

УДК 551.482.215.75

**АНАЛИЗ ВОДОБЕСПЕЧЕННОСТИ РАСТИТЕЛЬНОСТИ
ПОЙМЫ**

А.Р. Вагапова

В статье дан анализ современных моделей динамики запасов влаги в почве и испарения влаги с поймы. Представлена характеристика водопотребления растений из грунтовых вод, показаны основные интегральные характеристики свойств растительности.

За последние годы наблюдается истощение и нарастает процесс деградации важнейшего в экономике области природно-хозяйственного комплекса. Долина р. Шу значительно опустынилась. Так, по данным института почвоведения АН КазССР, уже в 80-х годах в самой верхней дельте низовой долины реки пустынные площади увеличились на 20 %.

Одной из проблем на сегодняшний день является проблема потребления водных ресурсов. Наибольший вес потребления воды приходится на регулярное орошение – (70...72 % от общего объема водопотребления), в то же время, в силу низкого технического уровня оросительных систем (КПД = 0,52...0,56) в аграрном секторе очень велика доля потерь оросительной воды. Например, на внутрихозяйственной сети теряется до 30%, а на межхозяйственной – более 15 % воды.

Вторым по объему водопотребления являются коммунальное и производственное водоснабжение. Крупными населенными пунктами являются город Шу, поселки Берлик, Фурмановка, Новотроицкое. Водоснабжение населения г. Шу и сельских населенных пунктов производится водой из подземных вод за счет строительства локальных систем водоснабжения в каждом населенном пункте. Решение проблемы рационального использования орошаемых земель и водных ресурсов связано не только с техническим состоянием оросительных систем, но в значительной мере зависит от уровня природопользования аридной зоны.

В настоящее время для решения проблем рационального водораспределения широко используются математическое моделирование. Значительные успехи достигнуты в моделировании водопотребления и управле-

ния водоснабжением в орошаемом земледелии. Известны модели динамики влагозапасов на орошаемом поле С.И. Харченко, Е.П. Галямина, В.П. Остапчика, Л.И. Зубенок, А.И. Голованова, и др. Из зарубежных моделей наиболее известны модели университета г. Хьюстона штата Техас США (модель линейного программирования водораспределения при ограниченных водных ресурсах), модель SIRMOD II для моделирования поверхностного орошения университета штата Юта США, компьютерная программа Международного комитета по ирригации и дренажу FAO_PENMON.FOR, компьютерная программа (Волна) Университета г. Льювен (Бельгия) для моделирования орошения и дренажа.

Целью нашей работы является разработка модели водообеспечения и функционирования природных комплексов в низовье р. Шу. При моделировании запасов влаги в почве при орошении обычно исходят из однослойной или двухслойной модели. При близком залегании уровня грунтовых вод двухслойная модель дает удовлетворительные результаты и широко применяется на практике. В качестве основы расчета изменений запаса влаги в активном слое почвы $h_{(a)}$ на конец времени t используется уравнение баланса:

$$W_t = W_{t-1} + P_t - \Delta P_t + W_t^g + M_t - E_t, \quad (1)$$

где W_t, W_{t-1} – запас влаги на момент времени t и $t-1$, сут; P_t – сумма осадков, в балансе учитываются все осадки более 0,5 мм; ΔP_t – потери осадков на испарение, поверхностный сток; W_t^g – приток (отток) грунтовых вод; M_t – увлажнение поймы; E_t – суммарное испарение с поверхности земли, включая водопотребление растений.

Основным критерием, определяющим водообеспеченность растений, является запас доступной влаги в слое максимального сосредоточения корней культуры, который называется активным слоем почвы. Нижней границей влажности почвы, обеспечивающей жизнедеятельность растений, является критическая влажность или влажность увядания растений. Международные и установившиеся в СНГ определения термина – допустимая почвенная влага (*soil available moisture*). По существующей методологии содержание влаги в почве изменяется гравиметрическим способом, когда содержание влаги в почве определяется по разнице влаги при предельной полевой влагоемкости и в абсолютно сухой почве [4].

Отток воды под действием гравитационных сил из песчаных почв происходит быстро, но из глинистых почв отток происходит на протяжении длительного периода и трудно определить точку, когда содержание влаги в почве будет соответствовать предельной полевой влагоемкости (ППВ) или (FC).

Растения имеют разную устойчивость к водному стрессу, поэтому точка влажности устойчивого увядания (PWP) для ксерофитов соответствует более низкому содержанию влаги в почве, чем для большинства растений. По этим причинам содержание влаги в почве при предельной полевой влагоемкости (ППВ) и при влажности устойчивого увядания по международной системе определяется по удельной напряженности почвенной влаги, то есть по pF , которая измеряется мембранным прессовым аппаратом. Показатель сосущей силы почвы для этих двух точек равна: для $PWP = 4,2$ и для $FC = 2,0$.

Суммарное испарение влаги E является основным расходным элементом водного баланса активного слоя почвы орошаемого поля – формула (2). В полевых исследованиях E определяют методом водного баланса.

Наибольшее практическое применение в нашей стране получила в 70-х годах 20 века биоклиматическая модель А.М. и С.М. Алпатьевых [1 – 3]:

$$E_i = k_{\bar{\sigma}(d)_i} (\sum d)_i, \quad (2)$$

где $(\sum d)_i$ – сумма среднесуточных дефицитов влажности воздуха за i -ый расчетный период (декаду, пентаду), гПа; $k_{\bar{\sigma}(d)_i}$ – биоклиматический коэффициент, изменяющийся во времени t онтогенеза растений в пределах 0,23...0,53 мм/гПа.

Испарение почвой до всходов культуры определяется по формуле $E_{III}^{(II)} = k_{\bar{\sigma}(d)_i} (\sum d)_i$, где $k_{\bar{\sigma}(d)_i} = 0,15$ при малых осадках, а при значительных и частых – 0,19. Полевые испытания на Украине и в других регионах СНГ, в ЧССР и НРБ показали, что при использовании местных кривых $k_{\bar{\sigma}(d)_i}(T)$ средняя точность расчета испарения по этой модели близка к получаемой водно-балансовым методом [1, 11]. Но недостатком ее является зональность коэффициентов и изменчивость их при значительных отклонениях погодных условий от средних. Уменьшение в засушливых условиях и возрастание во влажных достигает 30...40 % [7, 9].

В.П. Остапчик показал, что неустойчивость этой модели обусловлена использованием в ней пропорциональной зависимости испарения E от дефицита влажности воздуха d и игнорированием различий в закономерностях испарения с оголенной почвы и с покрова растений [7]. По В.П. Остапчику расчет суточных значений суммарного испарения E_τ мм, за прошедшие дни или на предстоящую декаду выполняется по усовершенствованной биоклиматической модели отдельно для оголенной и с растительным покровом частей поля:

$$E_\tau = \varphi_\tau E_\tau + (1 - \varphi_\tau) E_\tau^{(II)}; \quad \varphi_\tau \leq 1, \quad (3)$$

где φ_τ – характеристика степени проективного покрытия поля растениями, определяемая из отношения:

$$\varphi_\tau = \frac{\alpha_{Pi}}{\alpha_{Pi}^{KP}}, \quad (4)$$

где α_{Pi} – наблюдающаяся в день τ степень покрытия; $\alpha_{Pi}^{KP} = 0,6$ – критическая величина его, начиная с которой можно пренебречь влиянием на суммарное испарение особенностей уменьшившейся доли испарения (эвапорации) с почвы $E_{III}^{(I)}$ на скорость суммарного испарения E_τ мм; E' – испарение с части поля с растительным покровом, мм. Необходимость отдельного расчета испарения с оголенной $E^{(II)}$ и покрытой растениями E' частей поля обусловлена выраженными различиями их закономерностей.

Передвижение влаги из грунтовых вод в активный слой почвы, а иногда до поверхности почвы представляет сложный процесс переноса влаги в ненасыщенной почве в зоне аэрации. До настоящего времени нет надежной математической модели, описывающей данный процесс. Прежде всего, это связано с многообразием действующих факторов (физических свойств почвы, ее структуры, водного и теплового режима, влажности воздуха и испарения с поверхности почвы, уровня залегания грунтовых вод и других факторов). Поэтому на практике используются эмпирические зависимости, отображающие связь подпитывания грунтовых вод активного слоя почвы. Основными факторами, поддающимися количественному учету, являются глубина залегания грунтовых вод, физические свойства почвы.

Водопотребление растений из грунтовых вод зависит от глубины развития корневой системы и глубины залегания грунтовых вод. По мере понижения уровня грунтовых вод на пойме уменьшается водопотребление

растений из грунтовых вод. При высоком залегании уровня грунтовых вод рост растений угнетается вследствие ухудшения аэрации почвы. Поступление из грунтовых вод в корнеобитаемую зону зависит от глубины залегания уровня грунтовых вод, характеристики почвы, испарения с поверхности почвы, эвапотранспирации растений и боковой приточности (Рис. 1).

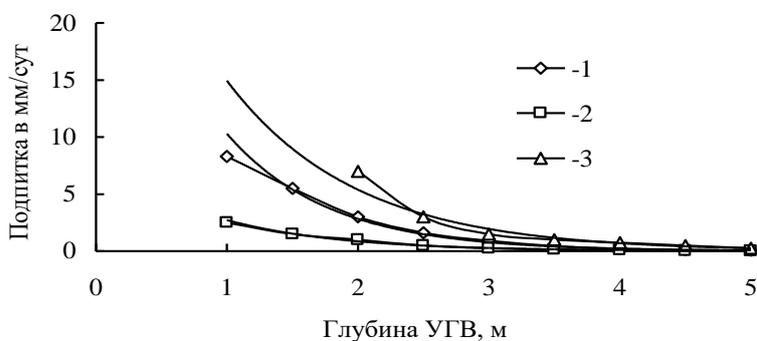


Рис. 1 Подпитка из грунтовых вод. 1 – Локтаев – Хорст, 2 – Харченко, 3 – Смедема – Райкрофт.

По данным Остапчика В.П., Алпатьева А.М., например, для люцерны первого года вегетации, оптимальный уровень H_{opt} – 1 м. При нем покрываются 73...80 % общего объема потребности растений в воде, при 2 м – 30 %, а при 3 м – 11...22 % суммы водопотребления. В последующие года развития люцерны H_{opt} смещается до глубины 2 м. Для виноградарников оптимальная глубина залегания уровня грунтовых вод составляет 1...1,75 м, для садов 2...3 м. При уровне грунтовых вод $H = 3,5$ м роль грунтовых вод в водообеспечении незначительна.

УкрНИИГМи в 1973...1977 гг. провел опыты в зоне Северо-Крымского канала по определению $k^{(z)} = 1 - \frac{W^{(z)}}{E}$ [7]. В результате обработки опытных данных получена обобщающая зависимость для всех культур (яровая пшеница, кукуруза, кормовая свекла):

$$\begin{cases} k^{(z)} = 0,43 + 0,2(4H - 3)^{0,43} & 1 \leq H \leq 3,6 \\ k^{(z)} = 1 & H > 3,6 \end{cases} \quad (5)$$

Харченко С.И. предложена следующая формула для расчета участия грунтовых вод в водном балансе активного слоя почвы [11]:

$$W^{(z)} = E_0 \exp^{-cH}, \quad (6)$$

где E_0 – испаряемость, в мм; c – коэффициент, учитывающий влияние почвенных условий и изменяющегося с развитием корневой фазы культур слоя h_a .

Локтаевым формула Харченко была модернизирована для условий Центральной Азии в виде:

$$W^{(z)} = E_{T0} \exp^{-m(H-h)}, \quad (7)$$

где $W^{(z)}$ – интенсивность притока грунтовых вод в корнеобитаемую зону, в мм/сут; E_{T0} – эвоотранспирация растений, в мм/сут; m – коэффициент, зависящий от капиллярных свойств почвы; h – глубина развития корневой системы культур.

В условиях напорных грунтовых вод интенсивность притока грунтовых вод в корнеобитаемую зону не зависит от мехсостава почв, и ее предлагают определять по зависимости:

$$W^{(z)} = K \cdot E_{T0}, \quad (8)$$

где K – коэффициент, зависящий от глубины залегания уровня грунтовых вод от нижней границы залегания корней растений.

При моделировании динамики запасов влаги в почве уровень грунтовых вод изменяется как из-за водопотребления растительностью, так и из-за вертикального и бокового оттока грунтовых вод. Для схематизации природных гидрологических условий необходимо знать гидрогеологическое строение поймы и прилегающей территории, водно-физические характеристики водовмещающих отложений. Основное функциональное ядро наземных экосистем составляют растительные сообщества, которые создают более 90 % их биомассы. Травяные сообщества с отмирающей и возобновляемой наземной и жизнеспособной подземной массой, обеспечивающих их долголетие и отрастание при скашивании и стравливании. Выпас домашних животных и стравливание дикими копытными является дополнительным фактором, влияющим на формирование травостоя пастбищ. В условиях, когда животноводство базируется на естественных выпасах процессы эрозии и смены растительности, а также процесс возможной деградация пастбищ в результате хозяйственной деятельности представляет большой интерес для общества. Искусственные травостои (сеян-

ные сенокосы и пастбища) в большинстве случаев неустойчивы, требуют больших затрат материальных, водных и других ресурсов. Наиболее очевидной и традиционно учитываемой характеристикой является общая биомасса растительности [8]. Для моделирования биомассы растительности необходимо оценивать опад и продукцию. Эти показатели существенны и для формирования плодородия почвы [5].

Оценка биомассы различных типов ландшафтов была дана Родиным и Базилевичем [10]. Для зоны пустынь биомасса составляет 6 т/га, продукция – 4 т/га, опад 4 т/га. Для луговой степи соответственно: 35, 15, 15 т/га.

В степных сообществах оборачиваемость биомассы гораздо интенсивнее, чем в лесных сообществах.

Водопотребление растений зависит от запасов влаги в корнеобитаемом слое почвы. Однолетние растения обеспечиваются влагой из верхних слоев почвы, поэтому в аридной зоне многие однолетние растения произрастают в весенний период. Повышение температуры воздуха, а следовательно и испарения из почвы с началом лета приводит к снижению запасов влаги в верхних слоях и при определенной влажности почвы влага становится не доступной для растений. Многолетние растения имеют более развитую корневую систему и уже в начальный период вегетации они находятся на 30...50 см от поверхности земли. Кустарники имеют более развитую корневую систему, которая достигает глубин 0,7...1,0 м.

Наблюдений за развитием корней дикорастущих растений нам не удалось найти в литературных источниках, поэтому используем опубликованные данные для культурных растений (см. табл.).

Таблица 1

Глубина развития корней растений, м

Время, сутки	Пастбища	Однолетние травы	Сенокосы	Многолетние насаждения
0	0,3	0	0,40	0,7
10	0,4	0,3	0,45	0,75
20	0,5	0,4	0,55	0,8
30	0,55	0,5	0,65	0,9
40	0,6	0,6	0,75	0,95
50	0,64	0,7	0,79	0,98
60	0,65	0,8	0,8	1

Наиболее детально исследованы развитие корневой системы однолетних злаковых растений, многолетних трав (люцерны), многолетних пастбищ и сенокосов, многолетних насаждений.

В соответствии с поставленной целью мы продолжаем дальнейшую разработку модели воздействия водного фактора на биоресурсы поймы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алпатьев А.М. Влагообороты в природе и их преобразования. – Л.: Гидрометеиздат, 1969. – 323 с.
2. Алпатьев С.М. Методические указания по расчетам режимов орошения сельскохозяйственных культур биоклиматическим методом. – Киев: УкрНИГМИ, 1967. – 107 с.
3. Алпатьев С.М., Остапчик В.П. Опыт использования биоклиматического метода расчета испарения при формировании эксплуатационного режима орошения // Биологические основы орошаемого земледелия. – М.: Наука, 1974. – С. 37–43.
4. Исследования водопользования и управления в сельском хозяйстве. Годовой отчет за 1997 сельскохозяйственный год. – Ташкент, ИК МФСА, 1997. – 157 с.
5. Ковда В.А. Аридизация суши и борьба с засухой. – М.: Наука, 1975. – 447 с.
6. Маслов Б.С., Минаев И.В., Губер К.В. Справочник по мелиорации. – М.: Росагропромиздат, 1989.
7. Остапчик В.П., Костромин В.А., Коваль А.М. и др. Информационно-советующая система управления орошением. – Киев, Урожай, 1989. – 246 с.
8. Пегов С.А., Хомяков П.М. Моделирование развития экологических систем. – Л.: Гидрометеиздат, 1991. – 222 с.
9. Родин Л.Е., Базилевич Н.И. Динамика органического вещества и биологический круговорот в основных типах растительности земного шара. – М.-Л.: Наука, 1965. – 253 с.
10. Харченко С.И. Гидрология орошаемых земель. – Л.: Гидрометеиздат, 1975. – 371 с.
11. Penman H. L. Natural evaporation from open water, bare soil and grass / Prog. Roy. Soc. London, 1948, A193; 120-146.

Научно-исследовательский институт водного хозяйства

ЖАЙЫЛЫМДАҒЫ ӨСІМДІКТЕРДІ СУМЕН ҚАМТАМАСЫЗДАНДЫРУ МОДЕЛІНЕ ТАЛДАУ

А.Р. Вагапова

Жайылымдағы ылғалдың буға айналуы және топырақтың қазіргі кездегі дымқыл қорының динамикалық моделіне талдау берілген. Еспе судан өсімдіктің суды қолдануына сипаттама жасалған және өсімдікке тән негізгі интегралды сипаттама көрсетілген.