

УДК 631.67:633.853.52

DOI: 10.31774/2222-1816-2019-3-31-49

М. Н. Лытов

Всероссийский научно-исследовательский институт гидротехники и мелиорации имени А. Н. Костякова (Волгоградский филиал), Волгоград, Российская Федерация; Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения Российской академии наук, Волгоград, Российская Федерация

ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ВОДНОГО РЕЖИМА ПОЧВЫ ПРИ РАЗНЫХ УРОВНЯХ ВОДОБЕСПЕЧЕНИЯ СОИ В УСЛОВИЯХ ОРОШЕНИЯ

Целью исследования является изучение особенностей, качественных и количественных закономерностей формирования водного режима почвы при орошении способом дождевания, в совокупности позволяющих охарактеризовать условия водообеспечения сои с позиций оптимизации технологического процесса. Объект исследований – орошаемые соевые агрофитоценозы. Предмет исследований – водный режим почвы в посевах орошаемой сои. Материалами исследований стали результаты собственных полевых опытов, реализованных в 2010–2017 гг. на орошаемых землях АО «Агрофирма «Восток» Николаевского района Волгоградской области (Волгоградское Заволжье). Опыты включали варианты с сортами сои, удобрениями и режимами орошения, но выборка данных для настоящего исследования была сформирована в соответствии со спецификой решаемой задачи. Опытами подтверждено, что продолжительность межполивного периода сои является исключительно динамичным, неустойчивым параметром, определяющимся преимущественно метеорологическими условиями. Относительно устойчивые тренды при коэффициенте детерминации 0,40–0,69 установлены лишь в плане сокращения продолжительности межполивного периода с повышением порога предполивной влажности почвы. По изучаемым сортам получены данные, свидетельствующие о сокращении межполивного периода у более позднеспелой сои. Наблюдаемые различия, оцениваемые в 2–4 сут, хорошо соотносятся, как правило, с более развитой вегетативной массой сортов сои более позднего срока созревания. Установлены качественные различия в динамике влажности почвы между поливами. Динамика снижения влажности почвы между поливами в период «посев – начало цветения» характеризуется криволинейным трендом, причем форма зависимости в период «посев – начало ветвления» и период «ветвление – начало цветения» существенно различается. С начала фазы цветения сои влажность почвы между поливами снижается по линейному тренду. Учет этих различий позволяет точнее оценивать средневзвешенную влажность почвы, а следовательно и условия водообеспечения сои по фазам роста и развития.

Ключевые слова: соя, орошение, водный режим, межполивной период, условия водообеспечения.

M. N. Lytov

All-Russian Scientific Research Institute of Hydraulic Engineering and Land Reclamation named after A. N. Kostyakov (Volgograd branch), Volgograd, Russian Federation; Federal Scientific Center for Agroecology, Integrated Land Reclamation and Protective Afforestation of the Russian Academy of Sciences, Volgograd, Russian Federation

SPECIFIC FEATURES OF SOIL WATER REGIME FORMATION AT DIFFERENT WATER SUPPLY LEVELS OF SOYBEANS UNDER IRRIGATION

The aim of the research is to study the features, qualitative and quantitative patterns of soil water regime formation during sprinkling irrigation, collectively allowing characterize the conditions of water supply of soybeans from the standpoint of technological process optimization. The object of the research is irrigated soybean agrophytocenoses. The subject of the research is the soil water regime in irrigated soybeans seeds. The study materials were the results of their own field experiments implemented in 2010–2017 on the irrigated lands of Agrofirma Vostok JSC, Nikolaevsky district of Volgograd region (Volgograd Zavolzhie). The experiments included options with soybean varieties, fertilizers, and irrigation regimes, but the data sample for this study was formed according to the characteristics of the problem to be solved. The experiments confirmed that the irrigation frequency of soybeans is an extremely dynamic, unstable parameter, determined mainly by meteorological conditions. Relatively stable trends with the determination coefficient 0.40–0.69 were established only in terms of reducing the irrigation frequency with an increase of antecedent soil water threshold. For the studied varieties the data indicating a reduction of the irrigation interval in later-ripening soybeans were obtained. As a rule the observed differences estimated at 2–4 days are well correlated with a more developed vegetative mass of soybean varieties of late ripening. The qualitative differences in the dynamics of soil moisture between irrigations are established. The dynamics of soil moisture decrease between irrigation during the period “seeding – early flowering” is characterized by a curvilinear trend, the form of dependence during the period “seeding – the beginning of branching” and the period “branching – early flowering” varying significantly. Since the beginning of the soybean flowering phase, soil moisture between irrigation decreases along a linear trend. Registration of these differences allows us to assess the weighted average soil moisture more accurately and hence the water supply conditions for soybeans according to the growth and development phases.

Key words: soybean, irrigation, water regime, irrigation interval, water supply conditions.

Введение. Прежде чем говорить о закономерностях формирования водного режима почвы при разных уровнях водообеспечения, определим, что мы, собственно, будем подразумевать под термином «уровень водообеспечения». Наиболее близкий в смысловом плане термин «водообеспеченность» в различных словарях трактуется как степень удовлетворения фактической потребности в воде хозяйства предприятия, орошаемой площади, отрасли народного хозяйства [1]; степень удовлетворения фактической потребности в воде орошаемой территории [2]; степень соответствия потребности в воде фактическому удовлетворению водопотребителя [3]. Последнее определение, приведенное в словаре ботанических терминов, в наибольшей степени согласуется с постановкой задач исследования.

В качестве водопотребителя здесь выступает сообщество культурных растений – соевый агрофитоценоз. Основным источником воды для соевых растений в полевых условиях является почвенная влага. Степень удовлетворения растений водой зависит от доступности почвенной влаги и продолжительности периода, когда влага в почве в той или иной степени доступна корневому водопотреблению. Если вегетационный период сои рассматривать не в целом, а дифференцированно, по фазам роста и развития, то можно считать, что степень удовлетворения растений водой, а следовательно и водообеспеченность, определяется доступностью почвенной влаги. Так как доступность влаги в почве определяется ее энергетическим состоянием и силами связи с почвенными структурами, водообеспеченность растений можно характеризовать содержанием слабосвязанной и свободной влаги в почве. При этом в условиях орошаемого земледелия верхняя граница влажности почвы традиционно устанавливается на уровне наименьшей влагоемкости, а нижний порог варьируется, обуславливая доступность почвенной влаги в различные фазы роста и развития [4–8]. Таким образом, уровень предполивной влажности почвы в условиях орошения при строгом соблюдении режима орошения и прочих равных условиях может характеризовать уровень водообеспечения растений в посевах.

Цель исследований сводилась к изучению особенностей формирования водного режима почвы при орошении, в совокупности позволяющих охарактеризовать условия водообеспечения сои с позиций оптимизации технологического процесса в динамике.

Материалы и методы. Теоретические исследования [9–13] позволяют говорить о возможности установления ориентировочного предполивного уровня, β_k , по зависимости:

$$\beta_k = 0,5 \cdot (\beta_{\text{НВ}} + \beta_{\text{ВЗ}}),$$

где $\beta_{\text{НВ}}$ – содержание влаги в почве при наименьшей влагоемкости;

$\beta_{\text{ВЗ}}$ – влажность завядания растений, % от массы почвы или от объема.

Однако на практике величина оптимального диапазона влажности почвы изменяется в зависимости от биологических особенностей культуры, типа и свойств почвенного покрова, климатических особенностей региона и ряда других факторов, в т. ч. может дифференцироваться для отдельных фаз роста культуры. Установление оптимальных уровней предполивной влажности почвы с учетом всех значимых факторов традиционно реализуется на основе экспериментальных исследований [14–17].

Для решения этой задачи был реализован ряд полевых опытов, комплексные исследования в которых так или иначе были связаны с изучением целесообразности поддержания тех или иных порогов предполивной влажности почвы при возделывании сои. Характерной чертой этого комплекса экспериментальных исследований стало использование метода многофакторных исследований, в которых влияние уровня предполивной влажности почвы на формирование водного режима изучалось в совокупности с влиянием прочих факторов, в т. ч. включающих и элементы агротехники. В частности, в рамках опыта 1, реализованного на орошаемых землях агрофирмы «Восток» Волгоградского Заволжья, при разных уровнях предполивной влажности почвы к изучению были поставлены варианты с сортами сои разных групп спелости и разными дозами минеральных удобрений. Исследования проводились в 2010–2012 гг. с сортами ВНИИОЗ 86 (очень ранний), ВНИИОЗ 76 (скороспелый), Волгоградка 1 (среднеранний) при поддержании предполивных уровней 60, 70 и 80 % НВ в слое 0,4 м до фазы цветения и 0,6 м – в фазы цветения, формирования и налива бобов. Эффективность внесения минеральных удобрений изучалась на трех уровнях, однако в настоящем исследовании использованы данные, полученные на фоне внесения минеральных удобрений в дозе $N_{45}P_{90}K_{80}$.

В 2015–2017 гг. исследования были продолжены с перспективными сортами сои ВНИИОЗ 86 и ВНИИОЗ 76. Одной из задач данного эксперимента стало накопление статистического материала для оценки динамики

содержания почвенной влаги в межполивной период. Для этого увеличили число проб почвы на влажность с целью как можно более равномерного охвата периода между проведением очередных поливов. Порог предполивной влажности почвы поддерживали постоянным в течение вегетационного периода на уровне 70 и 80 % НВ, а также по дифференцированной схеме (70–80 % НВ). Группировка опытных данных осуществлялась по межфазным периодам роста и развития сои путем сопоставления пар данных: срок после полива – содержание почвенной влаги. При этом объединялись данные, полученные при разных предполивных уровнях влажности почвы и по изучаемым сортам сои. Дополнительно регистрировались значения продолжительности межполивного периода, которые впоследствии использовались для нормирования разнородных опытных данных в группе. Нормирование опытных данных осуществлялось на основе следующих соотношений:

$$W_{\text{норм.}} = \frac{W_i - W_{\text{ППВ}}}{W_{\text{НВ}} - W_{\text{ППВ}}} \cdot 100 \%,$$
$$T_{\text{норм.}} = \frac{T_i - T_{m1}}{T_{m2} - T_{m1}} \cdot 100 \%,$$

где $W_{\text{норм.}}$ – нормированное значение влажности почвы на текущую дату T_i , %;

W_i – текущее значение влажности почвы, % от массы сухой почвы;

$W_{\text{ППВ}}$ – предполивной уровень влажности почвы, % от массы сухой почвы;

$W_{\text{НВ}}$ – влажность почвы при наименьшей влагоемкости, % от массы сухой почвы;

$T_{\text{норм.}}$ – нормированная дата, %;

T_i – текущая дата, сут;

T_{m1} – дата проведения последнего вегетационного полива, сут;

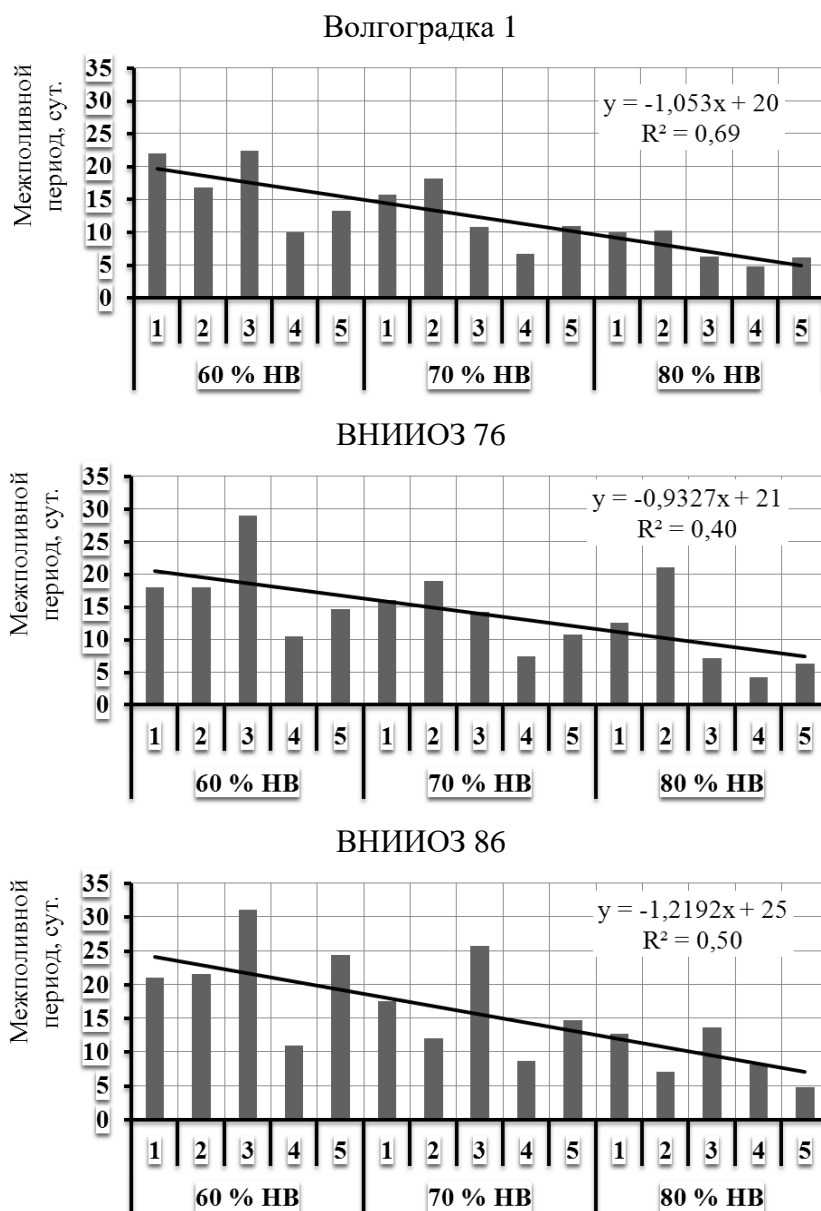
T_{m2} – дата проведения очередного вегетационного полива, сут.

Почвенный покров опытного участка типичный для региона, почвы светло-каштановые, гранулометрический состав среднесуглинистый, наименьшая влагоемкость 21,0 % от массы сухой почвы. Массовая доля гумуса в пределах пахотного горизонта снижается с 1,8 до 1,5 %. В соответствии с фактической водоемкостью почвы расчетная поливная норма в вариантах с поддержанием предполивного порога влажности почвы 80 % НВ составила 310 м³/га (расчетный слой 0,6 м) и 210 м³/га (расчетный слой 0,4 м), при поддержании предполивного уровня 70 % НВ – соответственно 310 и 460 м³/га, а при поддержании предполивного уровня 60 % НВ – 420 и 620 м³/га. Проведение поливов осуществлялось консольным дождевальным агрегатом ДДА-100.

Результаты и обсуждение. Из приведенных данных (рисунок 1) видно, что продолжительность периода между проведением очередных вегетационных поливов сои зависит от уровня предполивной влажности почвы и биологических особенностей возделываемого сорта. Например, в посевах сорта ВНИИОЗ 86 очень раннего срока созревания осредненная за вегетационный период продолжительность межполивного периода при поддержании предполивного порога влажности почвы 60 % НВ была близка к 22 сут, при поддержании предполивного уровня 70 % НВ составляла 16 сут, а при пороговом уровне влажности почвы 80 % НВ поливы проводились в среднем через 8 сут.

Приведенные данные в определенной степени условны и являются математическим ожиданием экспериментально полученных распределений продолжительности межполивного периода сои для совокупности группирующих условий. В то же время тренд изменения продолжительности межполивного периода сои в зависимости от уровня предполивной влажности почвы повторялся в посевах сортов разного срока созревания. Коэффициент детерминации тренда для разных сортов сои составлял $R^2 = 0,40...0,69$.

Это средняя сила коррелируемости рядов, она характеризует процент совместных вариаций целевого (исследуемого) показателя и группирующего фактора (уровня предполивной влажности почвы). Оставшаяся доля вариативности продолжительности межполивного периода характеризуется влиянием неучтенных факторов, в т. ч. изменения межполивного периода в течение вегетации сои.



1 – всходы – ветвление; 2 – ветвление – начало цветения;
 3 – цветение – начало формирования бобов; 4 – формирование –
 начало налива бобов; 5 – налив – начало созревания бобов

Рисунок 1 – Осредненная продолжительность межполивного периода перспективных сортов сои в зависимости от уровня предполивной влажности почвы (по данным опыта 1, 2010–2012 гг.)

В течение вегетационного периода сои устойчивых трендов изменения продолжительности межполивных интервалов не выявлено. Ожидаемого сокращения продолжительности межполивного периода с ростом и развитием соевого агроценоза в опыте не наблюдалось, наибольший межполивной интервал был отмечен в фазе цветения (до начала фазы массового формирования бобов). Такое распределение средних значений продолжительности межполивного периода по фазам роста и развития сои обусловлено преимущественным влиянием метеорологических условий. Важно учитывать стохастический характер этого фактора; следовательно, здесь нельзя говорить о закономерности, а лишь о фактически полученных результатах под влиянием сложившихся в период исследований условий.

В разрезе исследуемых сортов сои получены данные, свидетельствующие о сокращении межполивного периода у более позднеспелых сортов. В частности, если в посевах сорта ВНИИОЗ 86 очень ранней группы спелости при пороговом уровне влажности почвы 80 % НВ поливы проводились в среднем через 8 сут, то в посевах сорта Волгоградка 1 среднераннего срока созревания в среднем через 6 сут. При пороговом уровне влажности почвы 70 % НВ в посевах сорта ВНИИОЗ 86 поливы проводились в среднем через 16 сут, а в посевах сорта Волгоградка 1 – в среднем через 13 сут. Различия сохранились и при поддержании предполивного порога влажности почвы 60 % НВ: в посевах сорта ВНИИОЗ 86 поливы проводились в среднем через 22 сут, а в посевах сорта Волгоградка 1 – в среднем через 18 сут. Наблюдаемые различия объясняются биологическими особенностями возделываемых сортов, но в общем случае хорошо соотносятся, как правило, с более развитой вегетативной массой сортов сои более позднего срока созревания.

В таблице 1 приведены результаты вариационного анализа полученных в опыте данных о продолжительности межполивного периода сои. Данные сгруппированы по пороговым значениям предполивной влажности почвы и фазам роста и развития сои сорта Волгоградка 1, взятого в каче-

стве примера. В зависимости от сочетания группирующих факторов стандартное отклонение распределения данных в выборке изменяется от 0 до 23,5 сут, ошибка выборочной средней составляет 0–10,5 сут, а коэффициент вариации изменяется от 0 до 105 %. В то же время из данных таблицы видно, что меньшие значения вариационных показателей соотносятся преимущественно с маломощными выборками, где число значений выборки не превышает двух-трех, а в ряде случаев и равно одному (вариационные показатели не определены). При мощности выборок больше пяти стандартное отклонение распределения данных в выборке находится в пределах 1,3–23,5 сут, а коэффициент вариации достигает 28,5–105 %. Такая вариабельность показателя нивелирует практическую значимость среднего выборки. На рисунке 2, где приведены данные о влажности почвы в посевах сорта Волгоградка 1, полученные в опытах 2010 г., хорошо прослеживается динамика иссушения почвы в течение межполивного периода.

Поступление атмосферных осадков в этот период практически отсутствовало, что позволяет визуально наблюдать качественные изменения динамики потребления почвенной влаги в отдельные межфазные периоды развития сои. В частности, ориентировочно до начала фазы цветения в посевах разных по скороспелости сортов сои снижение почвенных влагозапасов между поливами характеризовалось нелинейной динамикой с последовательным выполаживанием кривой при снижении влажности почвы. Это хорошо согласуется с классическими постулатами термодинамики, объясняющими увеличение интенсивности испарения в средах с большей величиной свободной энергии почвенной влаги. Эта влага также наиболее доступна и растениям. Полученные данные, однако, свидетельствуют, что ориентировочно с фазы бутонизации – цветения сои почвенная влага растениями используется практически с равной интенсивностью и при влажности, близкой к наименьшей влагоемкости, и при влажности, близкой к предполивному уровню. Это следует из практически линейной динамики снижения почвенных влагозапасов в межполивной период.

Таблица 1 – Результаты вариационного анализа продолжительности межполивного периода сои при разных сочетаниях изучаемых факторов (сорт Волгоградка 1, по данным опыта 1, 2010–2012 гг.)

Показатель	Фаза роста и развития														
	Всходы – ветвление	Ветвление – начало цветения	Цветение – начало формирования бобов	Формирование – начало налива бобов	Налив – начало созревания бобов	Всходы – ветвление	Ветвление – начало цветения	Цветение – начало формирования бобов	Формирование – начало налива бобов	Налив – начало созревания бобов	Всходы – ветвление	Ветвление – начало цветения	Цветение – начало формирования бобов	Формирование – начало налива бобов	Налив – начало созревания бобов
	Уровень предполивной влажности почвы														
	60 % НВ					70 % НВ					80 % НВ				
Мощность выборки <i>N</i>	2,0	4,0	5,0	2,0	4,0	6,0	10,0	7,0	3,0	7,0	4,0	11,0	24,0	10,0	18,0
Выборочное среднее, сут	22,0	16,8	22,4	10,0	13,3	15,7	18,2	10,7	6,7	10,9	10,0	10,2	6,3	4,7	6,1
Стандартное отклонение, сут	4,2	8,5	23,5	0,0	6,1	4,4	19,0	9,8	0,6	4,3	4,8	13,5	5,7	1,3	1,9
Ошибка выборочной средней, сут	3,0	4,3	10,5	0,0	3,1	1,8	6,0	3,7	0,3	1,6	2,4	4,1	1,2	0,4	0,5
Коэффициент вариации, %	19,3	51,0	105	0,0	46,3	28,2	104	91,9	8,7	39,9	48,3	133	90,7	28,5	31,8

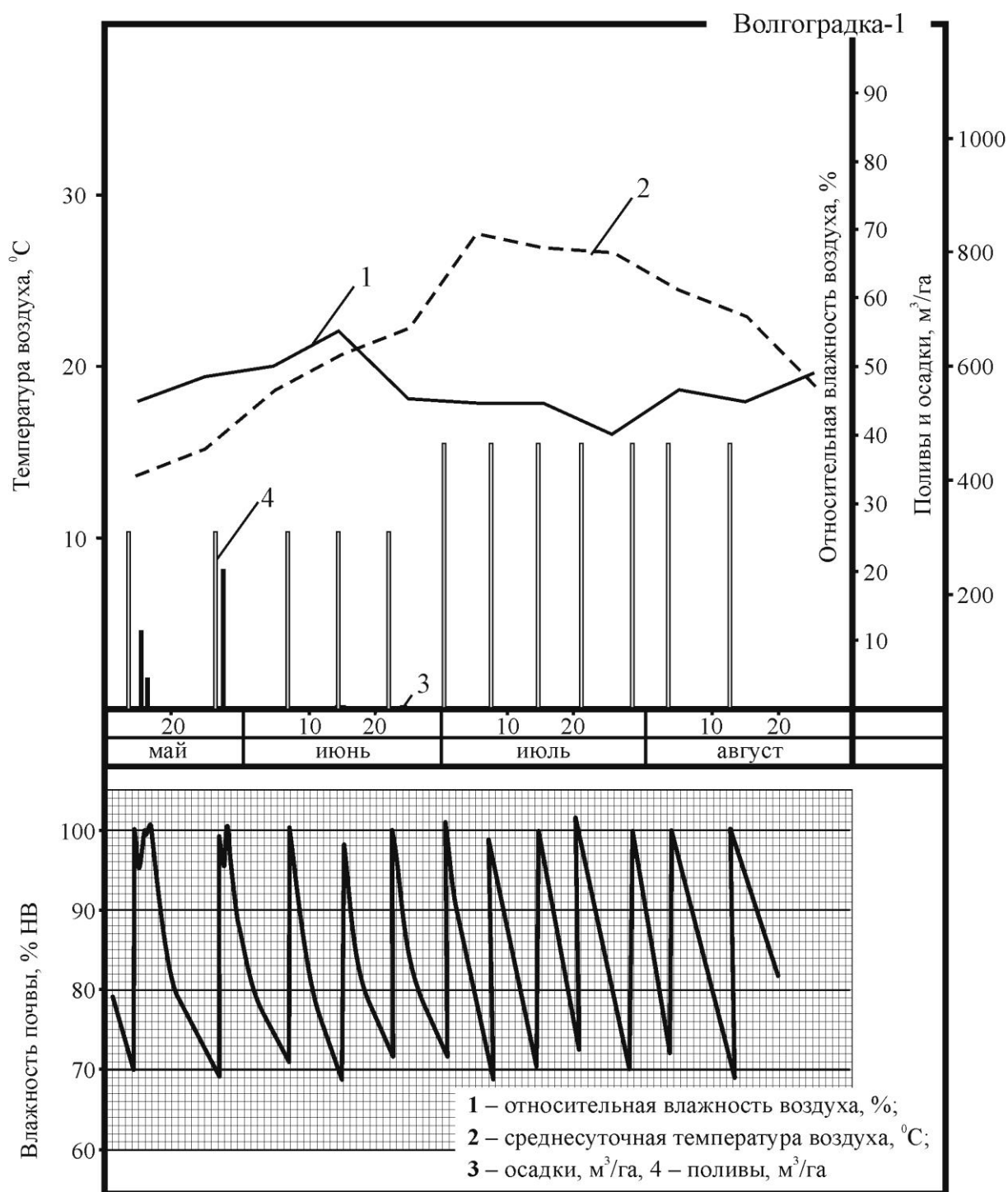


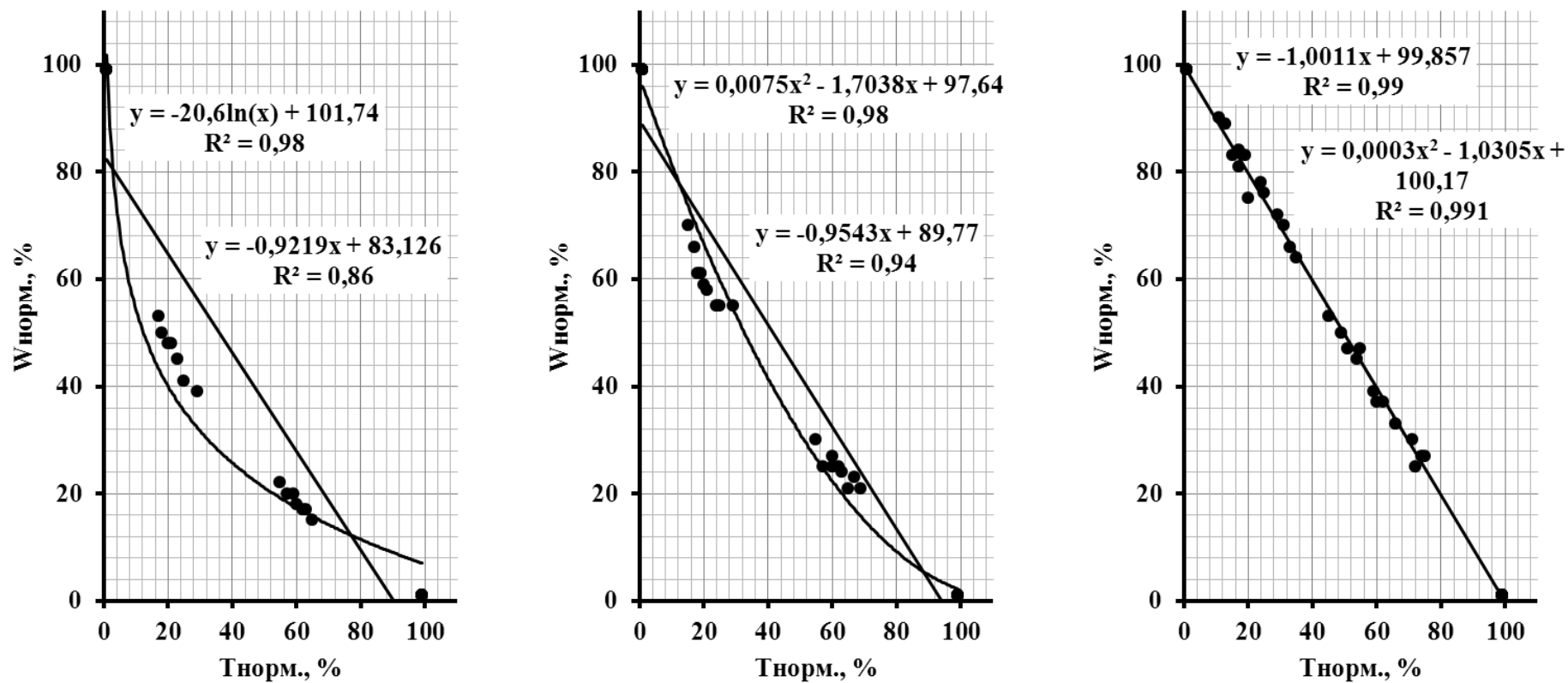
Рисунок 2 – Динамика влажности почвы в опытных посевах сои (сорт Волгоградка 1, порог предполивной влажности – 70 % НВ, 2010 г.)

Данное наблюдение было принято в качестве рабочей гипотезы о качественном изменении закономерностей формирования водного режима почвы в течение вегетационного периода сои. В рамках опыта 2 был собран статистический материал, включающий выборки данных о динамике

влажности почвы между проведением вегетационных поливов с группировкой по межфазным периодам роста и развития сои. Межполивные периоды, когда наблюдалось поступление осадков, в статистические выборки не включались. В то же время учитывались данные, полученные в годы исследований в посевах сортов разных групп спелости и при разных (в пределах 70–80 % НВ) порогах предполивной влажности почвы. Это позволило собрать группы данных с достаточной для статистического анализа мощностью выборки. Для возможности сопоставления полученных результатов данные статистических выборок были нормированы. По оси времени в качестве нормирующего показателя была принята продолжительность межполивного периода (сут), а по оси влагозапасов – установленный схемой опыта диапазон регулирования влажности почвы (70–100, 80–100 % НВ). Распределения нормированных значений показателей в форме точечных графиков приведены на рисунке 3.

Из данных рисунка 3 видно, что динамика почвенных влагозапасов в течение межполивного периода сои характеризуется нелинейным трендом в начальные фазы роста и развития (периоды «посев – начало ветвления» и «ветвление – начало цветения»). С начала фазы цветения распределение данных наиболее точно описывается линейным законом. Рассмотрим подробнее распределение данных в каждой из трех групп.

В период от посева до начала фазы массового ветвления растений сои нелинейность тренда изменения влажности почвы наиболее выражена. Подходящей формой зависимости для описания указанного тренда является логарифмическая кривая. Коэффициент детерминации такой связи составляет 0,98. Линейная форма связи для этой же совокупности данных характеризуется коэффициентом детерминации, равным 0,86.



а) период «посев – начало ветвления» б) период «ветвление – начало цветения» в) период «цветение – начало созревания бобов»

$W_{\text{норм.}}$ – нормированные значения регулируемого диапазона влажности почвы;

$T_{\text{норм.}}$ – нормированное значение межполивного периода

**Рисунок 3 – Динамика влажности активного слоя почвы
в течение межполивного периода при поливе сои способом дождевания**

Полученные результаты позволяют оценить степень приближения фактического распределения данных к линейной зависимости по критерию Фишера [18, 19]. Оценку фактического критерия Фишера $F_{\text{ф.}}$ проводили по известному выражению:

$$F_{\text{ф.}} = \frac{(\eta^2 - r^2)(n - k)}{(1 - \eta^2)(k - 2)},$$

где η^2 – коэффициент детерминации для криволинейной формы оценки связи между показателями;

r^2 – коэффициент детерминации для линейной формы оценки связи между показателями;

n – объем выборки;

k – число групп данных в выборке.

При полученных исходных фактическое значение коэффициента Фишера составляет 7, теоретическое на 1% уровне значимости – 2,96, $F_{\text{ф.}} > F_{\text{т.01}}$, значит, нулевая гипотеза о линейности тренда отвергается.

В период ветвления до начала массового цветения сои кривая изменения влажности почвы между поливами выполаживается, однако визуально сохраняет криволинейный тренд. Статистический анализ опытных данных показал, что с наименьшими отклонениями криволинейный тренд описывается полиномом второй степени, коэффициент детерминации зависимости составляет 0,98. Коэффициент детерминации линейного тренда для этой же выборки данных составляет 0,94, что ниже, чем для криволинейного тренда, однако существенно выше, чем для линейного тренда, полученного по выборке данных за период «посев – начало ветвления». При таких исходных коэффициент Фишера равен 2,25, что ниже его теоретического значения на 1% уровне значимости ($F_{\text{т.01}} = 2,57$), но выше его теоретического значения на 5% уровне значимости ($F_{\text{т.05}} = 1,95$). Таким образом, нулевая гипотеза о линейности тренда изменения влажности почвы

между поливами в период «ветвление – начало цветения» отвергается лишь на 5% уровне значимости.

В период цветения, формирования и налива бобов визуально прослеживается линейный тренд изменения влажности почвы между проведением очередных вегетационных поливов. Коэффициент детерминации линейного тренда в этот период составляет 0,99, криволинейного, полученного для полинома второй степени, равен 0,991. При таких исходных фактическое значение критерия Фишера равно 0,54, что существенно ниже его теоретических значений как на 1% уровне значимости ($F_{т.01} = 2,18$), так и на 5% уровне значимости ($F_{т.05} = 1,73$). Нулевая гипотеза о линейности тренда изменения влажности почвы между поливами в период «цветение – начало созревания бобов» подтверждается результатами статистического анализа опытных данных.

Таким образом, динамика снижения влажности почвы между поливами в период «посев – начало цветения» характеризуется криволинейным трендом, причем форма зависимости в период «посев – начало ветвления» и период «ветвление – начало цветения» существенно различается. С начала фазы цветения сои влажность почвы между поливами снижается по линейному тренду.

Выводы. Предполивной порог влажности почвы является одним из основных показателей, характеризующих уровень водообеспечения сои в условиях орошения. Формирование водного режима почвы при соблюдении заданных предполивных порогов в полной мере описывается продолжительностью межполивных периодов и динамикой иссушения активного слоя почвы между поливами. Полученные данные показали, что продолжительность межполивного периода существенным образом определяется метеорологическими условиями, формирование которых носит преимущественно стохастический характер. Устойчивые тренды, $R^2 = 0,40...0,69$, установлены лишь в плане сокращения продолжительности межполивного

периода с повышением порога предполивной влажности почвы. Ожидаемые тренды изменения продолжительности межполивного периода в течение вегетации сои не получили подтверждения, так как влияние метеофактора оказалось сильнее. Результаты вариационного анализа данных показали исключительно высокую степень вариабельности продолжительности межполивного периода, что нивелирует практическую значимость среднего выборки и требует разработки высокоэффективных алгоритмов составления оперативных прогнозов потребности в проведении поливов для регулирования водного режима почвы в соответствии с установленными требованиями.

Качественные различия в динамике снижения влажности почвы определяют важные для мелиоративной практики особенности формирования водного режима в разные периоды роста и развития сои. Условия водного питания растений за произвольно взятый период можно с достаточной полнотой характеризовать двумя показателями: нижней границей регулируемого диапазона влажности почвы и средневзвешенной влажностью почвы за период. Даже при равных значениях предполивной влажности почвы средневзвешенная влажность может отличаться, в т. ч. и из-за разной динамики снижения почвенных влагозапасов. Например, при линейном тренде снижения влажности почвы в межполивной период средневзвешенная влажность будет равна $0,5 W_{\text{норм.}}$. В случае криволинейного тренда, когда влажность почвы после полива снижается более интенсивно с последующим последовательным сокращением динамики иссушения, средневзвешенная влажность будет ниже $0,5 W_{\text{норм.}}$ и может быть определе-

на через интеграл: $W_{\text{ср.взв.}} = \frac{\int_{T \rightarrow 0\%}^{T \rightarrow 100\%} f(T)}{T_{\text{МП}}}$, где $T_{\text{МП}}$ – нормированный межпо-

ливной интервал, %, а $f(T)$ – нелинейный тренд снижения влажности почвы. Учет динамики влажности почвы, в т. ч. по показателю средне-

взвешенного за период уровня влагосодержания, позволяет создавать наиболее благоприятные условия корневого питания сои за счет оптимизации баланса почвенной влаги и воздуха.

Список использованных источников

- 1 Маккавеев, А. А. Словарь по гидрогеологии и инженерной геологии / А. А. Маккавеев; под ред. О. К. Ланге. – М.: Гостоптехиздат, 1961. – 74 с.
- 2 Толковый словарь по почвоведению / под ред. А. А. Роде. – М.: Наука, 1975. – 287 с.
- 3 Словарь ботанических терминов / И. А. Дудка [и др.]. – Киев: Наукова думка, 1984. – 307 с.
- 4 Турусов, В. И. Особенности гидрологического профиля и оценка влагозапасов черноземов Воронежской области / В. И. Турусов, Ю. И. Чевердин // Земледелие. – 2015. – № 3. – С. 5–8.
- 5 Обоснование водного режима почвы при капельном орошении семенных посадок картофеля в Нижнем Поволжье / Н. Н. Дубенок, Д. А. Болотин, С. Д. Фомин, А. Г. Болотин // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. – 2018. – № 3(51). – С. 18–26.
- 6 Балакай, Г. Т. Водосберегающий режим орошения сои на юге России / Г. Т. Балакай // Пути повышения эффективности орошаемого земледелия. – 2018. – № 4(72). – С. 80–84.
- 7 Селицкий, С. А. Влияние поливного режима на продуктивность сои / С. А. Селицкий, Т. П. Андреева // Пути повышения эффективности орошаемого земледелия. – 2016. – № 1(61). – С. 78–81.
- 8 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.
- 9 Планирование водопользования при орошении сельскохозяйственных культур / Г. В. Ольгаренко, Т. А. Капустина, Д. Г. Ольгаренко, Ф. К. Цекоева. – М.: Росинформгротех, 2014. – 172 с.
- 10 Муромцев, Н. А. Особенности влагопотребления и влагообеспеченности растений различных экологических групп / Н. А. Муромцев, Н. А. Семенов, К. Б. Анисимов // Бюллетень Почвенного института им. В. В. Докучаева. – 2016. – № 82. – С. 71–87.
- 11 Terleev, V. The Improved Estimation for the Effective Supply of Productive Moisture Considering the Hysteresis of Soil Water-Retention Capacity / V. Terleev, A. G. Topaj, W. Mirschel // Russian Meteorology and Hydrology. – 2015. – Vol. 40, № 4. – P. 278–285.
- 12 Zou, C. Least limiting water range: A potential indicator of physical quality of forest soils / C. Zou, R. Sands, G. Buchan // Australian Journal of Soil Research. – 2000. – Vol. 38, № 5. – P. 947–958.
- 13 Черемисинов, А. А. Моделирование агрогидрологических показателей почв / А. А. Черемисинов // Модели и технологии природообустройства (региональный аспект). – 2018. – № 1(6). – С. 9–13.
- 14 Hartzell, S. The role of plant water storage and hydraulic strategies in relation to soil moisture availability / S. Hartzell, M. S. Bartlett, A. Porporato // Plant and Soil. – 2017. – Vol. 419, № 1-2. – P. 503–521.
- 15 Effects of different irrigation regimes on soil moisture availability evaluated by CSM-CERES-Maize model under semi-arid condition / H. Dokoochaki, M. Gheysari, S.-F. Mousavi, G. Hoogenboom // Ecohydrology & Hydrobiology. – 2017. – Vol. 17, № 3. – P. 207–216.

16 Gajic, B. Effect of irrigation regime on yield, harvest index and water productivity of soybean grown under different precipitation conditions in a temperate environment / B. Gajic, B. Kresovic, A. Tapanarova // *Agricultural Water Management*. – 2018. – Vol. 210. – P. 224–231.

17 Соя при дождевании и капельном орошении / В. В. Бородычев, М. Н. Лытов, А. И. Шульц, Д. А. Пахомов // *Мелиорация и водное хозяйство*. – 2008. – № 2. – С. 48–49.

18 Доспехов, Б. А. Методика полевого опыта / Б. А. Доспехов. – М.: Агропромиздат, 1985. – 351 с.

19 Rao, G. N. *Statistics for Agricultural Sciences* / G. N. Rao. – BS Publications, 2007. – 466 p.

References

1 Maccaveev A.A., 1961. *Slovar' po gidrogeologii i inzhenernoy geologii* [Dictionary on Hydrogeology and Engineering Geology]. Moscow, Gostoptekhizdat Publ., 74 p. (In Russian).

2 Rode A.A., 1975. *Tolkovyy slovar' po pochvovedeniyu* [Explanatory Dictionary of Soil Science]. Moscow, Science Publ., 287 p. (In Russian).

3 Dudka I.A. [et al.], 1984. *Slovar' botanicheskikh terminov* [Dictionary of Botanical Terms]. Kiev, Naukova Dumka Publ., 307 p. (In Russian).

4 Turusov V.I., Cheverdin Yu.I., 2015. *Osobennosti gidrologicheskogo profilya i otsenka vlagozapasov chernozemov Voronezhskoy oblasti* [The peculiarities of the hydrological profile and assessment of the stored moisture of black soil in Voronezh region]. *Zemledelie* [Agriculture], no. 3, pp. 5-8. (In Russian).

5 Dubenok N.N., Bolotin D.A., Fomin S.D., Bolotin A.G., 2018. *Obosnovanie vodnogo rezhima pochvy pri kapel'nom orosenii semennykh posadok kartofelya v Nizhnem Povolzh'e* [Substantiation of the soil water regime under drip irrigation of seed potato fields in the Lower Volga region]. *Izvestiya Nizhnevolzhskogo agrouniversitetskogo kompleksa: nauka i vysshee professional'noe obrazovanie* [Bull. of Nizhnevolzhsky Agro-University Complex: Science and Higher Professional Education], no. 3(51), pp. 18-26. (In Russian).

6 Balakay G.T., 2018. *Vodosberegayushchiy rezhim orosheniya soi na yuge Rossii* [Water-saving irrigation of soybeans in southern Russia]. *Puti povysheniya effektivnosti oroshaemogo zemledeliya* [Ways of Increasing the Efficiency of Irrigated Agriculture], no. 4(72), pp. 80-84. (In Russian).

7 Selitsky S.A., Andreeva T.P., 2016. *Vliyanie polivnogo rezhima na produktivnost' soi* [Influence of irrigation regime on soybean productivity]. *Puti povysheniya effektivnosti oroshaemogo zemledeliya* [Ways of Increasing the Efficiency of Irrigated Agriculture], no. 1(61), pp. 78-81. (In Russian).

8 Borodychev V.V., Lytov M.N., Moiseev M.Yu., 2004. *Effektivnost' orosheniya soi v usloviyakh Nizhnego Povolzh'ya* [Efficiency of Soybean Irrigation in the Lower Volga Region]. *Melioratsiya i vodnoe khozyaystvo* [Irrigation and Water Management], no. 6, pp. 36. (In Russian).

9 Ol'garenko G.V., Kapustina T.A., Ol'garenko D.G., Tsekoeva F.K., 2014. *Planirovaniye vodopol'zovaniya pri oroshenii sel'skokhozyaystvennykh kul'tur* [Water Use Planning for Crop Irrigation]. Moscow, Rosinformagrotech Publ., 172 p. (In Russian).

10 Muromtsev N.A., Semenov N.A., Anisimov K.B., 2016. *Osobennosti vlagopotrebleniya i vlogoobespechennosti rasteniy razlichnykh ekologicheskikh grupp* [Peculiarities in water use and supply of different ecological plant groups]. *Byulleten' Pochvennogo instituta im. V. V. Dokuchaeva* [Bull. of Soil Institute named after V.V. Dokuchaev], no. 82, pp. 71-87. (In Russian).

11 Terleev V., Topaj A.G., Mirschel W., 2015. The Improved Estimation of the Restoration of the Restoration of Water Retention Capacity. *Russian Meteorology and Hydrology*, vol. 40, no. 4, pp. 278-285.

12 Zou C., Sands R., Buchan G., 2000. Least limiting water range: A potential indicator of physical quality of forest soils. *Australian Journal of Soil Research*, vol. 38, no. 5, pp. 947-958.

13 Cheremisinov A.A., 2018. *Modelirovanie agroidrologicheskikh pokazateley pochv* [Modeling of soil agrohydrological indicators]. *Modeli i tekhnologii prirodobustroystva (regional'nyy aspekt)* [Models of Environmental Engineering (regional aspect)], no. 1(6), pp. 9-13. (In Russian).

14 Hartzell S., Bartlett M.S., Porporato A., 2017. *Water Resource Water Reservoir. Plant and Soil*, vol. 419, no. 1-2, pp. 503-521.

15 Dokoochaki H., Gheysari M., Mousavi S.-F., Hoogenboom G., 2017. Semi-arid condition. *Ecohydrology & Hydrobiology*, vol. 17, no. 3, pp. 207-216.

16 Gajic B., Kresovic B., Tapanarova A., 2018. Effect of irrigation regime on yield, harvest index and water productivity of soybean grown under different precipitation conditions in a temperate environment. *Agricultural Water Management*, vol. 210, pp. 224-231.

17 Borodychev V.V., Lytov M.N., Shul'ts A.I., Pakhomov D.A., 2008. *Soya pri dozhdevanii i kapel'nom oroshenii* [Soya at Sprinkling and Drip Irrigation]. *Melioratsiya i vodnoe khozyaystvo* [Irrigation and Water Management], no. 2, pp. 48-49. (In Russian).

18 Dospekhov B.A., 1985. *Metodika polevogo opyta* [Methodology of Field Experiment]. Moscow, Agropromizdat Publ., 351 p. (In Russian).

19 Rao G.N., 2007. *Statistics for Agricultural Sciences*. BS Publications, 466 p.

Лытов Михаил Николаевич

Ученая степень: кандидат сельскохозяйственных наук

Ученое звание: доцент

Должность: ведущий научный сотрудник

Место работы: федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Всероссийский научно-исследовательский институт гидротехники и мелиорации имени А. Н. Костякова» (Волгоградский филиал)

Адрес организации: ул. Тимирязева, д. 9, г. Волгоград, Российская Федерация, 400002

Должность: старший научный сотрудник

Место работы: федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения Российской академии наук»

Адрес организации: Университетский пр-т, д. 97, г. Волгоград, Российская Федерация, 400062

E-mail: LytovMN@yandex.ru

Lytov Mikhail Nikolayevich

Degree: Candidate of Agricultural Sciences

Title: Associate Professor

Position: Leading Researcher

Affiliation: All-Russian Research Institute of Hydraulic Engineering and Land Reclamation named after A. N. Kostyakov (Volgograd branch)

Affiliation address: st. Timiryazeva, 9, Volgograd, Russian Federation, 400002

Position: Senior Researcher

Affiliation: Federal Scientific Centre of Agroecology, Complex Melioration and Protective Afforestation of the Russian Academy of Sciences

Affiliation address: Universitetsky ave., 97, Volgograd, Russian Federation, 400062

E-mail: LytovMN@yandex.ru