

УДК 631.675.4:504.064.36

ОПЕРАТИВНОЕ ПЛАНИРОВАНИЕ ПОЛИВОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СИСТЕМ СПУТНИКОВОГО МОНИТОРИНГА

Т.А. КАПУСТИНА, Ф.К. ЦЕКОЕВА

Ключевые слова: информационные технологии, нормирование водопользования, режимы орошения, оперативный расчёт, спутниковый мониторинг, коэффициент природного увлажнения, продуктивность орошаемых агроценозов.

Keywords: information technologies, water use rationing, irrigation modes, operative calculation, satellite monitoring, coefficient of natural moistening, the productivity of irrigated agrocenosis.

Выполнена сравнительная оценка экспериментальных и расчётных данных оперативного планирования поливов с использованием компьютерных программ и показателей спутниковых снимков.

A comparative evaluation of experimental and numerical data of operational planning of irrigation using computer programs and performance of satellite images is done.

Обеспечение продовольственной безопасности представляет собой одну из главных проблем среди многих других, решаемых на государственном уровне [1]. В мировой сельскохозяйственной практике развитие орошаемого земледелия – решающее условие стабильного производства сельскохозяйственной продукции, снижения ущерба от засухи и обеспечения продовольственной безопасности.

Капустина Татьяна Алексеевна, канд. техн. наук, доцент, зав. отделом нормирования орошения и планирования водопользования (ФГБНУ ВНИИ «Радауга», г. Коломна);

Цекоева Фатима Каспиевна, канд. с.-х. наук, доцент, декан факультета географии и геоэкологии (Балтийский федеральный университет им. Иммануила Канта, г. Калининград).

Разнообразие природных условий на территории России осложняет решение этой задачи. Достаточно отметить, что около 80 % агроландшафтов расположено в зонах с недостаточным увлажнением, с часто повторяющимися засухами и сушевыми, резко снижающими урожайность и валовые сборы сельскохозяйственной продукции. В этих условиях повышение продуктивности и устойчивое развитие земледелия возможно только путём применения комплексных мелиораций, в том числе орошения, агрохимических мероприятий и освоения адаптивно-ландшафтных систем земледелия, разработки системы управления продукционным потенциалом агробиоценозов, обеспечивающей рациональное использование природных и техногенных ресурсов [2].

Большие потенциальные возможности орошения, его роль в управлении продуктивностью посевов, повышении эффективности земледелия и сохранении плодородия почв обуславливает необходимость точного нормирования водопотребления и регулирования водного и пищевого режимов растений, прогноза эффективности разных уровней влагообеспеченности.

В настоящее время существует множество разнообразных информационных систем и моделей оперативного планирования орошения. Реализуемое качество управления в них зависит от технического уровня вычислительной техники, а также от точности моделей и расчётных методов, отражающих процессы, происходящие на полях в конкретных почвенно-климатических условиях [7]. Модели предполагают получение информации о параметрах поля, возделываемой культуре, оро-

сительной системе, общих климатических показателей и на этой основе позволяют управлять поливами на оросительных системах разных типов при различной структуре севооборотов.

Общезвестно, что оценка тепло-, влагообеспеченности проводится методом водного и теплового баланса, элементы которого определяются большим числом стохастических факторов. Например, такой элемент, как суммарное испарение, значительно варьирует в процессе развития растений при изменении гидрометеорологических условий. Недостаточная точность расчёта показателей тепло-, влагообеспеченности может свести к нулю все преимущества управления водным режимом орошаемого поля [5].

В сельскохозяйственном производстве для принятия своевременных и обоснованных решений очень важна информация о текущем состоянии сельхозугодий. Информационные технологии с использованием данных космического мониторинга позволяют проводить экологически сбалансированное управление продукционным потенциалом агробиоценозов, обеспечивая не только устойчивое производство сельскохозяйственной продукции, но и сохранение плодородия почвы, а также охрану природной среды.

В рамках проекта международно-сотрудничества по программе G2G были проведены исследования по адаптации Программы по аналитическому учёту водных ресурсов для принятия решений в области водопотребления сельскохозяйственных культур (г. Дельфт, Нидерланды). Программа позволяет рассчитывать реальную, потенциальную и относительную испаряемость, содержание влаги в корневой зоне растений и прирост биомассы, используя снимки со спутников с низким (1 км) и высоким (30 м) разрешением.

Модуль FieldLook – комплексная спутниковая технология – данной программой предоставляет пользователям оперативную информацию о состоянии сельскохозяйственных культур на основе еженедельных снимков конкретных участков. Этот модуль ведёт раз в неделю регистрацию в полевых условиях 10 параметров: прирост биомассы (кг/га); потребление CO_2 (кг/га); индекс листовой поверхности и индекс вегетации (m^2 листьев/ m^2 почвы); дефицит влажности (мм); фактическую испаряемость (мм); рост дефицита влажности (мм за 2 недели); относительную испаряемость (количество воды, испаряемое для обеспечения максимального роста культуры, мм); содержание азота в верхнем ярусе листьев (кг/га); содержание азота в зелёной массе (кг/га). Вся необходимая информация о посевах отображается прямо на мониторе компьютера.

Как видно, данная программа даёт возможность изучать развитие растений, определять причины и характер изменения урожайности сельскохозяйственных культур.

Явное достоинство модуля FieldLook в том, что он работает через Интернет. Наши исследования его технологических параметров проводились с использованием информационной базы ФГБНУ ВНИИ «Радуга» в вегетационный период 2009 – 2010 гг. на посевах моркови в Коломенском районе Московской области.

Территория района характеризуется умеренно-континентальным климатом и типична для лесной почвенно-климатической зоны России. Среднегодовое количество осадков – 450...650 мм, продолжительность вегетационного периода – 130 – 140 сут. Почвы опытных участков дерново-среднеподзолистые, среднесуглинистые, комковатой, зернистой структуры, содержание гумуса – 3,6...4,7 %. Реакция почвенного раствора слабощелочная – $\text{pH} = 7,2...7,6$. Обеспеченность фосфором – 18...26 мг на 100 г почвы, калием – 4,1...5,7 мг. Водно-физические свойства характеризуются

следующими показателями: плотность пахотного горизонта – 1,1...1,6 $\text{т}/\text{м}^3$, наименьшая влагоёмкость в пахотном слое – 22,8 % массы сухой почвы.

Целью исследований была проверка работы модуля FieldLook и расчётных моделей компьютерной программы «Raduga Irrigation» [3] в конкретных почвенно-климатических условиях и сравнение результатов с показателями, получаемыми со спутниковых снимков. Предварительно проведена оценка природного потенциала тепла и влаги территории по комплексу следующих

показателей: испаряемость (потенциальная эвапотранспирация), атмосферные осадки, активные влагозапасы почвы.

В качестве интегрального показателя изменчивости климата был выбран коэффициент природного увлажнения K_u , который характеризует тепло-, влагообеспеченность района в разные годы. Динамику метеорологических параметров исследовали с использованием эмпирической модели прогнозирования гидрометеорологических факторов и уравнения Фурье [6], которое учитывает цикличность изменения кли-

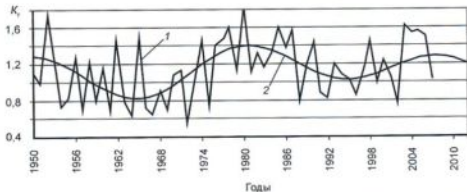


Рис. 1. Цикличность коэффициента природного увлажнения K_u : 1 – фактические данные; 2 – тренд Фурье

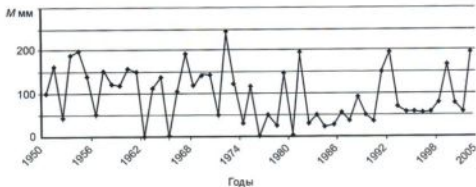


Рис. 2. Изменение оросительной нормы моркови за многолетний период



Рис. 3. Режим орошения моркови при капельном поливе, мм.

матических условий. По результатам многолетних метеорологических данных метеостанции Коломна получено следующее уравнение для определения K_u :

$$K_u = 2,26/2 + 0,05\cos(\pi x/l) + 0,1\sin(\pi x/l) + 0,2\cos(2\pi x/l) + 0,03\sin(2\pi x/l), \quad (1)$$

где l – половина рассматриваемого периода, в годах; x – шаг, через который определяется коэффициент увлажнения (K_u).

Результат расчёта по модели реализован в виде графика (рис. 1), позволяющего проследить общую тенденцию изменения коэффициента природного увлажнения в течение длительного ряда метеонаблюдений.

Обработка и статистическая оценка полученных за период исследований показателей суммарного испарения E , испаряемости E_v , дефицита водопотребления ΔE_v , осадков P проводились с использованием компьютерной программы «Расчет параметров режимов орошения сельскохозяйственных культур – ROCK.xls» [4].

Применительно к моркови с использованием компьютерной программы «Raduga Irrigation» на основе ряда метеоданных за 58 лет по метеостанции Коломна установлено, что в разные по природной влагообеспеченности годы оросительная норма (рис. 2) колебалась в пределах от 0 до 240 мм (2400 м³/га).

При возделывании моркови для полива использовалась система капельного орошения, разработанная во ВНИИ «Радуга». При поддержании влажности почвы не ниже 80 % НВ (в сухой год по обеспеченности дефицита водного баланса) был реализован режим орошения, включающий 30 поливных циклов нормами от 4 до 15 мм (рис. 3).

Для контроля расчётных значений влажности почвы и развития растений использовались автоматическая метеостанция и спутниковые снимки по программе FieldLook. Параллельно обрабатывались следующие данные, получаемые со спутников регулярно (раз в неделю): прирост биомассы, дефицит испаря-

мости, фактическая испаряемость, содержание азота в зелёной массе и др.

При определении баланса влажности FieldLook обращается к интенсивности испарения не из почвы, а непосредственно растениями, поскольку она напрямую связана с их ростом. На основе комбинации параметров испаряемости FieldLook предлагает обзор баланса влажности, что позволяет оценить недостаточность испарения, соотносясь с метеорологическими данными (рис. 4).

При нормальном обеспечении водой недостаточность испарения ведёт к пониженному росту растений, и это отражается на спектральных снимках.

Анализируя данные расчёта по программе «Raduga Irrigation» и материалы обработки спутниковых снимков, можно отметить, что в среднем отклонение значений дефицитов испаряемости не превышает 5%. Коэффициент корреляции составляет 0,826 (рис. 5).

Заключение

Полученные результаты показывают, что расчётная модель программы «Raduga Irrigation» довольно точно отражает процессы, происходящие с растением в почве. При необходимости получения расширенной информации о посевах возможно привлечение программного модуля FieldLook. Однако в результате адаптации и реализации модуля FieldLook было выявлено несколько недостатков, а именно:

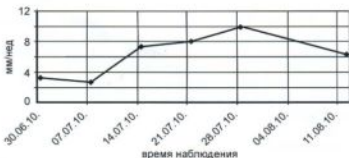


Рис. 4. Динамика дефицита испаряемости на участке с капельным орошением

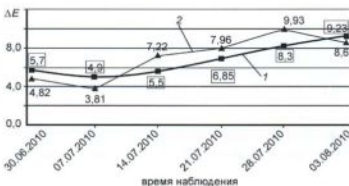


Рис. 5. Сравнение дефицитов испаряемости, полученных в результате оперативного расчёта по программе Raduga Irrigation и обработки спутниковых снимков

очень большой промежуток между измерениями изучаемых параметров (7 сут), невозможность использования программы в условиях облачности или повышенного задымления, необходимость измерения показателей с мая месяца, уточнение биоклиматических показателей, разночтение в терминологии.

Для дальнейшего совершенствования методики расчётов требуется накопление эмпирического материала путём проведения комплексных водно-балансовых и агрометеорологических исследований системы «почва – растение – атмосфера». Необходимо также количественная оценка влияния изменчивости гидрометеорологических факторов на интенсивность влагообмена в зоне аэрации, влажности почвы на суммарное испарение и урожайность посевов сельскохозяйственных культур.

Исследования в этих направлениях позволят совершенствовать модель для нормирования орошения и систему оперативного контроля

состояния агробиоценозов, что повысит точность расчётов суммарного испарения, динамики влажности почвы, оперативного планирования поливов, а следовательно, и эффективность использования водных ресурсов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Положение дел в области продовольствия и сельского хозяйства: Продовольственная и сельскохозяйственная организация объединённых наций. – Рим, 2011. – 165 с.
2. Водопотребление и режимы орошения сельскохозяйственных культур // Справочник. Мелиорация и водное хозяйство. Орошение. – М.: Колос, 1989. – 432 с.
3. Расчёт режимов орошения сельскохозяйственных культур и проектных норм водопотребности: Методические рекомендации / Под общ. ред. Г.В. Ольгаренко. – Коломна: ООО «Инлайт», 2012. – 151 с.
4. Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ «Расчёт параметров режимов орошения сельскохозяйственных культур» («ROCK.xls») № 2004610996. Зарегистрировано в Реестре программ для ЭВМ 22.04.2004 г.
5. Груза Г.В., Ранькова Э.Я. Колебания и изменения климата на территории России // Известия РАН. Физика атмосферы и океана. – 2003. – Т. 39. – № 2. – С. 166 – 185.
6. Письменный Д. Конспект лекций по высшей математике. Полный курс. 2-е изд. – М.: Айрис-пресс, 2004. – 256 с.
7. Альт В.В. Информационные технологии как фактор повышения эффективности выбора технологических решений // Достижения науки и техники АПК. – 2006. – № 11. – С. 3 – 5.