

влияния хозяйственной деятельности на водные ресурсы и водный режим, тр. ГГИ. – Л.: Гидрометеоздат, 1973. – Вып. 206.

6. Демидов В. В. Закономерности эрозии почв лесостепной зоны при снеготаянии как научная основа системы почвозащитных и природоохранных мероприятий: автореф. дисс. докт. биол. наук. – М., 2000. – 47 с.

7. Калюжный И. Л., Павлова К. К., Лавров С. А. Физическое моделирование процессов миграции влаги при промерзании почв // Метеорология и гидрология. – 1984. – № 1. – С. 71-85

8. Кучмент Л. С. Модели процессов формирования речного стока. – Л.: Гидрометеоздат, 1980. – 143 с.

9. Мухин В. М. Методы прогнозирования притока воды в водохранилища за период весеннего половодья // Труды Гидрометцентра России. Гидрометеорологические прогнозы. – Вып. 351. – 2014. – С. 108-140

10. Петелько А. И. Агролесомелиорация в адаптивно-ландшафтном земледелии в лесостепи Центрального Нечерноземья автореф. дис. докт. с.-х. наук. – Волгоград, 2012. – 39 с.

11. Способ прогнозирования поверхностного стока талых вод (соавт. А. Т. Барабанов, Е. А. Гаршинев, К. Н. Кулик): пат. № 2347222 РФ МКИ заявитель и патентообладатель ГНУ ВНИАЛМИ. – 2009126879/12; заявл. 24 июля 2006 г., опубл. 20.02. 2009 г., Бюл. №5. – 3 с.

12. Сурмач Г. П. Прогнозирование стока талых вод / Г. П. Сурмач, М. М. Ломакин, Л. П. Шестакова // Земледелие, 1989 № 4. – С. 29-31.

13. Шеппель П. А. Специальный весенний попуск паводковых вод Волги / П. А. Шеппель. – Нижне-Волжское изд-во, Волгоград, 1990. – 191 с.

УДК 633.511:631.674

## **ПОТЕРИ ОРОСИТЕЛЬНОЙ ВОДЫ НА ИСПАРЕНИЕ С ВОДНОЙ ПОВЕРХНОСТИ НА ОРОШАЕМЫХ ЗЕМЛЯХ АРИДНОЙ ЗОНЫ**

**Безбородов Ю.Г.<sup>1</sup>, Безбородов А.Г.<sup>2</sup>, Безбородов Г.А.<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, г. Москва, Россия;

<sup>2</sup>РАКО АПК, г. Москва, Россия;

<sup>3</sup>Уз НИИССиАВХ, г. Ташкент, Узбекистан

В процессе выращивания сельскохозяйственных культур в условиях аридного климата подаваемая на поля оросительная вода целенаправленно и планомерно разделяется на две составляющие водопотребления или суммарного испарения комплекса почва-растение. Один компонент, самый главный и необходимый для роста, развития и формирования урожая растений, это - транспирация. Другой, без которого растительный покров может обойтись, и который неизбежно присутствует при стандартной технологии его выращивания и считается непродуктивным - физическое испарение влаги или испарение влаги с оголенной поверхности почвы. В современных условиях возделывания орошаемых культур аридной зоны в среднем и нижнем течении р. Амударьи и в среднем р. Сырдарьи водораспределение между водопользователями осуществляется по урезанному режиму орошения, следствием чего является низкая урожайность основной сельскохозяйственной культуры – хлопчатника – 25-26 ц/га в среднем по Узбекистану.

Проблема экономии оросительной воды по праву здесь считается приоритетной, на решение которой направлено постановление Кабинета Министров РУз от 24.02.2014 № 39 «О Государственной программе по улучшению мелиоративного состояния орошаемых земель и рациональному использованию водных ресурсов на период 2013-2017 гг.». В этом документе предусмотрено внедрение таких водосберегающих мероприятий как капельное орошение многолетних культур, использование гибких переносных поливных и транспортирующих полиэтиленовых трубопроводов, мульчирование почвы полиэтиленовой пленкой. Начатое с 2013 г. внед-

рение данных мероприятий основано на положительных результатах научных исследований и многолетних опытно-производственных проверок в различных почвенно-климатических условиях Республики, проведенных авторами статьи.

Из перечисленных водосберегающих мероприятий при выращивании пшпашных культур особое внимание привлекает мульчирование почвы, которое, как показали исследования, сокращает физическое испарение влаги и тем самым снижает размер оросительной нормы и, соответственно, водопотребление сельскохозяйственных культур. Другим важным достоинством этого агроприема является достоверное повышение урожая, подтвержденное многолетними результатами его использования в фермерских хозяйствах во всех административных областях Республики. Еще одним положительным, имеющим глобальное значение, фактором является экологичность мульчирования почвы. Его роль особенно ярко проявилась при возделывании хлопчатника. Как известно, для получения урожая хлопка-сырца 30-35 ц/га в почву вносятся минеральные удобрения: азотные нормой 200 кг/га (действующего вещества); фосфорные нормой 150 кг/га и калийные нормой 100 кг/га. Азот удобрений используется хлопчатником с КПД, равным 30-40 %. Оставшаяся часть, в том числе в виде газообразных соединений с кислородом, улетучивается в атмосферу и в виде закиси азота ( $N_2O$ ), повышает парниковый эффект. При мульчировании почвы воздухонепроницаемой полиэтиленовой пленкой часть газообразных соединений азота минеральных удобрений остается в почве, повышая уровень азотного питания корневой системы растений и понижая объем их выброса в атмосферу в процессе дыхания почвы.

Аналогичная картина происходит в почве с фосфорными удобрениями. Фосфор минеральных удобрений используется хлопчатником примерно на 20-25 %, а остальная его часть закрепляется в почве в виде нерастворимых в воде двух- и трехкальциевых фосфатов. В мульчированной орошаемой почве кислоты, которые при взаимодействии с труднорастворимыми фосфатами переводят их в доступные для корневой системы растений формы. Таким образом, в мульчированной почве содержатся запасы питательных веществ, которые продуктивно используются растениями для повышения урожайности.

Вместе с тем, несмотря на то, что и минеральные удобрения, и оросительная вода являются важными факторами в сельскохозяйственном производстве, вода в экосистеме служит средством, с помощью которого происходит энерго- и массообмен в системе почва – растение – атмосфера, где нарушение равновесия вызывает глобальное (пока не доказанное) потепление климата. В связи с этим нам представляется, что сокращая физическое испарение влаги (и газообразные потери азота удобрений) сельское хозяйство региона может внести свой вклад в улучшение экологии планеты.

В мелиоративной науке известны многочисленные разработки, направленные на водосбережение в орошаемом земледелии. Одно из них, разрабатываемое нами, - это мульчирование почвы. Оно способствует сокращению непродуктивного физического испарения и соответственно, снижению объема поступающего в атмосферу водяного пара, который, как известно, является главным парниковым газом. Для расчета испарения с оголенной почвы разработан ряд теоретических и экспериментальных методов [2, 3, 4 и др.]. Из теоретических методов, апробированных на экспериментальных данных, нами рекомендован метод Денисова Ю.М. [6, 1], в котором интенсивность испарения влаги определяется по следующей зависимости

$$E_n = \alpha_{no} A (1 + ABCD\phi_0) / (1 + ABC), \quad (1)$$

где  $E_n$  – интенсивность испарения влаги, мм/ч;  $A = 2,68(1+u/v_s)$ ;  $B = (k_2/1-\alpha_1)^{0.5}$ ;  $C = (1-\phi)^{0.5}$ ;  $D = (\rho_{pn} - \rho_n) / \rho_2$ ;  $\alpha_{no}$  – относительный объём пор на поверхности почвы,  $\alpha_{no}=1-\lambda_{10}$ ;  $\alpha_{10}$  – объём скелета почвы;  $u$  – скорость ветра на высоте флюгера, м/с;  $v_s$  – параметр, равный 2,5 м/с;  $k_2$  – константа Кармана, равная 0,41;  $K_f$  – коэффициент фильтрации, м/сут;  $\alpha_1$  – относительный объём почвенного скелета;  $\phi_0$  – влагонасыщенность верхнего слоя почвы 5-10см;  $\phi$  – средняя влагонасыщенность активного слоя почвы 50-100 см;  $\rho_{pn}$  – плотность насыщающего пара над водой при температуре 273°К и нормальном давлении, г/см<sup>3</sup>;  $\rho_n$  – плотность пара в воздухе на высоте метеобудки, г/см<sup>3</sup>;  $\rho_2$  – плотность воды, г/см<sup>3</sup>.

Р. Хэнкс и Дж. Ашкрофт рекомендуют определять испарение из почвы, занятой посевами сельскохозяйственных культур, по разности между суммарным испарением ( $E$ ) и транспирацией  $Tr$  [5]:

$$E = E_t - Tr, \quad (2)$$

Размер транспирации определяется по зависимости Девита

$$Tr = P_c E_p / f, \quad (3)$$

где  $P_c$  – масса сухого вещества надземной части растений, кг/га;  $E_p$  – средняя скорость потенциального испарения, приведенная к большой массе воды, см/сут;  $f$  – прирост сухого вещества, кг /га в сут.;

$$E_p = (R_n + G) L^{-1}, \quad (4)$$

где  $R_n$  – радиационный баланс, определяемый по зависимости:

$$R_n = R_s (1-p) + R_1, \quad (5)$$

$R_1$  – остаточная длинноволновая радиация;  $R_s$  – коротковолновая радиация, поступающая на поверхность;  $p$ -альбедо (доля суммарной радиации, которая отражается поверхностью);  $G$  – энергия, затраченная на нагревание почвы;  $L$  – скрытая теплота парообразования.

Для определения величины  $E_p$  ФАО рекомендует использовать методы Пенмана-Монтейта, Блейни и Криддла, радиации и испарителей. Наибольшее распространённый в орошаемом земледелии многих стран мира широко применяется метод Пенмана-Монтейта [4], на основании которого составлена известная компьютерная программа «CROPWAT». Эта программа адаптирована к условиям Узбекистана и может быть использована для составления планов водопользования и для текущего планирования сроков и норм полива.

Поскольку в системе УзГидрометцентра актинометрические исследования проводятся в небольшом объеме, для приближенных расчетов вместо  $E_p$  нами предлагается использовать известную формулу Иванова, по которой определяется испаряемость (испарение с водной поверхности):

$$ET_0 = 0,00144 (t + 25)^2 (100-r), \quad (6)$$

где  $t$  – среднемесячная температура воздуха, °С;  $r$  – относительная влажность воздуха, %.

Далее, определив размер транспирации по зависимости (3), по данным полевых опытов определив водопотребление культуры, по зависимости (2) можно определить величину физического испарения.

В результате проведения многолетних полевых опытов по изучению режима орошения хлопчатника разных сортов определены размеры оросительной нормы и водопотребления. На основании опытных данных и приведенных зависимостей рекомендуется следующая расчетная схема определения оросительной нормы хлопчатника. Имея данные по физическому испарению влаги (полевые наши и расчет-

ные по Денисову) и транспирации (по Девицу), определяется суммарное испарение хлопчатника (ET). Затем определяется величина оросительной нормы ( $M_{op}$ ):

$$M_{op} = ET - O_c - \Delta W, \quad (7)$$

где  $O_c$  – слой осадков, выпавших в течение вегетационного периода;  $\Delta W$  – использованные в течение вегетационного периода почвенные влагозапасы.

В системе Узбекского института селекции, семеноводства и агротехники выращивания хлопка (НИИССиАВХ) в исследованиях по разработке агротехнологии новых сортов хлопчатника всегда определяется водопотребление хлопчатника. С определенной степенью водообеспеченности, учета прогнозируемых осадков и почвенных влагозапасов по приведенной зависимости можно определить оросительную норму хлопчатника.

В условиях дефицита оросительной воды одним из перспективных может стать направление по снижению ее затрат на испаряемость - испарение с водной поверхности. В орошаемой земледелии аридной зоны при возделывании пропашных культур повсеместно применяется поверхностный способ полива – бороздковый. Для его осуществления создается система временных водотоков, таких как временные оросители, выводные и поливные борозды. Все они работают в условиях жаркого климата, когда и почва, и оросительная вода, особенно почва, сильно нагреваются, в результате чего происходит интенсивное испарение воды.

В мелиоративной науке содержится ряд рекомендаций по определению потерь оросительной воды на испарение при бороздковом поливе. Так, на узкорядных посевах хлопчатника, выращиваемого на тяжелосуглинистых почвах с различными уклоном и длиной борозд, потери воды на испарение с поверхности воды и увлажняемой почвы во время проведения полива могут составлять 8,3-12,5 % или 110-175 м<sup>3</sup>/га. Нашими исследованиями испаряемости из малых испарителей с водной поверхностью 0,021 м<sup>2</sup> установлен объем испарившейся воды за период наблюдений 15.05-16.09.2015 г. При этом среднесуточная норма испарения за период проведения вегетационных поливов 8.06-27.08.15 составила 90 м<sup>3</sup>/га. С учетом коэффициента испарителя  $K_{исп}=0,56$  суточная норма испарения составит 50 м<sup>3</sup>/га в сут. При проведении пяти поливов хлопчатника на типичном сероземе объем испарившейся воды составит примерно 250 м<sup>3</sup>/га.

В настоящее время на посевах хлопчатника рекомендуется поливы хлопчатника проводить по бороздам длиной не более 100-200 м. При длине борозд 100 м протяженность выводных борозд (ок-арыков) составит 125 м/га, при длине 200 м - 50 м/га. Для подачи воды в выводные борозды необходимо устраивать систему временных оросителей. Так, на стандартном поле площадью 40 га (1000x400 м) в новой зоне орошения Голодной степи в первом случае при поперечной схеме полива необходимо устраивать 5 линий выводных борозд общей длиной 5 км, во втором случае 1 км, временных оросителей соответственно 1,5 и 1 км. При этом общая длина временных водотоков на поле составит 162,5 и 50 м/га. Во временно работающих руслах потери воды на испарение определяются шириной потока по урезу воды и ее температурой. Как было установлено Безбородовым А.Г., в зоне командования Южного голодностепского канала температура воды летом в голове борозд равна 22-23 °С и при проведении поливов нагревается до 25-27 °С. Принимая расход воды временного оросителя в размере 40 л/с, а выводной борозды 20 л/с, ширина потока по урезу воды определится по зависимости

$$B = 1,15(0,04q^{0,6}/i^{0,4})^{0,33}. \quad (8)$$

Для временного оросителя с уклоном земли 0,003 расчетная ширина потока воды составляет 45 см, для выводной борозды с уклоном 0,002 – 42 см. Расчетами установлены суммарные потери воды с водной поверхности временных оросителей, выводных и поливных борозд в размере 2,5-3 % от поливной нормы 900 м<sup>3</sup>/га. Потери воды на физическое испарение с оголенной поверхности почвы междурядий хлопчатника составляют 30 % водопотребления. Если согласно СНиП 2.06.03-85, приложение 3, общие потери воды при поливе составляют 25-30 %, то на долю глубинных потерь и поверхностного сброса воды придется 22-27 %, что согласуется с практикой бороздкового полива.

### **Выводы**

Сочетание теоретической зависимости, апробированной на материалах полевых экспериментов по определению физического испарения с оголенной орошаемой почвы на посевах пропашной культуры, и эмпирической по определению транспирации, дает возможность оценить суммарное испарение сельскохозяйственной культуры, а с учетом прогнозных значений атмосферных осадков и используемых почвенных влагозапасов вычислить оросительную норму. Потери воды с водной поверхности при поливе по бороздам в новой зоне орошения Голодной степи составляют 2,5-3 %, потери при физическом испарении – 30 %.

### **Список использованных источников**

1. Безбородов Ю.Г., Безбородов А.Г. Орошение сельскохозяйственных культур в аридной зоне. -М.: РГАУ-МСХА, 2013. -535 с.
2. Будаговский А.И. Испарение почвенной влаги. -М.: Наука, 1964. - 244 с.
3. Константинов А.Р. Испарение в природе. -Л.: Гидрометеиздат, 1968. -532 с.
4. Пенман Х.Л. Растения и влага. -Л.: Гидрометеиздат, 1968. -162 с.
5. Хэнкс Р.Дж., Ашкрофт Дж.Л. Прикладная физика почв. Влажность и температура почвы. -Л.: Гидрометеиздат, 1985. -151 с.
6. Denisov Yu.M., Sergeev A.I., Bezborodov G.A., Bezborodov Yu.G. Moisture evaporation from bare soils // Irrigation and Drainage systems.-2002. -16. - P. 175-185.

УДК 519.87: 626.814

## **МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ И ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ДЛЯ ВЫПОЛНЕНИЯ ВОДОХОЗЯЙСТВЕННЫХ РАСЧЁТОВ КОМПЛЕКСА «ОЗ. БАЙКАЛ - ИРКУТСКОЕ ВОДОХРАНИЛИЩЕ»**

**А.Л. Брайнин, А.Л. Бубер, А.А. Комаровский**  
ФГБНУ «ВНИИГиМ им. А.Н. Костякова», г. Москва, Россия

В составе работ по контракту с федеральным агентством водных ресурсов, выполненных ВНИИГиМ им. А.Н. Костякова в 2015 году, для обоснования возможного диапазона колебаний уровня воды в озере Байкал была разработана Вычислительная технология (ВТ) в среде Excel, которая позволила выполнить достаточно большое число различных водохозяйственных расчетов (ВХР). Разработанная ВТ позволяет использовать временные ряды полезного притока произвольной продолжительности и диспетчерские графики (ДГ) различной конфигурации. Расчет показателей надежности обеспеченности требований водопользователей, реализованный в ВТ, позволяет оценить надежность по числу бесперебойных периодов (расчетных интервалов) и лет в количественном и процентном выражении для любого вида требований, выраженного в виде функций от основных выходных по-