

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации

"Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций
и защитного лесоразведения Российской академии наук"
(ФНЦ агроэкологии РАН)

**РЕКОМЕНДАЦИИ ПО УПРАВЛЕНИЮ
БИОЛОГИЧЕСКОЙ ПРОДУКТИВНОСТЬЮ
ОРОШАЕМЫХ АГРОЛЕСОЛАНДШАФТОВ
С ПОМОЩЬЮ КОМПЬЮТЕРНЫХ ПРОДУКТОВ**

УДК 634.93:58.522.4

В разработке рекомендаций по управлению биологической продуктивностью орошаемых агролесоландшафтов с помощью компьютерных продуктов участвовали О. В. Рулева, Г. А. Рулев, А. М. Степанов, В. А. Веденева.

Рекомендации* предназначены для сельскохозяйственных товаропроизводителей, фермерских хозяйств, организаций лесного направления.

Рекомендации рассмотрены и утверждены методическим бюро ФГБНУ "Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения Российской академии наук" (протокол № 2 от 13 марта 2020 г.)

ISBN 978-5-6044587-1-6

© О. В. Рулева, Г. А. Рулев, А. М. Степанов, В. А. Веденева, 2020

© ФНЦ агроэкологии РАН, 2020

*Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ и Администрации Волгоградской области в рамках научного проекта № 19-416-340013.

ВВЕДЕНИЕ

Исследования по биопродуктивности орошаемых агроландшафтов проводились на европейской территории России, но наибольший интерес представляло Нижнее Поволжье. В его состав входят Волгоградская, Астраханская обл. и Республика Калмыкия. Так как Волгоградская обл. входит в число крупнейших регионов Российской Федерации по территории, населению и экономическому потенциалу и аграрное производство является одним из ключевых видов хозяйственной деятельности, представленных на ее территории, то вопросы повышения продуктивности земель за счет мелиорации имеют существенное влияние на экономическое и социальное состояние региона. Площадь сельскохозяйственных угодий составляет 8,8 млн га, в т. ч. 5,6 млн га пашни. По размерам сельхозугодий область занимает третье место в Российской Федерации, уступая по этому показателю только Алтайскому краю и Оренбургской обл. Все это дает основание утверждать, что Волгоградская обл. входит в число основных аграрных регионов России.

В соответствии со своими климатическими условиями Астраханская обл. близка Волгоградской, обе выступают как крупные производители зерна, крупяных, масличных культур (подсолнечника, горчицы), овощей, фруктов, бахчевых и др. Республика Калмыкия стоит особняком, так как в регионе развито в основном животноводство. Помимо этого, орошение крайне засушливых территорий нецелесообразно. В связи с этим лесные полосы на орошаемых землях должны функционировать в первую очередь в Нижнем Поволжье, где они в комплексе с другими мероприятиями будут способствовать сохранению плодородия почвы, получению более высоких и устойчивых урожаев и изменять экологическую обстановку в целом. Так как на фоне других мелиоративных мероприятий лесные полосы обладают долговечностью, стабильностью влияния на окружающую среду и высокой экологической чистотой. Для них характерна низкая себестоимость, но большая и долговременная отдача в виде повышенной продуктивности урожая, воспроизводства и сохранения плодородия почвы. Лесомелиоративный комплекс позволит повысить период эксплуатации оросительной сети, снизить оросительную норму на 10-20 % в зависимости от урожайности сельскохозяйственных культур и получить дополнительную продукцию с каждого гектара пашни.

1. ИСТОРИЧЕСКАЯ СПРАВКА АГРОЛЕСОМЕЛИОРАТИВНОГО ОБУСТРОЙСТВА ТЕРРИТОРИИ НИЖНЕГО ПОВОЛЖЬЯ

Начавшиеся в 1961 г. работы по ирригационному строительству и развитию орошаемого земледелия в Нижнем Поволжье позволили Богдинской НИАГЛОС получить около 5 тыс. га пойменных и богарных земель в Харабалинском р-не. Работы проводились на орошаемых системах в хозяйствах района (заложено более 100 га насаждений) и на орошаемом участке Богдинской НИАГЛОС, где была создана опытная система ЗЛН протяженностью более 12 км.

В Прикаспии (полупустынная зона) Астраханским областным управлением сельского хозяйства защитные лесные насаждения (ЗЛН) закладывались из 4-5 рядов с междурядьями 2,5 м и размещением в рядах 0,7 м. При посадке лесных полос по границам землепользований и вдоль водооградительных валов (дамб) с наружной стороны оросительных систем закладывались 4-8-рядные насаждения. На затопляемых площадях сажали осокорь и ясень, вне затопления – вяз приземистый.

В сухой степи (Волгоградское Заволжье) Николаевского р-на лесопосадочные работы выполнялись на орошаемых землях Кисловской и Заволжской оросительных систем, расположенных в северо-восточной части Волгоградской обл. В геоморфологическом отношении район исследований расположен на Приволжской песчаной гряде. Район относится к зоне с повышенными скоростями ветра, чему способствуют открытые безлесные пространства. Преобладающими, наиболее вредоносными являются ветры восточных, юго-восточных и южных румбов. За год бывает до 20-30 дней с ветрами более 15 м/с, в отдельные дни, преимущественно зимой, до 35 м/с. В течение года отмечается до 8 дней с пыльными бурями.

На орошаемых землях создано около 350 га насаждений. В основном это посадки из тополей (осокоря, гибрид тополя пирамидального на осокорь и др.), большая часть которых представлена законченными системами. На землях бывшего ОПХ "Россия" (ООО "Лидер") имеется 70 га лесных насаждений, включая посадки вдоль дорог, магистральных каналов, по границам орошаемых участков. Возраст насаждений 20-40 лет, сохранилось несколько лесных полос 1949-1954 гг. посадки. Первые посадки создавались по древесно-кустарниковому типу из вяза листоватого, клена ясенелистного, ясеня обыкновенного и зеленого, лоха узколистного и кустарников – ака-

ции желтой, аморфы, жимолости обыкновенной. Эти насаждения имеют, как правило, от 8 до 16 рядов и плотную конструкцию.

С 1978 г. лесонасаждения на оросительной сети начали создавать с уменьшенным числом рядов. Вдоль магистральных каналов и по границам участков не более чем из 4 рядов, на полях севооборота, как правило, 1-2-рядные. На участках с поливом д. м. "Днепр", ДДА-100М и ДКШ-64 высаживались гибридные тополя (пирамидальный на осокорь и осокорь на бальзамический), береза, ясень зеленый и вяз приземистый. Имеются экспериментальные посадки из лиственницы сибирской, ореха черного и дуба черешчатого с пирамидальной формой кроны.

В Волгоградском Заволжье на Кисловской и Заволжской оросительных системах с подачей поливной воды на поля севооборотов по каналам и трубопроводам и с поливом дождевальными машинами с 1969-1979 гг., когда была создана система ЗЛН, при высоких инфильтрационных потерях поливной воды наблюдался значительный подъем уровня грунтовых вод с глубины 6-8 м до корнедоступного уровня (2-5 м) – в среднем на 0,3-0,4 м за сезон. Пополнение грунтовых вод происходило в основном из оросителей и каналов и лишь в отдельных случаях из зон лесных полос при снеготаянии. С 1974 по 1988 гг. грунтовые воды стабилизировались на глубине 1,2-2,0 м, в т. ч. с помощью биологического и инженерного дренажа. На орошаемом участке площадью 2,5 тыс. га было более 70 га лесных полос и 11 скважин вертикального дренажа. Лесонасаждения в этот период имели максимальные приросты и водопотребление. Заболачивание и вторичное засоление наблюдалось лишь на отдельных участках, как правило, у магистральных каналов и в микропонижениях. 1992-2005 гг. характеризуются резким сокращением поливных и оросительных норм, выводом части земель из орошаемого севооборота в богару, демонтажом инженерного дренажа, понижением уровня грунтовых вод, ухудшением состояния и даже гибелью защитных насаждений.

Уже в 2011 г. мелиоративный комплекс Волгоградской обл. становится одним из самых крупных в Южном Федеральном округе. Мелиоративное имущество Волгоградской обл. в технологическом плане представляло единую систему, в которую входили федеральные головные насосные станции и гидротехнические сооружения с напорными трубопроводами, магистральными каналами, а также перекачивающие и подкачивающие насосные станции, сеть межхозяйственных и внутрихозяйственных трубопроводов областной государственной собствен-

ности и дождевальные машины частной собственности.

В 2011 г площадь всех орошаемых земель в Волгоградской обл. составляла 233,4 тыс. га, в т. ч. регулярного орошения – 178,8 тыс. га, лиманного орошения – 54,6 тыс. га.

На оросительных системах эксплуатировалось 14,9 тыс. гидротехнических сооружений, 588 электрифицированных насосных станций. Протяженность оросительной сети составляла 6,2 тыс. км, из них открытой сети – 2,3 тыс. км; закрытой сети – 3,9 тыс. км.

Серьезные объемы строительства и реконструкции мелиоративных систем, а также отдельно расположенных гидротехнических сооружений были выполнены в 2015 г. в Городищенском, Котельниковском, Светлоярском, Даниловском, Николаевском, Среднеахтубинском и Ленинском р-нах. Так, только в Городищенском муниципальном р-не за год орошение было организовано на площади 910 га. В целом в 2015 г в сельскохозяйственный оборот в Волгоградской обл. было введено более 2900 га орошаемых земель. В Палласовском р-не было расчищено 4,5 км оросительных каналов и порядка 10 км подводящих путей. Площадь орошаемых земель Волгоградской обл. в 2019 г. составила порядка 60 тыс. га.

2. ПРОСТРАНСТВЕННОЕ ВЛИЯНИЕ СИСТЕМЫ ПОЛЕЗАЩИТНЫХ ЛЕСНЫХ НАСАЖДЕНИЙ НА ГИДРОТЕРМИЧЕСКИЙ, ТЕПЛОВОЙ И ГИДРОЛОГИЧЕСКИЙ РЕЖИМЫ АГРОСФЕРЫ

2.1. Исследованиями установлено, что лесные насаждения, в т. ч. и полезащитные лесные полосы, не только трансформируют основные климатические факторы, но и изменяют их на прилегающей территории, т. е. выполняют климаторегулирующую роль. Наибольшая их полезность проявляется в изменении термического режима воздуха, повышении его влажности и ослаблении ветровой деятельности в агролесоландшафте.

В лесоаграрных ландшафтах в зависимости от конструкции и структуры эффективное влияние лесных полос на ветровой режим проявляется на расстоянии 15-25 высот (Н) насаждения, на снегораспределении на 10-20Н. Температура воздуха летом в середине поля снижается на 0,5-1,0°C, относительная влажность воздуха повышается на 5-8 %, испарение и испаряемость уменьшаются на 20-30 %, а скорость ветра на 30-50 %. Увеличивается урожайность зерновых сельскохозяйственных культур на 10-20 %, кормовых культур на 30-40 % и объем биомассы в целом.

2.2. В связи с неустойчивостью урожая сельскохозяйственного производства, особенно в сухостепных районах важно знать влияние систем защитных (полезащитных) лесонасаждений на гидротермические факторы и продуктивность сопредельных с ними территорий и уметь управлять ими.

2.3. Система ЗЛН оказывает стабилизирующее влияние на агроферу и улучшает факторы среды. Проведение исследования по пространственному влиянию систем защитных лесонасаждений показали:

- система полезащитных лесных насаждений проявляет свое влияние на прилегающую к ним территорию на расстоянии до 50-100 высот насаждения. Под защитной системой лесонасаждений скорость ветра в зависимости от удаленности от системы уменьшается на 15-44 %, температура воздуха на 0,3-0,9°C, испаряемость на 20-30 %, влажность воздуха увеличилась на 4,0-7,5 % и влажность почвы на 2-7 % или 30-100 мм;

- изменение микроклиматических факторов и влажности почвы в зоне влияния системы ЗЛН сказалось на повышении урожайности сельскохозяйственных культур на 10-23 % в зависимости от удален-

ности системы.

2.4. Изучение влияния системы ЗЛН на тепловой баланс (ТБ) позволяет получить объективные данные, отражающие энергетические показатели системы насаждений на сопредельную территорию.

В уравнение теплового баланса входят основные параметры переноса тепла, количественные и качественные характеристики теплового взаимодействия между лесными насаждениями, подстилающей поверхностью и атмосферой.

Изучение составляющих ТБ по формуле $B = P + \alpha + V$ (где P – поток тепла в почве, α – турбулентный поток тепла в приземном слое, V – затраты тепла на испарение) позволило определить влияние насаждений на прилегающую территорию путем изменения количества тепла, затраченного на испарение влаги с подстилающей поверхности.

2.5. Исследованиями установлено, что составляющие ТБ находятся в тесной взаимосвязи с физическими свойствами приземного (0-50 см) слоя и зависят от температуры, влажности почвы и скорости ветровых потоков.

Составляющим элементом теплового баланса является поток тепла в почве, который рассчитывается по разности температур в почве на глубине 0-10 и 0-20 см, величины удельной теплоемкости каштановой почвы, равной 0,2 кал/г·град и объемной массы сухой почвы. Для расчета турбулентного потока тепла в приземном слое использовалась формула:

$$\alpha = \frac{(B - P)\Delta t}{\Delta t + 1,56\Delta l} \text{ (кал/см}\cdot\text{мин)},$$

где B – радиационный баланс, P – поток тепла в почве, разность температур Δt и влажность воздуха, Δl на высоте 0,2 и 0,5 м от зоны вытеснения.

Средняя величина атмосферного давления ± 100 мб (± 75 мм, или 100 гПа), разность между радиационным балансом B и потоком тепла в почве $\geq 0,10$ кал/см²·мин, а градиенты температуры и влажности воздуха $\geq 0,1^\circ$ и 0,1 мм.

2.6. Динамика радиационного баланса в основном зависит от поступающей прямой солнечной радиации и состояния подстилающей поверхности. Анализ данных, составляющих радиационный баланс, показал, что максимальное напряжение суммарной солнечной радиации (более 40 %) как в системе ЗЛН, так и на удалении от нее в пределах 100-150Н приходится на дневные часы (14-16) и составляет в

системе ЗЛН 0,45-0,48 кал/см²·мин, вне системы с удалением на 50, 100, 150Н соответственно 1,51-1,30; 1,15-1,07; 1,22-1,12 кал/см²·мин.

Интенсивность радиационных потоков в системе ЗЛН и на различном удалении не превышала 25-30 %. Стабильное влияние системы на составляющие радиационного баланса прослеживается на расстоянии до 50Н, где величины потоков коротковолновой, суммарной, прямой, отраженной и рассеянной радиации находятся в тесной взаимосвязи с физическими свойствами приземного слоя воздуха, температурой и относительной влажностью.

2.7. Действие систем ЗЛН приводит к снижению ветровых потоков и ослаблению интенсивности турбулентного обмена, в результате чего снижается испаряемость на прилегающей к системе ЗЛН территории в пределах 50-100 высот и более продуктивно расходуется влага на транспирацию.

2.8. Система ЗЛН на прилегающей территории на 8-15 % снижает энергию воздушных масс, способствующих значительной трансформации тепла в приземном (0-50 см) слое воздуха.

В самой системе насаждений и на расстоянии до 7,5Н за ее пределами отмечается положительная адвекция тепла (горизонтальный перенос) до 0,15-0,25 кал/см²·мин. При удалении на 50-100-150Н под влиянием интенсивной солнечной радиации и низкой влажности почвы адвекция тепла отрицательная, т. е. происходит отток тепла в атмосферу до 0,13-0,17 кал/см²·мин, что указывает на возможность здесь посева менее влаголюбивых сельскохозяйственных культур.

2.9. Положительное изменение гидротермических и микроклиматических условий в зоне действия системы ЗЛН позволяет говорить о возможности изменения структуры посевных площадей, оптимальном размещении сельскохозяйственных культур и введении высокоэффективных севооборотов в так называемой "гидротермической тени".

3. КОНЦЕПЦИЯ И ПРИНЦИПЫ ФОРМИРОВАНИЯ АГРОЛЕСОСИТЕМ НА ОРОШАЕМЫХ ЗЕМЛЯХ ВОЛГОГРАДСКОЙ ОБЛАСТИ

3.1. Основное лесоводственное и сельскохозяйственное значение защитных лесонасаждений в максимальной защите полей от неблагоприятных факторов среды, улучшении микроклимата, гидрологических условий, оптимальной организации сельскохозяйственных угодий при минимальном изъятии под насаждения орошаемых площадей, в повышении урожайности сельскохозяйственных культур.

Критериями оптимальной защиты территории и улучшения мелиоративного воздействия являются высота насаждений, почвенно-гидрологические условия, засоленность почвогрунта и грунтовых вод, состояние почвенного покрова, правильная организация территории и оптимальное размещение лесонасаждений и поливной техники.

3.2. Высота насаждений, как основного лесоводственного показателя зависит, прежде всего, от водно-солевого режима почвы и уровня грунтовых вод. Лесная полоса в условиях орошения за счет десукции понижает грунтовые воды за вегетационный период на 50-100 см и ее влияние распространяется на 10-20 м в каждую сторону. В результате этого, а также снегоотложения и полива в лесной полосе в метровом слое почвы запасы солей уменьшаются на 5-6 т/га, а вне ее влияния увеличиваются на 10-12 т/га. Происходит перераспределение солей между полем и полосой, которое зависит также от режима орошения и наличия паводка при расположении орошаемого участка вблизи водного источника.

На влагообеспеченных и незасоленных площадях тополя (тополь пирамидальный × осокорь и Болле) и вяз приземистый имеют, как правило, высокую сохранность и интенсивный рост. В пять лет их высота составляет 10-12 м, текущий прирост 1,5-2,4 м. К двадцати годам их высота в зависимости от видового состава достигает 15-23 м. Высота тополей к 30 годам достигает 30 м (максимум 35 м). Наличие токсичных солей в почве ухудшает их рост и сохранность. При слабом засолении почвогрунта высота тополей в 30 лет уменьшается на 4-5 м, при среднем на 10-11 м (30-45 %). Вяз и акация (робиния) отстают от тополя на 6-7 м.

3.3. Наибольшие энергии роста и способность накапливать биомассу у тополей (тополь пирамидальный × осокорь) приходится на 8-16 лет. Текущий прирост по запасу древесины за это время достигает 80-

90, а средний 30-50 м³/га. Падение среднего прироста наступает в 18 лет, а в 20 лет насаждение находится в состоянии количественной и качественной спелости, а запас древесины составляет от 300 на среднесоленных и до 1100 м³/га на незасоленных почвогрунтах. В 30 лет при количестве деревьев до 1000 шт./га запасы древесины составляют соответственно 350 и 1450 м³/га. При этом текущий прирост по массе бывает меньше среднего в 4,7-6 раз, что свидетельствует о затухании роста и необходимости рубок обновления – последовательно по одному ряду до восстановления порослью вырубленного ряда.

3.4. Один гектар тополевых насаждений в 25-30 лет за вегетационный период расходует на транспирацию на незасоленных почвах до 40 тыс. м³ воды, на слабозасоленных 30 тыс. м³ и на среднесоленных 20 тыс. м³ (при расчете на площадь, непосредственно занятую полосами) и примерно вдвое меньше при расчете на зону распространения корней. Инженерный дренаж в этих условиях способен отвести 0,28 м³/сут воды, а 1 пог. м насаждений 0,15-0,20 м³/сут, т. е. всего лишь в 1,5-2 раза меньше.

3.5. Установлено, что при наличии зольных элементов до 2-3 % в древесине накапливается солей 0,2-0,3 кг/м³ прироста или 1-2 т/км, т. е. тополя усваивают до 2,8 т/га солей и изымают их из корнеобитаемого слоя почвы от 2,4 до 9,4 т/га. До 0,5-1,0 т/км, или 280-300 кг/га, химических элементов выносятся с листовым опадом. Около 97 % солей остается в почве. Под лесной полосой накопление солей происходит на глубине 3 м, а в поле 1,5 м. В нижележащие горизонты из верхних слоев почвы мигрирует более 36 т/га солей.

Состав химических элементов древесины зависит от степени засоления почвы. В надземной части тополей их находится до 83, а в подземной 17 %. Количество химических элементов от общей величины следующее: соды 28,8-30,8 %, натрия 15,5-17,4, хлора 9,4-11,6, сульфатов 2,8-3,4, азота 23,5, калия 11,8, фосфора 3,3 %.

Таким образом, лесонасаждения, изымая часть солей из почвы и способствуя их миграции из верхних в нижние горизонты, оказывают существенное влияние на водно-солевой режим почвы и улучшают ее минерализационное состояние и обеспечивают тем самым повышение урожая озимой пшеницы на 11 %, ячменя на 26, люцерны (сено) на 18-26 и бахчевых на 42 %.

3.6. Согласно данным мелиоративного влияния насаждений на повышение продуктивности полей, оптимальным размещением полос в Волгоградской обл. на незасоленных почвах следует считать в

насаждениях из тополей 400-500, вяза и акации 300-400 м, на слабо-засоленных почвах соответственно 300-400 и 250-300 м, на среднезасоленных почвах 250-300 и 200-250 м. На каштановых почвах и черноземах в плакорных условиях все эти расстояния будут больше примерно на 100 м. Эти расстояния между лесными полосами обеспечивают более высокую защищенность поля, надежный дренаж грунтовых вод и предупреждают вторичное засоление.

3.7. При указанных выше межполосных расстояния в условиях Волгоградской обл. целесообразно применять поверхностный способ полива по бороздам, особенно при посадке засухоустойчивых древесных пород (вяз, акация) на участках со средним засолением, а в плакорных условиях – дождевание с посадкой тополей и вяза.

4. УПРАВЛЕНИЕ БИОЛОГИЧЕСКОЙ ПРОДУКТИВНОСТЬЮ ОРОШАЕМЫХ АГРОЛЕСОЛАНДШАФТОВ С ПОМОЩЬЮ КОМПЬЮТЕРНЫХ ПРОДУКТОВ

4.1. На основании проведенных исследований сформулирована концепция развития агроценозов в системе лесных полос (ЛП) в условиях орошения: лесные полосы являются экологическим фактором, который способствует адаптации к условиям среды у сельскохозяйственных культур изменяться строго закономерно по одной зависимости экспоненциальной ($y = a \cdot e^{-bx}$, где a и b – параметры, e – основание натуральных логарифмов). Установлено, что на характер зависимости не влияет породный состав деревьев, конструкция ЛП, их рядность, географическое положение района исследований, вид и сорт сельскохозяйственных культур. Все эти различия находятся в пределах вариации параметров a и b , что дает возможность прогнозировать развитие посевов, осуществлять подбор сельхозкультур в зависимости от оптимальных условий и их сортовой принадлежности.

4.2. Установлено, что наиболее выносливыми к засухе в Волгоградском Заволжье оказался ячмень (*Hordeum distichon* (L.) Koern.). Динамика сухой биомассы ячменя y описывается уравнением вида $y = 3,47e^{-0,022315x}$ с коэффициентом корреляции $R = 0,99$, что свидетельствует о практически функциональной связи развития сухой биомассы с расстоянием (x) до ЛП.

4.3. В результате изучения динамики температуры почвы в весенне-летний период (апрель – июнь) с учетом растительного покрова озимой пшеницы Безостая-1 выявлена тесная связь между мелиоративным влиянием ЛП, агроценозом межполосного пространства и другими внешними факторами. В частности, получено уравнение изменения температуры почвы (y) под агроценозом на разном расстоянии (x) от ЛП вида $y = 0,775e^{-1,39x}$ ($R = 0,90$) на межполосном пространстве.

Без растительного покрова непосредственное влияние лесной полосы на почву выражается линейным уравнением $y = 0,044x - 10,72$ ($R = -0,94$). Иными словами, при наличии развитой растительной ассоциации на межполосной клетке температура почвы связана с мелиоративным влиянием ЛП и агроценозом.

4.4. Основными метеорологическими факторами, оказывающими влияние на состояние и развитие агроценозов, являются солнечная радиация, температура и влажность воздуха, скорость ветра, температура и влажность почвы.

Альbedo (без агроценоза в межполосном пространстве) коррелирует с влажностью почвы, развитием растительного покрова, т. е. совокупностью факторов, влияющих на развитие посева, и само по себе не может быть показателем функциональной связи с лесной полосой.

Связь влажности воздуха и почвы (при отсутствии растительного покрова) выражается функцией $y = 0,44x + 0,27$. Влажность воздуха в течение дня изменяется по экспоненте $y = 72,74e^{-0,055x}$.

Влажность почвы при наличии агроценоза в зоне влияния ЗЛН изменяется по экспоненте $y = 210,9e^{-0,0116x}$ ($R = -0,92$). Это означает, что на изменение температуры и влажности почвы оказывает влияние не только ЛП, но и развитый растительный покров в межполосном пространстве.

Исследования показали, что скорость ветра не оказывает существенного влияния на развитие посева. Зависимость скорости ветра от расстояния до ЛП (без растительного покрова) описывается гиперболой

$$y = \frac{x}{1,29087 + 0,1145x} \text{ с коэффициентом корреляции } R = 0,99.$$

При наличии растительного покрова параметр α в знаменателе меняет знак на отрицательный, но характер связи тот же:

$$y = \frac{x}{-1,087 + 0,61x} (R = 0,95).$$

4.5. Независимо от условий хозяйствования, изменение продуктивности различных сельскохозяйственных культур носит закономерный характер и в большинстве случаев описывается экспоненциальной связью $y = ae^{-bx}$ с разными по величине параметрами a и b . Это подтверждает гипотезу об оптимальных условиях развития сельскохозяйственных культур под влиянием лесных полос и орошения. ЛП выступает здесь в качестве экологического фактора, влияющего на развитие агроценоза.

По результатам исследований разработан и запатентован "Способ оценки урожая и продуктивности орошаемых сельскохозяйственных культур в лесозащищенных ландшафтах" (патент № 2661829).

Способ применим к следующим сельскохозяйственным культурам – яровой и озимой пшенице, кукурузе, ячменю, подсолнечнику, рису, люцерне, нуту, свекле, картофелю, хлопчатнику, чайным кустам, выращиваемым под защитой лесных полос

Параметры функциональных связей различных факторов, определяющих продуктивность наиболее распространенных сельскохозяйственных культур и элементы климата в зоне влияния ЗЛН помогают составить прогноз их развития и управлять биологической про-

дуктивностью.

4.6. Была разработана методика отбора образцов сельскохозяйственных культур по малой выборке.

Полевой опыт – это работа с большими выборками, объем которых достигает от 200 до 300 случайно отобранных растений, что не всегда удобно. Так, в наших исследованиях по апробации методики по отбору образцов в Николаевском р-не Волгоградской обл. на озимой пшенице под защитой 2-3-рядных ЛП из тополя гибридного, на метровой площадке количество стеблей достигало 250-600 шт. в зависимости от плотности посадки, всхожести, нормы высева и перезимовки растений. Поэтому на разных расстояниях от ЛП (2,5-20 Н) по трансекте случайно выбиралось от 215 до 352 растений озимой пшеницы в фазу цветения, что приводило к большой потере биомассы растений.

Анализ показал, что математически средние характеристик растения из малой выборки достоверны по значимости растениям из случайно выбранных большой выборки. Для проверки различий между генеральной совокупностью и малой выборкой большей значимостью обладают параметрические критерии оценки совокупностей, одним из которых является t-критерий Стьюдента. Закон t-распределения служит основой, так называемой теории малой выборки, которая характеризует распределение выборочных средних в нормально распределяющейся совокупности в зависимости от объема выборки.

Сравнительный анализ двух выборок стеблей озимой пшеницы для расстояний 2,5Н-20Н по двухвыборочному t-тесту с различными дисперсиями показал, что достоверных различий между выборками нет, и для дальнейшего анализа в лаборатории возможен отбор 10–15 растений из малой выборки. По гистограмме распределения либо из статистической оценки большой выборки можно отбирать либо модальные растения, либо "математически" средние растения.

По разработанной методике были написаны программы для ЭВМ "Определение оптимального количества образцов пшеницы по главным стеблям в защищенных агрофитоценозах" и "Определение размера малой выборки масличных культур в зоне влияния лесных полос", на которые были получены свидетельства о государственной регистрации программ для ЭВМ № 2016662088 и № 2016662346.

4.6.1. В программе № 2016662088 "Определение оптимального количества образцов пшеницы по главным стеблям в защищенных агрофитоценозах" проводится анализ большой выборки растительных образцов пшеницы (до 400 шт.) в защищенном агроценозе. По задан-

ному размеру малой выборки в автоматическом режиме рассчитывается вероятность распределения количества образцов, подчиняющихся закону нормального распределения. По полученным данным строятся графики распределения высоты стеблей на разных высотах от лесной полосы. Все это позволяет провести сравнительный анализ большой и малой выборок с помощью программы и выбрать оптимальное количество образцов пшеницы по главным стеблям. Программа рассчитана для отбора образцов малой выборки пшеницы, выращиваемой в условиях Нижнего Поволжья. Может использоваться в сельском хозяйстве для контроля динамики пшеницы.

4.6.2. В программе № 2016662346 "Определение размера малой выборки масличных культур в зоне влияния лесных полос" по количеству стеблей на метровых площадках, в зависимости от плотности посадки, всхожести, нормы высева определяем растения, которые статистически обрабатываем для оценки значимости большой выборки. Рассчитываются: среднее значение, стандартное отклонение, дисперсия, эксцесс, асимметрия, минимум, максимум, процент элементов в интервале. Результаты расчетов выводятся в виде графиков нормального распределения непрерывного типа. По гистограмме распределения, либо из статистической оценки большой выборки можно отбирать "математически" средние растения. На основании данных строится малая выборка из математически средних частот большой генеральной совокупности с доверительным интервалом 95 %.

4.7. Динамика высоты сельскохозяйственных культур

Из всех характеристик продуктивности высота растений – это практически единственный точно определяемый показатель. Между тем высота растительного покрова тесно связана с другими фитометрическими показателями: площадью листьев, надземной фитомассой, что делает эту характеристику перспективной при определении параметров, более сложных в методическом отношении.

Для описания роста сельскохозяйственных культур за период вегетации была выведена формула:

$$H_p = \frac{H_{max}}{1 + e^{a-b\tau}}, \quad (1)$$

где H_{max} – максимальная высота растения, τ – время вегетации, e – основание натуральных логарифмов, a и b – константы, определяющие наклон, изгиб и точку перегиба кривой.

Анализ динамики развития растений в высоту за вегетацию позволяет выявить проблемы при возделывании этой культуры на от-

дельных этапах прироста растений, недостающих элементов минерального, органического питания, влаги, угнетения от болезней и т. д.

4.7.1 Нами был разработан способ расчета высоты растений под влиянием лесных полос (патент № 2634360), который может быть использован для количественной оценки и прогнозирования урожайности зерновых и масличных культур в современных условиях ведения сельскохозяйственного производства.

При расчете используется высота образцов, определяемая непосредственно в поле или в лабораторных условиях. Отбор образцов сельскохозяйственных культур производится на площадках 1 м² по трансекте перпендикулярно лесной полосе не менее трех раз за период вегетации (от начала посева до конца вегетации).

Высоту растений представляют в виде логистической функции (формула 1), коэффициенты a и b в которой рассчитывают по формулам

$$a = \frac{\sum_{i=1}^{N-1} \ln \left(\frac{(H_{\max} - H_{o_{i+1}})}{H_{o_{i+1}}} \right) + b \cdot \tau_{i+1}}{N-1}; \quad b = \frac{\sum_{i=1}^{N-1} \ln \left(\frac{(H_{\max} - H_{o_i}) H_{o_{i+1}}}{(H_{\max} - H_{o_{i+1}}) H_{o_i}} \right)}{\tau_{i+1} - \tau_i}$$

в которых N – число образцов; i – номер образца; H_o – высота образца, см; τ – день вегетации на момент взятия образца.

Точность прогноза составляет не менее 95 %.

4.7.2. На основе запатентованного "Способа расчета высоты растений под влиянием лесных полос" (патент № 2634360) бала написана программа "Расчет высоты сельскохозяйственных культур за вегетационный период в межполосном пространстве" (свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 018616969), предназначена для определения и прогнозирования высоты с.-х. культур в зоне влияния лесных полос. Программа рассчитывает параметры логистической зависимости, описывающей рост в высоту сельхозкультур за вегетационный период на разных расстояниях от лесной полосы. Возможно определение высоты зерновых и других культур, различающихся сортовыми и гибридными особенностями с разным периодом вегетации. Исходными данными являются продолжительность вегетации, максимально возможная высота сельхозкультуры, фактические данные по высоте, отобранных в поле в течение вегетации образцов. Результаты выводятся в числовом и графическом виде. Прогноз высоты возможен на любой день развития растений.

4.8. Динамика биомассы сельскохозяйственных культур

Биомасса растений является интегральной характеристикой продукционного процесса, тесно связанной с площадью листьев и надземной фитомассой, которые позволяют прогнозировать величину ассимилирующей поверхности растения, а, следовательно, конечного урожая.

На основании многолетних исследований по проблеме и обобщении данных других исследователей в орошаемых агролесоландшафтах была получена модель динамики биопродуктивности агроценозов.

Для описания биомассы сельхозкультур за период вегетации в абсолютных единицах в общем виде применялась формула:

$$M = \frac{M_{max}}{1 + e^{a-b\tau}},$$

где M – биомасса растения, M_{max} – максимальная биомасса растения в конце вегетации, τ – время вегетации, e – основание натуральных логарифмов, a и b – константы, определяющие наклон, изгиб и точку перегиба кривой.

Полученные уравнения логистической функции позволяют создавать прогнозные модели для всех орошаемых сельскохозяйственных культур в агролесоландшафтах.

4.8.1. Был разработан и запатентован "Способ расчета биомассы растений в межполосном пространстве" (патент № 2603903), который может быть использован в сельском хозяйстве и научных исследованиях при определении и прогнозировании биомассы сельскохозяйственных растений в межполосном пространстве и повышении точности ее определения.

Биомассу растений представляют в виде логистической функции

$$M = \frac{M_{max}}{1 + e^{a-b\tau}},$$

где M – биомасса растений, г; M_{max} – максимально возможная биомасса сельскохозяйственной культуры, г (зависит от сорта или гибридных особенностей растения); τ – день вегетации; a и b – коэффициенты, которые рассчитывают по формулам,

$$a = \frac{\sum_{i=1}^{N-1} \ln\left(\frac{1}{M_{o_{i+1}}} - 1\right) + b\tau_{i+1}}{N-1}; \quad b = \frac{\sum_{i=1}^{N-1} \frac{\ln\left(\frac{M_{max}}{M_{o_i}} - 1\right) - \ln\left(\frac{M_{max}}{M_{o_{i+1}}} - 1\right)}{\tau_{i+1} - \tau_i}}{N-1},$$

в которых N – число образцов; i – номер образца; M_o – биомасса образца, г; τ – день вегетации на момент взятия образца.

Отбор образцов сельскохозяйственных культур проводится на

площадках 0,25 м² по трансекте перпендикулярно лесной полосе не менее трех раз за период вегетации (от начала посева до конца вегетации). Определяется их биомасса весовым методом в лабораторных условиях. Точность прогноза составляет не менее 85 %.

4.8.2. Была разработана и зарегистрирована программа "Расчет биомассы сельскохозяйственных культур за вегетационный период в межполосном пространстве" (свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2017660097), предназначенная для определения и прогнозирования биомассы сельхозкультур в зоне влияния лесных полос. В программе рассчитываются параметры логистической зависимости, описывающей рост биомассы сельхозкультур за вегетационный период на разных расстояниях от лесной полосы. Возможно определение биомассы для зерновых и масличных культур различных сортов, отличающихся сроками созревания. В качестве исходных данных используются характеристики сорта (продолжительность вегетации и максимально возможная биомасса), а также фактические данные по биомассе, отобранных в поле образцов в течение вегетации. Прогноз биомассы возможен на любой день развития растений с вероятностью 95 %.

4.9. При финансовой поддержке РФФИ и Администрации Волгоградской обл. в рамках научного проекта № 19-416-340013 была разработана программа для определения и прогнозирования массы 1000 зерен злаковых сельскохозяйственных культур в зоне влияния лесных полос (свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2020613162).

Масса зерна формируется в фазу созревания, но на его развитие влияют условия всего периода вегетации – онтогенеза. В программе рассчитываются параметры экспоненциальной зависимости, описывающей массу 1000 зерен злаковых сельхозкультур за вегетационный период на разных расстояниях от лесной полосы. Исходными данными являются образцы зерен злаковых культур (озимой, яровой пшеницы, ячменя, кукурузы), собранных в конце вегетационного сезона в поле на разных расстояниях от лесной полосы (5Н, 10Н, 15Н, 20Н, 30Н) в массе не менее 2000 граммов семян злаковых культур и отбора из них 1000 зерен по высотам. Данная программа позволяет в автоматическом режиме рассчитывать большие массивы данных по массе 1000 зерен, что упростит задачу сельхозтоваропроизводителя и автоматизировать процесс по управлению биопродуктивностью с помощью компьютерных продуктов.

ОГЛАВЛЕНИЕ

| | |
|--|----|
| Введение..... | 3 |
| 1. Историческая справка агролесомелиоративного обустройства территории Нижнего Поволжья..... | 4 |
| 2. Пространственное влияние системы полезащитных лесных насаждений на гидротермический, тепловой и гидрологический режимы агросферы..... | 7 |
| 3. Концепция и принципы формирования агролесосистем на орошаемых землях Волгоградской области..... | 10 |
| 4. Управление биологической продуктивностью орошаемых агролесоландшафтов с помощью компьютерных продуктов | 13 |

*Рулева Ольга Васильевна, Рулев Глеб Александрович,
Степанов Александр Михайлович, Веденеева Варвара Александровна*

РЕКОМЕНДАЦИИ ПО УПРАВЛЕНИЮ БИОЛОГИЧЕСКОЙ ПРОДУКТИВНОСТЬЮ ОРОШАЕМЫХ АГРОЛЕСОЛАНДШАФТОВ С ПОМОЩЬЮ КОМПЬЮТЕРНЫХ ПРОДУКТОВ

*Текст представлен в авторской редакции
Компьютерная верстка В. Г. Гирявенко
Ответственный за выпуск В. П. Скачков*

Подписано в печать 01.06.2020.
Объем 1,25 уч.-изд. л. Заказ 4.
Тираж 300 экз. (первый завод 100 экз.)

400062, Волгоград, Университетский проспект, 97.
Копировально-множительное бюро ФНЦ агроэкологии РАН