

УДК 635.743:631.5:632.51 (477.7)

UDC 635.743:631.5:632.51 (477.7)

4.1.1. Общее земледелие и растениеводство
(биологические науки, сельскохозяйственные
науки)

4.1.1. General agriculture and crop production
(biological sciences, agricultural sciences)

**МОДЕЛИРОВАНИЕ И ОПТИМИЗАЦИЯ
РЕЖИМА ОРОШЕНИЯ ПОЛЕВЫХ КУЛЬТУР
НА УРОВНЕ СЕВООБОРОТОВ И ПОЛЕЙ С
УЧЁТОМ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ
ФАКТОРОВ**

**MODELING AND OPTIMIZATION OF THE
IRRIGATION REGIME OF FIELD CROPS AT
THE LEVEL OF CROPPED ROTATIONS AND
FIELDS TAKING INTO ACCOUNT
METEOROLOGICAL FACTORS**

Макаренко Александр Алексеевич
к.с.-х.н., РИНЦ SPIN-код: 7379-9487
email: alex.makarenko.8181@mail.ru

Makarenko Alexander Alekseevich
Cand.Agr.Sci., RSCI SPIN-code: 7379-9487
e-mail: alex.makarenko.8181@mail.ru

Коковихин Сергей Васильевич
Доктор сельскохозяйственных наук, профессор
ORCID: 0000-0002-1687-6889
РИНЦ SPIN-код: 7247-4330
e-mail: serg.ac@mail.ru

Kokovikhin Sergey Vasilievich
Doctor of Agricultural Sciences, Professor
ORCID: 0000-0002-1687-6889
RSCI SPIN-code: 7247-4330
e-mail: serg.ac@mail.ru

Бойко Елена Сергеевна
Старший преподаватель, РИНЦ SPIN-код:4866-4719
email: Bojko.E@kubsau.ru
*«Кубанский государственный аграрный
университет имени И. Т. Трубилина», Краснодар,
Россия*

Boyko Elena Sergeevna
Senior lecturer, RSCI SPIN-code: 4866-4719
email: Bojko.E@kubsau.ru
*«Kuban State Agrarian University named after I.T.
Trubilin», Krasnodar, Russia*

Использование программного комплекса CROPWAT позволило смоделировать оросительные и поливные нормы различных полевых культур севооборота с учетом периодов их роста и развития культур, а также биологических особенностей. При моделировании и реализации режимов орошения следует учитывать максимальный уровень эвапотранспирации до 5,5-5,8 мм в летний период (июль, август) на фоне максимальных температур воздуха и резкого снижения его относительной влажности. Анализом смоделированных и фактически полученных в полевых опытах экспериментальных данных установлено, что биологическая водопотребность разных культур может изменяться в широком диапазоне – от 207-285 мм у кукурузы и сои до 132-185 мм – у озимой пшеницы и сорго. Расчёты показали, что смоделированные оросительные нормы на 13,6-21,3% меньше, чем фактические, что свидетельствует о более точном учёте всех составляющих элементов водного баланса и более рационального и нормированного расхода поливной воды

The use of the CROPWAT software package made it possible to simulate irrigation and irrigation norms of various field crops of crop rotation, taking into account the periods of their growth and development of crops, as well as biological characteristics. When modeling and implementing irrigation regimes, one should take into account the maximum level of evapotranspiration up to 5.5-5.8 mm in summer (July, August) against the background of maximum air temperatures and a sharp decrease in its relative humidity. An analysis of experimental data modeled and actually obtained in field experiments has established that the biological water demand of different crops can vary in a wide range - from 207-285 mm for corn and soybeans to 132-185 mm for winter wheat and sorghum. The calculations showed that the simulated irrigation rates are 13.6-21.3% less than the actual ones, which indicates a more accurate account of all the constituent elements of the water balance and a more rational and normalized consumption of irrigation water

Ключевые слова: КУЛЬТУРЫ, СЕВООБОРОТ, CROPWAT, РЕЖИМ ОРОШЕНИЯ, ПОГОДНЫЕ УСЛОВИЯ, ЭВАПОТРАНСПИРАЦИЯ, МОДЕЛИРОВАНИЕ, ОПТИМИЗАЦИЯ, ПРОДУКТИВНОСТЬ

Keywords: CROPS, CROPWAT, IRRIGATION MODE, WEATHER CONDITIONS, EVAPOTRANSPIRATION, MODELING, OPTIMIZATION, PRODUCTIVITY

<http://dx.doi.org/10.21515/1990-4665-191-033>

<http://ej.kubagro.ru/2023/07/pdf/33.pdf>

Введение. Цифровизация в настоящее время охватила все стороны жизни общества с нарастающей перспективой. Трудно назвать любую сферу человеческой деятельности – от начального школьного образования до науки, производства и агробизнеса, где не ощущалось бы его мощное действие. Фактически под цифровизацией следует понимать всё, что может быть представлено в виде цифр, букв, изображений, электронных карт, баз данных, взаимосвязанных компьютерных систем и устройств [2].

Разные знания, полученные за весь исторический этап развития нашей цивилизации, могут моделироваться с использованием математических методов. Точность и достоверность моделирования обеспечивает высокую эффективность построения и внедрения моделей в производственные системы при низком уровне финансовых затрат. В сельскохозяйственной отрасли, аграрной науке и производстве моделирование позволяет рационально использовать все виды ресурсов при снижении негативного антропогенного влияния на почву, растительность, водоёмы и другие элементы агроэкосистем [1, 8, 10].

Климатические изменения, опустынивание, деградация почв и другие факторы обуславливают необходимость применения искусственного увлажнения и увеличения площадей поливных земель на территориях с засушливым климатом. При этом оптимизация режима орошения относится к наиболее важным научным и практическим вопросам эффективного использования орошения, так как от уровня обеспеченности растений поливной водой, особенно в критические периоды по водопотреблению, будет зависеть полноценное формирование элементов продуктивности и урожайности культуры.

Применение высоких поливных норм также зачастую необоснованно и ведет к негативным последствиям, а именно к снижению плодородия почв за счет дефляционных и эрозионных процессов [3, 5, 6].

Поэтому в современных интенсивных системах земледелия существует необходимость проведения моделирования элементов режим орошения и его влияния на интенсивность продукционного процесса сельскохозяйственных культур, которые можно проводить с использованием специальных компьютерных программ, в том числе и CROPWAT – программа, разработанная ФАО ООН, которая находится в свободном доступе на сайте этой организации.

Основной функцией программы CROPWAT является установление водопотребления культуры, в пределах каждого поля, составление режимов орошения и графиков моделирования полей с учетом данных, определенных пользователем. Эти данные можно напрямую ввести в приложение или импортировать из других приложений и файлов [10].

Для определения потребностей культуры во влаге (CWR), CROPWAT необходимы показатели среднесуточного испарения (эвапотранспирации – ETo), которые программа рассчитывает по показателям температуры воздуха, его влажности, скорости ветра и солнечному свету с помощью формулы Пенмана-Монтейта. Также необходимы данные с общим количеством осадков и планированием орошения.

Инструментарий CROPWAT точно моделирует показатели водного режима для одной культуры, однако программа также может распределять орошение для нескольких культур на уровне севооборота, что позволяет повысить продуктивность орошения на уровне каждого поля и севооборота в целом.

Это свойство имеет важное значение для планирования и эффективного использования орошения в севообороте, причем каждая культура будет иметь отдельные сроки и календарные даты поливов. Для ввода исходных данных и проведения модельных расчетов CROPWAT имеет большое значение количество составляющих элементов, которые

могут быть задействованы в интерактивном режиме до начала поливного сезона или с корректировкой во время периода вегетации сельскохозяйственных культур в севообороте.

Цель исследований: 1) установить динамику погодных условий (температура и влажность воздуха, скорость ветра, атмосферные осадки) в зоне неустойчивого увлажнения Северного Причерноморья; 2) разработать модели режимов орошения культур и севооборотов для лет с разным уровнем природного влагообеспечения; 3) установить влияние фотосинтетически активной радиации на урожайность полевых культур севооборотов в неполивных и орошаемых условиях.

Материалы и методы исследований. Для проведения моделирования режимов орошения использованы компьютерную программу CROPWAT 8.0 и метеорологические данные Херсонской агрометеостанции [9].

Исследования проведены с использованием методики опытного дела и моделирования в агрономии [7]. Исходными данными для моделирования и оптимизации режимов орошения были экспериментальные данные по выращиванию полевых культур в севооборотах на орошаемых и неполивных землях [4].

Результаты. На начальном этапе проведения моделирования режима орошения для культур севооборота в программу CROPWAT были введены метеорологические данные по каждому месяцу, что позволило получить расчётные данные прихода солнечной радиации и среднесуточного испарения (эвапотранспирации) (рис. 1).

Вместе с полученной табличной формой расчета вводных параметров для формирования режима орошения были сформированы диаграммы, в которых предоставлена возможность анализа зависимости многих климатических факторов, таких, как продолжительность

солнечного сияния, эвапотранспирация от количества фотосинтетической активной радиации.

Сравнение показателей температуры и относительной влажности воздуха в годы проведения исследований выявило изменение данных параметров в широком диапазоне. Например, минимальный показатель среднемесячной температуры воздуха января был зафиксирован в 2016 г., он был равен минус 8,5°С.

В целом, при сравнительном анализе метеорологических показателей установлен температурный диапазон на уровне 33,9-34,0° вышеприведённой отрицательной температуры в 2016 г. Максимальная температура воздуха отмечалась в 2017 и 2018 гг. и достигала 25,4-25,5°С, соответственно.

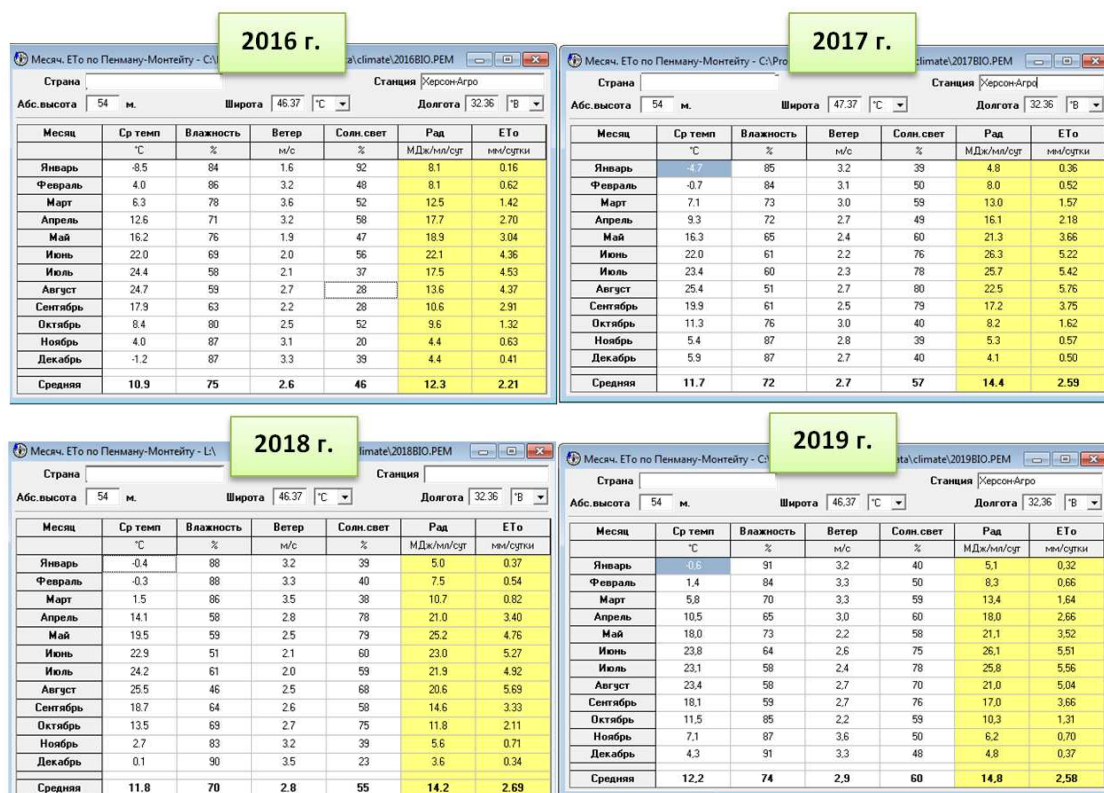


Рисунок 1 – Погодные условия (данные прихода солнечной энергии и эвапотранспирации) полученные в программе CROPWAT (2016-2019 гг.)

Влажность воздуха имела закономерность к существенному увеличению в зимний период и, наоборот, к значительному снижению в

летний сезон. Так, в годы проведения исследований в январе и декабре этот показатель увеличивался до 84-91%, а летом, в июле и августе он снизился до 46-60%, или в 1,4-2,0 раза.

Относительно динамики показателя скорости ветра не установлено, четкой зависимости от времени года или действия других метеорологических факторов. Минимальным данный показатель на уровне 1,6 м/с был зафиксирован в 2016 г. (январь), а его максимальное возрастание до 3,6 м/с, или в 2,3 раза, проявилось в 2019 г. (ноябрь).

Приход солнечной энергии в значительной степени зависел от температуры и влажности воздуха. Наибольшие значения инсоляции наблюдались в июне 2017, 2019 гг. - 26,1-26,3 МДж/м² в сутки. Тогда как осенью данное значение уже снизилось в 6,1-6,5 раза до 4,1-4,3 МДж/м² в сутки (ноябрь 2016 г. и декабрь 2017 г. соответственно).

Среднесуточное испарение (эвапотранспирация), в значительной степени, как и приход солнечной энергии, была связана с гидротермическими параметрами агроэкосистемы и, в первую очередь, с температурой воздуха. При оценке динамики эвапотранспирации проявилась чёткая тенденция снижения этого показателя осенью и зимой и существенного увеличения летом. Так, в условиях высокого температурного режима и снижения относительной влажности воздуха августа 2018 года наблюдалось максимальное увеличение эвапотранспирации до 58,2 м³/га в сутки. В январе 2016 года исследуемый показатель снизился до 0,16 мм, или в 36,4 раза.

Важнейший показатель обеспечения продуктивности сельскохозяйственных культур – количество атмосферных осадков, изменялось в очень большом диапазоне – 465 раз. Наименьшим данный показатель на уровне 0,2 мм зафиксирован в 2016 г. (январь), а его максимальная величина – 93,0 мм – летний период 2019 г. (июнь) (рис. 2).

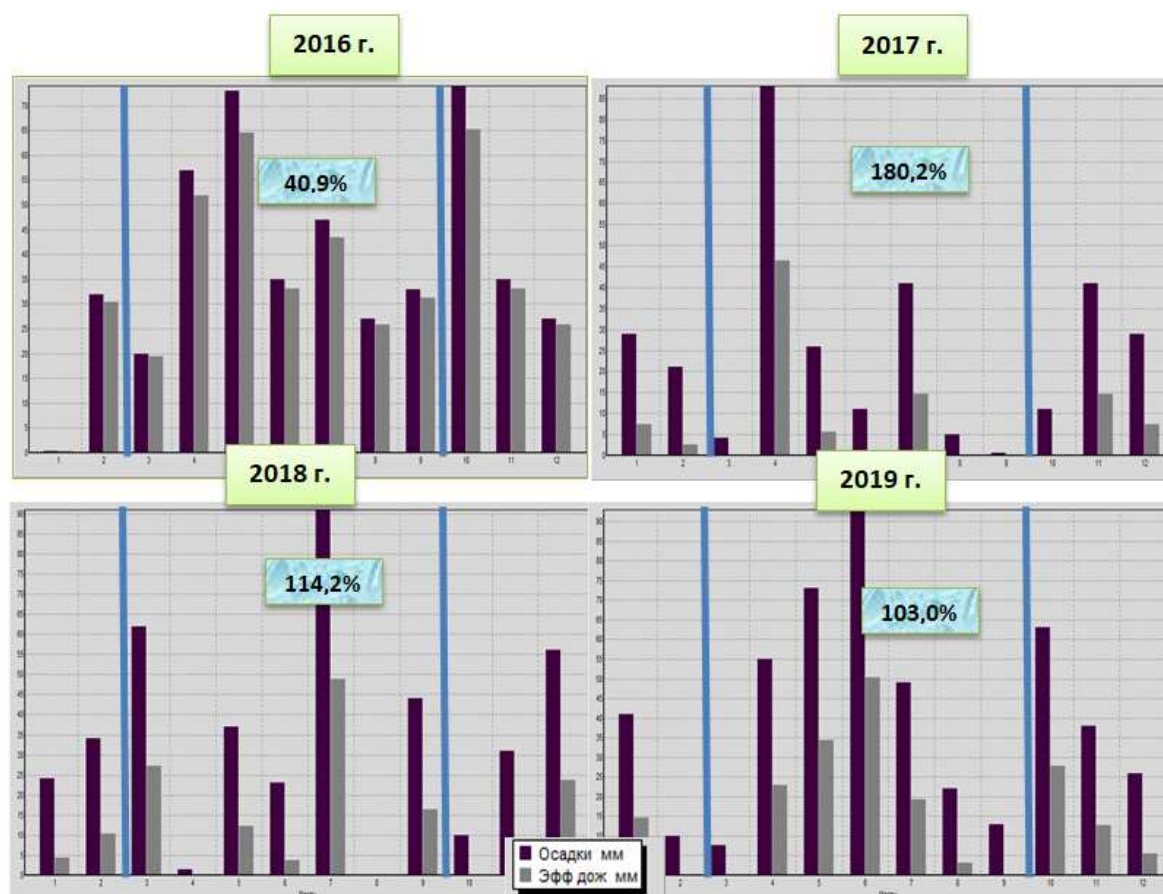


Рисунок 2 – Сумма общих и эффективных осадков (с коэффициентами вариации за период «март – сентябрь») (2016-2019 гг).

При проведении вариационного анализа установлено, что неравномерность выпадения осадков существенно увеличивается в засушливые годы с высоким температурным режимом и низкой относительной влажностью воздуха, а особенно ярко данная закономерность проявилась в августе месяце в 2017 и 2019 гг. Коэффициент вариации динамического ряда осадков увеличился в 2017 г. до 180,2%, что в 4,4 раза меньше, чем в 2016 г. – 40,9%. Очень высокий уровень неравномерности поступления атмосферных осадков на территории Северного Причерноморья во все годы проведения исследований, особенно в засушливые, свидетельствует о необходимости применения искусственного увлажнения для оптимизации водного режима

с.-х. культур и недопущения снижения урожайности и ухудшения качества растениеводческой продукции из-за дефицита влагообеспеченности.

Инструментарий компьютерной программы CROPWAT позволяет моделировать на уровне севооборота и по каждой культуре отдельно основные биологические параметры, а также соответствующие коэффициенты продуктивности растений, связанные с водным и питательным режимами почвы, глубиной проникновения корневой системы, длительность прохождения растениями отдельных фаз роста и развития и вегетационного периода в целом (рис. 3).

Как видим, культуры исследуемого севооборота обладают совершенно разными требованиями по отношению к влагообеспеченности. Соя и кукуруза, как поздние яровые культуры с длительным вегетационным периодом, припадающим на самые жаркие (с максимальной эвапотранспирацией) месяцы, нуждаются в наибольших объёмах почвенной влаги, которая аккумулируется за счёт прихода осадков, но главное, за счёт проведения вегетационных поливов. Озимая пшеница, как культура с максимальной эффективностью, использующая осадки осенне-зимне-весеннего периода, предъявляет сниженные требования в обеспеченности орошением. Сорго, как культура с меньшим транспирационным коэффициентом, более коротким вегетационным периодом и быстрым созреванием, необходимым ранним завершением поливов для обеспечения одновременного созревания, также предъявляет сниженные требования к водообеспеченности.

Учитывая биологические потребности каждой культуры орошаемого севооборота в наличии доступной влаги, можно моделировать режимы орошения по календарным датам их вегетационного периода (пентады, декады, месяцы), корректировать сроки и нормы проведения вегетационных поливов и таким образом добиться рационального расхода поливной воды с её максимальной окупаемостью прибавкой урожая.

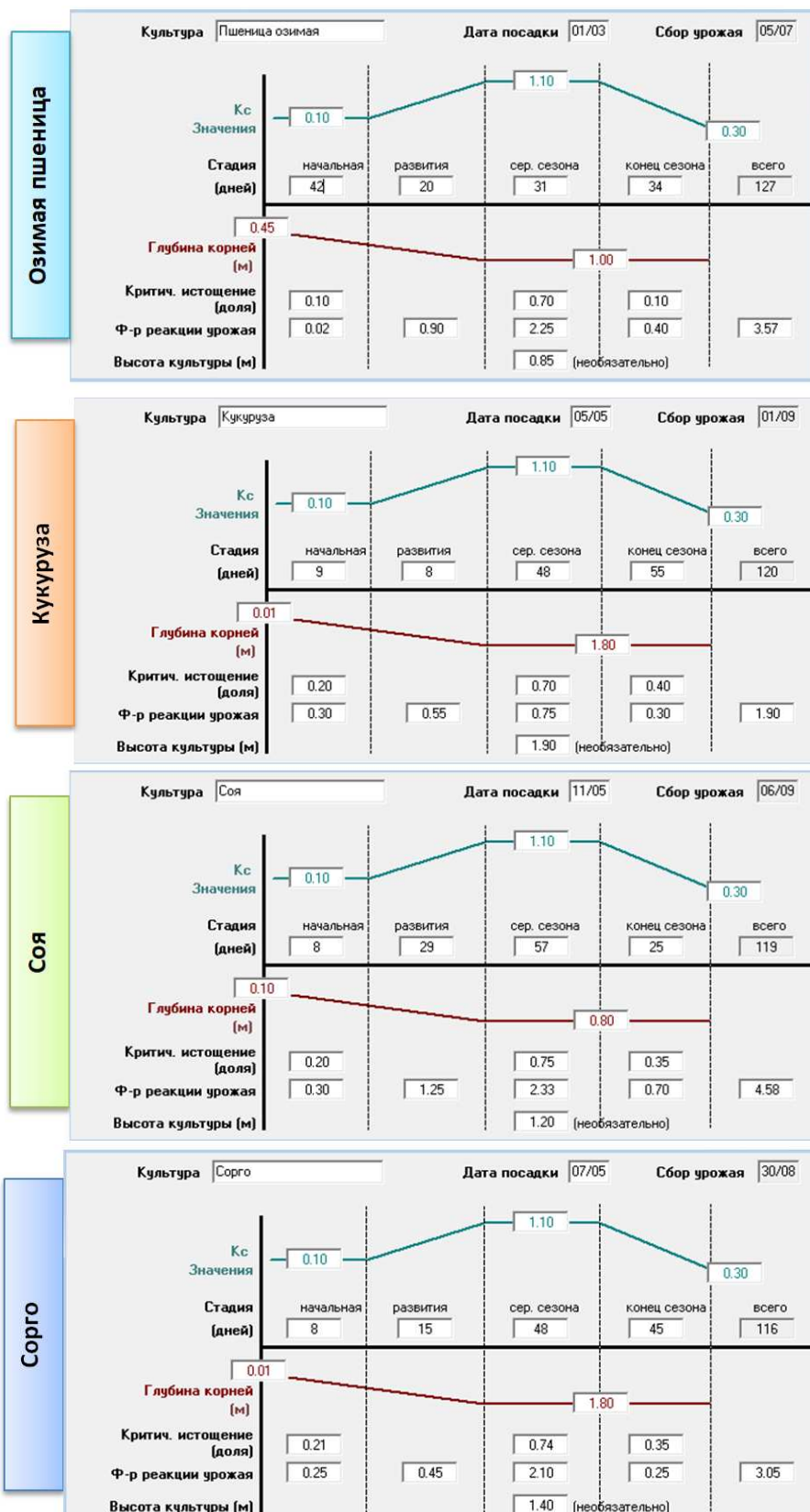


Рисунок 3 – Расчётные значения показателей продуктивности озимой пшеницы, кукурузы, сои и сорго для установления биологических потребностей культур во влагообеспеченности и формирования графика поливов, 2016 г.

Для сложившихся погодных условий 2016 г. было проведено моделирование составляющих элементов водного баланса для установления оптимального режима орошения, который отображён в программе CROPWAT в виде графика полива с подекадным распределением (рис. 4).

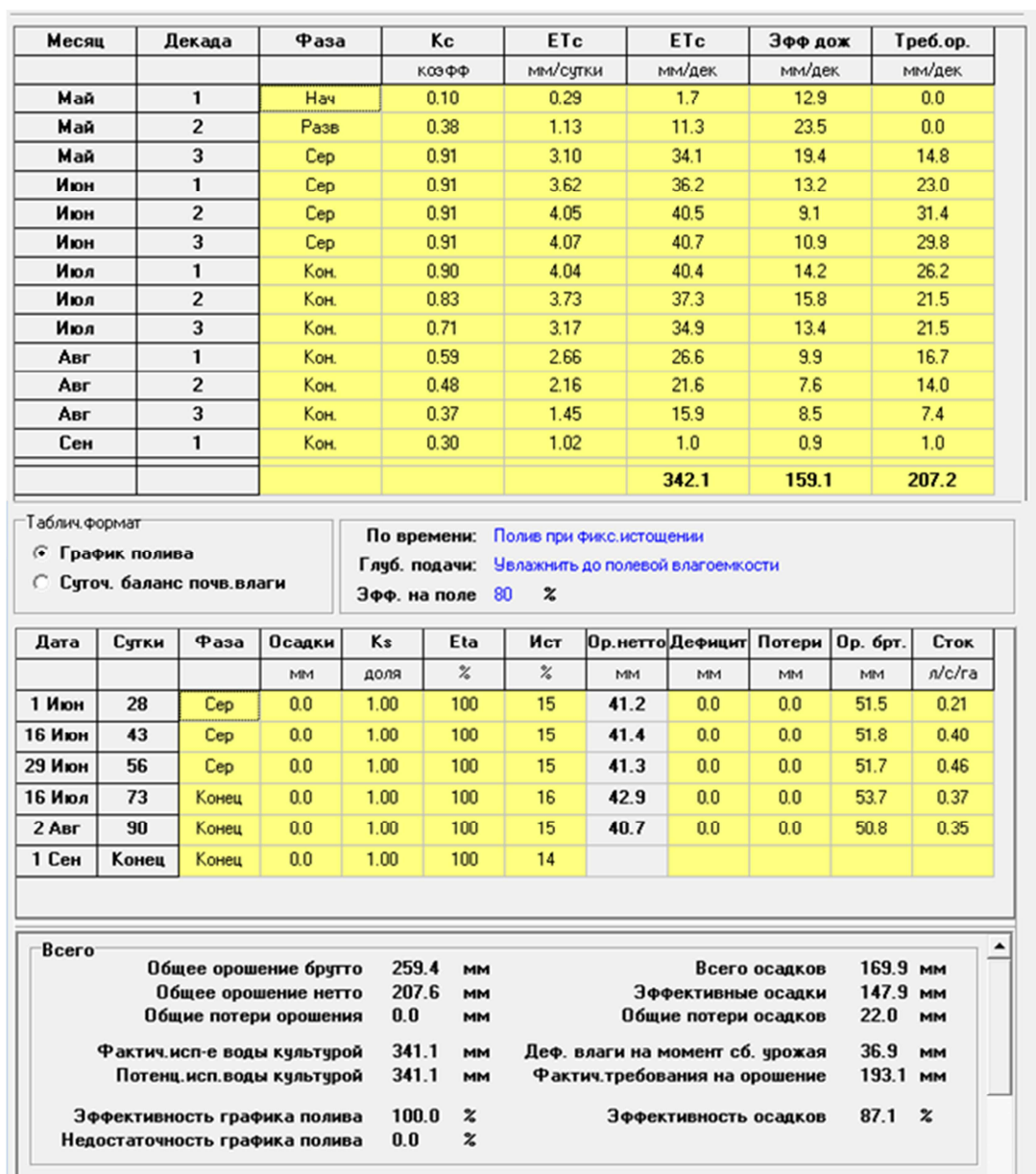


Рисунок 4 – Смоделированы показатели водопотребления и оптимизированного режима орошения кукурузы в условиях 2016 г.

Расчётами в данном модуле программы CROPWAT установлено, что общая водопотребность кукурузы на зерно за весь вегетационный период

составляет 342,1 мм, то есть суммарное водопотребление будет равно 3421 м³/га. За расчётный период в суммарное водопотребление добавлено 159,1 мм (1591 м³/га) эффективных атмосферных осадков. Оросительная норма кукурузы на зерно при её выращивании в условиях 2016 г. при таком обеспечении осадками, температурном режиме, влажности воздуха, скорости ветра, инсоляции и эвапотранспирации, составляет 207,2 мм (2072 м³/га). То есть такая смоделированная норма с одной стороны в полной мере обеспечит биологические потребности данной культуры севооборота, а с другой стороны – не допустит непродуктивного перерасхода воды на при стекании с поверхности поля, перемещение её за счёт гравитационных сил в нижние недоступные для корневой системы горизонты почвы, что имеет важное экономическое и экологическое значение.

Моделированием доказано, что при выращивании кукурузы на зерно при общей оросительной норме на уровне 207,6 мм. Данная оросительная норма будет подана на поле путём проведения 5 вегетационных поливов с поливными нормами от 40,7 до 42,9 мм. При этом эффективность графика полива достигает максимального уровня – 100%, потому что достигнуто равенство между фактическим испарением воды культурой (эвапотранспирацией) и количеством доступной растениям влаги в почве (суммы почвенный влагозапасов, атмосферных осадкой и оросительной нормы). Однако, на других культурах при особенностях погодных условиях эффективность графика полива может снижаться до 95% и ниже.

Интересные результаты получены при сравнительном анализе смоделированных в программе CROPWAT и фактически поданных на поля оросительных норм при орошении культур севооборота в годы проведения исследований (рис. 5).

Результаты исследований, полученные в программе CROPWAT показали, что значение фактической поливной нормы превышают расчетную (смоделированную) в 1,1-1,2 раза.

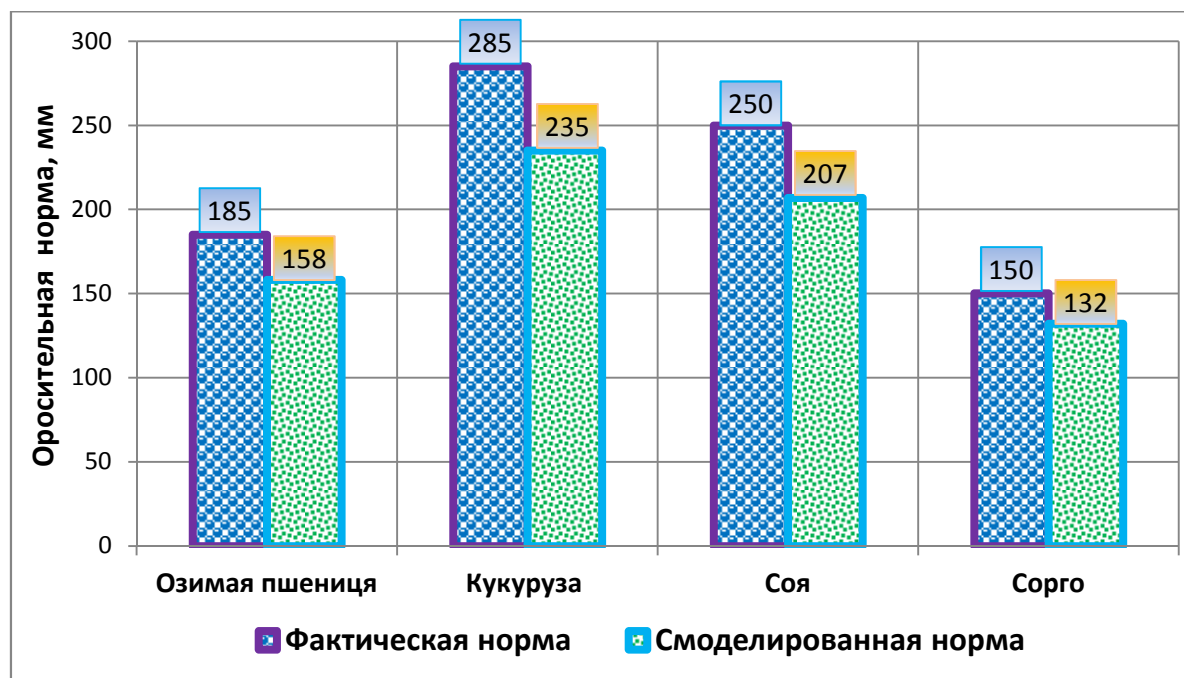


Рисунок 5 – Значение фактических и смоделированных оросительных норм по различным культурам, мм (среднее за 2016-2019 гг.)

В процентном соотношении по озимой пшенице величина фактических затрат воды превышало смоделированное на 17,1%; у кукурузы – на 21,3; у сои – 20,8; на сорго снизилось до 13,6%. Поэтому можно констатировать, что программа CROPWAT может точно установить параметры режима орошения как отдельно для каждой культуры, так и для севооборота в целом. Такое моделирование позволяет оптимизировать затраты поливной воды и с максимальной эффективностью обеспечить плановую величину урожайности культур севооборота.

По результатам моделирования установлено, что фотосинтетическая деятельность посевов исследуемых культур и способность с максимальной эффективностью усваивать солнечную энергию значительно изменялась в зависимости от условий увлажнения (рис. 6).

Максимальный расчётный коэффициент полезного действия ФАР

был зафиксирован за выращивание кукурузы на зерно с использованием искусственного увлажнения – 3,2%, а его минимальный уровень – 1,2%.

Также проявился более существенный диапазон между неполивными и орошаемыми вариантами у озимых культур – 19,0-21,7 по сравнению с кукурузой и соей – 62,5-6,87 процентных пункта.

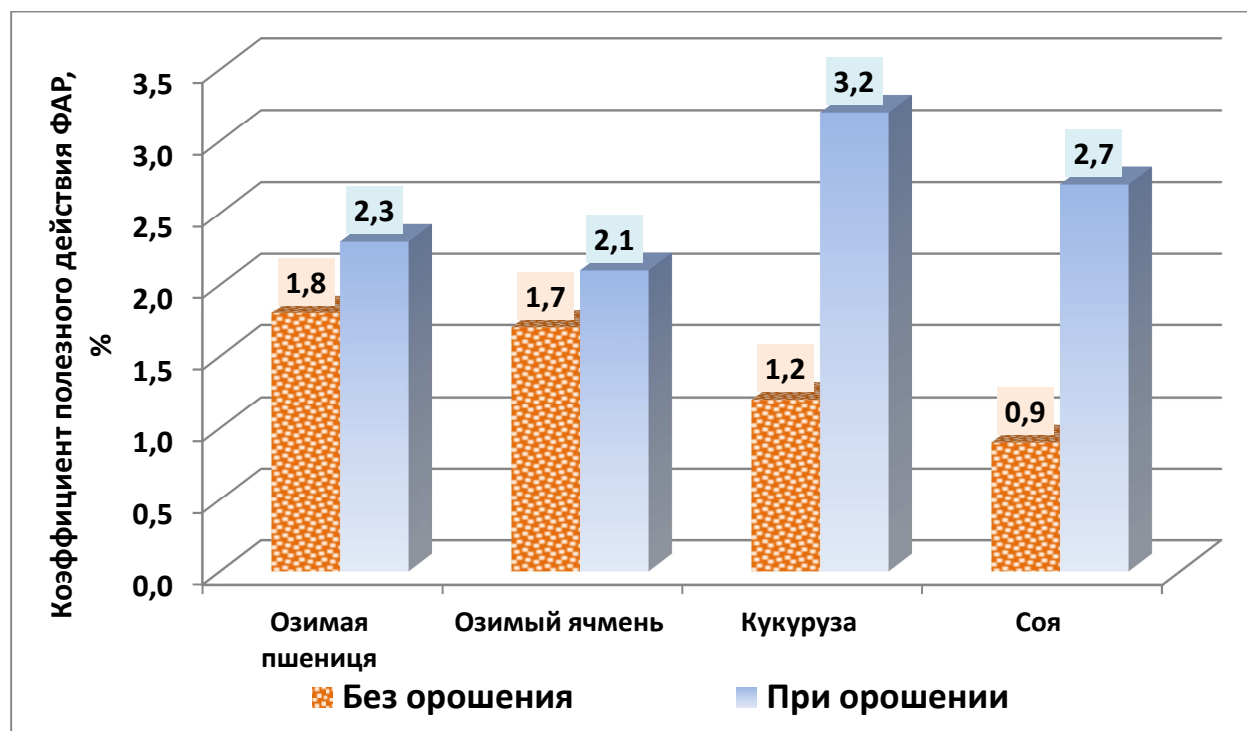


Рисунок 6 – Моделирование показателей коэффициента полезного действия ФАР при выращивании исследуемых культур в неполивных и орошаемых условиях (среднее за 2016-2020 гг.)

Расчётами доказано, что в орошаемых условиях проявился существенный рост смоделированной эвапотранспирации за вегетационный период полевых культур в севообороте (рис. 7).

Этот показатель был минимальным (1,9 мм/сут.) на неполивном варианте с озимым ячменём, а при выращивании кукурузы на зерно в орошаемых условиях на фоне оптимизацией других факторов формирования продуктивности растений он увеличился до 3,8 мм/сут., или в 2,1 раза.

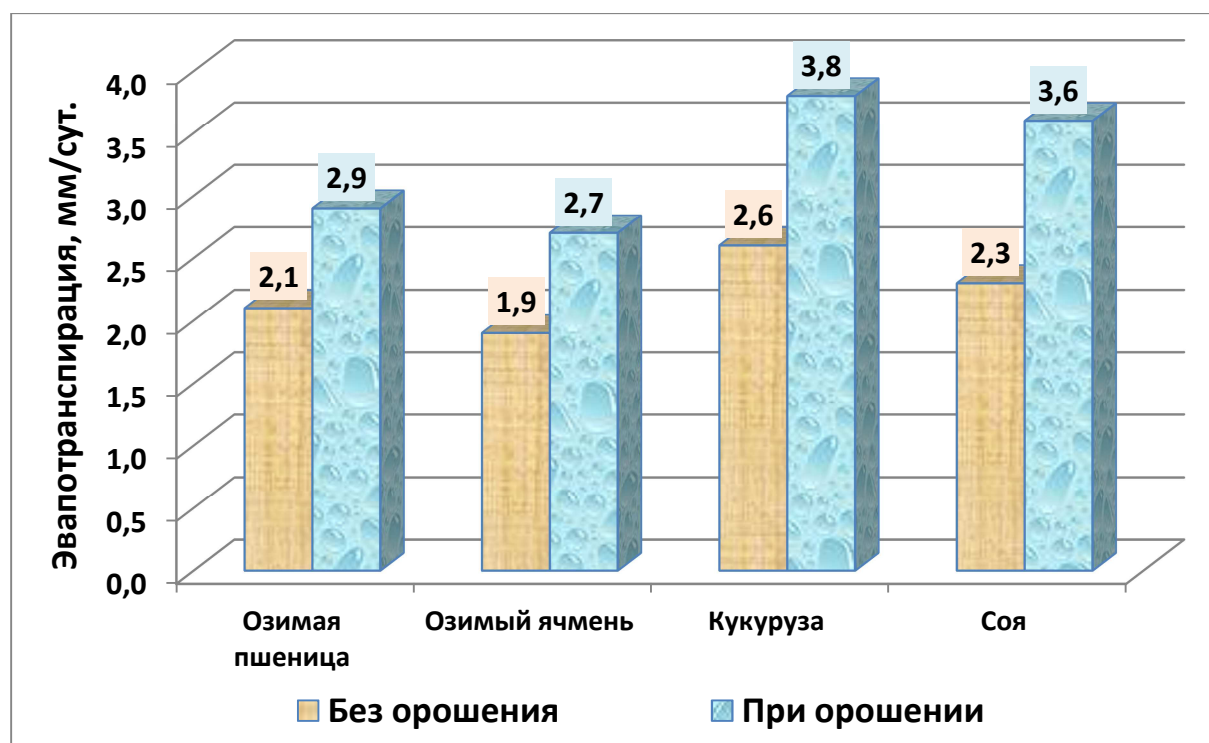


Рисунок 7 – Теоретические значения эвапотранспирации с.-х культур севооборотов при природном и искусственном увлажнении

Следует отметить, что при выращивании озимых культур – пшеницы и ячменя, разница между неполивными и орошаемыми вариантами составила 27,6-29,6%, а на кукурузе и сое повысилась до 31,6-36,1%.

Выводы. С помощью инструментария контроля роста и развития растений и стратегии планирования программного комплекса CROPWAT было осуществлено моделирование оросительных и поливных норм с учётом биологических характеристик культур севооборота, предупреждения возникновения температурных и водных стрессов на разных фазах развития. При моделировании и реализации режимов орошения следует учитывать максимальный уровень эвапотранспирации до 5,5-5,8 мм в летний период (июль, август) на фоне максимальных температур воздуха и резкого снижения его относительной влажности.

Анализом смоделированных и фактически полученных в полевых опытах экспериментальных данных установлено, что биологическая водопотребность разных культур может изменяться в широком диапазоне

– от 207-285 мм у кукурузы и сои до 132-185 мм – у озимой пшеницы и сорго. Расчёты показали, что смоделированные оросительные нормы на 13,6-21,3% меньше, чем фактические, что свидетельствует о более точном учёте всех составляющих элементов водного баланса и более рационального и нормированного расхода поливной воды.

Установлена обратно пропорциональная закономерность показателей продуктивности растений и величины фотосинтетически активной радиации, что можно объяснить негативным воздействием на ростовые процессы теплового режима при дефиците природного влагообеспечения.

Список литературы

1. Адамень Ф.Ф., Коковихин С.В., Сташкина А.Ф. Математическое моделирование продуктивности орошаемой озимой пшеницы в зависимости от влияния метеорологических факторов в условиях Северного Причерноморья // Известие сельскохозяйственной науки Тавриды. – 2023. – 33 (196). – С. 6-16.

2. Бойко, Е. С. Цифровизация и инновации в земледелии / Е. С. Бойко, А. А. Магомедтагиров // Цифровые технологии в аграрном образовании : Сборник статей по материалам учебно-методической конференции, Краснодар, 01 марта – 30 2022 года / Отв. за выпуск Д.С. Лилякова. – Краснодар: Кубанский государственный аграрный университет имени И.Т. Трубилина, 2022. – С. 4-5. – EDN JPYRUS.

3. Василько, В. П. Плодородие орошаемых и гидроморфных пахотных земель Северного Кавказа и путь его оптимизации : учебное пособие для студентов высших учебных заведений по агрономическим специальностям / В. П. Василько, В. Н. Герасименко, Н. Н. Нецадим ; В. П. Василько, В. Н. Герасименко, Н. Н. Нецадим ; М-во сельского хоз-ва РФ, Кубанский гос. аграрный ун-т. – Краснодар : Кубанский гос. аграрный ун-т, 2010. – 94 с. – EDN QLBKSN.

4. Кольцов Ю. В., Пермяков М. Н. Постановка задачи прогнозирования продуктивности агроэкосистем // Научный журнал КубГАУ. – 2004. – № 05(7). – С. 22–24.

5. Отчетные материалы отдела орошаемого земледелия Института орошаемого земледелия за период 2016-2019 гг.

6. Петрова Л.Н. Современные тенденции климата и необходимость их учета в земледелии / Л.Н. Петрова, Л.И. Желнакова // Деграция почвенного покрова и проблемы агроландшафтного земледелия: сб. матер. Междун. науч. конф. – Ставрополь. – 2000. – С. 6-19.

7. Современное состояние орошаемого земледелия в мировой практике / Калашников А.А. и др. URL: http://www.rusnauka.com/26_WP_2012/Agricole/3_116187.doc.htm.

8. Сохранить и приумножить на практике «кукуруза - рис - пшеница». Практическое руководство по устойчивому производству зерновых. ФАО ООН. – Рим, 2016. URL: <http://www.fao.org/3/a-i5318r.pdf>.

9. Ушкаренко В.А., Лазарев Н.Н., Голобородько С.П., Коковихин С.В.

Дисперсионный и корреляционный анализ в растениеводстве и луговодстве: монография – М.: Изд. РГАУ – МСХА им. К.А. Тимирязева, 2011. – 336 с.

10. Херсон. Архив метеорологических данных. URL: <http://rp5.ru/kherson.archive>.

References

1. Adamen' F.F., Kokovihin S.V., Stashkina A.F. Matematicheskoe modelirovanie produktivnosti oroshaemoj ozimoj pshenicy v zavisimosti ot vlijaniya meteorologicheskikh faktorov v uslovijah Severnogo Prichernomor'ja // Izvestie sel'skohozjajstvennoj nauki Tavridy. – 2023. – 33 (196). – S. 6-16.

2. Bojko, E. S. Cifrovizacija i innovacii v zemledelii / E. S. Bojko, A. A. Magomedtagirov // Cifrovyje tehnologii v agrarnom obrazovanii : Sbornik statej po materialam uchebno-metodicheskoj konferencii, Krasnodar, 01 marta – 30 2022 goda / Otv. za vypusk D.S. Liljakova. – Krasnodar: Kubanskij gosudarstvennyj agrarnyj universitet imeni I.T. Trubilina, 2022. – S. 4-5. – EDN JPYRUS.

3. Vasil'ko, V. P. Plodorodie oroshaemyh i gidromorfnyh pahotnyh zemel' Severnogo Kavkaza i put' ego optimizacii : uchebnoe posobie dlja studentov vysshih uchebnyh zavedenij po agronomicheskim special'nostjam / V. P. Vasil'ko, V. N. Gerasimenko, N. N. Neshhadim ; V. P. Vasil'ko, V. N. Gerasimenko, N. N. Neshhadim ; M-vo sel'skogo hoz-va RF, Kubanskij gos. agrarnyj un-t. – Krasnodar : Kubanskij gos. agrarnyj un-t, 2010. – 94 s. – EDN QLBKSN.

4. Kol'cov Ju. V., Permjakov M. N. Postanovka zadachi prognozirovaniya produktivnosti agrojekosistem // Nauchnyj zhurnal KubGAU. – 2004. – № 05(7). – S. 22–24.

5. Otchetnye materialy otdela oroshaemogo zemledelija Instituta oroshaemogo zemledelija za period 2016-2019 gg.

6. Petrova L.N. Sovremennye tendencii klimata i neobhodimost' ih ucheta v zemledelii / L.N. Petrova, L.I. Zhelnakova // Degradacija pochvennogo pokrova i problemy agrolandshaftnogo zemledelija: sb. mater. Mezhdun. nauch. konf. – Stavropol'. – 2000. – S. 6-19.

7. Sovremennoe sostojanie oroshaemogo zemledelija v mirovoj praktike / Kalashnikov A.A. i dr. URL: http://www.rusnauka.com/26_WP_2012/ Agricole/3_116187.doc.htm.

8. Sohranit' i priumnozhit' na praktike «kukuruza - ris - pshenica». Prakticheskoe rukovodstvo po ustojchivomu proizvodstvu zernovyh. FAO OON. – Rim, 2016. URL: <http://www.fao.org/3/a-i5318r.pdf>.

9. Ushkarenko V.A., Lazarev N.N., Goloborod'ko S.P., Kokovihin S.V. Dispersionnyj i korrelyacionnyj analiz v rastenievodstve i lugovodstve: monografija – М.: Изд. РГАУ – МСХА им. К.А. Тимирязева, 2011. – 336 с.

10. Herson. Arhiv meteorologicheskikh dannjah. URL: <http://rp5.ru/kherson.archive>.