

На правах рукописи



Панкова Татьяна Анатольевна

**АДАПТИВНОЕ НОРМИРОВАНИЕ ОРОШЕНИЯ ЛЮЦЕРНЫ НА
ТЕМНО-КАШТАНОВЫХ ПОЧВАХ СУХОСТЕПНОГО ЗАВОЛЖЬЯ**

06.01.02 – мелиорация, рекультивация и охрана земель

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т

диссертации на соискание ученой степени

кандидата технических наук

Саратов – 2015

Работа выполнена в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Саратовский государственный аграрный университет имени Н.И. Вавилова».

Научный руководитель: **Затинацкий Сергей Викторович**,
кандидат технических наук, профессор

Официальные оппоненты: **Ольгаренко Владимир Иванович**,
доктор технических наук, профессор, член-корреспондент РАН, Новочеркасский инженерно-мелиоративный институт им. А.К. Кортунова – филиал ФГБОУ ВО «Донской государственный аграрный университет», кафедра «Мелиораций земель», профессор

Ахмедов Аскар Джангир оглы,
доктор технических наук, профессор, ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный аграрный университет», кафедра «Землеустройство и кадастры», профессор

Ведущая организация – Волгоградский филиал ФГБНУ «Всероссийский научно – исследовательский институт гидротехники и мелиорации им. А. Н. Костякова»

Защита состоится «29» января 2016 года в 12⁰⁰ часов на заседании диссертационного совета Д 220.061.06 на базе федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Саратовский государственный аграрный университет им. Н.И. Вавилова» по адресу: 410056, г. Саратов, ул. Советская, 60, ауд. 325 им. А. В. Дружкина

С диссертацией и авторефератом можно ознакомиться в библиотеке ФГБОУ ВО «Саратовский ГАУ» и на сайте: www.sgau.ru

Отзывы на автореферат просим высылать по адресу: 410012, г. Саратов, Театральная пл.1., Е – mail: dissovet01@sgau.ru.

Автореферат разослан « ____ » _____ 2015 г.

Учёный секретарь
диссертационного совета



Маштаков Дмитрий Анатольевич

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования. Сухостепное Заволжье находится в зоне рискованного земледелия и выращивание сельскохозяйственных культур в этой зоне без орошения невозможно. Вместе с тем широкое развитие орошения в восьмидесятых годах прошлого века привело к резкому ухудшению экологической ситуации в регионе. По состоянию на 2014 г. общая площадь орошаемых земель Саратовской области составляет 257,3 тыс. га, из них 58,15 тыс. га неблагоприятны: 3,75 тыс. га имеют уровень грунтовых вод менее 3 м от поверхности; 14,9 тыс. га слабо, средне и сильнозасолены; 39,5 тыс. га почв средне и сильно солонцеватые. Наряду с этим продуктивность орошаемого гектара оставалась ниже потенциально возможной, не превышая 3,7 т/га к.е.

Причиной сложившегося неблагоприятного состояния поливных земель и низкой урожайности орошаемых культур является недостаточно совершенное нормирование орошения, при котором определение суммарного водопотребления проводится только с учетом биологических свойств культуры и метеоусловий. Использование такой модели по оценке влияния влагообеспеченности сельскохозяйственного поля на величину суммарного водопотребления направлено на получение максимальной урожайности и приводит к перерасходу воды. Адаптивное нормирование орошения основано на определении суммарного водопотребления с учетом складывающегося водного режима почвы, состояния деятельной поверхности, метеоусловий и биологических особенностей культуры в процессе онтогенеза и направлено на получение заданной урожайности.

Основной кормовой культурой возделываемой в условиях орошения сухостепного Заволжья является люцерна, которая обладает ценными биологическими и кормовыми достоинствами: азотофиксирующей способностью, позволяющей снизить химическую нагрузку на почву; высокой продуктивностью; сбалансированностью корма; ее можно использовать на сено, зеленую массу, сенаж, травяную муку. Выращивание люцерны помогает решить не только кормовую проблему, но и проблему повышения плодородия почвы, защиту почв

от ветровой и водной эрозии, поэтому наиболее важно совершенствовать нормирование орошения этой культуры.

На решение проблемы эффективного использования оросительной воды и повышения урожайности люцерны направлена настоящая диссертационная работа.

Степень разработанности темы. Нормирование орошения имеет несколько аспектов, главными из которых является разработка рациональных режимов орошения, моделирование водопотребления. Разработкой режимов орошения люцерны для условий сухостепного Заволжья занимались И. П. Кружилин (1977), В. И. Ольгаренко (1961 – 2015), М. С. Григоров (1993), Н. А. Пронько (2002 – 2003) и др., В. В. Корсак и др. (2010 – 2014), И. В. Ольгаренко (1995 – 2015), Г. В. Ольгаренко (1990 – 2015), А. В. Кравчук (1990 – 2007), Л. Н. Чумакова (2003), Т. Н. Дронова (1989), А. Г. Ларионов (1966 – 1970), В. Т. Морковин (1973 – 2003), Б. П. Барцев (1985), Л. А. Косова (1978 – 1992), Б. И. Костин (1986), И. С. Костин (1971), А. Н. Шувалов (1994), Е. В. Аржанухина (2001), А. Н. Никишанов (2014), А. Б. Овчинников (2001) и др. Авторами, внесшими решающий вклад в становление проблем моделирования, являются А. Н. Костяков (1960), А. М. Алпатьев (1954 – 1969), Я. А. Пачепский (1966 – 1992), А. И. Голованов (1974 – 2009), В. В. Шабанов (1973 – 2006), D. N Moriasi и др. (1990), M. Smith (1992), Y. Mualem (1976), J. R. Jensen (1978) и другие исследователи.

Цель исследований – повышение эффективности использования оросительной воды на основе адаптации модели и программы адаптивного нормирования орошения люцерны для условий сухостепного Заволжья.

Задачи исследований:

1. Провести анализ расчетных методов определения суммарного водопотребления люцерны;
2. Экспериментально установить эмпирические коэффициенты модели суммарного водопотребления для различных периодов вегетации люцерны при ее возделывании на темно-каштановых почвах в сухостепном Заволжье.

3. Провести адаптацию модели для культуры люцерны, возделываемой в условиях сухостепного Заволжья, и на ее основе разработать программу адаптивного нормирования орошения культуры;

4. Определить энергетическую эффективность возделывания люцерны с применением программы адаптивного нормирования орошения «ПРНОСК».

Научная новизна работы:

– экспериментально определены эмпирические коэффициенты модели суммарного водопотребления для различных периодов вегетации люцерны при ее возделывании на темно-каштановых почвах в сухостепном Заволжье;

– адаптирована модель определения суммарного водопотребления для культуры люцерны с учетом водного режима почвы, метеоусловий, состояния деятельной поверхности и биологических особенностей культуры в процессе онтогенеза;

– разработана и апробирована программа адаптивного нормирования орошения люцерны для условий сухостепного Заволжья «ПРНОСК».

Теоретическая и практическая значимость работы. Теоретическая значимость работы заключается в уточнении биоклиматических коэффициентов для культуры люцерны, установление зависимости поукосной урожайности культуры от суммарного водопотребления; адаптации модели суммарного водопотребления для люцерны и разработке на ее основе программы адаптивного нормирования. Практическая значимость работы заключается в том, что применение технологии возделывания люцерны с использованием данной программы приводит к повышению урожайности люцерны на 18,3 %, снижению затрат поливной воды на 10 % и на 18,7 % энергетических затрат на формирование 1 т. зеленой массы.

Методология и методы исследований. Методология базируется на известных представлениях о моделировании водопотребления сельскохозяйственных культур. В работе использовались теоретические методы исследования – математическое моделирование и математическая статистика, экспериментальные методы – полевые и лабораторные опыты по изучению водно-

физических свойств почвы, метеоусловий, урожайности люцерны, динамики влагозапасов темно-каштановых почв сухостепного Заволжья.

Положения, выносимые на защиту:

1. Экспериментально установленные эмпирические коэффициенты модели суммарного водопотребления для различных периодов вегетации люцерны при ее возделывании на темно-каштановых почвах в сухостепном Заволжье.

2. Результаты адаптации модели водопотребления для люцерны, учитывающей водный режим почвы, метеоусловия, состояние деятельной поверхности и биологические особенности культуры в процессе онтогенеза;

3. Программа адаптивного нормирования орошения люцерны для условий сухостепного Заволжья «ПРНОСК».

Степень достоверности и апробация работы. Достоверность научных результатов подтверждается большим объемом экспериментального материала, применением современных государственных стандартов при организации и проведении полевых опытов. Степень достоверности обеспечена статистическими методами оценки данных, с использованием ЭВМ, высокой степенью соответствия теоретических и экспериментальных исследований. Основные положения диссертации доложены и обсуждены на международных научно–практических конференциях: «Вавиловские чтения – 2010», г. Саратов, 2010 г.; «Фундаментальные и прикладные науки сегодня», г. Москва, 2013 г.; «Research Journal of International Studies» г. Екатеринбург, 2014 г.; профессорско–преподавательского состава и аспирантов СГАУ, г. Саратов, 2013, 2015 гг.

Программа адаптивного нормирования орошения люцерны внедрена в СХА «Михайловское» на площади 650 га, ЗАО «Племзавод «Трудовой» на площади 1570 га, Приволжской оросительной системе Марксовского района Саратовской области на площади 3180 га.

Получено свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ №2015661256 в ФГБУ «Федеральный институт промышленной собственности» от 22.10.15 г., г. Москва (заявка № 2015618158 от 08.09.2015 г.).

Публикации. Основное содержание диссертации опубликовано в 14 научных работах, в том числе 5 работ в изданиях, входящих в перечень ВАК РФ. Общий объем с учетом долевого участия в коллективных публикациях составляет 4,25 п. л., из них лично принадлежат автору – 3,0 п. л.

Структура и объем диссертации. Диссертационная работа состоит из введения, пяти глав, заключения и предложений производству. Работа изложена на 140 страницах основного текста, содержит 59 рисунков, 16 таблиц, а также 12 приложений. Список литературных источников включает 254 наименований, в том числе 18 на иностранных языках.

Содержание работы

Во введении обоснована актуальность работы, сформулированы цель, задачи исследований, основные положения, выносимые на защиту, обоснованы научная новизна, теоретическая и практическая значимость, доказана достоверность полученных результатов и выводов, рекомендаций производству.

В первой главе «Состояние изученности вопроса» проведен анализ расчетных методов определения водопотребления. Наиболее известны в практике сухостепного Заволжья расчетные методы А. М. и С. М. Алпатьевых (1969), Д. А. Штойко (1965), Н. Н. Иванова (1954), В. С. Мезенцева (1973), Г. К. Льгова (1966) и др. В том числе к методам определения суммарного водопотребления на основе испаряемости относится метод С. И. Харченко (1975), А. Р. Константинова (1981), М. И. Бudyко (1956), А. И. Будаговского (1964), Х. Л. Пенмана (1968), А. И. Михальцевича (1982), и др.

Для условий сухостепного Заволжья, по данным ВолжНИИГиМа, наиболее точным является метод А. М. Алпатьева, который учитывает биологические особенности культуры, метеоусловия, но не учитывает влагозапасы в почве.

Для повышения точности нормирования орошения при расчете водопотребления культур необходимо учитывать наряду с метеоусловиями, биологическими особенностями культуры, складывающийся водный режим

почвы и состояние деятельной поверхности. Для культуры люцерны такие исследования по определению суммарного водопотребления для условий сухостепного Заволжья не проводились.

Во второй главе «Теоретическое обоснование модели и программы адаптивного нормирования орошения люцерны» проанализированы основные факторы, влияющие на величину суммарного водопотребления.

Суммарное водопотребление сельскохозяйственных культур является функцией погодных условий, влагозапасов почвы и биологических свойств культуры, которая описывается функцией вида:

$$ET = f(E, W, B) \quad (1)$$

где: ET – суммарное водопотребление, мм; E – испаряемость, характеризующая погодные условия, мм; W – влагозапасы в почве, мм; B – биологические свойства культуры.

Уравнение динамики водного режима расчетного слоя почвы, мм имеет следующий вид:

$$W_k = W_n + P + \sum m \pm q - ET \quad (2)$$

где: W_k – влагозапасы почвы на конец расчетного периода, мм; W_n – влагозапасы почвы на начало расчетного периода, мм; P – атмосферные осадки, мм; $\sum m$ – сумма поливных норм, мм; q – показатель влагообмена активного слоя почвы с подстилающими грунтами, мм.

Моделью разработанной для условий сухостепного Заволжья, учитывающей складывающийся водный режим почвы, метеоусловия, биологические особенности культуры и состояние деятельной поверхности является модель С. В. Затицацкого, согласно которой суммарное водопотребление определяется по зависимости:

$$ET = \frac{E \cdot A_n}{\left(1 + 10^{\gamma - \beta \frac{W_{aci} - W_{pvp}}{W_{FC} - W_{pvp}}} \right)} \quad (3)$$

где: A_n , γ и β – эмпирические коэффициенты, определяющие состояние

деятельной поверхности и биологические особенности культуры в процессе онтогенеза; W_{act} – фактические влагозапасы, мм; W_{PWP} – влагозапасы почвы, соответствующие влажности завядания, мм; W_{FC} – влагозапасы почвы, соответствующие наименьшей влагоемкости, мм.

Согласно зависимости (3) и определения суммарного водопотребления по модели А. М. Алпатьева получена зависимость для определения коэффициента состояния деятельной поверхности:

$$A_n = \frac{k_{\sigma} \cdot \sum d_{\varphi} \cdot (1 + 10^{\gamma - \beta \cdot \overline{W_{act}}})}{E} \quad (4)$$

где: k_{σ} – биоклиматический коэффициент, мм/мБ; $\sum d_{\varphi}$ – сумма среднесуточных дефицитов влажности воздуха за расчетный период, мБ.

В предлагаемой модели испаряемость определяли по методу Будыко-Зубенок (1962, 1976), поскольку по сравнению с методом Н. Н. Иванова (1954) он дает более точные значения коэффициентов (рис. 1).

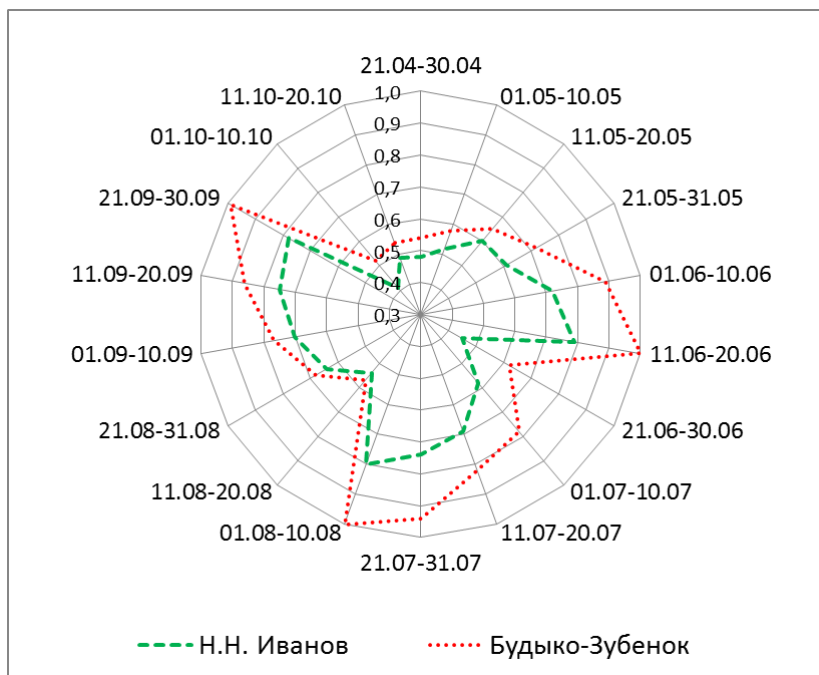


Рисунок 1 – Лепестковая диаграмма изменения коэффициента состояния деятельной поверхности

На основе адаптированной модели была разработана программа адаптивного нормирования орошения люцерны «ПРНОСК» в среде Microsoft VisualStudio 2012 Express, которая может эксплуатироваться на персональных ЭВМ под управлением операционной системы Windows 2003 – 2012.

Программа «ПРНОСК» ориентирована для специалистов отдельных хозяйств и оросительных систем для разработки планов водопользования и заявок на воду.

В состав программного обеспечения входит главная процедура и программа нормирования орошения люцерны, экранные формы со встроенными пользовательскими процедурами, в том числе окно ввода исходных параметров, окно ввода дополнительных параметров, окно корректировки параметров, форма просмотра и выдачи результатов расчета (рисунок 2).

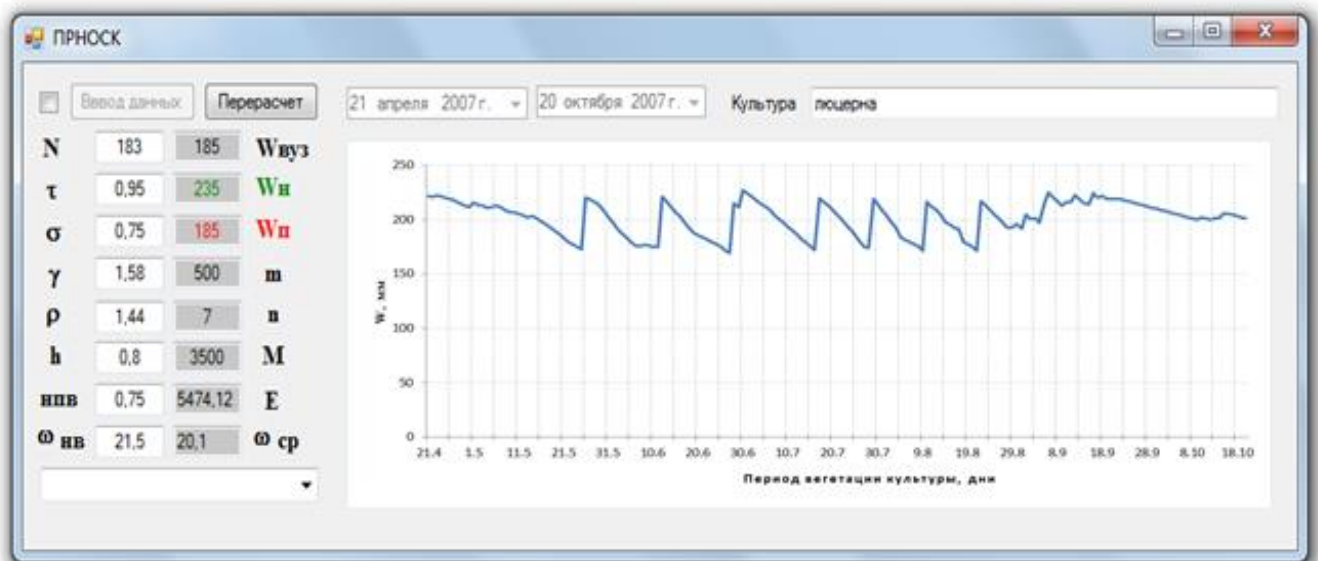


Рисунок 2 – Окно результатов моделирования

Блок схема программы представлена на рисунке 3.

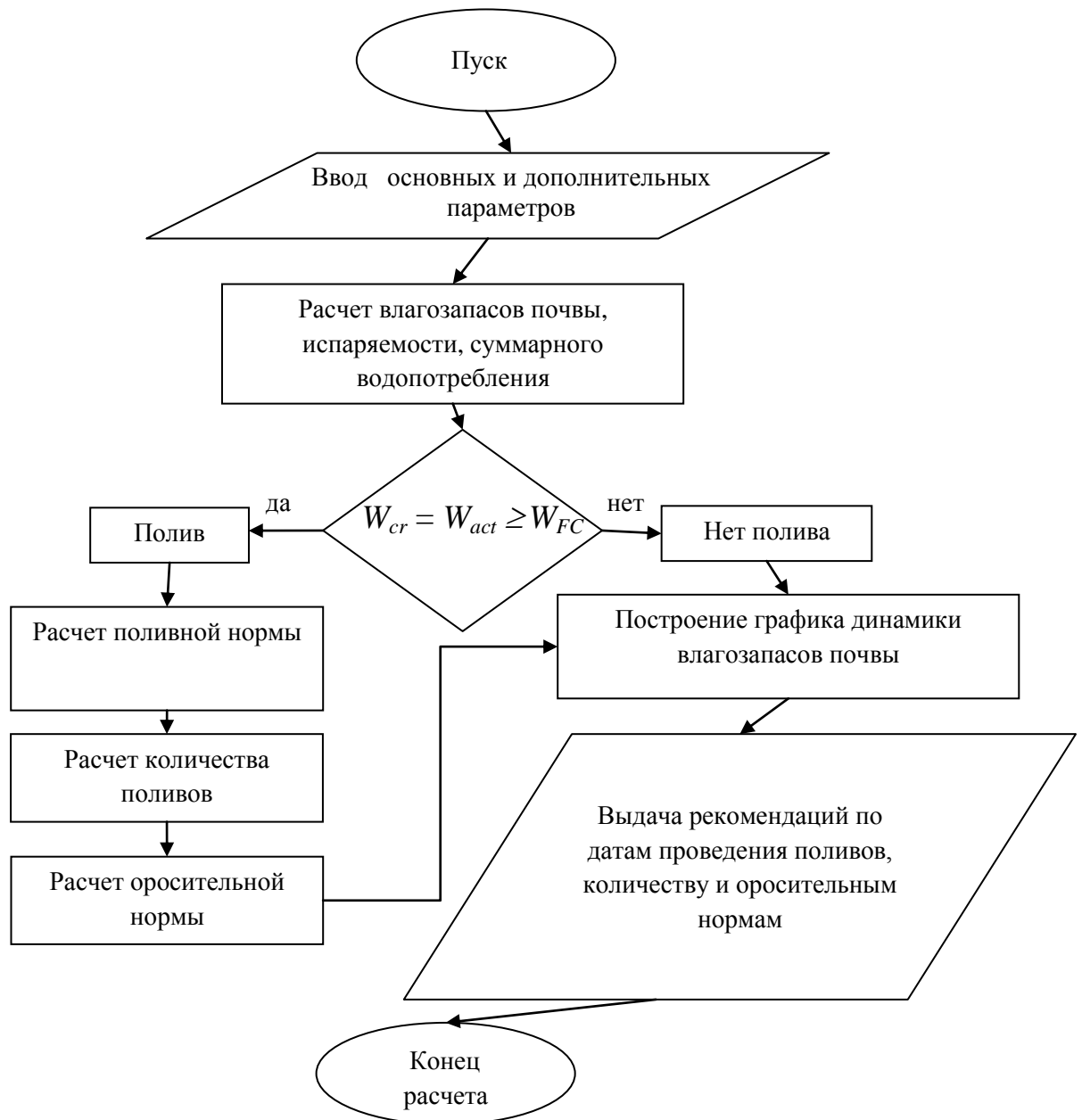


Рисунок 3 – Блок – схема расчета по программе «ПРНОСК» адаптивного нормирования орошения люцерны

В третьей главе «Условия и методика экспериментальных исследований» представлена методика проведения полевого опыта. Исследования проводились в 2007...2009 гг. в сухостепной зоне Заволжья на полях СХА «Михайловское» Марксовского района Саратовской области. Климат данной территории континентальный. Годы исследований характеризовались 2007, 2009 (ГТК 0,6) как средне засушливые; 2008 (ГТК 0,8) – умеренно-увлажненный. Метеорологические наблюдения проводили с помощью полевой автоматической метеостанции ZENO 3200, фирмы «Coastal Environmental Systems, Inc» США

(2003), установленной непосредственно внутри севооборотного участка опытного поля.

Почва опытного участка темно-каштановая среднесуглинистая. Плотность сложения почвы в слое 0...100 см – 1,24...1,63 т/м³, плотность твердой фазы – 2,6...2,66 т/м³, пористость – 35,7...52,3 %, среднее значение наименьшей влагоемкости в метровом слое 20,9 %. Уровень грунтовых вод находится на глубине более 10 метров. Содержание гумуса в пахотном слое – 3,9 %. Почвы, не засоленные и не солонцеватые, доля обменного натрия < 5 % ЕКО.

Отбор почвенных образцов проводился в соответствии с общепринятыми методиками и нормативами: ГОСТ 17.4.3.01 – 83; ГОСТ 17.4.4.02 – 84; ГОСТ 28168 – 89. Содержание гумуса определяли по методу мокрого сжигания по И. В. Тюрину (ГОСТ 26213 – 91); гранулометрический состав почвы по методике Н. А. Качинского (1970) (ГОСТ 12536 – 79); плотность грунта методом режущего кольца, плотность твердой фазы пикнометрическим методом (ГОСТ 5180 – 84); наименьшая влагоемкость методом залива площадок согласно методике А. Ф. Вадюниной и З. А. Корчагиной (1986); влажность почвогрунтов термостатно-весовым методом (ГОСТ 28268 – 89) и скважным влагомером TRIME-FM; анализы полной водной вытяжки и содержание солей в почвенно-поглощающем комплексе согласно (ГОСТ 26487 – 85; ГОСТ 26950 – 86, ГОСТ 27821 – 88); фенологические наблюдения согласно методике Госсортсети (1989); учет урожая по методике Б. А. Доспехова (1985).

Химический состав почв был определен в Саратовской гидромелиоративной партии.

Урожайность люцерны учитывали методом сплошной уборки, учетная площадь 100 м², за вегетационный период люцерны было получено три укоса.

Влажность почвы на посевах люцерны поддерживали в интервале 75–95 % НВ в слое 0–80 см (75 % – предполивной порог, 95 % – верхний порог увлажнения).

Предшественником люцерны являлась озимая пшеница. Посев люцерны осуществляли беспокровно в конце апреля рядовым способом. Норма высева

семян составляла 15 кг/га. После каждого укоса проводилось боронование в два следа поперек посева для омоложения старого травостоя и лучшего впитывания летних осадков. Укосы люцерны на зеленый корм проводили в фазу «бутонизация – цветение». Удобрения вносили в виде фосфорно-калийных подкормок весной под боронование и после укосов. Поливы проводили при снижении влажности почвы в 0–80 см слое почвы до 75%НВ.

В четвертой главе «Результаты исследований по адаптивному нормированию орошения люцерны» приводятся результаты экспериментальных исследований по определению водно-физических свойств почвы, метеорологических условий, влагозапасов почвы на посевах люцерны, эмпирических коэффициентов A_n , β , γ , биоклиматического коэффициента k_b , поукосной урожайности люцерны.

Для поддержания предполивного порога влажности 75 % НВ потребовалось проведение пяти (2008) – и семи (2007, 2009) поливов нормой 500 м³/га. Проведенный мониторинг почвенных влагозапасов, осадков и поливов позволил определить структуру суммарного водопотребления по годам исследований (табл.1).

Таблица 1 – Структура суммарного водопотребления по годам исследований 2007 – 2009 гг.

Элементы водного баланса, м ³ /га	Годы					
	2007 г		2008 г		2009 г	
	м ³ /га	%	м ³ /га	%	м ³ /га	%
Используемые влагозапасы	382	6,4	286	5,3	753	12,3
Атмосферные осадки	2093	35,0	2617	48,4	1880	30,6
Оросительная норма	3500	58,6	2500	46,3	3500	57,1
Суммарное водопотребление	5975	100	5403	100	6133	100

Анализ таблицы 1 показывает, что в 2007, 2009 г доля атмосферных осадков составляет 35 и 30,6 % соответственно, а в 2008 г – 48,4 %; доля воды, поступающей с поливами колеблется от 46,3 % в 2008 году и до 57,1–58,6 % в

2007, 2009 гг; доля используемых влагозапасов составляет в 2008 г – 5,3 %, а в 2007, 2009 г – 6,4 и 12,3 %.

На основе экспериментальных данных были установлены криволинейные зависимости отношения суммарного водопотребления к испаряемости от относительных продуктивных влагозапасов в расчетном слое почвы для основных фаз роста и развития люцерны (рис. 4), которые описываются уравнениями вида:

$$ET/E = A_n / \left(1 + 10^{\gamma - \beta \cdot \overline{W_{act}}} \right) \quad (5)$$

где: ET/E – отношение суммарного водопотребления к испаряемости, мм; A_n , γ и β – эмпирические коэффициенты, определяющие состояние деятельной поверхности и биологические особенности культуры в процессе онтогенеза; $\overline{W_{act}}$ – относительные влагозапасы, %.

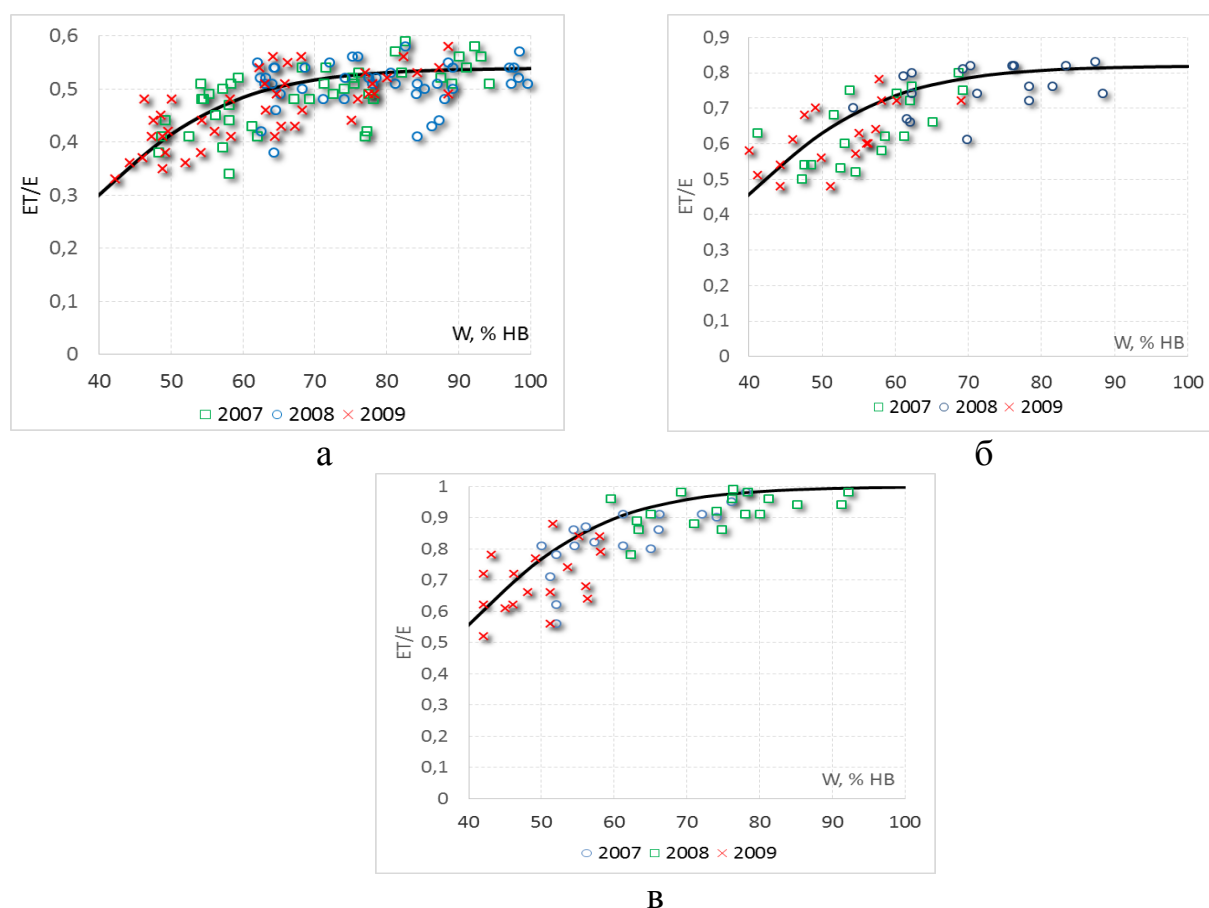


Рисунок 4 – Экспериментальные данные и зависимости отношений суммарного водопотребления к испаряемости от относительных запасов влаги для различных фаз роста и развития люцерны: «отрастание–ветвление» (а); «ветвление – бутонизация» (б); «бутонизация – цветение» (в)

Значения эмпирических коэффициентов в течение вегетационного периода культуры изменяются в зависимости от складывающихся погодных условий и периодов фенофаз люцерны (табл. 2).

Таблица 2 – Значения эмпирических коэффициентов криволинейных зависимостей отношений суммарного водопотребления к испаряемости от относительных продуктивных влагозапасов по периодам вегетации люцерны

Параметры	Периоды вегетации люцерны		
	отрастание–ветвление	ветвление–бутонизация	бутонизация–цветение
A_n	0,54	0,81	1,00
γ	1,54	1,58	1,62
β	0,041	0,042	0,044
k_6	0,31	0,38	0,45

Стандартные (среднеквадратичные) отклонения расчетных и фактических значений отношений суммарного водопотребления к испаряемости составляют: в период «отрастание–ветвление» – 0,058; «ветвление – бутонизация» – 0,069; «бутонизация – цветение» – 0,065. Эти отклонения существенно меньше, чем величины ET/E , которые изменяются в соответствующих периодах в пределах 0,3...0,6 («отрастание–ветвление»), 0,5...0,8 («ветвление – бутонизация») и 0,6...1,0 («бутонизация – цветение»), что подтверждает достаточно высокую достоверность разработанных криволинейных зависимостей и позволяет рекомендовать приведенные в таблице 2 значения эмпирических коэффициентов для определения суммарного водопотребления люцерны с использованием испаряемости, рассчитанной комплексным методом по схеме Будыко-Зубенок.

Валидация программы «ПРНОСК» проведена путем сравнения результатов расчета суммарного водопотребления (ET) методом А.М. Алпатьева и предлагаемой программой с фактическими данными ET , полученными в полевых опытах за годы исследований (рис. 5).

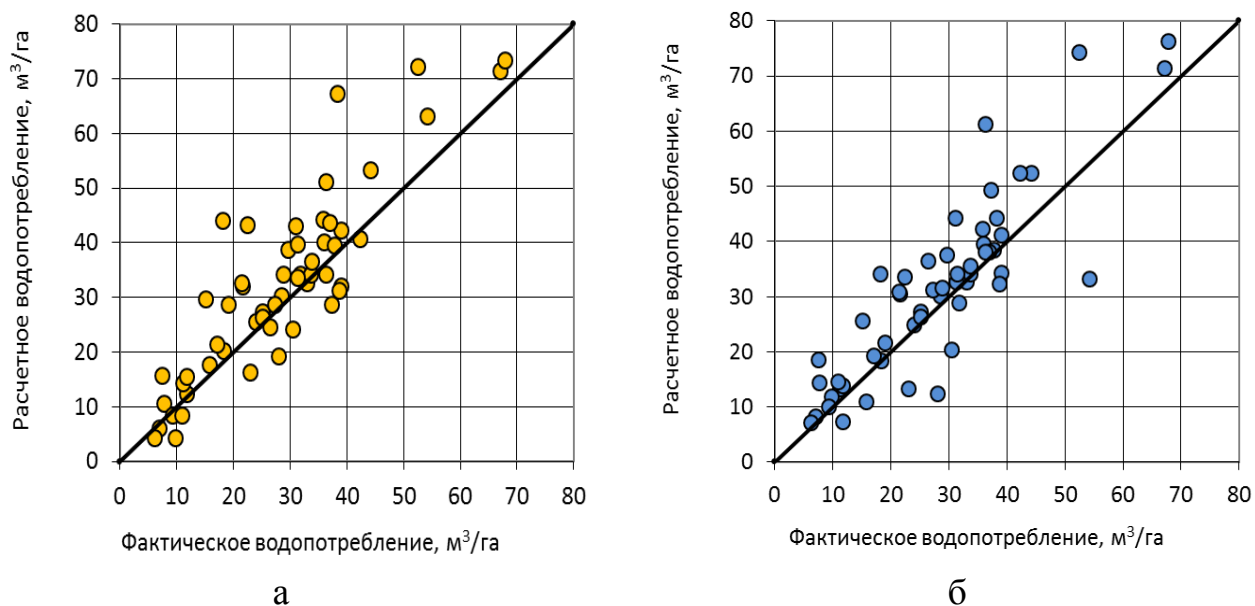


Рисунок 5 – Диаграммы рассеяния фактических и расчетных значений суммарного водопотребления: а – метод А. М. Алпатьева б – программа «ПРНОСК»

Сравнительный статистический анализ результатов расчетов разными методами с фактическими данными по водопотреблению показал высокий уровень корреляции между ними – коэффициент корреляции для обоих методов составил 0,88.

Расчетное значение критерия Фишера для совокупностей фактических данных по водопотреблению и расчетных по программе «ПРНОСК» составляет 1,35, а для совокупностей фактических данных и расчетных по методу А.М. Алпатьева – 1,46. При табличном значении F–критерия Фишера для уровня значимости 0,05 равном 1,44 это означает, результаты расчета по программе «ПРНОСК» не имеют статистически значимых различий с данными полевого эксперимента ($F_{\text{факт}} < F_{\text{теор}}$), а результаты расчета по методу А.М. Алпатьева такие различия имеют ($F_{\text{факт}} > F_{\text{теор}}$).

Вывод о более высокой достоверности адаптированной модели суммарного водопотребления, реализованной в программе «ПРНОСК», позволяют сделать и рассчитанные значения критерия Нэша–Сатклиффа: для «ПРНОСК» он составляет 72,8%, для метода А.М. Алпатьева – 71,7%.

Очень важным аспектом проблемы адаптивного нормирования орошения является связь водопотребления с урожайностью культур. Для установления этой взаимосвязи нами была экспериментально определена урожайность люцерны и коэффициент водопотребления (табл. 3).

Таблица 3 – Урожайность люцерны на зеленую массу, т/га

Годы	Укосы			Суммарная по укосам, т/га	Суммарное водопотребление, мм	Коэффициент водопотребления, м ³ /т
	1	2	3			
2007	11,9	11,1	10,5	33,5	5975	178,4
2008	14,2	13,1	11,5	38,8	5403	139,3
2009	11,5	10,5	9,2	31,2	6133	196,6

Максимальная урожайность зеленой массы люцерны была получена в 2008 г. по всем опытным площадкам и составила 38,8 т/га, в 2007 и 2009 гг., урожайность составила 33,5 – 31,2 т/га соответственно. Наибольшая эффективность использования поливной воды была в 2008 г, коэффициент водопотребления составил от 139,3 м³/т, в 2007–2009 гг. наблюдается снижение эффективности использования поливной воды, что привело к увеличению коэффициента водопотребления до 196,6 м³/т.

Установлена криволинейная зависимость урожайности люцерны по укосам (У) от суммарного водопотребления (ЕТ) (рис.6), которая имеет вид $Y = -2 \cdot 10^{-5} ET^2 + 0,0719ET - 46,983$, где У – поукосная урожайность люцерны, т/га; ЕТ – суммарное водопотребление по укосам, м³/га; и характеризуется высоким значением корреляционного отношения $\eta=0,91$.

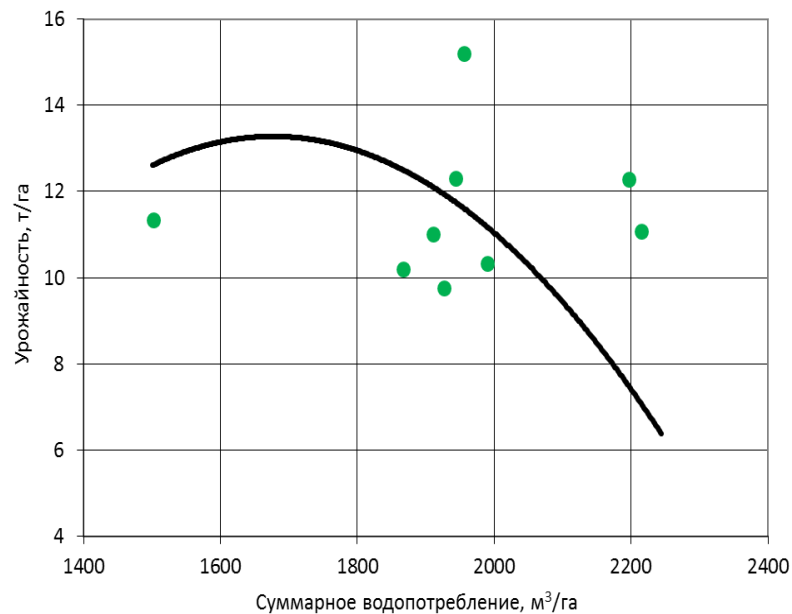


Рисунок 6 – Зависимость урожайности зеленой массы люцерны по укосам от суммарного водопотребления

В пятой главе «Энергетическая эффективность технологии возделывания люцерны с использованием программы «ПРНОСК»» приведены результаты расчета энергетических затрат и энергетической эффективности возделывания люцерны с применением программы адаптивного нормирования орошения на темно-каштановых почвах сухостепного Заволжья, которая приводит к увеличению урожайности люцерны на 18,3 %, снижению затрат поливной воды на 10 % и энергетических затрат на формирование 1 т. зеленой массы на 18,7 %.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Улучшение качества нормирования орошения, дает возможность снизить излишние нагрузки на поля орошаемого земледелия и предотвратить ухудшение мелиоративного состояния полей с использованием более адаптивных экологическим условиям методов определения суммарного водопотребления.

2. Повышение адаптивности нормирования орошения конкретным экологическим условиям может быть достигнуто при более полном учете факторов, влияющих на водопотребление культур, в первую очередь динамику водного режима расчетного слоя почвы, метеоусловий, состояния деятельной

поверхности почвы и биологических особенностей культуры (отношение к воде) в процессе онтогенеза.

3. Для адаптации модели определения суммарного водопотребления для люцерны при ее возделывании в сухостепном Заволжье экспериментально установлены используемые в модели коэффициенты, которые для различных периодов вегетации культуры имеют следующие значения: «отрастание–ветвление»: $A_n=0,54$, $\beta = 0,041$, $\gamma = 1,54$, $k_6 = 0,31$; «ветвление–бутонизация»: $A_n=0,81$, $\beta = 0,042$, $\gamma = 1,58$, $k_6=0,38$; «бутонизация–цветение»: $A_n=1,00$, $\beta = 0,044$, $\gamma = 1,62$, $k_6=0,45$.

4. Оценка достоверности адаптированной модели и ее компьютерной реализации – программы «ПРНОСК» показала значительную тесноту связи между фактическими и расчетными данными по суммарному водопотреблению люцерны – коэффициент корреляции r равен 0,88. Достоверность результатов моделирования доказывают достаточно высокое значение критерия Нэша-Сатклиффа – 72,8%, а также расчетное значение F-критерия – 1,35, которое меньше табличного значения для уровня значимости 0,05 (1,44), что означает отсутствие статистически значимых различий между расчетными и фактическими данными.

5. Сравнение результатов расчета суммарного водопотребления методом А. М. Алпатьева с фактическими данными по водопотреблению показало высокий уровень корреляции между ними – $r = 0,88$. Однако, расчетное значение критерия Фишера для совокупностей «фактические данные» и «расчетные методом А. М. Алпатьева» составляет 1,46, что, при табличном 1,44, означает присутствие статистически значимых различий. Кроме этого, значения критерия Нэша–Сатклиффа для метода А. М. Алпатьева ниже, чем для программы «ПРНОСК» – 71,7%.

6. Для оперативного планирования режима орошения люцерны в условиях сухостепного Заволжья на основе адаптированной модели разработана компьютерная программа адаптивного нормирования орошения «ПРНОСК», написанная на языке программирования Visual Basic 2012, которая может быть

использована на персональных ЭВМ под управлением операционной системы Windows 2003 – 2012.

7. Применение технологии возделывания люцерны с использованием программы «ПРНОСК» приводит к увеличению урожайности люцерны на 18,3 %, снижению затрат поливной воды на 10% и энергетических затрат на формирование 1 т. зеленой массы на 18,7 %.

РЕКОМЕНДАЦИИ

1. При возделывании орошаемой люцерны на темно-каштановых почвах сухостепного Заволжья для повышения урожайности и экономии оросительной воды рекомендуется при составлении планов водопользования применять программу адаптивного нормирования орошения «ПРНОСК».

2. В программу адаптивного нормирования орошения включать экспериментально установленные коэффициенты: для периода вегетации люцерны «отрастание–ветвление» $A_n=0,54$, $\beta = 0,041$, $\gamma = 1,54$, $k_6 = 0,31$; «ветвление–бутонизация» $A_n=0,81$, $\beta = 0,042$, $\gamma = 1,58$, $k_6=0,38$; «бутонизация–цветение» $A_n=1,00$, $\beta = 0,044$, $\gamma = 1,62$, $k_6=0,45$.

ПЕРСПЕКТИВЫ ДАЛЬНЕЙШЕЙ РАЗРАБОТКИ ТЕМЫ

Продолжение работы по данной тематике предполагает адаптацию модели суммарного водопотребления для других культур сухостепного Заволжья и в других почвенно–климатических зонах.

ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

В изданиях, рекомендованных ВАК Минобрнауки РФ

1. Затицацкий, С. В. К вопросу о применимости SWAP - модели при исследовании динамики влагозапасов в условиях Саратовского Заволжья / С. В. Затицацкий, О. В. Михеева, Т. А. Васильченко // Аграрный научный журнал. – 2011. – №3. – С. 28–31.

2. Затицацкий, С. В. Ресурсосберегающая математическая модель нормирования орошения / С. В. Затицацкий, **Т. А. Панкова** // Научное обозрение. – 2013. – № 11. – С. 10–13.

3. Затицацкий, С. В. Применение биоклиматических кривых как основа ресурсосберегающего нормирования орошения сельскохозяйственных культур / С. В. Затицацкий, **Т. А. Панкова** // Научное обозрение. – 2014. – № 5. – С.8–11.

4. Затицацкий, С. В. Модели валидации в техническом нормировании (на примере ресурсосберегающих моделей водопотребления) / С. В. Затицацкий, **Т. А. Панкова**, Э. Ю. Шмагина, А. В. Кочетков // Науковедение. – 2014. – №5. – [Электронный ресурс] идентификационный номер статьи в журнале – 27TVN514.

5. Панкова, Т. А. Результаты моделирования нормирования орошения сельскохозяйственных культур для условий Саратовского Заволжья / **Т. А. Панкова** // Научное обозрение. – 2014. – № 1. – С.17–21.

в других изданиях

6. Панкова, Т. А. Исследование водного режима темно-каштановой почвы на посевах люцерны / **Т. А. Панкова**, С. В. Затицацкий // Вавиловские чтения – 2010: материалы международной научно-практической конференции 25–26 ноября 2010. – Саратов: Изд-во КУБИК, 2010. – С. 339–340.

7. Панкова, Т. А. Ресурсосберегающее нормирование орошения / **Т. А. Панкова** // Вавиловские чтения – 2013: сборник статей научно-практической конференции, посвященной 126-й годовщине со дня рождения академика Н. И. Вавилова и 100-летию Саратовского ГАУ (25–27 ноября 2013 г). – Саратов: Буква, 2013. – С. 206–207.

8. Панкова, Т. А. Определение влажности почвы для регулирования режима орошения сельскохозяйственных культур в условиях Саратовского Заволжья / **Т. А. Панкова**, А. Н. Руковичникова // Научная жизнь. – 2013. – №4. – С. 17–24.

9. Панкова, Т. А. Определение суммарного водопотребления люцерны / **Т. А. Панкова**, А. Н. Руковичникова // Научная жизнь. – 2013. – №5. – С. 9–12.

10. Панкова, Т. А. Моделирование режима орошения / **Т. А. Панкова**, С. В. Затиначий // Fundamental and applied sciences today II (vol.1): материалы докладов II Международной научно-практической конференции. – Москва: SPS Academic, 2013. – С.115–118.

11. Панкова, Т. А. Статистическая обработка результатов нормирования орошения люцерны для условий Саратовского Заволжья / **Т. А. Панкова** // Research Journal of International Studies: сборник по результатам международной научной конференции. – Екатеринбург: международный научно-исследовательский журнал. 2014. – №2 (21). – С. 111–112.

12. Панкова, Т. А. К вопросу изучения динамики влагозапасов темно-каштановой почвы Саратовского Заволжья / **Т. А. Панкова** // Научная жизнь. – 2014. – № 1. – С. 19–22.

13. Панкова, Т. А. Влияние влагообеспеченности сельскохозяйственного поля на изменчивость биоклиматических коэффициентов люцерны / **Т. А. Панкова** // Фундаментальные и прикладные исследования в высшей аграрной школе. Выпуск 5. ФГБОУ ВПО «Саратовский ГАУ» по итогам 2014 г., проходившей 16–26 февраля 2015 г. (под.ред. Воротникова И.Л., Муравьевой М. В.). Саратов: ООО «ЦеСАин», 2015. – С.97–99.

Свидетельство

14. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2015661256 Программа расчета нормирования орошения сельскохозяйственных культур / Панкова Т. А., Затиначий С. В.; правообладатель ФГБОУ ВПО «Саратовский государственный аграрный университет имени Н. И. Вавилова. – ФГБУ «Федеральный институт промышленной собственности», дата государственной регистрации в Реестре программ для ЭВМ 22.10.15 г., г. Москва (заявка № 2015618158 от 08.09.2015 г.).

Подписано в печать 27.11.15.
Формат 60x84. Бумага офсетная. Гарнитура Times.
Печ. л. 1,0. тираж 100. Заказ №89
