

ОПТИМИЗАЦИЯ АГРОТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ВОЗДЕЛЫВАНИЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР НА ОРОШАЕМЫХ ЗЕМЛЯХ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

С. В. Коковихин¹, И. А. Биднина¹, В. А. Шарий¹,
А. Н. Червань², А. В. Дробитько³

¹Институт орошаемого земледелия,
г. Херсон, Украина

²Институт почвоведения и агрохимии,
г. Минск, Беларусь

³Николаевский национальный аграрный университет,
г. Николаев, Украина

ВВЕДЕНИЕ

На современном этапе развития человечества информационные технологии играют важную роль во всех сферах деятельности, внедрение информационных технологий в аграрное производство находится на достаточно низком уровне относительно других отраслей, хотя рентабельность производства сельскохозяйственной продукции в большинстве случаев зависит от своевременных действий аграриев, выявления состояния почвы, определения поливной нормы и сроков полива, количества внесенных удобрений, адаптации технологий выращивания сельскохозяйственных культур к погодным условиям и т. д. [1]. Интеграция компьютерных технологий в аграрный сектор имеет большое актуальное значение как с научной, так и практической точек зрения, дает возможность проводить своевременный мониторинг состояния посевов сельскохозяйственных культур, выявлять на первоначальном этапе возбудителей болезней и вредителей, определять количественные и качественные параметры посевов и растениеводческой продукции, обеспечивает рациональное расходование всех видов ресурсов и улучшение показателей экономической эффективности агропроизводства и минимизацию антропогенной нагрузки на окружающую среду [2].

Для мониторинга состояния посевов сельскохозяйственных культур применяют современные технические средства. С помощью датчиков можно получать и передавать данные в режиме реального времени (online): локальную информацию о количестве атмосферных осадков, динамику содержания влаги в почве в течение вегетационного периода, баланс водного режима, плотности посева и т. д. [3].

Поступающая спутниковая информация позволяет прогнозировать гидротермические условия и состояние посевов. Например, с помощью спектрального анализа цвета полей можно получить информацию о динамике показателей вегетационного индекса (рис. 1, а), густоты стояния растений (рис. 1, б) и проявления состояния водного стресса (рис. 1, в). Сочетая эти и другие данные, можно планировать и оперативно изменять элементы технологий выращивания, в частности поливные нормы, дозы удобрений при проведении подкормки, количество обработок пестицидами и биопрепаратами и т. д. [4], с использованием сенсорных

датчиков мониторинга состояния агроэкосистем [5]. В программной среде ГИС геообработка данных о пространственных объектах происходит в форме их цифровых представлений (векторных, растровых, квадратомичных и других) [6].



Рис. 1. Результаты анализа спектральной яркости участков опытного поля Института орошаемого земледелия НААН Украины по показателям вегетационного индекса (а), густоты стояния растений (б) и проявлению состояния водного стресса (в)

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Цель исследований – с использованием информационных технологий в условиях юга Украины разработать научно-практические подходы к планированию и оперативному управлению режимами орошения сельскохозяйственных культур.

Полевые опыты проводились по методике опытного дела [7] в течение 2016–2019 гг. на опытном поле Института орошаемого земледелия НААН Украины. Рельеф опытного участка равнинный. Почва исследовательского участка темно-каштановая слабосолонцеватая, среднесуглинистая. Поливы осуществляли водой с Ингулецкой оросительной системы. Агротехника выращивания исследуемых культур была общепризнанной для условий орошения Южной Степи Украины.

Моделирование параметров производственных процессов исследуемых культур для планирования и оперативного управления режимами орошения про-

дили с использованием компьютерной программы ФАО ООН–CROPWAT 8.0 для Windows [6]. Эта программа может быть использована учеными и практиками для вычисления составляющих элементов водного режима почвы, дефицита водопотребления и водопотребности культур в орошении на основе использования локальных данных о почве, климате и состоянии посевов, а также для их моделирования в целях корректировки технологических процессов агропроизводства. Кроме того, программа позволяет формировать графики режима орошения для различных хозяйственно-экономических условий, рассчитывать схемы водоподдачи в зависимости от уровней запланированного урожая. Чтобы установить водопотребность культур, использовали расчетные показатели эвапотранспирации (среднесуточного испарения) с использованием метода Пенмана-Монтейт [4, 6]. Этот метод учитывает как физиологические параметры растений, так и климатические особенности определенной почвенно-климатической зоны. Для расчетов в программе CROPWAT использованы метеорологические данные Херсонской агрометеорологической станции, которая находится вблизи исследуемого опытного участка Института орошаемого земледелия НААН Украины.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Анализ метеорологических условий в годы проведения исследований свидетельствует о существенных колебаниях среднесуточных температур и относительной влажности воздуха: от минус 8,5° в январе 2016 г. до 25,4–25,5°С в августе 2017 г. и 2018 г. (рис. 2).

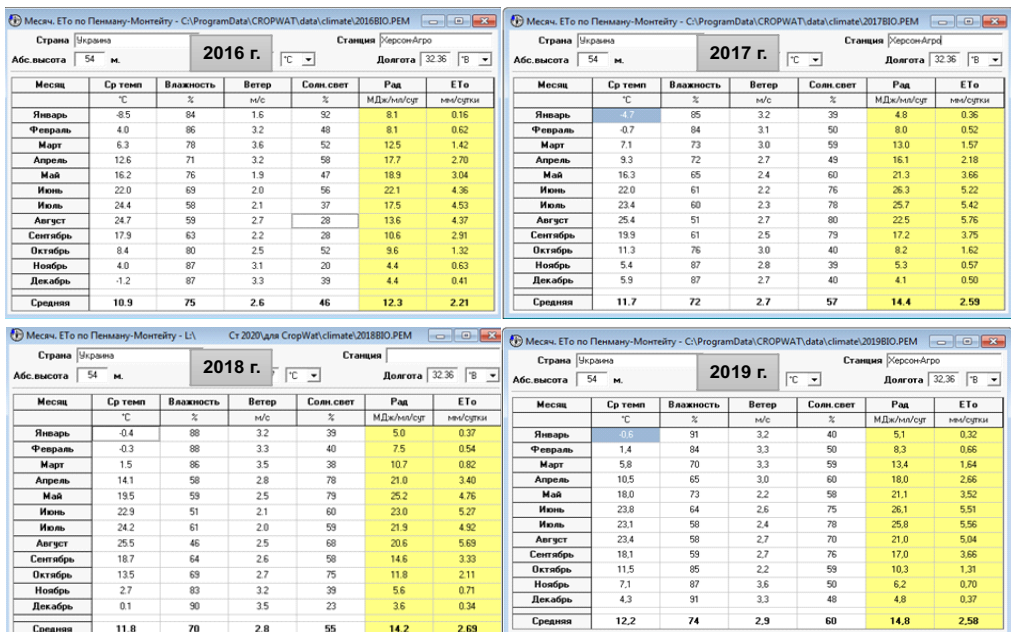


Рис. 2. Основные метеорологические показатели в годы проведения исследований (по данным Херсонской агрометеорологической станции)

Показатели относительной влажности воздуха имели четкую взаимосвязь: с 46–60 % в летние месяцы (июль, август) возрастали до 84–91 % зимой (декабрь,

январь). Среднемесячная скорость ветра не зависела от времени года и изменялась от 1,6 м/с в январе 2016 г. до 3,6 м/с в ноябре 2019 г.

Продолжительность солнечного света была связана с температурным режимом и влажностью воздуха. Так, максимальные показатели поступления солнечной радиации составляли 26,1–26,3 МДж/м² в сутки в июне 2017 и 2019 гг., а в осенний и зимний период (декабрь 2017 г., ноябрь 2016 г.) уменьшились в 6,1–6,5 раза – до 4,1–4,3 МДж/м² в сутки.

Эвапотранспирация, которая имеет важнейшее значение с точки зрения формирования высокого уровня урожая, также была тесно связана с метеорологическими показателями.

Во все годы проведения исследований этот показатель имел наибольшие значения в летние месяцы с наибольшей температурой воздуха и поступлением солнечной радиации. Максимального значения эвапотранспирация достигала в августе 2018 г. – 5,82 мм.

Среднемесячное количество атмосферных осадков изменялось в значительной степени: от 0,2 мм января 2016 г. до 93 мм в июне 2019 г. (рис. 3).

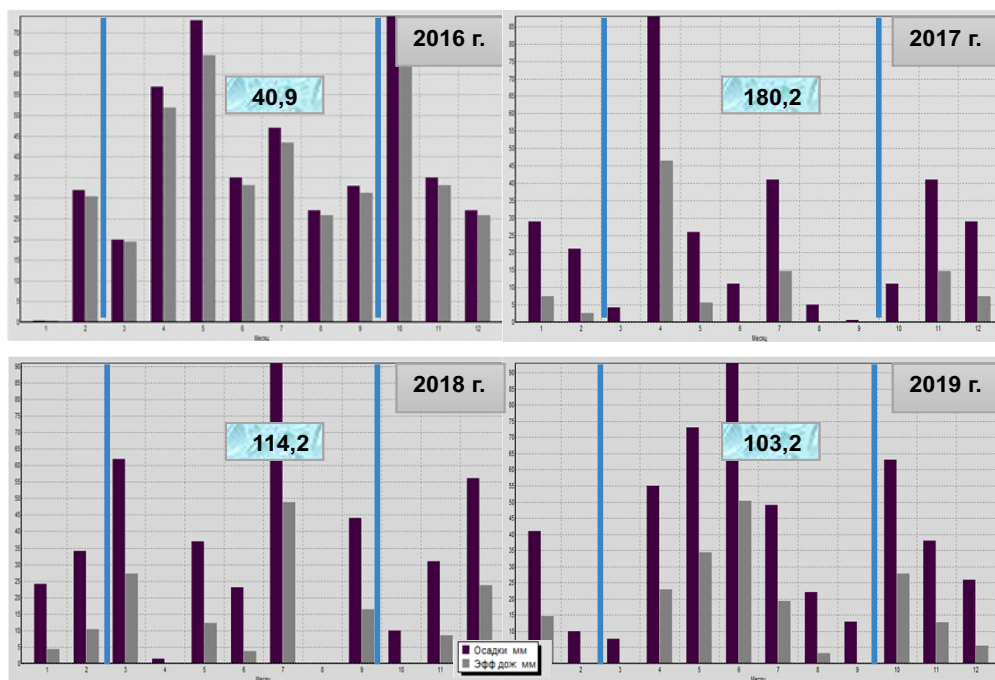


Рис. 3. Количество общих и эффективных осадков (с коэффициентами вариации за период «март–сентябрь») в годы проведения исследований (по данным Херсонской агрометеорологической станции)

Количество осадков в наибольшей степени изменялось в летние месяцы. Следует отметить, что максимальный дефицит осадков в засушливых 2017 и 2019 гг. проявился в августе, что обосновывает необходимость применения орошения для преодоления острого дефицита природной влагообеспеченности.

Вариационным анализом доказано, что изменчивость осадков в условный период вегетации сельскохозяйственных культур с марта по сентябрь составляет: 2016 – 40,9 %; 2017 – 180,2 %; 2018 – 114,2 %; 2019 – 103,0 %.

В таких гидротермических условиях Южной Степи Украины роль орошения имеет первостепенное значение для возможности получения растениеводческой продукции, особенно в условиях отсутствия осадков на фоне высоких температур и низкой влажности воздуха.

Учитывая биологические особенности сельскохозяйственных культур орошаемого севооборота и сроки их сева, в программе CROPWAT были смоделированы основные показатели продукционного процесса растений в 2016 г. по условным периодам развития, в частности, установлены показатели глубины проникновения корневой системы, высота растений, рассчитаны коэффициенты водного режима (рис. 4).

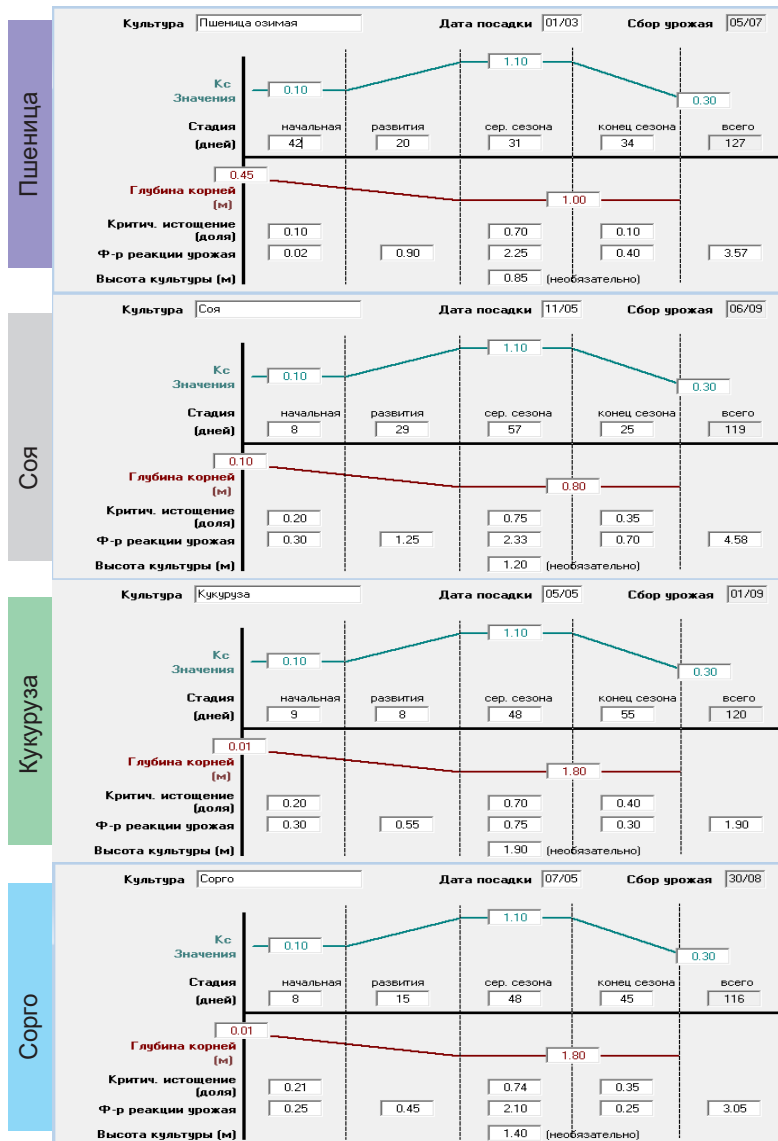


Рис. 4. Моделирование параметров продукционного процесса культур орошаемого севооборота в период вегетации (для пшеницы озимой – в период возобновления весенней вегетации), 2016 г.

Как отражено на рисунке, максимального обеспечения поливной водой требуют такие культуры севооборота, как кукуруза и соя, в несколько меньшей степени – пшеница озимая и сорго. Кроме того, проведенное моделирование позволяет установить условные сроки вегетационного периода для каждой культуры, имеет первостепенное значение с точки зрения формирования водопотребности культур и расчетов их режимов орошения.

На примере кукурузы можно рассмотреть полученные результаты моделирования показателей водопотребности для формирования графика полива (режима орошения) с учетом погодных условий, сложившихся в 2016 г. (рис. 5).

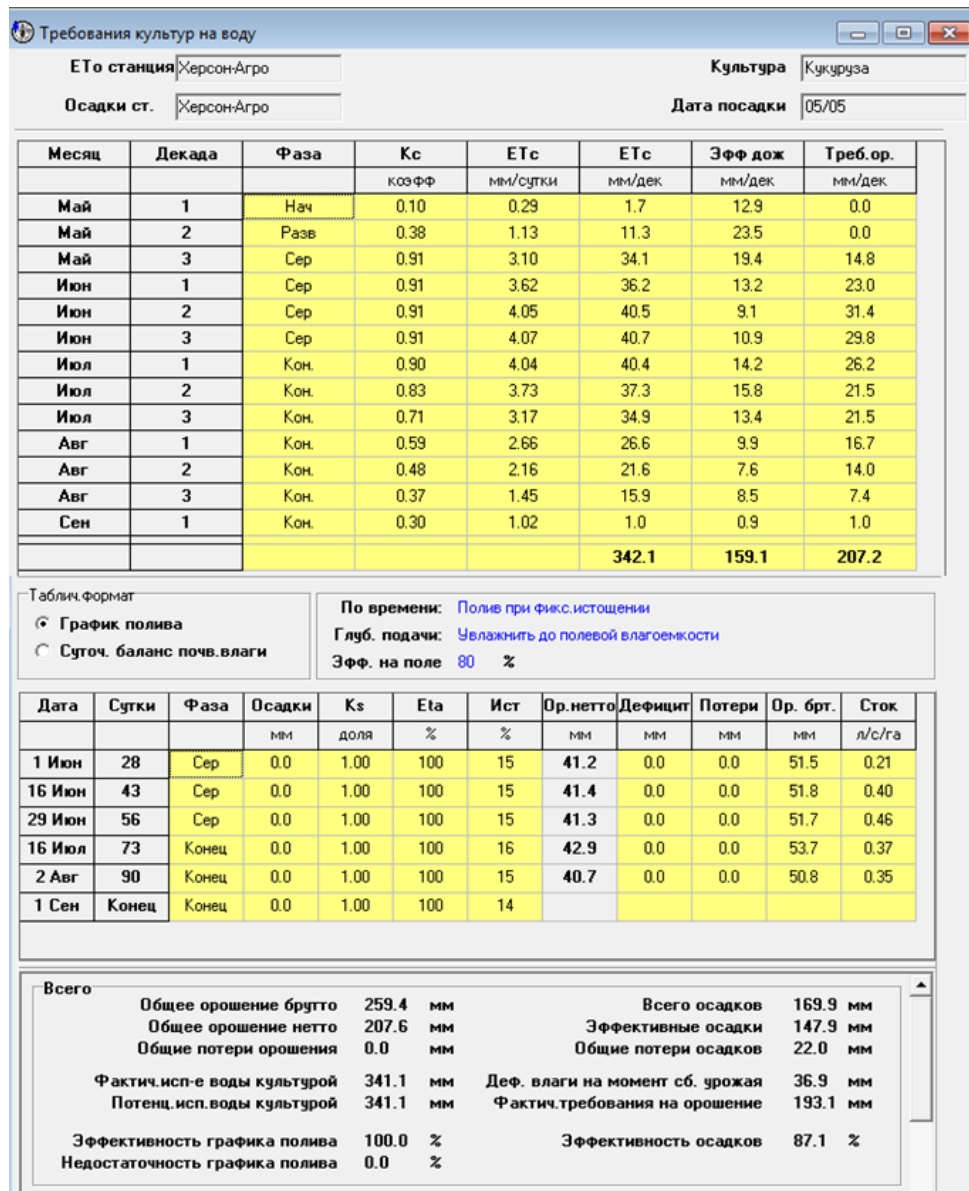


Рис. 5. Смоделированные показатели водопотребности и графика полива кукурузы в 2016 г.

Установлено, что общая эвапотранспирация за период вегетации кукурузы в 2016 г. составляет 342,1 мм. Такие водозатраты будут компенсированы за счет эффективных осадков на уровне 159,1 мм, а для преодоления дефицита влаги на посевах кукурузы необходимо подать оросительную воду с учетом всех видов непроизводительных потерь – 207,2 мм. В графике полива установлена необходимость проведения 5 вегетационных поливов оросительной нормой 207,6 мм. При этом фактическое использование воды на орошение составляет 341,1 мм, с учетом дефицита влаги на время сбора урожая на уровне 36,9 мм.

График полива определяет, насколько эффективно культура использует искусственное увлажнение в течение вегетационного периода. Эффективность орошения в графиках полива выражается в процентах и рассчитывается как отношение между оросительной нормой, потерями поливной воды при орошении и эффективностью использования поливной воды сельскохозяйственной культурой. Эффективность использования атмосферных осадков, выраженная в процентах, отражает отношение между эффективными осадками и общим вкладом осадков в рост и развитие культуры в течение вегетационного периода.

Несоответствие оросительной системы агротехническим требованиям, например, отсутствие планирования поля при применении поливов по полосам или бороздам, плохое выравнивание земель, низкая водопоглотительная способность почвы и т. п. могут привести к потерям поливной воды. Для учета объемов воды, не остающихся в прикорневой зоне, CROPWAT 8.0 позволяет ввести оценку эффективности орошения, с помощью которой определяется глубина активного слоя почвы.

В среднем за годы проведения исследований установлено, что фактическая оросительная норма превышает смоделированные показатели на всех культурах севооборота на 18–50 мм (рис. 6).

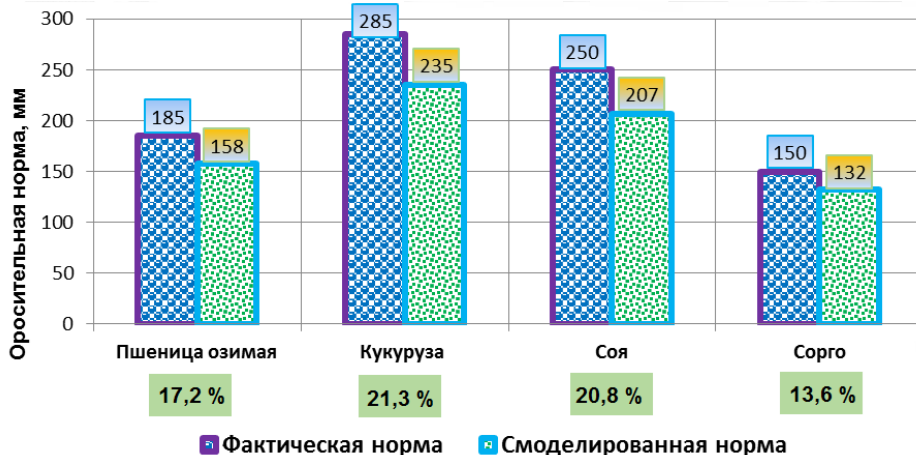


Рис. 6. Показатели фактических и смоделированных в программе CROPWAT оросительных норм по культурам севооборота, мм (среднее за 2016–2019 гг.)

Для пшеницы озимой такое превышение составило 17,1 %, кукурузы – 21,3, сои – 20,8, сорго – 13,6 %. Расчетами доказано, что при возделывании сельскохозяйственных культур на орошаемых землях необходимо учитывать комплекс

природных и антропогенных факторов. Кроме того, для оптимизации агротехнологического процесса следует использовать геоинформационные технологии и специальные компьютерные программы по основным параметрам производственного процесса – биологические свойства определенной культуры орошаемого севооборота, прогнозируемый уровень урожайности, способ искусственного увлажнения, системы удобрения, обработки и защиты растений и другие.

Доказано, что учет в программе CROPWAT элементов водного баланса почвы, текущих гидротермических условий (температуры и относительной влажности воздуха, количества осадков), скорости ветра, параметров поступления солнечной радиации и эвапотранспирации позволяет более точно смоделировать водопотребность сельскохозяйственных культур, установить показатели поливных и оросительных норм с максимальной точностью, рационально расходовать поливную воду и другие ресурсы.

ВЫВОДЫ

Анализ погодных условий за период 2016–2019 гг. свидетельствует о высоком уровне аридизации Южной Степи Украины, высоком уровне температур воздуха, поступления солнечной радиации и эвапотранспирации. Кроме того, коэффициент вариации поступления атмосферных осадков в период вегетации основных сельскохозяйственных культур (апрель–сентябрь) составляет 40,9–180,2 %, что свидетельствует о нарушении циклов природной влагообеспеченности и обосновывает необходимость применения орошения. Определено, что во все годы проведения исследований эвапотранспирация достигала наивысшего уровня (до 5,82 мм) в летние месяцы с наибольшей температурой воздуха и поступлением солнечной радиации. Путем расчетов определено, что максимального обеспечения поливной водой требуют кукуруза и соя, в несколько меньшей степени – пшеница озимая и сорго. Фактические оросительные нормы составляли 150–285 мм, а смоделированные – 132–235 мм, то есть на 13,6–21,3 % меньше соответственно. Модели, полученные с помощью функционала программы CROPWAT позволяют четко устанавливать дефицит водопотребления и соответствующие поливные и оросительные нормы, планировать и оперативно корректировать режимы орошения, уменьшать расходы воды и других ресурсов, имеет важное агроэкономическое и эколого-мелиоративное значение.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Лазер, П. Н. Інструментарій і технології організації інформації в землеробстві / П. Н. Лазер, Є. К. Іхєєв. – Херсон: ХДУ, 2006. – 368 с.
2. Інформаційні технології: навч. посіб.; під заг. ред. А. В. Нєлєпова. – Київ: Центр учбової літератури, 2017. – 200 с.
3. Світличний, О. О. Основи геоінформатики: навч. посіб. / О. О. Світличний, С. В. Плотницький. – Суми: Ун-ська книга, 2006. – 345 с.
4. Коковіхін, С. В. Науково-методичні основи встановлення закономірностей та розробки математичних моделей формування урожаю польових культур при зрошенні: монографія / С. В. Коковіхін. – Херсон: Айлант, 2010. – 246 с.

5. Тверезовська, Н. Т. Інформаційні технології в агрономії: навч. посіб. / Н. Т. Тверезовська, А. В. Нелепова. – Київ: Центр учбової літератури, 2016. – 272 с.

6. CropWat. Land & Water. Food and Agriculture Organization of the United Nations. URL: <http://www.fao.org/land-water/databases-and-software/cropwat/en> (дата звернення: 07.04.2020 р.).

7. Дисперсійний і кореляційний аналіз у землеробстві та рослинництві: навч. посіб. / В. О. Ушкаренко [та інш.]. – Херсон: Айлант, 2008. – 272 с.

AGROPHYSICAL PROPERTIES SOIL DATA IN FORMATION OF SOIL-PROTECTION LAND MANAGEMENT SYSTEMS USING GIS-TECHNOLOGIES

S. V. Kokovikhin, I. A. Bidnyna, V. A. Sharii, A. N. Chervan, A. V. Drobitko

Summary

There are presented in the article scientific and practical approaches to the planning and operational management of crop irrigation regimes using information technology in southern Ukraine. Parameters modeling of production processes of the studied crops for planning and operational management of irrigation regimes were carried out using the UN FAO computer program CROPWAT 8.0.

An analysis of meteorological conditions during the years of research indicates significant fluctuations in daily average temperatures and relative humidity – from minus 8,5° in January 2016 to 25,4–25,5 °C in August 2017 and 2018. The indicators of relative humidity and sunshine had a clear relationship with the temperature regime. Evapotranspiration was also closely related to meteorological indicators. The average monthly rainfall fluctuated significantly – from 0,2 mm in January 2016 up to 93 mm in June 2019. The modeling carried out allowed us to establish the conditional dates of the growing season for each crop, which is of paramount importance from the point of view of forming the water demand of crops and calculating their irrigation regimes. It has been proved that taking into account the soil water balance elements, current weather and agrotechnical conditions in the CROPWAT program makes it possible to accurately plan the irrigation regime for each crop and reduce irrigation water consumption for: winter wheat – by 17,1 %; corn – 21,3; soybeans – 20,8; sorghum – by 13,6 %.

Analysis of weather conditions for the period 2016–2019 it indicates a high level of aridization of the Southern Steppe of Ukraine, and violation of the natural moisture supply cycles and justifies the need for irrigation. By calculations it was determined that the maximum supply of irrigation water requires crop rotation – corn and soy, to a lesser extent – winter wheat and sorghum. The models obtained using the CROPWAT toolkit allow us to clearly establish the water shortage and the corresponding irrigation and irrigation norms, plan and promptly adjust irrigation regimes, reduce the consumption of water and other resources, which is of important agroeconomic and ecological reclamation value.

Поступила 07.07.20