

УДК 556.13

Г. В. Ольгаренко (ФГБНУ ВНИИ «Радуга»)

Ф. К. Цекоева (БФУ им. И. Канта)

НОРМИРОВАНИЕ ОРОШЕНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КОМПЛЕКСНОЙ АГРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ

В основном совершенствование эмпирических моделей управления водным режимом орошаемых земель сводится к повышению достоверности коэффициентов. По мнению авторов, наиболее существенно повышает точность математических зависимостей количественный учет нелинейности связи между величиной депрессии испарения и недостатком почвенной влаги в конкретные фазы развития растений, т.е. учет относительных, а не абсолютных величин параметров и коэффициентов. Авторами предложена методика расчета суммарного испарения, базирующаяся на совместном решении уравнения водного баланса и параболических зависимостей, описывающих с высокой степенью достоверности связь между суммарным испарением, тепло-, влагообеспеченностью вегетационного периода и влажностью почвы в различные фазы развития растений. Предложена методика оперативного планирования экономически эффективных и экологически безопасных режимов орошения, обеспечивающая рациональное использование водных, энергетических и материально-технических ресурсов. Разработанную авторами методику можно признать хорошей в соответствии со шкалой оценки (коэффициент η , являющийся критерием качества расчетных методов равен 0,35), используемой в утвержденной методике оценки качества прогнозов.

Ключевые слова: суммарное испарение, эффективность орошения, компьютерные технологии, оперативное планирование поливов, экологически безопасные режимы орошения.

G. V. Olgarenko (FSBSRE “ARSRIIFWSS “RADUGA”)

F. K. Tsekoyeva (IKBFU)

IRRIGATION RATIONING USING THE COMPLEX AGROMETEOROLOGICAL INFORMATION

Generally the improvement of empirical models of irrigation modes management is to increase the reliability of the coefficients. According to the authors, the accuracy of mathematical dependences increases the quantification of nonlinearity of the connection between the depression evaporation and lack of soil moisture in concrete phases of plants development, accounting for relative and not absolute values of the parameters and coefficients. The authors suggest the method of calculation of total evaporation, based on the joint solution of the equation of water balance and parabolic dependencies, describing with a high degree of reliability communication between total evaporation, heat, water supply of the vegetation period and soil moisture in different phases of plants development. The methodology of operational planning of economically effective and ecologically safe irrigation modes, providing rational use of water, energy and material resources is offered.

Key words: total evaporation, irrigation efficiency, computer technology, operational irrigation planning, ecologically safe irrigation modes.

Опыт эксплуатации гидромелиоративных систем в степной зоне России показывает, что присутствует как позитивное, так и негативное воздействие орошения на агроландшафт. С одной стороны, в 2-3 раза повышается продуктивность сельскохозяйственных угодий, решается продовольственная проблема. С другой стороны, не реализуется потенциальный уровень продуктивности сельскохозяйственных культур, при этом отмечается ухудшение экологической обстановки (И. П. Айдаров, В. Н. Щедрин, И. П. Кружилин, М. С. Григоров, В. И. Ольгаренко) [1, 2, 3], которое характеризуется подъемом уровня грунтовых вод, развитием процессов вторичного засоления и осолонцевания почв, водной эрозией, загрязнением природных вод.

Анализ работ российских ученых [3, 4, 5, 6] показывает, что за счет повышения технического уровня гидромелиоративных систем может быть решено 30-40 % существующих экологических проблем. Остальная их часть может быть устранена путем повышения эффективности управления водопользованием. Нерациональное управление даже при самом высоком техническом уровне оросительных систем приводит к непродуктивным потерям воды на сток и инфильтрацию, снижению плодородия орошаемых почв. При этом бесполезно теряются израсходованные на водораспределение ресурсы и энергия, что особенно недопустимо в современных условиях при значительном росте цен на энергоносители и тенденции снижения энергоотдачи от ресурсов, вкладываемых в орошение.

Рассматриваемая как главный фундаментальный элемент гидромелиоративной системы подсистема водораспределения на поле представляет собой совокупность управляющей и технической (управляемой) подсистем, функционирующих в условиях стохастического воздействия внешних факторов. Управляющая подсистема осуществляет нормирование режима, информационное обеспечение, передачу управляющих воздействий и контроль качества функционирования технической подсистемы (управляе-

мой), обеспечивающей практическую реализацию процесса орошения в условиях неопределенности и риска. Управление водным режимом орошаемых земель сопряжено со значительными трудностями, так как динамика влагообеспеченности посевов зависит от большого числа стохастических гидрометеорологических и технологических факторов.

Современный уровень развития компьютерных технологий позволяет преодолеть эти трудности. В России и за рубежом существует множество разнообразных информационных систем и моделей оперативного планирования орошения, точность управления которых зависит как от качества компьютерной техники, так и от того, насколько комплекс применяемых моделей адекватно описывает динамику водного режима агробиоценозов в конкретных почвенно-климатических условиях.

Для существующих моделей оперативного планирования орошения базовая информация включает название хозяйств, код возделываемой культуры и участка, даты посева, максимальные запасы доступной влаги в корнеобитаемой зоне почвы. Метеорологическая информация включает данные о солнечной радиации, температуре воздуха и точки росы, скорости ветра, дефиците влажности воздуха.

Текущая информация включает даты предыдущего полива, допустимого снижения запасов влаги в данную фазу вегетации культуры, даты выпадения последнего дождя в течение расчетного периода, количества влаги, поступившей с осадками и поливом за рассматриваемый период (Е. П. Галямин, Ю. П. Добрачев, И. Н. Ильинская, А. Ю. Черемисинов и др.) [6, 7, 8, 9, 10].

Качество математических моделей зависит от точности определения суммарного испарения и других составляющих водного баланса, величины которых рассчитываются с использованием коррелятивных связей их с метеофакторами и биологическими особенностями растений при помощи биоклиматических коэффициентов.

В основном совершенствование эмпирических моделей сводится к повышению достоверности исходной информации, получению региональных коэффициентов, оценке их изменчивости от тепло-, влагообеспеченности расчетного периода. Для определения коэффициентов по стандартным методикам используют экспериментальные данные, полученные в разные годы, объединяя их для отдельных расчетных периодов (например, для одной фазы развития культуры, но в разные годы исследований). Установлено, что даже при сходных средних агрометеорологических показателях в разные годы их режим распределения и изменчивость могут отличаться, что сказывается на росте и развитии растений, а, следовательно, и суммарном испарении. При экспериментальном определении параметров моделей этот фактор необходимо учитывать.

Анализ научно-технических материалов (М. И. Будыко, А. Р. Константинов, Г. В. Ольгаренко и др.) указывает на реальную возможность повышения точности расчетов по моделям за счет учета количественной изменчивости биоклиматических коэффициентов в зависимости от метеорологических условий и влагообеспеченности посевов в конкретные фазы развития растений [2, 4]. Действительно, в существующих моделях вводятся редуccionные коэффициенты, которые учитывают депрессию испарения при снижении влагообеспеченности посевов, но без учета нелинейности связей и конкретных фаз развития растений, что в принципе неверно. С точки зрения физиологии растений, на разных этапах онтогенеза недостаток влаги в почве будет по-разному влиять как на темпы прироста биомассы, так и на интенсивность суммарного водопотребления сельскохозяйственных культур.

Наиболее существенно повышает точность математических зависимостей количественный учет нелинейности связи между величиной депрессии испарения и недостатком почвенной влаги в конкретные фазы развития растений, учет изменчивости гидрометеорологических условий и

применение в расчетах относительных, а не абсолютных величин параметров и коэффициентов.

Для управления орошением с применением математических моделей требуется предварительное теоретическое обоснование и экспериментальное определение норм водопотребления сельскохозяйственных культур, а также наиболее информативных параметров моделей; организация информационного обеспечения, позволяющая получить точные количественные характеристики влагообеспеченности посевов и регулировать водный режим почвы в соответствии с изменяющимися по этапам органогенеза гидрометеорологическими условиями и потребностью растений в воде.

Научные исследования направлены на получение объективной информации о влиянии гидрометеорологических условий, режимов орошения на суммарное испарение и продуктивность агробиоценозов, включающей информационно-аналитические исследования, теоретические разработки и полевые эксперименты.

Задачи исследований:

- сбор и анализ научно-технической информации по влиянию орошения на экологическую обстановку в зависимости от эффективности использования водных ресурсов, технической оснащенности гидромелиоративных систем, качества планирования и управления водным режимом орошаемых земель;

- разработка концепции и основных принципов повышения эффективности орошения на основе совершенствования расчетных методов определения составляющих водного баланса орошаемых земель, улучшения информационного обеспечения процессов планирования и управления орошением;

- исследование влияния гидрометеорологических условий и орошения на формирование водного режима, суммарного испарения и урожайности кукурузы, люцерны и овощных культур;

- исследование влияния влагообеспеченности на суммарное испарение и урожайность, с учетом особенностей водопотребления сельскохозяйственных культур на различных этапах онтогенеза;

- количественная оценка (определение причинно-следственных связей) влияния пространственно-временной изменчивости гидрометеорологических факторов на суммарное испарение, точность расчетных методов и изменчивость эмпирических параметров в моделях для оперативного нормирования орошения и планирования водопользования;

- обоснование и разработка нового расчетного метода определения суммарного испарения, методики нормирования водосберегающих режимов орошения с учетом вероятностного характера гидрометеорологической и водно-балансовой информации;

- разработка рекомендаций по повышению достоверности и точности информационного обеспечения процесса нормирования орошения, усовершенствование методики расчета испаряемости и влагообмена в зоне аэрации по данным гидрометеорологических наблюдений.

Методической основой исследований является системный анализ; методы математической статистики и условной логики. Экспериментальные исследования проводились в соответствии с общепринятыми методиками выполнения метеорологических, водно-балансовых, агрономических и почвенных опытов. Аналитическая обработка данных выполнена с применением методов корреляционного, регрессионного, дисперсионного анализа. Применены компьютерные программы «Raduga Irrigation» и «ROCK.xls».

Информационно-аналитические исследования базировались на изучении научно-технических материалов и литературных источников с использованием системного подхода, методов функционально-структурного анализа и планирования экспериментов.

Авторами предложена методика расчета суммарного испарения, базирующаяся на совместном решении уравнения водного баланса и параболических зависимостей, описывающих с высокой степенью достоверности ($r = 0,8-0,9$) связь между суммарным испарением, тепло-, влагообеспеченностью вегетационного периода и влажностью почвы в различные фазы развития растений.

Для ряда культур (ячменя, люцерны, капусты, лука, томатов, моркови, свеклы) получены зависимости суммарного испарения от влажности почвы, учитывающие нелинейный характер причинно-следственных связей в системе почва – растение – изменчивость гидрометеорологических условий, и имеющие общий вид:

$$\frac{ET}{E_w} = f\left(\frac{W_n + W_k}{2W_{нв}}\right),$$

где ET – суммарное испарение, мм;

E_w – испаряемость, мм;

$W_n, W_k, W_{нв}$ – влагозапасы, соответственно, на начало и конец вегетационного периода и при влажности, соответствующей наименьшей влагоемкости, мм.

Аналитическая зависимость, разработанная авторами на основе теоретически обоснованных уравнений с использованием эмпирических параметров, позволяет учесть влияние изменчивости метеорологических условий, влагообеспеченности посевов на суммарное испарение в конкретные фазы развития сельскохозяйственных культур.

Предложена методика оперативного планирования экономически эффективных и экологически безопасных режимов орошения, обеспечивающая рациональное использование водных, энергетических и материально-технических ресурсов. Получены математические зависимости для оценки влияния влагообеспеченности на урожайность сельскохозяйственных культур для обоснования проектных и эксплуатационных режимов

орошения. Разработаны методики определения оптимальной расчетной обеспеченности оросительных норм и оперативного планирования водопользования, применяемые при проектировании и эксплуатации гидромелиоративных систем.

Для проверки точности разработанной методики была произведена сравнительная оценка ее с общепринятыми методами расчета суммарного испарения. В качестве основных расчетных зависимостей применялись аналитические выражения, предложенные А. М. Алпатьевым и С. И. Харченко на основе прямолинейной зависимости, и параболическое уравнение, предложенное авторами. Рассчитанные по уравнениям величины суммарного испарения (ET) сравнивались с фактическими независимыми данными при исследовании режимов орошения и водопотребления люцерны в сходных гидрометеорологических условиях.

Коэффициент η , являющийся критерием качества расчетных методов, составил 0,94 при расчетах по формуле А. М. Алпатьева и превысил 0,8. Это говорит о том, что методика может давать существенные ошибки. При расчетах по формуле С. И. Харченко коэффициент $\eta = 0,76$ и попадает в диапазон значений 0,5-0,8. Следовательно, эту методику можно признать удовлетворительной. При расчетах по формуле авторов $\eta = 0,35$, его величина меньше 0,5. Следовательно, методику расчета можно признать хорошей в соответствии с методикой оценки качества прогнозов, изложенной в нормативном документе «Наставление службе прогнозов» [11].

Комплексное применение методик нормирования орошения позволяет повысить точность расчетов суммарного испарения, динамики влажности почвы и поливных норм, оперативного планирования поливов, а следовательно, и эффективность орошения.

Результаты работы использованы при составлении трех нормативно-методических документов, свода правил, технологической инструкции, методических рекомендаций, подготовки курса лекций и учебно-

методических работ по специальностям «Мелиорация сельскохозяйственных земель» и «Рациональное природопользование».

Список использованных источников

1 Щедрин, В. Н. Орошение сегодня: проблемы и перспективы / В. Н. Щедрин. – М.: ЦНТИ «Мелиоводинформ», 2004. – 255 с.

2 Ольгаренко, В. И. Эксплуатация и мониторинг мелиоративных систем / В. И. Ольгаренко, Г. В. Ольгаренко, В. Н. Рыбкин: под ред. В. И. Ольгаренко. – Коломна: Инлайт, 2006. – 391 с.

3 Айдаров, И. П. Оптимизация мелиоративных режимов орошаемых и осушаемых сельскохозяйственных земель / И. П. Айдаров, А. И. Голованов, Ю. Н. Никольский. – М.: ВО «Агропромиздат», 1990. – 58 с.

4 Константинов, А. Р. Нормирование орошения: методы, их оценка, пути уточнения / А. Р. Константинов, Э. А. Струнников // Гидротехника и мелиорация. – 1986. – № 1. – С.19-28. – № 2. – С. 33-42.

5 Капустина, Т. А. Исследование и оценка циклических изменений климатических показателей по природным зонам агроландшафтов Нечерноземья и ЦЧО / Т. А. Капустина, И. М. Аванесян, Е. Ю. Спирина // Сборник научных трудов. – Ч. 2. – М.: МГУП, 2005. – С. 217-223.

6 Галямин, Е. П. Оптимизация оперативного распределения водных ресурсов в орошении / Е. П. Галямин. – Л.: Гидрометеиздат, 1981. – 272 с.

7 Щедрин, В. Н. Изменчивость природного увлажнения территории Северного Кавказа / В. Н. Щедрин, И. Н. Ильинская // МиВХ. – 2002. – № 5. – С. 23-24.

8 Черемисинов, А. Ю. Управление водными режимами экологически сбалансированной агросистемы на орошаемых черноземах: автореф. дис. ... д-ра с.-х. наук: 06.01.02 / Черемисинов Александр Юрьевич. – Волгоград, 1993. – 35 с.

9 Расчет режимов орошения сельскохозяйственных культур и проектных норм водопотребности. Методические рекомендации / Г. В. Ольга-

ренко [и др.]: под общ. ред. Г. В. Ольгаренко. – Коломна: Инлайт, 2012. – 151 с.

10 Головатый, В. Г. Модели управления продуктивностью мелиорируемых агроценозов / В. Г. Головатый, Ю. П. Добрачев, И. Ф. Юрченко. – М.: ВНИИГиМ, 2001. – 166 с.

11 Наставление по службе прогнозов. Раздел 2. Служба метеорологических прогнозов. – М.: Гидрометеиздат, 1981 – 56 с.

Ольгаренко Геннадий Владимирович – доктор сельскохозяйственных наук, профессор, Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Всероссийский научно-исследовательский институт систем орошения и сельскохозяйственного водоснабжения «Радуга» (ФГБНУ ВНИИ «Радуга»), директор.

Контактный телефон: +7 496 617 00 29.

E-mail: olgarenko@mail.ru

Olgarenko Gennadiy Vladimirovich – Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Federal State Budget Scientific-Research Establishment «All-Russia Scientific Research Institute for Irrigation and Farming Water Supply Systems “RADUGA” (FSBSRE “ARSRIIFWSS “RADUGA”), Director.

Contact telephone number: +7 496 617 00 29.

E-mail: olgarenko@mail.ru

Цекоева Фатима Касполовна – кандидат сельскохозяйственных наук, доцент, Балтийский Федеральный университет им. Иммануила Канта (БФУ им. И. Канта), декан факультета географии и геоэкологии.

Контактный телефон: +7 4012 53 36 18.

E-mail: tsekoeva@yandex.ru

Tsekoyeva Fatima Kasplovna – Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor, Immanuel Kant Baltic Federal University (IKBFU), Dean of the Faculty of Geography and Geoecology.

Contact telephone number: +7 4012 53 36 18.

E-mail: tsekoeva@yandex.ru