

УДК 631.4

**СУММАРНОЕ ИСПАРЕНИЕ С РЕЧНОГО БАССЕЙНА И АДАПТИВНЫЕ МЕЛИОРАЦИИ В ВОДОДЕФИЦИТНЫХ РАЙОНАХ**

Канд. техн. наук

М.Г. Баженов

Канд. техн. наук

М.Х. Сарсенбаев

*Предложена формула для вычисления эвапотранспирации естественной и культурной растительности в зависимости от атмосферных осадков и орошения. Изложена концепция адаптивных мелиораций, которые могут быть актуальными для Казахстана.*

Количественная характеристика испарения с различной подстилающей поверхности была и остается предметом исследования ряда наук: гидрологии, земледелия, гидромелиорации, почвоведения и др. В каждой из них достигнуты существенные результаты, применительно к своим задачам, но проблема в целом остается недостаточно исследованной.

Для физической географии и гидрологии суши представляет интерес методика расчета средней многолетней величины (нормы) испарения с разных ландшафтов, как естественных, так и культурных, и с речных водосборов в целом. Известно, что в конкретных климатических условиях появляются и устойчиво существуют именно те растительные сообщества, которые адаптированы к местным параметрам теплового и водного режима. Они допускают определенные вариации величины температуры и влажности почвы, откликаясь на них некоторыми колебаниями биологической продуктивности.

Тип растительности, характерный для данного климата, предопределяет соответствующий ему микробиологический и животный мир, а также почвообразовательный процесс. В конечном итоге, формируется географическая среда, присущая данному речному бассейну. Для количественного описания этого сложного явления необходимо знать соотношения элементов водного и теплового баланса, и, прежде всего процесса эвапотранспирации.

В гидрологии широко известна формула Э.М. Ольдекопа, полученная им в начале 20 столетия для расчета годовых сумм испарения с речных бассейнов:

$$E = Z_{max} \cdot th\left(\frac{X}{Z_{max}}\right), \quad (1)$$

где  $E$  – норма испарения с водосбора;  $X$  – норма осадков;  $Z_{max}$  – максимальное возможное испарение в данных климатических условиях при постоянном избытке влаги в почве.

Он дал и теоретическое обоснование граничных условий этой зависимости: при  $X \rightarrow 0 E \rightarrow X$ , а при  $X \rightarrow \infty E \rightarrow Z_{max}$ . Однако, трудности, связанные с неопределенностью  $Z_{max}$  для широкого круга условий, сдерживали использование формулы при решении практических задач.

Попытку решить эту проблему предпринял М.И. Будыко [6], исходя из концепции, что отношение средних величин испарения и осадков является функцией соотношения тепла и влаги. Он выполнил анализ формул Ольдекопа и Шрайбера, приняв под максимально возможным испарением  $Z_{max}$  – величину испаряемости  $E_0$ . Согласно ему  $E_0 = R_0/L$ , где  $R_0$  – радиационный баланс увлажненной поверхности;  $L$  – скрытая теплота испарения. Сравнение расчетных величин с фактическими данными по 7 пунктам, расположенным в различных географических зонах показало удовлетворительную их сходимость (рис. 1).

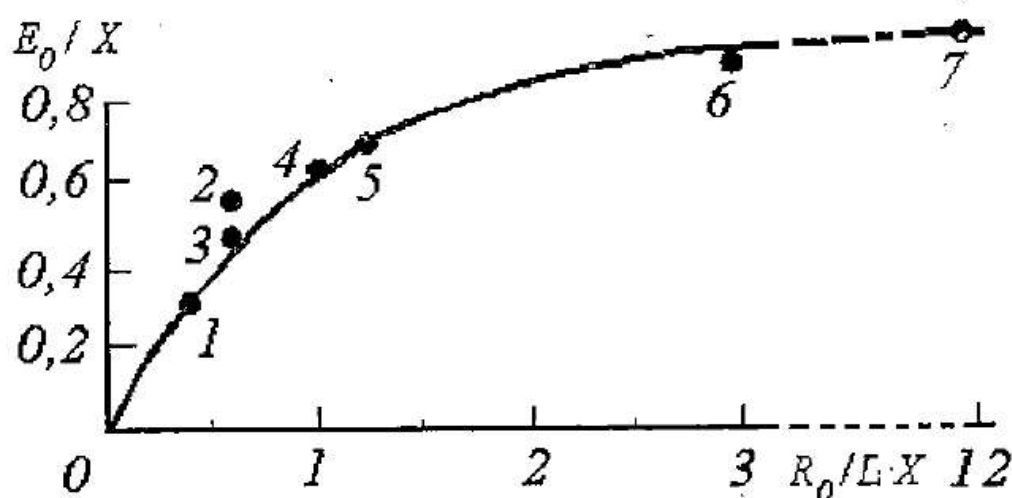


Рис. 1. График зависимости  $R_0/LX$  от  $E_0/X$  для ряда пунктов (по М.И. Будыко) с использованием формулы Ольдекопа. 1 – Лапландия; 2 – Средняя Германия; 3 – Ява; 4 – США, атлантическое побережье; 5 – Иркутск; 6 – Гоби; 7 – Египет.

Структура формул Ольдекопа, Шрайбера и их модификация в виде среднегеометрического соотношения, предложенного М.И. Будыко, включает лишь климатические показатели. Это затрудняет оценку роли расти-

тельности в испарении и, в конечном итоге, условий формирования географической среды исследуемой территории. Между тем, гидрологам было известно, что испарение является не только физическим, но и биологическим процессом. Еще М.А. Великанов [2] подчеркивал, что проблема эвапотранспирации является объектом изучения трех наук: почвенной гидрологии, физиологии растений и метеорологии.

Существенный прогресс в проблеме количественной оценки испарения и транспирации, был достигнут, когда анализу подверглись не только метеорологические элементы, но и водный режим самих растений [5]. Роль растений в процессе эвапотранспирации оценивается разными показателями: величиной «водопродимости» в теории А.И. Будаговского, коэффициентами биологической кривой по А.М. и С.М. Алпатьевым, биологическими коэффициентами в методе Блейни и Кридла и др. Однако лишь немногие методы учитывают в явном виде урожайность растений.

Другим важнейшим фактором испарения является наличие влаги в почве. Широкий диапазон вариаций влажности почвы отражен в формулах А.И. Будаговского, в методике гидролого-климатических расчетов В.С. Мезенцева, в тепловоднобалансовом методе С.И. Харченко и др. Эта группа методов более строга в теоретическом отношении и нашла широкое применение в практике расчетов. Общим их результатом является характерная динамика процесса эвапотранспирации, представленная на рис. 2.



Рис. 2. Зависимость отношения испарения к испаряемости от влажности почвы на посевах пшеницы (М.А. Великанов, 1964 г). **В** - влажность почвы, соответствующая полной потребности растений. Точками нанесены экспериментальные данные.

Следует отметить, что аналогичная зависимость испарения влаги из почвы была описана П.С. Коссовичем еще в начале 20 века [3], но она

долгое время воспринималась лишь как достижение агрономии. Большинство упомянутых выше методов для расчета испарения относятся к условиям неограниченного притока влаги, при которой скорость процесса определяется только теплоэнергетическими ресурсами. При этом, применительно к орошаемым угодьям вычисляемое суммарное водопотребление растений представляет собой главную расходную статью оросительной нормы. В гидромелиорации выполнено наибольшее количество полевых опытов с различными сельскохозяйственными культурами при полном удовлетворении потребности растений в почвенной влаге. Выбор этих условий обусловлен, кроме обеспечения максимальной продуктивности растений, ещё и необходимостью расчета размеров оросительных каналов и гидротехнических сооружений для лет определенной обеспеченности по атмосферным осадкам.

В гидрологии и физической географии более актуальной является проблема установления зависимости потерь влаги  $P$ , включающих суммарное испарение  $E$  и сток  $U$  от объема увлажнения, изменяющегося в широком диапазоне. Такие условия характерны для речных бассейнов, на которых формируются речные ландшафты, включая антропогенные. Учету подлежат не только атмосферные осадки  $X$ , но и другие элементы водного баланса: оросительная норма  $M$ ; грунтовые воды, усваиваемые растениями  $G$ ; часть атмосферных осадков и поливной воды, теряемые данным ландшафтом на поверхностный и подземный сток  $U$ . В качестве расчетного значения, при исследовании конкретных ландшафтов, принимается среднее многолетнее значение вегетационного периода или календарного года – в случае изучения растительности больших территорий.

Перечисленным требованиям может удовлетворять предлагаемая нами зависимость, являющаяся расширением и развитием теории Э.М. Ольдекопа. В этом случае уравнение водного баланса речного бассейна за многолетний период будет иметь вид:

$$P = U + K_o E_o t h \left( \frac{X + M + G}{E_o} \right). \quad (2)$$

Вторые слагаемые правой части уравнения выражают расход влаги на испарение и транспирацию  $E$ , а числитель в скобках характеризует приходные элементы водного баланса конкретного ландшафта, сумма которых равна испарению  $E$ . В свою очередь, отношение  $E$  к испаряемости  $E_o$ , согласно С.И. Харченко [7], представляет собой коэффициент суммарного испарения. Роль растительности в водном балансе характеризуется

общепризнанным параметром – биологическим коэффициентом  $K_b$ . А.М. Алпатьев [1] приводит уточненные значения  $K_b$ : 0,57...0,66 и рекомендует назначать их по биологическим кривым, полученным за многолетний период. При этом он считает возможным распространять биологические кривые изученных растений и на другие их виды, если они по ритму развития и длине вегетационного периода мало отличаются от первых. Это обеспечивает возможность прогнозирования величин  $K_b$  для естественной растительности.

Переход от величин эвапотранспирации  $E$  в данном ландшафте или природной зоне к биологической продуктивности растений можно осуществить, учитывая периодический закон географической зональности, разработанный Н.А. Григорьевым и М.И. Будыко, и связь величин эвапотранспирации растений с ежегодным приростом биологической массы. Если вычислить отношение  $PL$  к радиационному балансу деятельной поверхности  $R$ , т.е. по смыслу обратную величину радиационного индекса сухости, то, при помощи предлагаемой зависимости можно построить следующий график (рис. 3):

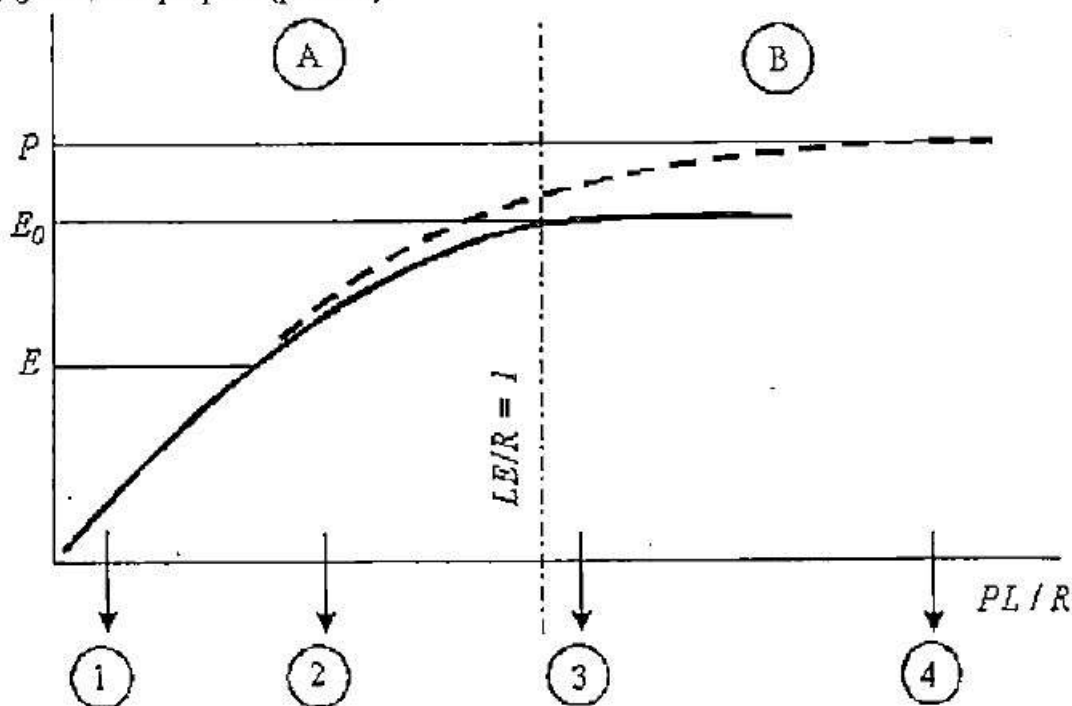


Рис. 3. Зависимость водного баланса и физико-географических условий речных бассейнов.

График имеет форму сходную с зависимостью испарения от влажности почвы (см. рис. 2) и, в то же время, он более информативен. Так, например, при отсутствии других источников влаги, кроме небольшого количества атмосферных осадков (50...150 мм в год), поверхностный сток



не образуется и на данном участке речного бассейна может иметь место лишь ландшафт пустынного типа, с соответствующей ему биологической продуктивностью (диапазон соотношения  $PL/R$  на рис. 3 обозначен цифрой 1). Появление других источников воды (орошение или подъем уровня грунтовых вод и т.д.) приводит к увеличению испарения и соответствующего ему ежегодного прироста биомассы (цифра 2).

При сбалансированном соотношении теплоэнергетических и водных ресурсов (которое обозначено на рисунке линией разделяющей зоны «А» и «В») в данном ландшафте речного бассейна, специально создаваемом в орошаемом земледелии, ежегодная биомасса достигает максимальной величины, процесс почвообразования интенсифицируется, содержание почвенного гумуса возрастает (цифра 3). В районах с избыточным количеством атмосферных осадков и при наращивании объемов водоподачи для регулирования солевого режима почвы, применяют «промывной» режим орошения, при котором оросительную норму увеличивают на 10...30% для выщелачивания из почвы растворимых солей (цифра 4). При этом общий объем водоподачи ( $P$ ) превышает не только водопотребность растений, но и величину испаряемости ( $E_0$ ). Это превышение на рис. 3 изображено пунктирной линией. Продуктивность растений в этом случае не повышается.

Таким образом, в пределах речного бассейна с примерно одинаковым радиационным балансом, могут формироваться различные ландшафты. Регулирование их продуктивности достигается ирригационными мероприятиями, состав которых может быть адаптированным к каждому типу ландшафта. Так, на плодородных почвах целесообразно регулярное орошение, на сенокосных угодьях (луговые почвы) эффективна влагозарядка, на верхних террасах речной долины возможна организация лиманного орошения.

В случае больших бассейнов (например, р.р. Сырдарья, Или, Чу), в пределах которых существенно изменяется величина  $R$ , можно произвести районирование территории по значениям радиационного баланса, и для каждого выделенного района с конкретной величиной  $R$ , по предлагаемой методике вычертить свою кривую  $P = f(PL/R)$ . Следует учесть, что кривая данной связи охватывает гидромелиоративные мероприятия лишь на участке «В», где естественные и искусственные пути и объемы водоприхода уравнивают или перекрывают теплоэнергетические ресурсы данной части речного бассейна. Расширение диапазона соотношений тепла и влаги, вы-

ражаемое частью кривой в зоне «А», позволяет оценить и выбрать приемы регулирования водного баланса также и других ландшафтов. Прежде всего, необходимо задействовать для пополнения почвенной влаги поверхностный сток, путем организации лиманного орошения. Физико-географические условия таких ландшафтов характеризуются частью графика на участке «А» с обозначенной пунктирной линией, т.е. территорией, где имеется сток талых вод.

В сравнении с лиманным или влагозарядковым орошением более перспективным, на наш взгляд, является увлажнение естественных угодий или посевов сельскохозяйственных культур в период их наибольшей водопотребности – в критические фазы развития. Прирост биологической массы растений, при этом, будет выше, а удельные затраты воды – ниже. Это особенно важно для регионов с острым дефицитом водных ресурсов.

Степень изменения природных ландшафтов речного бассейна предопределяется численностью населения, уровнем развития производственных сил региона и экологическими особенностями территории. В Казахстане важнейшим фактором является обеспеченность водными ресурсами, в особенности поверхностной водой. Регулируя лишь водный режим, здесь удастся модифицировать ландшафты. Повышение продуктивности последних пропорционально увеличению величины суммарного испарения, о чем наглядно свидетельствует представленный график (рис. 3).

Таким образом, концепция адаптивных мелиораций заключается в том, что при дефиците поливной воды или при отсутствии других средств интенсификации земледелия, можно ограничиться не полным удовлетворением потребности растений во влаге, когда добиваются равенства  $R = L(X+M+G)$ , что имеет место при орошении, а частичным, при котором  $R/L(X+M+G) > 1$ . Степень превышения радиационного баланса над суммарным приходом влаги определяется природными условиями и хозяйственными потребностями и требует специального обоснования.

Продуктивность угодий (как естественных ландшафтов, так и агрокультурных) может быть оценена, например, экспериментально установленной зависимостью связи урожая и оросительной нормы [4]. Здесь для различных природных зон Казахстана представлена серия кривых, характеризующих понижение урожайности орошаемых культур при снижении оросительных норм (рис. 4).

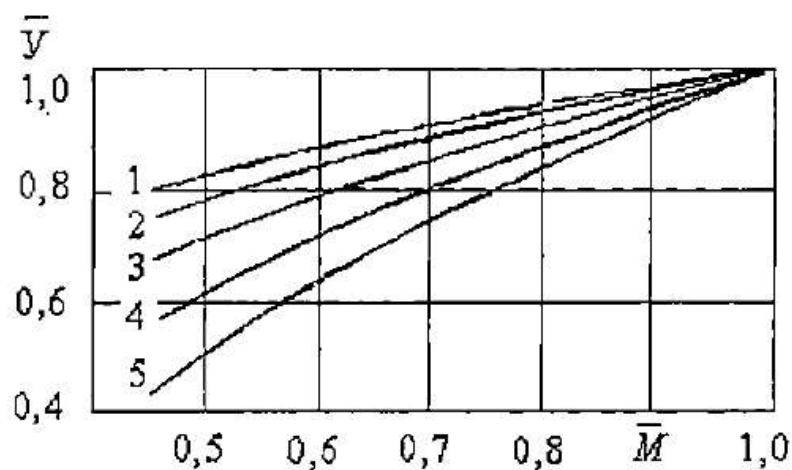


Рис. 4. График связи урожая  $\bar{Y}$  и оросительной нормы  $\bar{M}$  по данным КазНИИ водного хозяйства (1989 г).

Таблица

Номера кривых на рис. 4 для природных зон с различным увлажнением

№ кривых	Коэффициент увлажнения	Природные зоны
1	0,5	Лесостепь
2	0,5 ... 0,3	Степь
3	0,3 ... 0,2	Полупустыня
4	0,2 ... 0,05	Пустыня северная
5	0,05 ... 0,02	Пустыня южная

Форма кривых близка к прямолинейной зависимости и может считаться частью более общего графика, представленного на рис. 3. По предлагаемой формуле (2) можно вычислить  $P$ , затем величину оросительной нормы для оптимального водоснабжения растений и для «ущемленного». Отношение их даст величину  $\bar{M}$ , необходимую для определения относительной урожайности  $\bar{Y}$ , по графику на рис.4. Аналогично можно прогнозировать и продуктивность естественной растительности, как реакцию на дополнительные объемы влаги антропогенного происхождения. Такой подход актуален для Казахстана, который испытывает нарастающий дефицит поливной воды и других средств интенсификации земледелия.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алпатьев А.М. Биофизические основы влагопотребления орошаемых культур. //В сб. «Орошаемое земледелие в Европейской части СССР». – М.: Колос, 1965. – С. 54-66.
2. Великанов М.А. Гидрология суши. – Л.: Гидрометеиздат, 1964. – 402 с.



3. Воробьев С.А. и др. Земледелие. – М.: Колос, 1977. – 480 с.
4. Оросительные нормы сельскохозяйственных культур в Казахстане (рекомендации). – Дžамбул: КазНИИВХ, 1989. – 74 с.
5. Пенман Х.Л. Растение и влага. – Л.: Гидрометеиздат, 1968. – 160 с.
6. Соколовский Д.Л. Речной сток. – Л.: Гидрометеиздат, 1952. – 490 с.
7. Харченко С.И. Гидрология орошаемых земель. – Л.: Гидрометеиздат, 1975. – 372 с.

Казахский НИИ водного хозяйства

Казахский национальный университет им. аль-Фараби

## **СУ ДЕФИЦИТТІ АЙМАҚТАРДАҒЫ ӨЗЕН АЛАБЫНАН ЖАЛПЫ БУЛАНУ ЖӘНЕ АДАПТИВТІК МЕЛИОРАЦИЯЛАР**

Техн.ғылымд. докторы      М.Г. Бәженов  
Техн.ғыл.канд.              М.Х. Сәрсенбаев

*Атмосфералық жауын-шашындар мен суаруға байланысты табиғи және дақылды өсімдіктердің эвапотранспирациясын есептеуге арналған формула ұсынылған. Қазақстан үшін өзекті бола алатын адаптивтік мелиорациялар концепциясы берілген.*