А. Медведев, А.В. Балашов, А.М. Хабаров // Плодородие. – 2010. – № 6. – С. 19-20.
94. Мезникова, М.В. Совершенствование ресурсосберегающей технологии обработки почвы Strip-Till при возделывании пропашных культур в зонах засушливого земледелия / М.В. Мезникова // Энергосберегающие технологии в ландшафтном земледелии: сборник материалов Всероссийской научно-практической конференции, посвященной 65-летию кафедры "Общее земледелие и землеустройство" и Дню российской науки. – Пенза: Пензенский ГАУ, 2016. – С. 28-32.
95. Методика государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур. Зерновые, зернобобовые, масличные и кормовые культуры: изд. 2-е. – М., 1989. – 197 с.

96. Методика государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур. - М.: Колос, 1971. - 122 с.
97. Милюткин, В.А. Эффективные технологические приёмы в земледелии, обеспечивающие оптимальное влагонакопление в почве и влагопотребление / В.А. Милюткин, В.В. Орлов, Г.В. Кнурова, В.С. Стеновский // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. – 2015. – № 6 (56). – С. 69-72.
98. Минеев, В.Г. Практикум по агрохимии / В.Г. Минеев. – М.: Изд-во МГУ, 2001. – 689 с.
99. Мирахмедов, Ф.Ш. Особенности технологии возделывания нута / Ф.Ш. Мирахмедов, О.А. Кодиров, А.Д. Рахимов, Г. Алижанова, С. Муминжонов // Современные тенденции развития науки и технологий. – 2016. – № 11-4. – С. 15-17.
100. Нецветаев, В.П. Нут - перспективная бобовая культура в условиях изменения климата юго-запада ЦЧР РФ / В.П. Нецветаев, С.И. Тютюнов, И.В. Правдин, А.В. Петренко // Зернобобовые и крупяные культуры. – 2016. – № 2 (18). – С. 137-143.
101. Нечаев, А. В. Нормы высева нута на черноземных почвах Волгоградской области / А. В. Нечаев, В. В. Балашов // Материалы Международной научно - практической конференции, посвященной 60-летию Победы в Великой Отечественной войне. – Волгоград: ВГСХА, 2005. - С. 9-10.
102. Ничипорович А.А. Световое и углеродное питание растений/ А.А. Ничипорович. - М.: Изд-во АН СССР, 1955. - 287 с.
103. Околелова, А.А. Генофонд почв Волгоградской области / А.А. Околелова, Г.С. Егорова // Волгоград: Политехник, 2004. - 100 с.
104. Орсик, Л.С. Экономическая эффективность технологий возделывания и уборки сельскохозяйственных культур / Л.С. Орсик — М.: Эфес, 2001. — 72 с.
105. Осадченко, И.М. Разработка перспективной технологии откорма бычков / И.М. Осадченко, И.Ф. Горлов, М.И. Сложенкина, А.А. Мосолов, Д.В. Николаев // Хранение и переработка сельхозсырья. – 2016. – № 1. – С. 16-18.

106. 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.

107. Павленко, В.Н. Новые элементы технологии возделывания экологически безопасной зернобобовой продукции в условиях Нижнего Поволжья/ В.И. Павленко, Ю.Н. Петров. – Волгоград: Нива, 2014. – 257 с..

108. Павленко, В.Н. Совершенствование технологии возделывания сои и нута в Нижнем Поволжье / В.Н. Павленко, В.И. Павленко // Научно-агрономический журнал. – 2016. – Т. 1. № 2-1 (99). – С. 46-47

109. Павленко, В.Н. Возможности технологии инерционного обмолота зернобобовых культур / В.Н. Павленко, О.В. Антонова // Вестник Прикаспия. – 2015. – № 4 (11). – С. 43-44.

110. Павленко, В.Н. Сроки и способы уборки нута / В.Н. Павленко, А.В. Балашов, А.М. Хабаров // Плодородие. – 2009. – № 6. – С. 40-41.

111. Павлова, М.С. Практикум по агрометеорологии / М.С. Павлова. - М., 1974. - 214 с.

112. Пильщикова, Н.В. Водный обмен сельскохозяйственных растений / Н.В. Пильщикова. – М.: ТСХА, 1988. - 52 с.

113. Пимонов, К.И. Динамика производства высокобелкового зерна в Донском регионе / К.И. Пимонов, Д.Ф. Ионов // Вестник Донского государственного аграрного университета. – 2015. – № 3-1 (17). – С. 40-46.

114. Пимонов, К.И. Продуктивность нута, возделываемого после озимой пшеницы в приазовской зоне Ростовской области / К.И. Пимонов, Д.Ф. Ионов // Инновации в технологиях возделывания сельскохозяйственных культур: материалы Всероссийской научно-практической конференции. – 2017. – С. 122-125.

115. Пимонов, К.И. Продуктивность сортов нута при использовании бактериальных удобрений в Ростовской области / К.И. Пимонов, Е.И. Рыльщикова // Кормопроизводство. - 2012. - № 1. - С. 26-27.

116. Пимонов, К.И. Современное состояние производства зернобобовых культур в Ростовской области / К.И. Пимонов, Д.Ф. Ионов // Вестник Донского государственного аграрного университета. – 2015. – № 3-1 (17). – С. 46-52.
117. Плохинский, Н.А. Алгоритмы биометрии / Н.А. Плохинский. – М.: МГУ, 1980. – 150 с.
118. Плюснин, И.И. Мелиоративное почвоведение / И.И. Плюснин. – М.: Колос, 1971. – 416 с.
119. Подольская, Т.В. Сроки посева и сочетание основных элементов агротехники при возделывании нута в рисовых чеках / Т.В. Подольская, В.В. Бородычев, С.Б. Адьяев // Плодородие. – 2009. – № 4. – С. 37-38.
120. Практикум по физиологии растений / Н.Н. Третьяков, Т.В. Карнаухова, Л.А. Паничкин. – М.: Агропромиздат, 1990. – 271 с.
121. Радевич, Е.В. Химическая защита нута от сорняков / Е.В. Радевич // Пути повышения эффективности орошаемого земледелия. – 2015. – № 4-1 (60). – С. 112-115.
122. Радов, А.С. Практикум по агрохимии / А.С. Радов, И.В. Пустовой, А.В. Корольков. - М.: Колос, 1965. - 375 с.
123. Ревут, И.Б. Физика почв/ И.Б. Ревут. - Л.: Изд-во Колос, 1964.- 316 с.
124. Рекомендации по технологии возделывания нута в Нижнем Поволжье / Волгоградский СХИ. – Волгоград, 1987. – 28 с.
125. Рзаева, В.В. Влияние способов основной обработки на урожайность нута в северной лесостепи тюменской области / В.В. Рзаева, Т.С. Лахтина // WORLD SCIENCE: PROBLEMS AND INNOVATIONS: сборник статей победителей V международной научно-практической конференции. – 2016. – С. 141-143.
126. Роде, А.А. Методы изучения водного режима почв / А.А. Роде. - М.: изд. АН СССР, 1960. - 244 с.
127. Рожанская, О.А. Гуминовый механокомпозит как средство управления морфогенезом нута (*CICERARIETINUM L.*) IN VITRO /О.А. Рожанская, О.И. Ломовский, Т.С. Скрипкина, А.Л. Бычков // Успехи современной науки и образования. – 2016. – Т. 6. – № 11. – С. 117-121

128. Самаров, В.М. Нут в степной зоне Среднего Поволжья / В.М. Самаров, А.С. Рябцев // Вестник Красноярского государственного аграрного университета. – 2016. – № 5 (116). – С. 161-165.

129. Семененко, А.С. Приемы возделывания нута в сухостепной зоне каштановых почв Нижнего Поволжья / А.С. Семененко // Аграрный научный журнал. – 2017. – № 9. – С. 32-37.

130. Семененко, С.Я. Глубококорыхлитель-удобритель для основной обработки почвы / С.Я. Семененко, В.Г. Абезин, Д.В. Скрипкин, А.Л. Сальников // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. – 2014. – № 2 (34). – С. 194-199.

131. Семененко, С.Я. Орудие для мелиоративной чизельной обработки почвы. Патент на изобретение RUS 2579791 / С.Я. Семененко, В.Г. Абезин, Н.Н. Дубенок, Н.Ю. Петров, М.Н. Лытов // Изобретения. Полезные модели. – 2016. – Бюлл. № 10.

132. Семененко, С.Я. Современные эколого-мелиоративные технологии: идеи и разработки / С.Я. Семененко, С.С. Марченко // Вестник Волгоградского государственного университета. Серия 11: Естественные науки. – 2016. – № 1 (15). – С. 92-102.

133. Сергалиев, Н.Х. Влияние биопрепаратов и минерального удобрения на активность симбиотического аппарата нута (*Cicer Aretinum* L) в сухостепной зоне Приуралья / Н.Х. Сергалиев, Р.К. Уразгалиева, Б.Б. Жылкыбаев, А.П. Кожемяков, Ю.В. Лактионов // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. – 2014. – № 4 (48). – С. 67-69.

134. Сеферова, И.В. Происхождение и эволюция рода нут - *CICER L* / И.В. Сеферова // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. – 2001. – Т. 154. – С. 92-100.

135. Силохина, Л.С. Технологические приемы возделывания и использования нута в южной зоне Амурской области/ Л.С. Силохина, И.С. Алексейко // Вестник Красноярского государственного аграрного университета. – 2009. – № 7. – С. 87-90.

136. Соколов, И.Д. Введение в биометрию / И. Д. Соколов и др. – Краснодар: КубГАУ, 2016. - 244 с.
137. Степанов, А.Ф. Нут в западной Сибири / А.Ф. Степанов, С.К. Макенова. – Омск: Изд-во ФГОУ ВПО ОмГАУ, 2007. – 127 с.
138. Стернзат, М.С. Метеорологические приборы и измерения / М.С. Стернзат. - Л.: Гидрометеиздат, 1978. - 386 с.
139. Столяров, О.В. Изучение качества различных сортов продовольственного нута, выращенных в условиях ЦЧР / О.В. Столяров, С.В. Калашникова // Зерновое хозяйство. – 2003. – № 5. – С. 22.
140. Столяров, О.В. Нут (*CICER ARIETINUM L.*) / О. В. Столяров, В. А. Федотов, Н. И. Демченко. Воронеж: Изд-во Воронеж. гос. ун-та (ВГУ), 2004. – 189 с.
141. Суюндуков, Я.Т. Водопотребление нута при разных сроках, нормах и сроках посева в Башкирском Зауралье / Я.Т. Суюндуков, Г.А. Хасанов, С.Н. Надежкин // Резервы повышения эффективности агропромышленного производства: материалы региональной научно-практической конференции, проходившей в рамках Международной специализированной выставки "АгроКомплекс-2004". – Башкирский государственный аграрный университет, 2004. – С. 212-213.
142. Суюндуков, Я.Т. Нут в степном Зауралье / Я.Т. Суюндуков, С.Н. Надежин, Г.А. Хасанов. – УФА: ГИЛЕМ, 2007. – 96 с.
143. Сысоева, М.А. Комбинированный функциональный продукт питания - «Нутрис» / М.А. Сысоева, А.А. Утебаева, Р.С. Алибеков, Э.А. Габрильянц // Вестник Казанского технологического университета. – 2014. – Т. 17.– № 23. –С. 276-279.
144. Таспаев, Н.С. Влияние сроков посева на продуктивность нута / Н.С. Таспаев, Н.И. Германцева, В.Б. Нарушев, Н.А. Шьюрова // Достижения науки и техники АПК. – 2017. – Т. 31. – № 12. – С. 25-27.
145. Тедеева, В.В. Влияние гербицидов на засоренность нута / В.В. Тедеева, Н.Т. Хохоева, А.А. Тедеева // Известия Горского государственного аграрного университета. – 2014. – Т. 51. – № -4. – С. 34-38.

146. Тимошкин, О.А. Сравнительное сортоиспытание нута в условиях Пензенской области / О.А. Тимошкин, И.А. Зеленцов // Инновационные технологии в АПК: теория и практика: сборник статей II Всероссийской научно-практической конференции. – Пенза, 2014. – С. 161-163.

147. Трусов, А.С. Технологии No-Till и Strip-Till - основные преимущества / А.С. Трусов // Достижения науки и техники АПК. – 2012. – № 12. – С. 20.

148. Тырсин, Ю.А. Разработка электрохимической технологии выделения пищевого белка из нута / Ю.А. Тырсин, И.Л. Казанцева, С.С. Попова, И.В. Тимофеев // Хранение и переработка сельхозсырья. – 2014. – № 6. – С. 10-13.

149. Тютюма, Н.В. Сравнительная оценка применения биопрепаратов и ростостимуляторов при возделывании нута в условиях Астраханской области / Н.В. Тютюма, А.Н. Бондаренко, А.П. Солодовников // Аграрный научный журнал. – 2017. – № 5. – С. 51-53.

150. Умаров, З.У. Возделывание нута на орошаемых землях Узбекистана / З.У. Умаров, З.К. Юлдашева // Аграрная наука. – 2005. – № 2. – С. 16-17.

151. Ушкаренко, В.А. Изменение физических свойств почвы на посевах нута в зависимости от обработки почвы и условий увлажнения в условиях сухой степи Украины / В.А. Ушкаренко, Н.Н. Лавренко, С.О. Лавренко // Пути повышения эффективности орошаемого земледелия. – 2015. – № 57-1. – С. 165-168.

152. Ушкаренко, В.А. Планирование эксперимента и дисперсионный анализ данных полевого опыта / В.А. Ушкаренко, А.Я. Скрипников. – Киев: Вища школа, 1988. - 117 с.

153. Филин, В.И. Справочная книга по растениеводству с основами программирования урожая / В.И. Филин. - Волгоград: ВГСХА, 1994.- 266 с.

154. Фролов, Н.Н. Водопотребление нута, возделываемого в условиях УНПЦ «Агрономус» КалмГУ / Н.Н. Фролов, Ф.В. Консаго // Современные проблемы инновационного развития науки. – 2015. – С. 26-29.

155. Храмова, В.Н. Создание функциональных мясных продуктов с использованием пребиотиков и растительного регионального сырья / В.Н. Храмова, В.А. Долгова, Е.А. Селезнева, Я.И. Храмова // Известия Нижневолжского агроунивер-

ситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. – 2014. – № 4 (36). – С. 171-175.

156. Чепрасова, О.В. Использование нетрадиционных кормов в рационах сельскохозяйственной птицы / О.В. Чепрасова, М.В. Кондрашова // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. – 2014. – № 2 (34). – С. 110-114.

157. Шашко, Д.И. Агроклиматические ресурсы СССР / Д.И. Шашко. – Л.: Гидроме-теоиздат, 1985. - 247 с.

158. Шевцова, Л.П. Перспективы ростовых и бактериальных препаратов в повышении продуктивности нута в сухостепном Заволжье /Л.П. Шевцова, Н.А. Шьюрова, О.С. Башинская, С.В. Фартуков, Д.С. Ширшов // ВАВИЛОВСКИЕ ЧТЕНИЯ: сборник статей Международной научно-практической конференции, посвященной 130-й годовщине со дня рождения академика Н.И. Вавилова. – Саратов: СГАУ, 2017. – С. 425-429.

159. Шевцова, Л.П. Питательная ценность и целебные свойства нута / Л.П. Шевцова, Н.А. Шьюрова, О.С. Башинская, С.В. Фартуков, Д.С. Ширшов, Н.С. Гладченко // ВАВИЛОВСКИЕ ЧТЕНИЯ: сборник статей международной научно-практической конференции, посвященной 129-й годовщине со дня рождения академика Н.И. Вавилова. – Саратов: СГАУ, 2016. – С. 67-68.

160. Шевцова, Л.П. Приемы адаптивной ресурсосберегающей технологии возделывания нута в степном засушливом Поволжье / .П. Шевцова, Н.А. Шьюрова, О.С. Башинская, С.В. Фартуков //Аграрный научный журнал. – 2017. – № 2. – С. 39-43.

161. Шевцова, Л.П. Приемы ресурсосберегающей агротехнологии выращивания нута в сухостепном Заволжье / Л.П. Шевцова, Н.А. Шьюрова, О.С. Башинская, С.В. Фартуков, Д.С. Ширшов, Н.С. Гладченко // ВАВИЛОВСКИЕ ЧТЕНИЯ: сборник статей международной научно-практической конференции, посвященной 129-й годовщине со дня рождения академика Н.И. Вавилова. – Саратов: СГАУ, 2016. – С. 83-84.

162. Шуравилин, А.В. Водный режим и продуктивность нута в рисовых чеках / А.В. Шуравилин, В.В. Бородычев, С.Б. Адьяев, Т.В. Подольская // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Агронимия и животноводство. – 2009. – № 4. – С. 43-49.

163. Шуравилин, А.В. Эффективность гребневой технологии возделывания сельскохозяйственных культур при капельном орошении / А.В. Шуравилин, В.А. Крупнов, В.В. Бородычев, М.Н. Лытов, И.В. Дугин // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Агронимия и животноводство. – 2010. – № 4. – С. 43-48.

164. Щукин, В.Б. Кормовая ценность семян нута при использовании регуляторов роста, микроэлементов и ризоторфина в технологии его возделывания / В.Б. Щукин, Н.В. Ледовский, Р.И. Джафарова, Н.В. Ильясова // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. – 2017. – № 1 (63). – С. 19-22.

165. Щукин, В.Б. Продуктивность посевов нута при использовании в технологии его возделывания регуляторов роста, микроэлементов и ризоторфина / В.Б. Щукин, Н.В. Ледовский, Р.И. Джафарова, Н.В. Ильясова // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. – 2016. – № 6. – С. 28-30.

166. Юдин, Ф.А. Методика агрохимических исследований / Ф.А. Юдин. – М.: Колос, 1980. – 366 с.

167. Ярцев, Г.Ф. Эффективность технологий посева при возделывании нута в южной зоне оренбургской области / Г.Ф. Ярцев, Р.К. Байкасенов // Russian Agricultural Science Review. – 2014. – Т. 3. – № 3. – С. 127-131.

168. Virmani, S.M. Agroclimatology of Asian grain legumes / S.M. Virmani. – Patancheru (Andhra Pradesh), 1991. – 77 с.

169. Chakkaiyar S.N. Weeding and free duration effects on the growth and yield of gram (*Cicer arietinum* L.) crop /S.N. Chakkaiyar, R.S.Ambasht// Geobios (India).- 1988.- Vol. 15, № 6.- P. 255-258.

170. Gupta S. N. Response of chickpea to water deficits and drought stress/ S. N. Gupta, B. S. Dahiya, B. P. Malik, N. R. Bishnoi// Haryana Agr. Univ. J. Res. - 1995. - Vol. 25, № 1-2. – P. 11-19.

171. Kuhad M. S. Physiological studies in chickpea (*Cicer arietinum* L.) under quantified moisture/ M. S. Kuhad, B. S. Kundu, R. S. Hooda, I. S. Sheorau// Indian J. Plant Physiol.- 1988. - Vol. 31, № 4. - P. 423-427.

172. Kingery, W.L. Tillage and amendment effects on soil carbon and nitrogen mineralization and phosphorus release / W.L. Kingery, C.W. Wood, J.C. Williams // Soil & Tillage Research. – 1996. – T. 37. – № 4. – C. 239-250.

173. Sharpley, A.N. Bioavailable phosphorus dynamics in agricultural soils and effects on water quality / A.N. Sharpley, J.S. Robinson, S.J. Smith // Geoderma. – 1995. – T. 67. – № 1-2. – C. 1-15.

Приложение 1

Актуальная влажность почвы под посевами нута, % НВ (среднее для слоя 1,2 м, данные 2015 года)

Фактор А (система обработки почвы)	Фактор В (способ по- сева)	Фак- тор С (муль- чиро- вание почвы)	Период роста и развития нута						
			Посев	Всходы	Ветвление	Цветение	Налив бо- бов	Полная спе- лость семян	
А1 (зо- нальная система обработки почвы под нут)	широкоряд- ный 0,45 м	-	87,7	85,7	87,8	74,2	56,4	51,6	
		+	87,7	87,0	89,1	75,6	58,1	52,0	
	ленточный 0,30×0,45 м	-	87,7	85,7	87,3	74,0	56,2	51,3	
		+	87,7	87,0	89,1	75,6	57,5	51,5	
	ленточный 0,30×0,60 м	-	87,7	85,7	87,8	74,2	56,4	51,6	
		+	87,7	87,0	89,1	75,6	58,1	52,0	
	ленточный 0,30×0,75 м	-	87,7	85,7	88,1	75,0	57,7	53,6	
		+	87,7	87,0	89,4	76,6	59,6	53,6	
	А2 (с по- лонным объемным рыхлени- ем)	широкоряд- ный 0,45 м	-	92,6	90,6	92,7	78,8	60,9	54,1
			+	92,6	91,8	94,0	79,7	63,1	52,5
ленточный 0,30×0,45 м		-	94,4	92,4	94,5	80,4	61,6	54,6	
		+	94,4	93,6	95,8	80,2	60,5	52,8	
ленточный 0,30×0,60 м		-	94,4	92,4	94,5	80,1	61,1	54,1	
		+	94,4	93,6	95,8	79,9	59,7	52,1	
ленточный 0,30×0,75 м		-	91,5	89,5	91,9	77,8	59,3	52,6	
		+	91,5	90,8	93,2	77,6	58,7	49,2	

Актуальная влажность почвы под посевами нута, % НВ (среднее для слоя 1,2 м, данные 2016 года)

Фактор А (система обработки почвы)	Фактор В (способ по- сева)	Фак- тор С (муль- чиро- вание почвы)	Период роста и развития нута						Полная спе- лость семян
			Посев	Всходы	Ветвление	Цветение	Налив бо- бов		
А1 (зо- нальная система обработки почвы под нут)	широкоряд- ный 0,45 м	-	84,9	85,5	82,0	71,2	50,8	46,9	
		+	84,9	86,5	84,1	72,5	50,5	47,1	
	ленточный 0,30×0,45 м	-	84,9	85,5	82,0	70,9	50,0	46,4	
		+	84,9	86,5	84,1	72,0	49,8	46,3	
	ленточный 0,30×0,60 м	-	84,9	85,5	82,0	70,9	49,8	46,2	
		+	84,9	86,5	84,1	72,0	49,8	46,3	
	ленточный 0,30×0,75 м	-	84,9	85,5	82,0	71,2	51,6	47,9	
		+	84,9	86,5	84,1	72,5	51,8	47,4	
	А2 (с по- лосным объемным рыхлени- ем)	широкоряд- ный 0,45 м	-	92,1	92,7	89,2	77,1	54,6	50,6
			+	92,1	93,7	91,0	78,4	54,4	50,4
ленточный 0,30×0,45 м		-	93,6	94,2	90,7	78,6	54,9	50,4	
		+	93,6	95,2	92,5	79,4	54,6	50,4	
ленточный 0,30×0,60 м		-	93,6	94,2	90,7	78,6	54,4	49,9	
		+	93,6	95,2	92,5	79,2	55,6	50,6	
ленточный 0,30×0,75 м		-	91,0	91,6	88,2	76,6	55,4	51,4	
		+	91,0	92,7	90,2	77,6	54,9	50,9	

Приложение 3

Актуальная влажность почвы под посевами нута, % НВ (среднее для слоя 1,2 м, данные 2017 года)

Фактор А (система обработки почвы)	Фактор В (способ по- сева)	Фак- тор С (муль- чиро- вание почвы)	Период роста и развития нута						
			Посев	Всходы	Ветвление	Цветение	Налив бо- бов	Полная спе- лость семян	
А1 (зо- нальная система обработки почвы под нут)	широкоряд- ный 0,45 м	-	89,0	83,1	88,8	75,9	60,5	51,9	
		+	89,0	84,4	91,3	79,6	61,2	51,9	
	ленточный 0,30×0,45 м	-	89,0	83,1	88,5	75,1	58,4	50,1	
		+	89,0	84,4	91,3	79,1	59,7	50,9	
	ленточный 0,30×0,60 м	-	89,0	83,1	88,8	75,6	59,4	50,9	
		+	89,0	84,4	91,3	79,3	60,5	51,4	
	ленточный 0,30×0,75 м	-	89,0	83,1	88,8	75,9	61,5	51,2	
		+	89,0	84,4	91,3	79,6	62,3	53,2	
	А2 (с по- лосным объемным рыхлени- ем)	широкоряд- ный 0,45 м	-	93,1	87,2	92,9	80,4	61,7	52,4
			+	93,1	88,5	95,4	85,5	62,5	52,9
ленточный 0,30×0,45 м		-	94,6	88,7	94,4	81,6	61,2	51,6	
		+	94,6	90,0	97,0	86,8	62,0	52,2	
ленточный 0,30×0,60 м		-	94,6	88,7	94,4	81,4	60,7	51,1	
		+	94,6	90,0	97,0	86,5	59,2	50,6	
ленточный 0,30×0,75 м		-	93,1	87,2	92,9	80,9	62,3	52,9	
		+	93,1	88,5	95,4	85,7	63,3	53,7	

Результаты фенологических наблюдений в опытах 2015 года

Фактор А (система обработки почвы)	Фактор В (способ по- сева)	Фак- тор С (муль- чиро- вание почвы)	Продолжительность периода						
			Посев- всходы	Всходы - ветвление	Ветвление - цветение	Цветение - налив бобов	Налив бо- бов - полная спелость семян	Посев- уборочная спелость семян	
А1 (зо- нальная система обработки почвы под нут)	широкоряд- ный 0,45 м	-	17	10	20	22	15	84	
		+	17	11	21	22	15	86	
	ленточный 0,30×0,45 м	-	17	10	20	22	15	84	
		+	17	11	21	22	15	86	
	ленточный 0,30×0,60 м	-	17	10	20	22	15	84	
		+	17	11	21	22	15	86	
	ленточный 0,30×0,75 м	-	17	10	20	22	14	83	
		+	17	11	21	22	14	85	
	А2 (с по- лонным объемным рыхлени- ем)	широкоряд- ный 0,45 м	-	17	10	20	23	15	85
			+	17	11	21	23	15	87
ленточный 0,30×0,45 м		-	17	10	20	23	15	85	
		+	17	11	22	24	15	89	
ленточный 0,30×0,60 м		-	17	10	20	23	15	85	
		+	17	11	22	24	15	89	
ленточный 0,30×0,75 м		-	17	10	20	23	14	84	
		+	17	11	22	24	14	88	

Результаты дисперсионного анализа продолжительности вегетационного периода нута
по опытным данным 2015 года

Выделенная дисперсия	Сумма квадратов отклонений в выборке	Степень свободы	Средний квадрат (значение дисперсии)	Значение критерия Фишера фактическое	Значение критерия Фишера теоретическое для $p=0,05$	Ошибка разности средних, Sd	Наименьшая существенная разность для $p=0,05$
Сумма	438,15	63					
А: система обработки почвы	49,0	1	49,00	9,83	4,04	0,6	0,9
В: способ посева нута	11,0	3	3,67	0,74	2,80	0,8	1,3
С: полосовое мульчирование поверхности	121,0	1	121,00	24,29	4,04	0,6	0,9
АВ: система обработки почвы×способ посева нута	3,0	3	1,00	0,20	2,80	1,1	1,9
АС: система обработки почвы×полосовое мульчирование поверхности	9,0	1	9,00	1,81	4,04	0,8	1,3
ВС: способ посева нута×полосовое мульчирование поверхности	3,0	3	1,00	0,20	2,80	1,1	1,9
АВС: тройное взаимодействие	3,0	3	1,00	0,20	2,80	1,6	2,7
Ошибки	239,1	48	4,98				

Результаты фенологических наблюдений в опытах 2016 года

Фактор А (система обработки почвы)	Фактор В (способ по- сева)	Фак- тор С (муль- чиро- вание почвы)	Продолжительность периода					Посев- уборочная спелость семян
			Посев- всходы	Всходы - ветвление	Ветвление - цветение	Цветение - налив бобов	Налив бо- бов - полная спелость семян	
А1 (зо- нальная система обработки почвы под нут)	широкоряд- ный 0,45 м	-	12	12	23	24	14	85
		+	12	12	24	24	14	86
	ленточный 0,30×0,45 м	-	12	12	23	24	14	85
		+	12	12	24	24	14	86
	ленточный 0,30×0,60 м	-	12	12	23	24	14	85
		+	12	12	24	24	14	86
	ленточный 0,30×0,75 м	-	12	12	23	23	14	84
		+	12	12	24	23	14	85
	широкоряд- ный 0,45 м	-	12	12	24	25	14	87
		+	12	12	25	25	14	88
А2 (с по- лонным объемным рыхлени- ем)	ленточный 0,30×0,45 м	-	12	12	24	25	14	87
		+	12	12	25	25	14	88
	ленточный 0,30×0,60 м	-	12	12	24	25	14	87
		+	12	12	25	26	14	89
	ленточный 0,30×0,75 м	-	12	12	24	24	14	86
		+	12	12	25	24	14	87

Результаты дисперсионного анализа продолжительности вегетационного периода нута
по опытным данным 2016 года

Выделенная дисперсия	Сумма квадратов отклонений в выборке	Степень свободы	Средний квадрат (значение дисперсии)	Значение критерия Фишера фактическое	Значение критерия Фишера теоретическое для $p=0,05$	Ошибка разности средних, Sd	Наименьшая существенная разность для $p=0,05$
Сумма	184,61	63					
А: система обработки почвы	72,2	1	72,25	46,33	4,04	0,3	0,5
В: способ посева нута	14,8	3	4,92	3,15	2,80	0,4	0,7
С: полосовое мульчирование по-верхности	20,2	1	20,25	12,99	4,04	0,3	0,5
АВ: система обработки почвы×способ посева нута	0,7	3	0,25	0,16	2,80	0,6	1,0
АС: система обработки почвы×полосовое мульчирование по-верхности	0,2	1	0,25	0,16	4,04	0,4	0,7
ВС: способ посева нута×полосовое мульчирование поверхности	0,8	3	0,25	0,16	2,80	0,6	1,0
АВС: тройное взаимодействие	0,8	3	0,25	0,16	2,80	0,9	1,5
Ошибки	74,9	48	1,56				

Результаты фенологических наблюдений в опытах 2017 года

Фактор А (система обработки почвы)	Фактор В (способ по- сева)	Фак- тор С (муль- чиро- вание почвы)	Продолжительность периода					
			Посев- всходы	Всходы - ветвление	Ветвление - цветение	Цветение - налив бобов	Налив бо- бов - полная спелость семян	Посев- уборочная спелость семян
А1 (зо- нальная система обработки почвы под нут)	широкоряд- ный 0,45 м	-	10	15	22	26	15	88
		+	10	15	23	26	15	89
	ленточный 0,30×0,45 м	-	10	15	22	26	15	88
		+	10	15	23	26	15	89
	ленточный 0,30×0,60 м	-	10	15	22	26	15	88
		+	10	15	23	26	15	89
	ленточный 0,30×0,75 м	-	10	15	22	25	15	87
		+	10	15	23	25	15	88
	широкоряд- ный 0,45 м	-	10	15	23	26	15	89
		+	10	15	24	26	15	90
	ленточный 0,30×0,45 м	-	10	15	23	27	15	90
		+	10	15	24	27	15	91
ленточный 0,30×0,60 м	-	10	15	23	27	15	90	
	+	10	15	24	28	15	92	
ленточный 0,30×0,75 м	-	10	15	23	26	15	89	
	+	10	15	24	26	15	90	

Результаты дисперсионного анализа продолжительности вегетационного периода нута
по опытным данным 2017 года

Выделенная дисперсия	Сумма квадратов отклонений в выборке	Степень свободы	Средний квадрат (значение дисперсии)	Значение критерия Фишера фактическое	Значение критерия Фишера теоретическое для $p=0,05$	Ошибка разности средних, Sd	Наименьшая существенная разность для $p=0,05$
Сумма	163,72	63					
А: система обработки почвы	56,3	1	56,25	40,93	4,04	0,3	0,5
В: способ посева нута	14,8	3	4,92	3,58	2,80	0,4	0,7
С: полосовое мульчирование поверхности	20,3	1	20,25	14,73	4,04	0,3	0,5
АВ: система обработки почвы×способ посева нута	4,7	3	1,58	1,15	2,80	0,6	1,0
АС: система обработки почвы×полосовое мульчирование поверхности	0,3	1	0,25	0,18	4,04	0,4	0,7
ВС: способ посева нута×полосовое мульчирование поверхности	0,8	3	0,25	0,18	2,80	0,6	1,0
АВС: тройное взаимодействие	0,7	3	0,25	0,18	2,80	0,8	1,4
Ошибки	66,0	48	1,37				

Приложение 10

Динамика роста листового аппарата нута в опытных посевах 2015 года

Фактор А (система обработки почвы)	Фактор В (способ посе- ва)	Фактор С (муль- чиро- вание почвы)	Фаза развития				Полная спелость семян	
			Всходы	Ветвление	Цветение	Налив бобов		
А1 (зональ- ная система обработки почвы под нут)	широкоряд- ный 0,45 м	-	1,7	8,7	21,8	22,7	15,0	
		+	1,7	8,7	22,5	23,7	16,2	
	ленточный 0,30×0,45 м	-	1,9	9,9	22,7	23,2	15,4	
		+	1,9	9,9	23,0	24,1	16,4	
	ленточный 0,30×0,60 м	-	1,7	8,6	20,5	22,0	15,0	
		+	1,7	8,7	22,5	23,7	16,2	
	ленточный 0,30×0,75 м	-	1,5	7,9	18,7	20,1	14,3	
		+	1,5	7,9	19,0	20,9	14,5	
	А2 (с по- лосным объемным рыхлением)	широкоряд- ный 0,45 м	-	1,7	8,7	22,5	23,9	16,4
			+	1,7	8,7	23,4	25,5	17,2
		ленточный 0,30×0,45 м	-	1,9	9,9	23,5	25,3	17,3
			+	1,9	9,9	24,7	27,2	18,9
ленточный 0,30×0,60 м		-	1,7	8,7	24,2	26,6	18,0	
		+	1,7	8,7	25,6	28,3	19,7	
ленточный 0,30×0,75 м	-	1,5	7,9	23,2	25,4	17,5		
	+	1,5	7,9	23,9	25,6	17,5		

Приложение 11

Результаты дисперсионного анализа максимальной площади листьев сформированной посевами нута за вегетационный период 2015 года

Выделенная дисперсия	Сумма квадратов отклонений в выборке	Степень свободы	Средний квадрат (значение дисперсии)	Значение критерия Фишера фактическое	Значение критерия Фишера теоретическое для $p=0,05$	Ошибка разности средних, Sd	Наименьшая существенная разность для $p=0,05$
Сумма	524,44	63					
А: система обработки почвы	187,69	1	187,69	39,57	4,04	0,5	0,9
В: способ посева нута	47,23	3	15,74	3,32	2,80	0,8	1,3
С: полосовое мульчирование поверхности	24,01	1	24,01	5,06	4,04	0,5	0,9
АВ: система обработки почвы×способ посева нута	32,99	3	11,00	2,32	2,80	1,1	1,8
АС: система обработки почвы×полосовое мульчирование поверхности	0,25	1	0,25	0,05	4,04	0,8	1,3
ВС: способ посева нута×полосовое мульчирование поверхности	3,15	3	1,05	0,22	2,80	1,1	1,8
АВС: тройное взаимодействие	1,47	3	0,49	0,10	2,80	1,5	2,6
Ошибки	227,65	48	4,74				

Динамика роста листового аппарата нута в опытных посевах 2016 года

Фактор А (система обработки почвы)	Фактор В (способ посе- ва)	Фактор С (муль- чиро- вание почвы)	Фаза развития				Полная спелость семян
			Всходы	Ветвление	Цветение	Налив бобов	
А1 (зональ- ная система обработки почвы под нут)	широкоряд- ный 0,45 м	-	1,8	9,7	23,2	23,6	14,7
		+	1,8	9,7	23,9	24,5	15,8
	ленточный 0,30×0,45 м	-	2,0	10,2	23,6	24,0	15,0
		+	2,0	10,2	23,9	24,4	16,0
	ленточный 0,30×0,60 м	-	1,8	9,7	24,0	24,5	15,8
		+	1,8	9,7	24,6	25,3	16,9
	ленточный 0,30×0,75 м	-	1,6	8,8	22,7	23,2	15,0
		+	1,6	8,8	23,0	25,6	15,1
	широкоряд- ный 0,45 м	-	1,8	9,7	24,1	25,6	16,8
		+	1,8	9,7	25,2	27,1	17,3
	ленточный 0,30×0,45 м	-	2,0	10,2	25,0	26,9	18,4
		+	2,0	10,2	26,4	28,3	19,7
ленточный 0,30×0,60 м	-	1,8	9,7	26,4	28,1	19,7	
	+	1,8	9,7	27,7	28,5	21,3	
ленточный 0,30×0,75 м	-	1,6	8,8	24,5	25,8	17,8	
	+	1,6	8,8	26,2	27,5	19,0	

Результаты дисперсионного анализа максимальной площади листьев сформированной посевами нута за вегетационный период 2016 года

Выделенная дисперсия	Сумма квадратов отклонений в выборке	Степень свободы	Средний квадрат (значение дисперсии)	Значение критерия Фишера фактическое	Значение критерия Фишера теоретическое для $p=0,05$	Ошибка разности средних, Sd	Наименьшая существенная разность для $p=0,05$
Сумма	205,54	63					
А: система обработки почвы	128,82	1	128,82	247,13	4,04	0,2	0,3
В: способ посева нута	17,37	3	5,79	11,11	2,80	0,3	0,4
С: полосовое мульчирование поверхности	22,56	1	22,56	43,28	4,04	0,2	0,3
АВ: система обработки почвы×способ посева нута	5,07	3	1,69	3,24	2,80	0,4	0,6
АС: система обработки почвы×полосовое мульчирование поверхности	0,06	1	0,06	0,12	4,04	0,3	0,4
ВС: способ посева нута×полосовое мульчирование поверхности	4,69	3	1,56	3,00	2,80	0,4	0,6
АВС: тройное взаимодействие	1,95	3	0,65	1,25	2,80	0,5	0,9
Ошибки	25,02	48	0,52				

Динамика роста листового аппарата нута в опытных посевах 2017 года

Фактор А (система обработки почвы)	Фактор В (способ посе- ва)	Фактор С (муль- чиро- вание почвы)	Фаза развития				Полная спелость семян	
			Всходы	Ветвление	Цветение	Налив бобов		
А1 (зональ- ная система обработки почвы под нут)	широкоряд- ный 0,45 м	-	1,9	10,2	24,3	25,5	16,9	
		+	1,9	10,2	25,0	26,4	17,7	
	ленточный 0,30×0,45 м	-	2,2	11,0	26,3	27,1	18,9	
		+	2,2	11,0	26,8	27,7	19,4	
	ленточный 0,30×0,60 м	-	1,9	10,2	26,0	26,9	18,5	
		+	1,9	10,2	26,5	27,3	19,0	
	ленточный 0,30×0,75 м	-	1,6	8,1	22,3	23,6	16,2	
		+	1,6	8,1	22,7	24,1	16,5	
	А2 (с по- лосным объемным рыхлением)	широкоряд- ный 0,45 м	-	1,9	10,2	25,1	26,0	17,2
			+	1,9	10,2	25,5	26,6	18,0
		ленточный 0,30×0,45 м	-	2,2	11,0	26,6	27,8	19,4
			+	2,2	11,0	27,0	28,6	19,7
ленточный 0,30×0,60 м		-	1,9	10,2	26,2	28,4	19,5	
		+	1,9	10,2	26,8	29,7	20,4	
ленточный 0,30×0,75 м	-	1,6	8,1	25,2	26,6	17,9		
	+	1,6	8,1	25,9	27,4	19,2		

Результаты дисперсионного анализа максимальной площади листьев сформированной посевами нута за вегетационный период 2017 года

Выделенная дисперсия	Сумма квадратов отклонений в выборке	Степень свободы	Средний квадрат (значение дисперсии)	Значение критерия Фишера фактическое	Значение критерия Фишера теоретическое для $p=0,05$	Ошибка разности средних, Sd	Наименьшая существенная разность для $p=0,05$
Сумма	168,96	63					
А: система обработки почвы	39,06	1	39,06	85,83	4,04	0,2	0,3
В: способ посева нута	79,35	3	26,45	58,11	2,80	0,2	0,4
С: полосовое мульчирование поверхности	8,70	1	8,70	19,12	4,04	0,2	0,3
АВ: система обработки почвы×способ посева нута	18,89	3	6,30	13,83	2,80	0,3	0,6
АС: система обработки почвы×полосовое мульчирование поверхности	0,30	1	0,30	0,66	4,04	0,2	0,4
ВС: способ посева нута×полосовое мульчирование поверхности	0,09	3	0,03	0,06	2,80	0,3	0,6
АВС: тройное взаимодействие	0,73	3	0,24	0,53	2,80	0,5	0,8
Ошибки	21,85	48	0,46				

Динамика накопления сухой биомассы нута в опытных посевах 2015 года

Фактор А (система обработки почвы)	Фактор В (способ посе- ва)	Фактор С (муль- чиро- вание почвы)	Фаза развития				Полная спелость семян	
			Всходы	Ветвление	Цветение	Налив бобов		
А1 (зональ- ная система обработки почвы под нут)	широкоряд- ный 0,45 м	-	0,09	0,30	2,16	3,69	4,47	
		+	0,09	0,32	2,36	4,00	4,83	
	ленточный 0,30×0,45 м	-	0,10	0,36	2,37	3,95	4,75	
		+	0,10	0,38	2,54	4,22	5,07	
	ленточный 0,30×0,60 м	-	0,09	0,30	2,08	3,54	4,31	
		+	0,09	0,32	2,36	4,00	4,83	
	ленточный 0,30×0,75 м	-	0,08	0,27	1,88	3,20	3,81	
		+	0,08	0,29	2,00	3,37	4,09	
	А2 (с по- лосным объемным рыхлением)	широкоряд- ный 0,45 м	-	0,09	0,30	2,24	3,96	4,81
			+	0,09	0,32	2,46	4,38	5,30
		ленточный 0,30×0,45 м	-	0,10	0,34	2,44	4,34	5,25
			+	0,10	0,36	2,81	4,96	5,96
ленточный 0,30×0,60 м		-	0,09	0,30	2,41	4,40	5,37	
		+	0,09	0,32	2,80	5,08	6,14	
ленточный 0,30×0,75 м	-	0,08	0,27	2,25	4,12	4,98		
	+	0,08	0,29	2,53	4,53	5,40		

Результаты дисперсионного анализа сухой биомассы, сформированной посевами нута в опытах 2015 года

Выделенная дисперсия	Сумма квадратов отклонений в выборке	Степень свободы	Средний квадрат (значение дисперсии)	Значение критерия Фишера фактическое	Значение критерия Фишера теоретическое для $p=0,05$	Ошибка разности средних, S_d	Наименьшая существенная разность для $p=0,05$
Сумма	31,96	63					
A: система обработки почвы	12,426	1	12,43	68,39	4,04	0,11	0,18
B: способ посева нута	4,691	3	1,56	8,61	2,80	0,15	0,25
C: полосовое мульчирование по-верхности	3,744	1	3,74	20,61	4,04	0,11	0,18
AB: система обработки почвы×способ посева нута	1,930	3	0,64	3,54	2,80	0,21	0,36
AC: система обработки почвы×полосовое мульчирование по-верхности	0,207	1	0,21	1,14	4,04	0,15	0,25
BC: способ посева нута×полосовое мульчирование по-верхности	0,193	3	0,06	0,35	2,80	0,21	0,36
ABC: тройное взаимодействие	0,044	3	0,01	0,08	2,80	0,30	0,51
Ошибки	8,721	48	0,18				

Динамика накопления сухой биомассы нута в опытных посевах 2016 года

Фактор А (система обработки почвы)	Фактор В (способ посе- ва)	Фактор С (муль- чиро- вание почвы)	Фаза развития				Полная спелость семян	
			Всходы	Ветвление	Цветение	Налив бобов		
А1 (зональ- ная система обработки почвы под нут)	широкоряд- ный 0,45 м	-	0,09	0,38	2,72	4,19	4,55	
		+	0,09	0,38	2,91	4,46	4,84	
	ленточный 0,30×0,45 м	-	0,12	0,43	2,87	4,37	4,72	
		+	0,12	0,43	3,03	4,62	4,99	
	ленточный 0,30×0,60 м	-	0,09	0,39	2,88	4,49	4,86	
		+	0,09	0,39	3,06	4,79	5,17	
	ленточный 0,30×0,75 м	-	0,07	0,34	2,65	4,09	4,44	
		+	0,07	0,34	2,78	4,31	4,68	
	А2 (с по- лосным объемным рыхлением)	широкоряд- ный 0,45 м	-	0,09	0,38	2,93	4,77	5,19
			+	0,09	0,38	3,17	5,22	5,66
		ленточный 0,30×0,45 м	-	0,12	0,44	3,10	5,04	5,49
			+	0,12	0,44	3,39	5,63	6,10
ленточный 0,30×0,60 м		-	0,09	0,40	3,22	5,26	5,73	
		+	0,09	0,40	3,55	6,02	6,52	
ленточный 0,30×0,75 м	-	0,07	0,35	2,91	4,67	5,11		
	+	0,07	0,35	3,21	5,17	5,64		

Результаты дисперсионного анализа сухой биомассы, сформированной посевами нута в опытах 2016 года

Выделенная дисперсия	Сумма квадратов отклонений в выборке	Степень свободы	Средний квадрат (значение дисперсии)	Значение критерия Фишера фактическое	Значение критерия Фишера теоретическое для $p=0,05$	Ошибка разности средних, Sd	Наименьшая существенная разность для $p=0,05$
Сумма	29,50	63					
A: система обработки почвы	12,924	1	12,92	68,41	4,04	0,11	0,18
B: способ посева нута	3,559	3	1,19	6,28	2,80	0,15	0,26
C: полосовое мульчирование поверхности	3,080	1	3,08	16,30	4,04	0,11	0,18
AB: система обработки почвы×способ посева нута	0,327	3	0,11	0,58	2,80	0,22	0,37
AC: система обработки почвы×полосовое мульчирование поверхности	0,416	1	0,42	2,20	4,04	0,15	0,26
BC: способ посева нута×полосовое мульчирование поверхности	0,075	3	0,02	0,13	2,80	0,22	0,37
ABC: тройное взаимодействие	0,046	3	0,02	0,08	2,80	0,31	0,52
Ошибки	9,068	48	0,19				

Динамика накопления сухой биомассы нута в опытных посевах 2017 года

Фактор А (система обработки почвы)	Фактор В (способ посе- ва)	Фактор С (муль- чиро- вание почвы)	Фаза развития				Полная спелость семян	
			Всходы	Ветвление	Цветение	Налив бобов		
А1 (зональ- ная система обработки почвы под нут)	широкоряд- ный 0,45 м	-	0,10	0,49	2,82	4,94	5,40	
		+	0,10	0,49	3,03	5,31	5,81	
	ленточный 0,30×0,45 м	-	0,11	0,55	3,10	5,38	5,88	
		+	0,11	0,55	3,29	5,68	6,21	
	ленточный 0,30×0,60 м	-	0,10	0,51	3,01	5,30	5,81	
		+	0,10	0,51	3,17	5,58	6,10	
	ленточный 0,30×0,75 м	-	0,10	0,41	2,42	4,27	4,69	
		+	0,10	0,41	2,54	4,45	4,89	
	А2 (с по- лосным объемным рыхлением)	широкоряд- ный 0,45 м	-	0,10	0,49	3,02	5,21	5,70
			+	0,10	0,49	3,17	5,59	6,11
		ленточный 0,30×0,45 м	-	0,11	0,55	3,25	5,72	6,27
			+	0,11	0,55	3,43	6,24	6,84
ленточный 0,30×0,60 м		-	0,10	0,51	3,14	5,76	6,32	
		+	0,10	0,51	3,29	6,56	7,21	
ленточный 0,30×0,75 м	-	0,10	0,41	2,81	5,11	5,63		
	+	0,10	0,41	2,99	5,53	6,10		

Результаты дисперсионного анализа сухой биомассы, сформированной посевами нута в опытах 2017 года

Выделенная дисперсия	Сумма квадратов отклонений в выборке	Степень свободы	Средний квадрат (значение дисперсии)	Значение критерия Фишера фактическое	Значение критерия Фишера теоретическое для $p=0,05$	Ошибка разности средних, S_d	Наименьшая существенная разность для $p=0,05$
Сумма	39,93	63					
A: система обработки почвы	7,263	1	7,26	21,76	4,04	0,14	0,24
B: способ посева нута	11,445	3	3,81	11,43	2,80	0,20	0,34
C: полосовое мульчирование по-верхности	3,186	1	3,19	9,54	4,04	0,14	0,24
AB: система обработки почвы×способ посева нута	1,384	3	0,46	1,38	2,80	0,29	0,49
AC: система обработки почвы×полосовое мульчирование по-верхности	0,308	1	0,31	0,92	4,04	0,20	0,34
BC: способ посева нута×полосовое мульчирование по-верхности	0,137	3	0,05	0,14	2,80	0,29	0,49
ABC: тройное взаимодействие	0,182	3	0,06	0,18	2,80	0,41	0,69
Ошибки	16,024	48	0,33				

Приложение 22

Результаты дисперсионного анализа густоты стояния растений нута (раст./м²) в предуборочный период
(по совокупной выборке данных за 2015-2017 годы)

Выделенная дисперсия	Сумма квадратов отклонений в выборке	Степень свободы	Средний квадрат (значение дисперсии)	Значение критерия Фишера фактическое	Значение критерия Фишера теоретическое для $p=0,05$	Ошибка разности средних, Sd	Наименьшая существенная разность для $p=0,05$
Сумма	2728,85	63					
А: система обработки почвы	16,00	1	16,00	6,52	4,04	0,39	0,66
В: способ посева нута	2591,21	3	863,74	351,88	2,80	0,55	0,93
С: полосовое мульчирование по-верхности	0,04	1	0,04	0,02	4,04	0,39	0,66
АВ: система обработки почвы×способ посева нута	1,94	3	0,65	0,26	2,80	0,78	1,32
АС: система обработки почвы×полосовое мульчирование по-верхности	1,69	1	1,69	0,69	4,04	0,55	0,93
ВС: способ посева нута×полосовое мульчирование поверхности	0,06	3	0,02	0,01	2,80	0,78	1,32
АВС: тройное взаимодействие	0,09	3	0,03	0,01	2,80	1,11	1,86
Ошибки	117,82	48	2,45				

Результаты дисперсионного анализа среднего числа бобов на растении нута (шт./раст) в предуборочный период (по совокупной выборке данных за 2015-2017 годы)

Выделенная дисперсия	Сумма квадратов отклонений в выборке	Степень свободы	Средний квадрат (значение дисперсии)	Значение критерия Фишера фактическое	Значение критерия Фишера теоретическое для $p=0,05$	Ошибка разности средних, Sd	Наименьшая существенная разность для $p=0,05$
Сумма	1185,36	63					
A: система обработки почвы	31,92	1	31,92	19,14	4,04	0,3	0,5
B: способ посева нута	1003,29	3	334,43	200,50	2,80	0,5	0,8
C: полосовое мульчирование по-верхности	7,56	1	7,56	4,53	4,04	0,3	0,5
AB: система обработки почвы×способ посева нута	51,51	3	17,17	10,29	2,80	0,6	1,1
AC: система обработки почвы×полосовое мульчирование по-верхности	6,00	1	6,00	3,60	4,04	0,5	0,8
BC: способ посева нута×полосовое мульчирование поверхности	2,47	3	0,82	0,49	2,80	0,6	1,1
ABC: тройное взаимодействие	2,55	3	0,85	0,51	2,80	0,9	1,5
Ошибки	80,06	48	1,67				

Результаты дисперсионного анализа озерненности бобов нута (шт./боб) в предуборочный период
(по совокупной выборке данных за 2015-2017 годы)

Выделенная дисперсия	Сумма квадратов отклонений в выборке	Степень свободы	Средний квадрат (значение дисперсии)	Значение критерия Фишера фактическое	Значение критерия Фишера теоретическое для $p=0,05$	Ошибка разности средних, S_d	Наименьшая существенная разность для $p=0,05$
Сумма	0,09	63					
А: система обработки почвы	0,05523	1	0,055225	123,86	4,04	0,005	0,009
В: способ посева нута	0,00648	3	0,002158	4,84	2,80	0,007	0,013
С: полосовое мульчирование по-верхности	0,00303	1	0,003025	6,78	4,04	0,005	0,009
АВ: система обработки почвы×способ посева нута	0,00088	3	0,000292	0,65	2,80	0,011	0,018
АС: система обработки почвы×полосовое мульчирование по-верхности	0,00003	1	0,000025	0,06	4,04	0,007	0,013
ВС: способ посева нута×полосовое мульчирование поверхности	0,00068	3	0,000225	0,50	2,80	0,011	0,018
АВС: тройное взаимодействие	0,00008	3	0,000025	0,06	2,80	0,015	0,025
Ошибки	0,02140	48	0,000446				

Приложение 25

Результаты дисперсионного анализа массы 1000 семян нута (г) в предуборочный период
(по совокупной выборке данных за 2015-2017 годы)

Выделенная дисперсия	Сумма квадратов отклонений в выборке	Степень свободы	Средний квадрат (значение дисперсии)	Значение критерия Фишера фактическое	Значение критерия Фишера теоретическое для $p=0,05$	Ошибка разности средних, Sd	Наименьшая существенная разность для $p=0,05$
Сумма	16600,50	63					
А: система обработки почвы	1332	1	1332,25	15,94	4,04	2,3	3,8
В: способ посева нута	8515	3	2838,25	33,97	2,80	3,2	5,4
С: полосовое мульчирование поверхности	2162	1	2162,25	25,88	4,04	2,3	3,8
АВ: система обработки почвы×способ посева нута	365	3	121,58	1,46	2,80	4,6	7,7
АС: система обработки почвы×полосовое мульчирование поверхности	72	1	72,25	0,86	4,04	3,2	5,4
ВС: способ посева нута×полосовое мульчирование поверхности	103	3	34,25	0,41	2,80	4,6	7,7
АВС: тройное взаимодействие	41	3	13,58	0,16	2,80	6,5	10,9
Ошибки	4011	48	83,56				

Результаты учета урожайности нута (т/га) в опытных посевах 2015 года

Фактор А (система обработки почвы)	Фактор В (способ посева)	Фактор С (мульчирование почвы)	Повторение				
			1	2	3	4	
А1 (зональная система обработки почвы под нут)	широкорядный 0,45 м	-	1,36	1,52	1,52	1,76	
		+	1,69	1,63	1,93	1,51	
	ленточный 0,30×0,45 м	-	1,46	1,64	1,79	1,79	
		+	1,70	1,68	1,99	1,70	
	ленточный 0,30×0,60 м	-	1,36	1,56	1,50	1,66	
		+	1,55	1,75	1,71	1,74	
	ленточный 0,30×0,75 м	-	1,27	1,34	1,38	1,25	
		+	1,27	1,40	1,46	1,59	
	А2 (с полосным объемным рыхлением)	широкорядный 0,45 м	-	1,48	1,68	1,78	1,79
			+	1,72	1,86	1,82	2,00
		ленточный 0,30×0,45 м	-	1,80	1,86	1,94	1,68
			+	2,07	2,01	2,11	2,10
ленточный 0,30×0,60 м		-	1,86	1,89	2,06	1,70	
		+	2,03	2,05	2,25	2,28	
ленточный 0,30×0,75 м		-	1,58	1,76	1,81	1,93	
		+	1,69	1,92	2,02	1,94	

Приложение 27

Результаты дисперсионного анализа урожайных данных (т/га) опытных посевов нута в 2015 году

Выделенная дисперсия	Сумма квадратов отклонений в выборке	Степень свободы	Средний квадрат (значение дисперсии)	Значение критерия Фишера фактическое	Значение критерия Фишера теоретическое для $p=0,05$	Ошибка разности средних, S_d	Наименьшая существенная разность для $p=0,05$
Сумма	3,72	63					
A: система обработки почвы	1,5500	1	1,55	89,60	4,04	0,03	0,06
B: способ посева нута	0,5659	3	0,19	10,90	2,8	0,05	0,08
C: полосовое мульчирование по-верхности	0,4556	1	0,46	26,34	4,04	0,03	0,06
AB: система обработки почвы×способ посева нута	0,2613	3	0,09	5,03	2,8	0,07	0,11
AC: система обработки почвы×полосовое мульчирование по-верхности	0,0182	1	0,02	1,05	4,04	0,05	0,08
BC: способ посева нута×полосовое мульчирование по-верхности	0,0205	3	0,01	0,39	2,8	0,07	0,11
ABC: тройное взаимодействие	0,0147	3	0,00	0,28	2,8	0,09	0,16
Ошибки	0,8304	48	0,02				

Результаты учета урожайности нута (т/га) в опытных посевах 2016 года

Фактор А (система обработки почвы)	Фактор В (способ посева)	Фактор С (мульчирование почвы)	Повторение				
			1	2	3	4	
А1 (зональная система обработки почвы под нут)	широкорядный 0,45 м	-	1,26	1,39	1,45	1,38	
		+	1,39	1,51	1,46	1,44	
	ленточный 0,30×0,45 м	-	1,38	1,32	1,44	1,54	
		+	1,42	1,52	1,53	1,54	
	ленточный 0,30×0,60 м	-	1,36	1,47	1,67	1,38	
		+	1,38	1,53	1,66	1,67	
	ленточный 0,30×0,75 м	-	1,19	1,32	1,52	1,29	
		+	1,25	1,36	1,37	1,55	
	А2 (с полосным объемным рыхлением)	широкорядный 0,45 м	-	1,44	1,45	1,74	1,57
			+	1,62	1,80	1,83	1,71
		ленточный 0,30×0,45 м	-	1,62	1,68	1,77	1,61
			+	1,79	1,90	1,88	1,99
ленточный 0,30×0,60 м		-	1,59	1,82	1,91	1,56	
		+	1,89	1,96	2,18	1,82	
ленточный 0,30×0,75 м		-	1,43	1,58	1,61	1,70	
		+	1,50	1,71	1,82	1,74	

Результаты дисперсионного анализа урожайных данных (т/га) опытных посевов нута в 2016 году

Выделенная дисперсия	Сумма квадратов отклонений в выборке	Степень свободы	Средний квадрат (значение дисперсии)	Значение критерия Фишера фактическое	Значение критерия Фишера теоретическое для $p=0,05$	Ошибка разности средних, S_d	Наименьшая существенная разность для $p=0,05$
Сумма	2,72	63					
A: система обработки почвы	1,3456	1	1,35	97,95	4,04	0,03	0,05
B: способ посева нута	0,3374	3	0,11	8,19	2,80	0,04	0,07
C: полосовое мульчирование по-верхности	0,2809	1	0,28	20,45	4,04	0,03	0,05
AB: система обработки почвы×способ посева нута	0,0210	3	0,01	0,51	2,80	0,06	0,10
AC: система обработки почвы×полосовое мульчирование по-верхности	0,0529	1	0,05	3,85	4,04	0,04	0,07
BC: способ посева нута×полосовое мульчирование по-верхности	0,0165	3	0,01	0,40	2,80	0,06	0,10
ABC: тройное взаимодействие	0,0049	3	0,00	0,12	2,80	0,08	0,14
Ошибки	0,6594	48	0,01				

Результаты учета урожайности нута (т/га) в опытных посевах 2017 года

Фактор А (система обработки почвы)	Фактор В (способ посева)	Фактор С (мульчирование почвы)	Повторение				
			1	2	3	4	
А1 (зональная система обработки почвы под нут)	широкорядный 0,45 м	-	1,63	1,61	1,72	1,72	
		+	1,76	1,82	1,90	1,76	
	ленточный 0,30×0,45 м	-	1,76	1,68	1,91	2,01	
		+	1,86	1,99	1,98	1,81	
	ленточный 0,30×0,60 м	-	1,77	1,72	1,82	1,92	
		+	1,85	1,86	1,97	1,93	
	ленточный 0,30×0,75 м	-	1,40	1,44	1,45	1,47	
		+	1,47	1,62	1,53	1,46	
	А2 (с полосным объемным рыхлением)	широкорядный 0,45 м	-	1,67	1,77	1,84	1,73
			+	1,84	1,87	1,94	1,95
		ленточный 0,30×0,45 м	-	1,82	1,90	1,96	1,97
			+	2,03	2,11	2,14	2,20
ленточный 0,30×0,60 м		-	1,89	1,77	1,96	2,14	
		+	2,16	2,11	2,32	2,36	
ленточный 0,30×0,75 м		-	1,78	1,65	1,83	1,97	
		+	1,88	2,05	2,01	1,82	

Результаты дисперсионного анализа урожайных данных (т/га) опытных посевов нута в 2017 году

Выделенная дисперсия	Сумма квадратов отклонений в выборке	Степень свободы	Средний квадрат (значение дисперсии)	Значение критерия Фишера фактическое	Значение критерия Фишера теоретическое для $p=0,05$	Ошибка разности средних, S_d	Наименьшая существенная разность для $p=0,05$
Сумма	2,73	63					
A: система обработки почвы	0,7310	1	0,731	83,52	4,04	0,02	0,04
B: способ посева нута	0,9315	3	0,310	35,47	2,80	0,03	0,06
C: полосовое мульчирование полностью	0,3422	1	0,342	39,10	4,04	0,02	0,04
AB: система обработки почвы×способ посева нута	0,2213	3	0,074	8,43	2,80	0,05	0,08
AC: система обработки почвы×полосовое мульчирование полностью	0,0420	1	0,042	4,80	4,04	0,03	0,06
BC: способ посева нута×полосовое мульчирование полностью	0,0165	3	0,005	0,63	2,80	0,05	0,08
ABC: тройное взаимодействие	0,0243	3	0,008	0,92	2,80	0,07	0,11
Ошибки	0,4201	48	0,009				