

МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА СССР
ВСЕСОЮЗНЫЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ПРОЕКТНО-ИЗЫСКАТЕЛЬСКИЙ
И НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ
ГИПРОВОДХОЗ

**ЗАРУБЕЖНЫЙ ОПЫТ
РАСЧЕТА РЕЖИМА ОРОШЕНИЯ
СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ
КУЛЬТУР**

(по литературным источникам)

МОСКВА-1961

МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА СССР
ВСЕСОЮЗНЫЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ПРОЕКТНО-ИЗЫСНАТЕЛЬСКИЙ
И НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ
ГИПРОВОДХОЗ

**ЗАРУБЕЖНЫЙ ОПЫТ
РАСЧЕТА РЕЖИМА ОРОШЕНИЯ
СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ
КУЛЬТУР**

(по литературным источникам)

МОСКВА-1981

В работе рассмотрены известные в зарубежной практике методы и формулы расчета водопотребления и других элементов режима орошения, приведены примеры расчета и дана сравнительная оценка основных методов.

Приведены также данные о фактическом водопотреблении различных сельскохозяйственных культур, оросительных и поливных нормах, числе и сроках поливов, принятые в проектах орошения или рекомендуемые авторами.

Настоящая работа предназначена главным образом для использования в водохозяйственных расчетах при проектировании орошения в странах Азии и Африки в случае отсутствия данных о водопотреблении и режиме орошения сельскохозяйственных культур.

Работа выполнена по заданию Госстроя СССР в Техническом отделе Гипроводхоза МСХ СССР инженером М.С. Гаража и агрономом О. Рамос.

ВВЕДЕНИЕ

Режим орошения сельскохозяйственных культур в нашем понимании – как совокупность норм, числа и сроков полива, в зарубежной сельскохозяйственной и технической литературе почти не рассматривается. Основное внимание уделяется вопросам, связанным с изучением, определением и с расчетами водопотребления.

Все исследователи признают, что наиболее достоверные данные о величине водопотребления сельскохозяйственных культур могут быть получены в результате изучения водопотребления в полевых условиях методом взятия проб почвы на влажность или в лизиметрах, при оптимальном увлажнении.

Но так как водопотребление зависит также от климатических, почвенно-мелиоративных и хозяйственных условий, то для водохозяйственных расчетов требуется определять водопотребление каждой культуры в условиях, характерных для данного района (массива).

Поскольку определение водопотребления вышеуказанными методами требует много времени, больших затрат труда и средств, в США и в Европе были предложены методы и формулы, позволяющие определять водопотребление и некоторые другие элементы режима орошения сельскохозяйственных культур, на основе метеорологических и геофизических данных, а также эмпирических коэффициентов ^{х)}.

Применяемые за рубежом методы и формулы для расчета водопотребления можно разделить на три группы:

1) методы определения водопотребления по данным фактических наблюдений;

х) В СССР методы и формулы для расчета водопотребления и других элементов режима орошения сельскохозяйственных культур предложены акад. А.Н. Костяковым, акад. И.А. Шаровым, профессорами Т.Н. Преображенским, М.И. Будыко, А.М. Алпатьевым и др.

2) эмпирические методы, основанные на соотношении между экспериментальными данными метеорологических наблюдений и водопотреблением;

3) теоретические методы, основанные на физических законах испарения и энергии.

Прежде чем перейти к рассмотрению отдельных методов и формул для расчета водопотребления сельскохозяйственных культур, следует уточнить само понятие "водопотребление".

Несмотря на то, что испарение и транспирация изучается более 200 лет, термин "водопотребление", как утверждает Х.Блейни, едва ли применялся до 1900 года.

До настоящего времени некоторые исследователи и авторы в это понятие вкладывают разное содержание. Одни под водопотреблением понимают испарение и транспирацию, другие - только транспирацию, некоторые - оросительную норму, потребность оросительной системы в воде, величину водозабора и т.п.

В последние годы большинство зарубежных исследователей водопотреблением (Consumptive use; evapotranspiration) называют количество воды, используемое растением на создание тканей и транспирацию и испаряемое с поверхности почвы за определенный промежуток времени, выражаемое обычно в глубине слоя воды или в объемах воды на единицу площади х).

Некоторые авторы - Б.Д. Ван Будт (23), Л.Р.Рич (18), И.Монорман и И.Кесслер (13), А.Новейн, Р.Блигуд (14) и др. - различают кроме того потенциальное водопотребление - испарение и транспирация при полном обеспечении почвы и растений водой, зависящее главным образом от климатических условий, и фактическое водопотребление, зависящее от вида и урожайности растений почвенных и климатических условий.

Ниже мы придерживаемся общепринятого понятия водопотребления (испарение+транспирация+расход воды на образование сухого вещества растений), независимо от того определено ли оно опытным путем или рассчитано по формулам.

х) В советской литературе водопотребление называют еще суммарным испарением

1. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВОДОПОТРЕБЛЕНИЯ ОПЫТНЫМ ПУТЕМ

В зарубежной практике применяются следующие методы определения водопотребления сельскохозяйственных культур:

1) определение водопотребления растений, посеянных в сосудах или лизиметрах путем измерения количества воды, подаваемой в них;

2) определение водопотребления в полевых условиях на опытных участках путем измерений почвенной влажности на различных глубинах;

3) определение водопотребления по суточным колебаниям грунтовых вод;

4) определение водопотребления на основе непосредственного измерения притока и расхода воды на отдельных участках с помощью автоматических водомеров, установленных на подстилающей породе, с учетом осадков и изменения запасов грунтовых вод.

Из перечисленных выше методов, наиболее широко применяются: метод определения водопотребления растений в лизиметрах и метод определения почвенной влажности на опытных участках.

Поскольку данные о водопотреблении, полученные на основе этих двух методов, представляют большой практический интерес, в приложении, в таблицах 1-4 приведены данные о водопотреблении около 30 различных сельскохозяйственных культур, 18 пород деревьев и кустарников и 6 видов дикой растительности для отдельных штатов США. В таблицах X1-XVI приведены данные о водопотреблении, оросительных и поливных нормах, числе и сроках поливов отдельных сельскохозяйственных культур, рекомендуемых отдельными авторами или принятые в проектах, для разных районов Европы, Африки, Азии и Америки.

П. ЭМПИРИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ВОДОПОТРЕБЛЕНИЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕН- НЫХ КУЛЬТУР

1. Метод Лоури-Джонсона (8)

Этот метод применяется для определения водопотребления сельскохозяйственных культур на больших территориях. Он основан на прямолинейной зависимости между водопотреблением и "эффективным теплом" (суммой максимальных суточных температур в градусах по Фаренгейту за все дни вегетационного периода). Начало и конец вегетационного периода определяется датами, между которыми средняя суточная температура воздуха превышает 32° по Фаренгейту (0°C).

Зависимость между водопотреблением и эффективным теплом может быть выражена уравнением:

$$U = 0.8 + 0,156F \quad (1)$$

где: U — водопотребление в акрофутах на акр (1 акр = 0,4 га, 1 фут = 30,48 см)

F — эффективное тепло в градусах, деленное на 1000.

Как видно из уравнения (1), этот метод учитывает только температуру воздуха и не принимает во внимание другие климатические, физиологические и хозяйственные факторы, влияющие на водопотребление. Кроме того с помощью этого метода из всех элементов режима орошения можно определять только суммарное водопотребление за период с положительными температурами.

Д. Криддл (8) суммарное водопотребление, рассчитанное по методу Лоури-Джонсона, распределял по месяцам пропорционально месячному эффективному теплу. Например, для района Буаз (штат Айдахо) сумма эффективного тепла за вегетационный период составляет 8940° , а соответствующее водопотребление, подсчитанное по вышеприведенному уравнению, $U = 26$ дюймов (66 см). В июне средняя максимальная температура воздуха в этом районе приблизительно равна 88°F , а сумма эффек-

тивного тепла $F = (88-32)31 = 1736^{\circ}$. Считая, что суммарное водопотребление в июле пропорционально эффективному теплу за тот же месяц водопотребление за июль месяц будет:

$$U_{\text{мес.}} = \frac{U_6 \cdot F}{F} = \frac{26}{8940} \times 1736 = 5,1 \text{ дюйма или } 13 \text{ см.}$$

Б.Р.Томлинсон (21), сравнивавший фактическое потребление воды луговыми травами на участке Шейндейл (штат Вайоминг) с результатами подсчета водопотребления по методам Лоури-Джонсона и Блейни Криддла, отметил, что водопотребление, полученное по методу Лоури-Джонсона, больше чем в два раза превышает фактическое водопотребление, тогда как водопотребление, полученное по формуле Блейни-Криддла, близко к фактическому. Это объясняется тем, что по методу Лоури-Джонсона водопотребление было определено за 92-дневный вегетационный период, тогда как фактический вегетационный период, для которого было рассчитано водопотребление по методу Блейни-Криддла, равнялся 65 дням.

2. Метод Торнтвейта

На основании опытов, проведенных в центральных и восточных районах США, Торнтвейт (19,20) нашел зависимость между средней месячной температурой и средним месячным водопотреблением. Величина введенного им понятия "месячный индекс тепла" определяется по формуле (2) или находится по графику (рис.1).

$$i = \left(\frac{t}{5} \right)^{1,514}, \quad (2)$$

где: i - месячный индекс тепла,
 t - средняя месячная температура в $^{\circ}\text{C}$.

Водопотребление определяется по формуле:

$$E = 16 \left(\frac{10t}{9} \right)^a \quad (3)$$

где: E - месячное водопотребление в дюймах;
 t - средняя месячная температура в $^{\circ}\text{C}$;

Σ - сумма месячных индексов тепла за год, определяемых по формуле (2) или по графику (рис.1)

α - эмпирический коэффициент, зависящий от Σ и определяемый по формуле:

$$\alpha = 0,000000675 \Sigma^3 - 0,0000771 \Sigma^2 + 0,01792 \Sigma + 0,49239(4)$$

Для упрощения подсчетов пользуются номограммой (рис.2), основанной на том, что все кривые, показывающие зависимость между E и t , стремятся к одной точке, находящейся на пересечении двух перпендикулярных линий, проходящих через деление $26,5^\circ$ на шкале температур и через деление $13,5$ на шкале месячного водопотребления. Эта точка называется "индексной точкой Σ ". Через эту точку и точку "индекс тепла", в нашем примере, равный $43,3$ - сумме месячных индексов тепла за год, проведена пунктирная линия, при помощи которой по средней месячной температуре находится среднее - месячное водопотребление (жирная линия со стрелками).

Для того чтобы учесть влияние широты местности и длительности солнечного освещения в различные месяцы, величину, полученную по формуле (3) или найденную по номограмме (рис.2), умножают на поправочный коэффициент из табл.1.

Для района Буав ($43^\circ 54'$ с.ш.), водопотребление всех культур для июля месяца, средняя месячная температура которого $22,5^\circ\text{C}$, будет $11,5$ см, а с учетом коэффициента из табл.1 для широты $43^\circ 54'$ $K=1,3$ будет $=15,0$ см.

Б.Д.Ван Вудт (23) считает, что недостаток этого метода, как и метода Блейн-Криддла, состоит в том, что он не учитывает ветра и относительной влажности воздуха. Кроме того, использование данных средних суточных температур, а не средних дневных температур, приводит к тому, что в величине водопотребления в районах с теплыми днями и холодными ночами (например, во многих сельскохозяйственных районах Калифорнии) и районах с умеренной температурой в дневное и ночное время (например, в районах в западной части США) нет заметной разницы.

Кроме того водопотребление, исчисленное по методу Торнтвейта, получается одинаковым для всех культур, хотя извест-

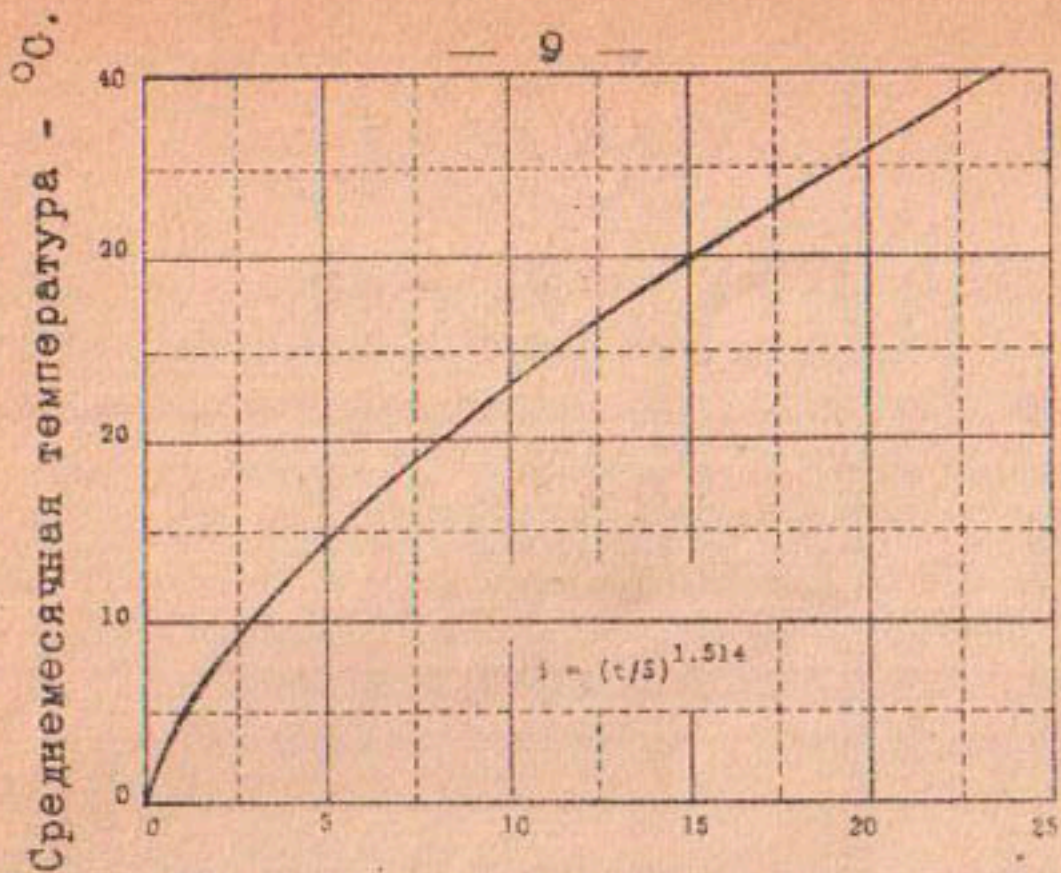


Рис.1. Месячные значения индекса тепла i для расчета водопотребления по методу Торнтвейта

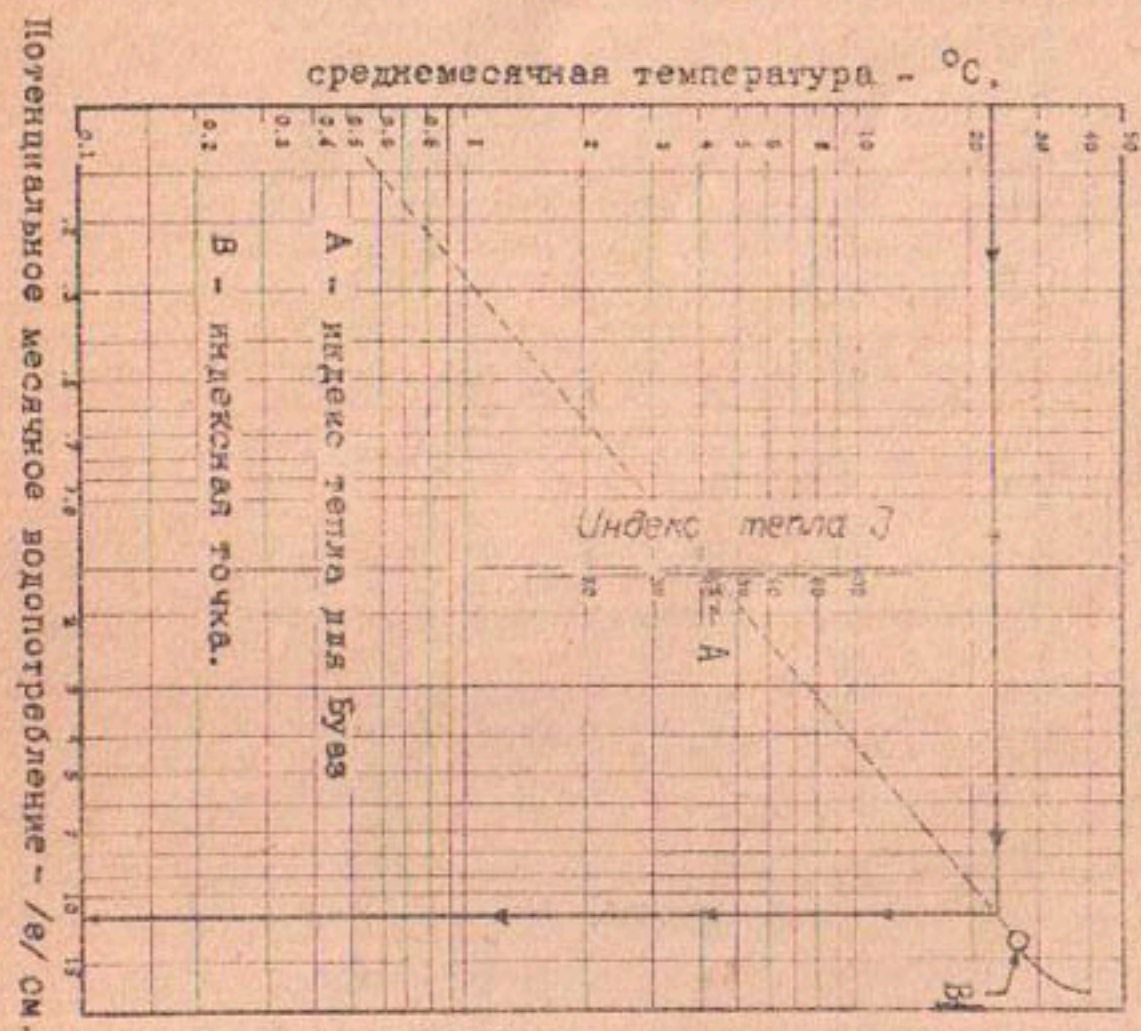


Рис.2. Номограмма для расчета месячного водопотребления по методу Торнтвейта

Т а б л и ц а 1

Поправочные коэффициенты зависимости водопотребления от
длительности солнечного освещения

Северная широта	Январь	Февраль	Март	Апрель	Май	Июнь	Июль	Август	Сентябрь	Октябрь	Ноябрь	Декабрь
0	1,04	0,94	1,04	1,01	1,04	1,01	1,04	1,04	1,01	1,04	1,01	1,04
10	1,00	0,91	1,03	1,03	1,03	1,06	1,03	1,07	1,02	1,02	0,98	0,99
20	0,95	0,90	1,03	1,05	1,13	1,11	1,14	1,11	1,02	1,00	0,93	0,94
30	0,90	0,87	1,03	1,03	1,18	1,17	1,20	1,14	1,03	0,98	0,89	0,88
35	0,87	0,85	1,03	1,09	1,21	1,21	1,23	1,16	1,03	0,97	0,86	0,85
40	0,84	0,83	1,03	1,11	1,24	1,25	1,27	1,18	1,04	0,96	0,83	0,81
45	0,80	0,81	1,02	1,13	1,28	1,29	1,31	1,21	1,04	0,94	0,79	0,75
50	0,74	0,78	1,02	1,15	1,33	1,36	1,37	1,25	1,06	0,92	0,76	0,70

но, что водопотребление разных культур различно в зависимости от их физиологических особенностей.

Сравнивая потенциальное водопотребление табака, рассчитанное по формуле Торнтвейта, с определенным путем измерения влажности почвы в разных горизонтах с фактическим водопотреблением, Шуто (7) также приходит к выводу, что формула Торнтвейта не дает точную величину водопотребления, так как не учитывает многих климатических факторов: для июня месяца она оказалась завышенной, а для июля — заниженной. Поэтому Шуто рекомендует результаты, полученные по формуле Торнтвейта, корректировать в зависимости от географической широты и продолжительности световых дней данного месяца.

Климатологическая служба Франции, пользуясь формулой Торнтвейта и средними многолетними метеорологическими данными за 1891-1931 гг., рассчитала потенциальное водопотребление для 340 станций (Новей и Блигуд, 14).

Для четырех районов Франции (табл. 2) формула Торнтвейта дает удовлетворительные результаты: расхождение между измеренным при помощи испарителя и рассчитанного по формуле Торнтвейта потенциальным водопотреблением меньше, чем величина погрешности, допускаемая при измерениях.

Проводимое Климатологической службой Франции климатическое районирование территории страны подтверждает, что классификация климата по Торнтвейту соответствует классификации, разработанной на основании данных Мартона, Меслина и Серви.

Матер Дж.Р (20) применил метод Торнтвейта при расчетах водного баланса для бассейна р. Неретва в западной части Югославии. Сам Торнтвейт (20) также рекомендует применять его метод для определения водного баланса при гидрологических расчетах и климатических классификациях.

Из приведенных высказываний видно, что метод Торнтвейта чаще всего применяется для расчетов водного баланса больших территорий.

3. Метод Блейни-Криддла

Блейни и Криддл (2,3,4) установили зависимость между водопотреблением, средней месячной температурой, процентом годового количества световых часов, приходящегося на данный месяц и коэффициентом культуры, зависящим от продолжительности вегетационного (поливного) периода. Эта зависимость может быть выражена уравнением:

$$U = K F = \sum K f, \quad (5)$$

где: U - водопотребление в дюймах,

K - эмпирический сезонный коэффициент культуры,

k - эмпирический месячный коэффициент культуры,

f - месячный фактор водопотребления,

F - сумма месячных факторов водопотребления.

Месячный фактор водопотребления можно подсчитать по формуле:

$$f = \frac{t \cdot P}{100}, \quad (6)$$

где: t - средняя месячная температура по Фаренгейту,

P - процент годового количества световых часов, приходящийся на данный месяц.

Значения коэффициентов P , вычисленные по материалам бюро погоды США, приведены в табл.3.

Коэффициенты культур, полученные на основе многочисленных опытов, проведенных в различных районах западных штатов США, приведены в табл.4 и 5.

Для определения водопотребления Блейни и Криддл предложили номограмму (рис.3).

Способ пользования этой номограммой виден из того же рисунка, на котором линией со стрелками показан порядок определения водопотребления люцерны в районе Буаз для июля месяца. Данные для расчета были приняты следующие: средняя месячная температура июля $t=72,5^{\circ}\text{F}$, $P=10,49$ из табл. 3, для $43^{\circ}54'$ с.ш. Коэффициент культуры люцерны $K=0,95$ из табл.4

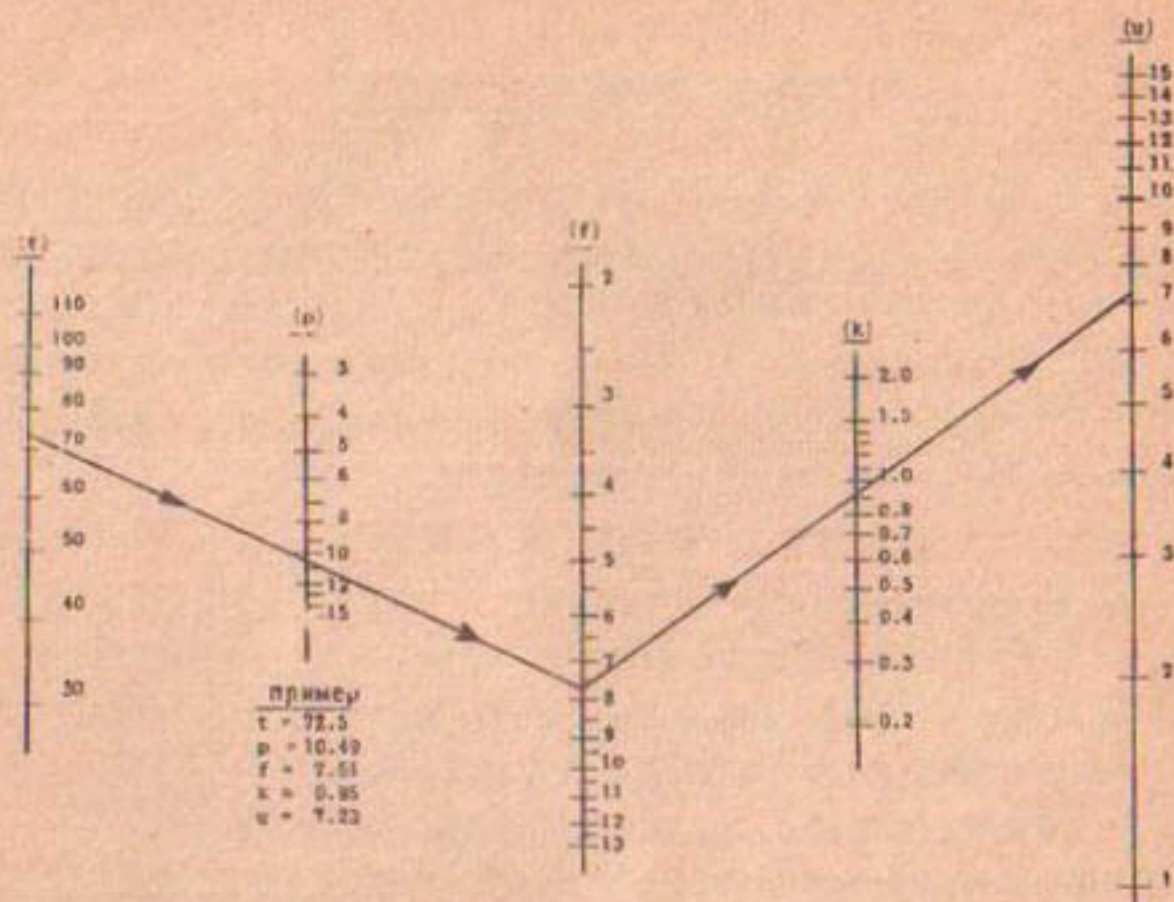


Рис. 3. Номограмма для определения водопотребления по методу Блейни-Криддла

Величина водопотребления люцерны в июле, найденная по номограмме, будет 7,23 дюйма, или 18,3 см.

Для устранения неудобств, связанных с необходимостью перевода английских мер в метрические, при определении водопотребления по формуле Блейни-Криддла, французский инж. Гойон (8) предложил пользоваться номограммой (рис. 4), в которой величина водопотребления (U) обозначена буквами ET (остальные обозначения те же). Кроме того, к величине водопотребления, полученной по формуле Блейни-Криддла, им введен поправочный коэффициент " n ". Этот коэффициент, по мнению Гойона, должен учитывать потери при поливах и зависит от величины поливной нормы. Для поливной нормы $1400 \text{ м}^3/\text{га}$ $n = 1,1$, а для поливной нормы $500 \text{ м}^3/\text{га}$ $n = 1,4$ (рис. 4, шкала d). Тогда водопотребление с поправочным

Т а б л и ц а 4

Средние эмпирические коэффициенты культур
для западных штатов США (данные Блейни-
Кридла)

Культуры	Длительность наблюдений	Коэффициент культур ^{x)}	
		сезонный	максималь- ный месяч- ный
Орошаемые культуры			
Люцерна	Безморозный	0,80-0,85	0,95-1,25
Бобовые	3 месяца	0,60-0,70	0,75-0,85
Кукуруза	4 "	0,75-0,85	
Хлопок	7 "	0,60-0,70	0,75-1,10
Цитрусовые	7 "	0,50-0,65	0,65-0,75
Плодовые деревья с опавшей листвой	Безморозный	0,60-0,70	0,70-0,95
Лен	7-8 месяцев	0,80	
Пастбищные культуры, травы, луговые расте- ния однолетки	Безморозный	0,75	0,85-1,15
Картофель	3,5-месяца	0,70	0,85-1,00
Зерновые	3-4 месяца	0,75-0,85	0,80-1,20
Сорго	4-5 месяцев	0,70	0,85-1,10
Сахарная свекла	5,5 месяца	0,65-0,75	0,85-1,00
Мелкосеменные куль- туры	3 месяца	0,75-0,85	0,85-1,10
Рис	3-4 месяца	1,00	1,10-1,30
Дикая растительность			
Очень густая (большие тополя, ивы)	Безморозный	1,30	
Густая (тамариск, ивы)	"	1,20	
Средняя (маленькие ивы, тамариск)	"	1,00	
Редкая (солянка аме- риканская, споробо- лис)	"	0,80	

х) Меньшие величины относятся к прибрежным районам,
большие - к засушливым областям

Т а б л и ц а 5

Среднемесячные коэффициенты культур
для разных районов США

Месяцы	Салинас люцер- на ¹⁾	Корона цитру- совые ²⁾	Д э в и с сли- ва ²⁾	поми- доры ²⁾	Берег океана то- поль ³⁾	ка- мыш ³⁾	Виктория Тамаули- пас Мексико травяные пастбища
Апрель	0,60	0,46	0,42		1,11	0,89	0,60
Май	0,70	0,52	0,55		1,24	1,14	0,65
Июнь	0,80	0,52	0,94	0,44	1,27	1,16	0,70
Июль	0,85	0,57	0,90	0,55	1,49	1,26	0,75
Август	0,85	0,61	0,65	0,94	1,48	1,16	0,75
Сентябрь	0,85	0,61	0,48	0,94	1,45	1,16	0,65
Октябрь	0,70	0,60	0,43	0,77	-	1,01	0,60

1) Г.Ф.Блейни и О.У.Израельсен

2) Г.Ф.Блейни и Г.Морвин Литц

3) Г.Ф.Блейни и Поль А.Эвинг

коэффициентом Гойона " n " будет найдено на шкале В. Ход вычислений водопотребления ясен из "схемы пользования", приведенной под номограммой.

Для определения оросительной нормы (М), из найденного значения "В" вычитается среднее количество осадков "Р" за рассматриваемый период $M = B - P$ (7). Количество и распределение поливов по месяцам находится путем деления месячной оросительной нормы на величину поливной нормы, принятой для данного периода.

Величина поливной нормы определяется по формуле:

$$d = 0,45 \cdot F_e \cdot A \cdot D \quad (8)$$

где: d - слой воды, см

F_e - полевая влагоемкость, %

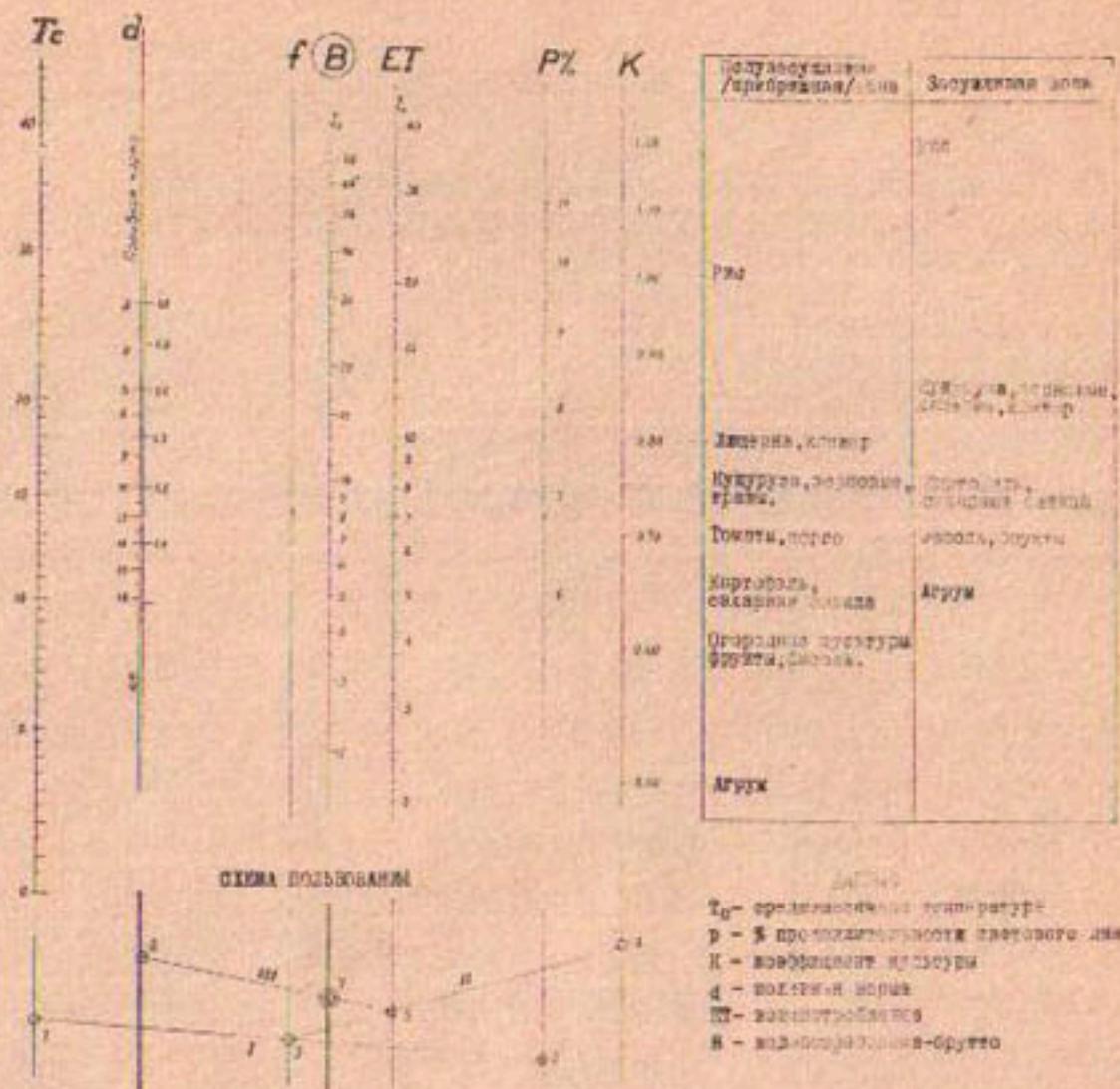


Рис. 4. номограмма Гойона для определения водопотребления сельскохозяйственных культур по методу Блейни-Криддла

А - показатель физической характеристики почвы, который колеблется от 1,2 (тяжелые почвы) до 1,4 (легкие почвы),

Д - глубина корнеобитаемого слоя, м.

Б.Д.Ван Будт (23) считает, что для определения потенциального водопотребления метод Блейни-Криддла, разработанный для условий Запада США, оказался полевым, но для других природных условий потребуется определение многих коэффициентов для различных культур в равные периоды их вегетации.

В.О.Пруит и М.К.Дженсен (17) на основании проведенных на экспериментальной ирригационной станции (штат Вашингтон) опытов изучения фактического водопотребления льнянки, сахар-

ной свеклы и картофеля весовым методом определения влажности почвы и после сравнения полученных данных с испарением с водной поверхности (определенного в испарителе USDA-BPU) и с водопотреблением, рассчитанным по формуле Блейни-Криддла и по формуле Торнтвейта, пришли к выводу, что фактическое водопотребление в период хорошего затенения при хорошем урожае и хорошем увлажнении более совпадает с величиной испарения с водной поверхности, чем с водопотреблением, определенным по формулам Блейни-Криддла и Торнтвейта.

Водопотребление, определенное по формулам Блейни-Криддла и Торнтвейта, значительно отличается от фактического. Так, водопотребление картофеля, рассчитанное по формуле Блейни-Криддла, составило 60%, а рассчитанное по формуле Торнтвейта - 54% от фактического; водопотребление сахарной свеклы по Блейни-Криддлу в среднем за сезон составило 97%, а в отдельные периоды оно колебалось от 60 до 110% от фактического.

Водопотребление сахарной свеклы, определенное по формуле Торнтвейта, значительно меньше фактического на 6,5 дюймов в среднем за сезон и особенно сильно падает в начальный период ее роста. Водопотребление люцерны, определенное по формуле Блейни-Криддла, менее отличается от фактического, чем водопотребление, найденное по формуле Торнтвейта.

Пруит и Дженсен считают, что водопотребление, определенное по формулам Блейни-Криддла (U_s) и Торнтвейта (U_t), занижено. Применение этих методов для расчета водопотребления и для составления графиков полива в условиях станции Просер возможно только при применении коэффициента культуры, полученного путем деления фактического водопотребления на водопотребление, рассчитанное по формуле Блейни-Криддла или по формуле Торнтвейта (рис. 5).

Криддл (8) для сравнения метода Блейни-Криддла с другими методами определения водопотребления рассчитал величину водопотребления люцерны за июль месяц для района Буав (штат Айдахо) также по формулам Лоури-Джонсона, Харгривса, Торнтвейта и Пенмана. Результаты расчета нами сведены в табл. 6.

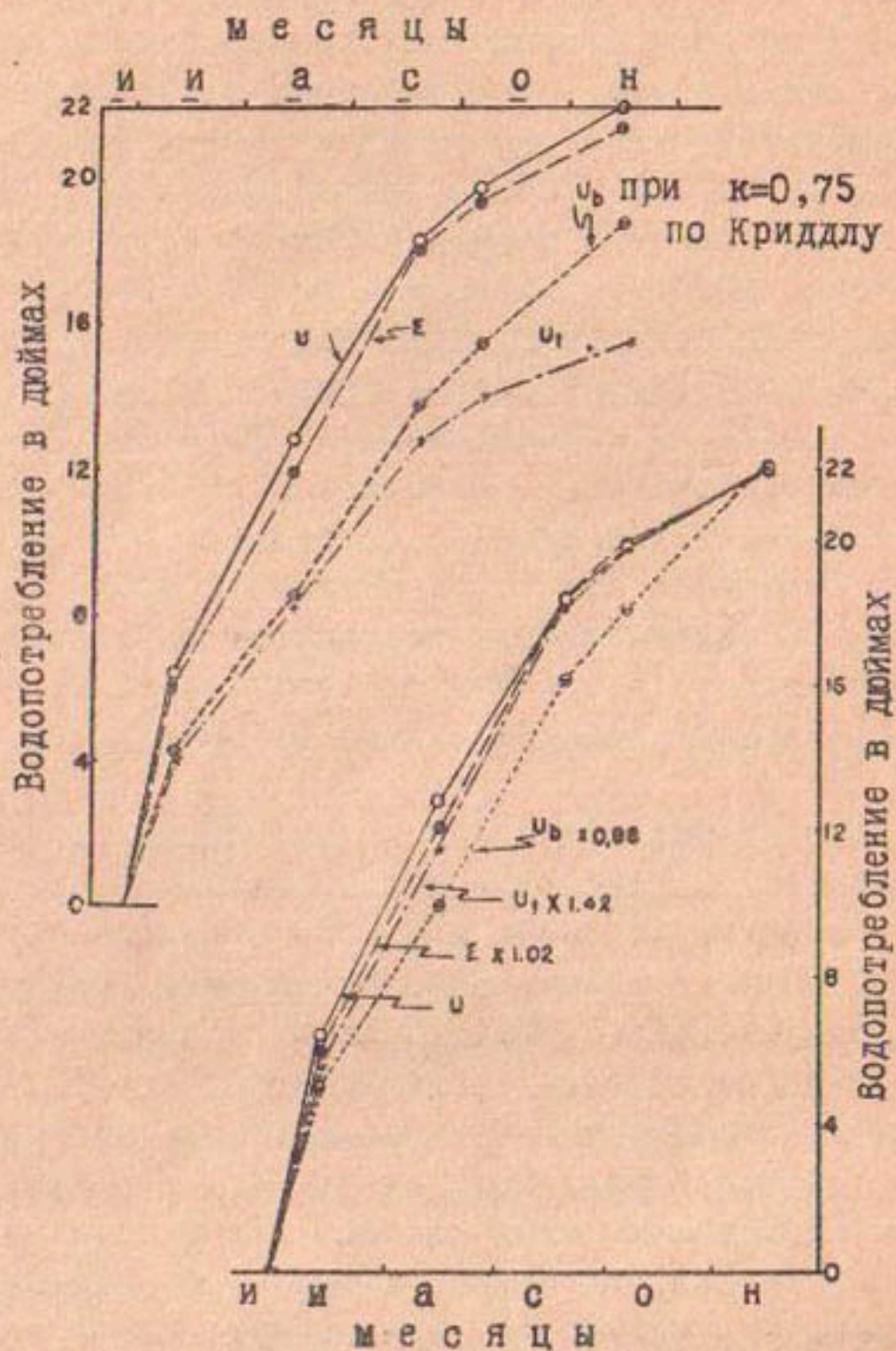


Рис. 5. Сравнение водопотребления сахарной свеклы, полученного без применения (верхний график) и с применением коэффициента культуры (нижний график): E - испарение с испарителя; U - фактическое водопотребление; U_b - водопотребление по формуле Блейни-Криддла; U_t - водопотребление по формуле Торнтвейта

Т а б л и ц а 6

Водопотребление люцерны в июле месяце
в районе Буаз (штат Айдахо), рассчитан-
ное по разным методам

Методы	Водопотребление	
	м ³ /га	%
Блейни-Криддла	1830	100
Лоури-Джонсона	1300	71
Харгривса	2310	126
Торнтвейта	1500	82
Пенмана	2068	113

Из этой таблицы видно, что водопотребление люцерны в июле месяце, подсчитанное по формулам Лоури-Джонсона и Торнтвейта, на 18-20% меньше, а по формулам Пенмана и Харгривса на 13-26% больше водопотребления, рассчитанного по формуле Блейни-Криддла.

Криддл считает, что хотя величины водопотребления, полученные по формулам, учитывающим климатические факторы, не совсем точны, но их точность вполне достаточна для водохозяйственных расчетов, определения прав на воду и пр.

Сравнительные расчеты, проведенные в СССР для районов Средней Азии, как указывает Л.В.Дунин-Барковский (36), показывают, что водопотребление сельскохозяйственных культур и дикой растительности, рассчитанные по формуле Блейни-Криддла, близки к фактическому (для сельскохозяйственных культур разница составляет 3-5%).

Приемлемую точность дали также расчеты водопотребления по формуле Блейни-Криддла в проектах, составленных Гипроводхозом МСХ СССР для зарубежных стран (Народная Республика Албания (37), Сирийский район ОАР (38)).

4. Метод Харгривса (10)

Этот метод основан на наличии связи между вычисленным испарением и водопотреблением различных сельскохозяйственных культур. При вычислении испарения учитывается средняя месячная температура воздуха, относительная влажность воздуха в полдень и продолжительность дня.

Зависимость между испарением, температурой и продолжительностью дня выражается уравнением

$$e = m (t - 32), \quad (9)$$

где: e — величина месячного испарения в дюймах,
 m — эмпирический коэффициент,
 t — средняя месячная температура по Фаренгейту.

Заменяя в уравнении эмпирический коэффициент m на два коэффициента C и d — уравнение примет следующее выражение:

$$e = C \cdot d (t - 32), \quad (10)$$

где: C — климатический фактор, зависящий от влажности воздуха и, в меньшей степени, от силы ветра;
 d — месячный коэффициент продолжительности дня, зависящий от географической широты. Значение коэффициента d для северных широт от 30 до 50° приведены в табл. 7.

Пренебрегая влиянием силы ветра на климатический фактор C , Харгривс считает возможным определять C как функцию среднемесячной относительной влажности по уравнению:

$$C = 0,38 - 0,0038 h, \quad (11)$$

где: h — среднемесячная относительная влажность воздуха в полдень. В этом случае уравнение Харгривса для определения месячного испарения примет следующий вид:

$$e = d (0,38 - 0,0038 h) (t - 32) \quad (12)$$

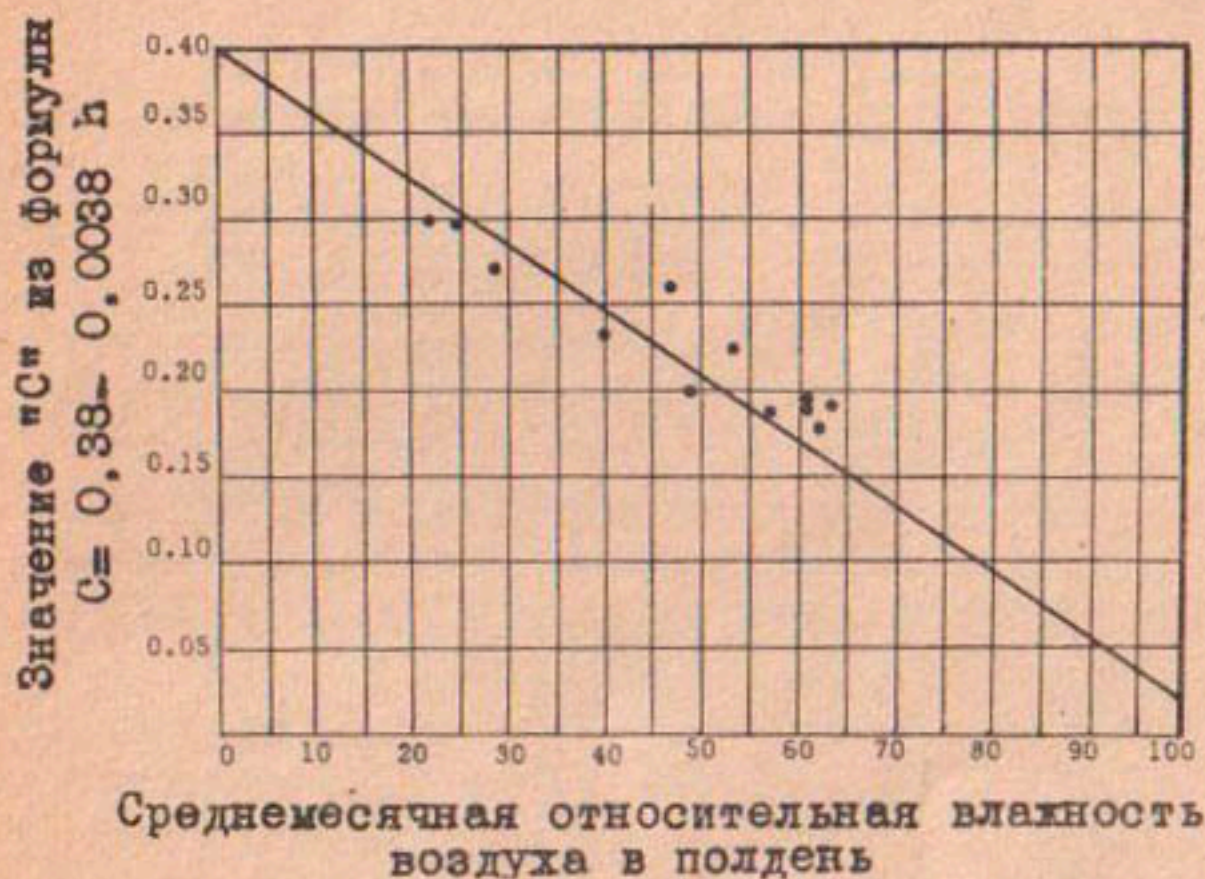


Рис.6. Зависимость между климатическим фактором С и среднемесячной относительной влажностью в полдень

Графически зависимость между среднемесячной относительной влажностью в полдень и значениями С показана на рис.6.

В тех случаях, когда точных данных об относительной влажности не имеется, Харгривс рекомендует для условий США пользоваться следующими приближенными значениями С:

для засушливых областей	$C = 0,24-0,28$
для полузасушливых	$C = 0,21-0,24$
для умеренно влажных	$C = 0,17-0,21$
для влажных	$C = 0,13-0,17$
для сильно влажных	$C = 0,10-0,13$

Значение месячного коэффициента d в зависимости от географической широты

Северная широта, ϕ	М е с я ц ы											
	Я	Ф	М	А	М	И	И	С	О	Н	Д	
5	1,01	0,91	1,02	0,99	1,03	1,00	1,03	0,98	1,02	0,98	1,00	
10	0,98	0,89	1,02	1,01	1,05	1,03	1,06	0,99	1,00	0,95	0,97	
15	0,96	0,88	1,01	1,01	1,08	1,06	1,08	0,99	0,99	0,93	0,95	
20	0,93	0,87	1,01	1,02	1,10	1,08	1,11	0,99	0,98	0,91	0,92	
25	0,91	0,86	1,01	1,03	1,12	1,11	1,13	1,00	0,97	0,89	0,89	
30	0,88	0,84	1,00	1,05	1,14	1,14	1,16	1,00	0,96	0,86	0,86	
35	0,85	0,83	1,00	1,06	1,17	1,17	1,19	1,00	0,94	0,84	0,82	
40	0,81	0,81	1,00	1,08	1,20	1,21	1,23	1,01	0,93	0,81	0,78	
45	0,77	0,79	0,99	1,09	1,24	1,26	1,27	1,01	0,91	0,77	0,74	
50	0,72	0,76	0,99	1,11	1,28	1,32	1,32	1,01	0,89	0,73	0,68	

Водопотребление сельскохозяйственных культур математически может быть выражено уравнением:

$$И = К \cdot Е = \sum k_e, \quad (13)$$

где: И - водопотребление культуры за данный период в дюймах,

Е - сумма месячных испарений за тот же период,

е - испарение за месяц,

К и К - эмпирические коэффициенты (месячный и сезонный), зависящие от культуры, значения которых по калифорнийским данным (г. Дэвис) приведены в табл. 8.

Например, водопотребление люцерны в июле в районе Буаз, расположенном на $43^{\circ}54'$ с.ш., по методу Хартгривса, может быть определено следующим образом: средняя температура июля $72,5^{\circ}F$, среднемесячная относительная влажность в полдень 43%. По графику (рис. 6) находим, что $C=0,24$.

По табл. 7 определяем коэффициент $d=1,27$. Пользуясь приведенным выше уравнением, находим величину месячного испарения $e = C \cdot d \cdot (t - 32) = 0,24 \times 1,27 \times (72,5 - 32) = 12,3$ дюйма, или 31,2 см.

Поправочный коэффициент находим по табл. 8 для люцерны в июле $K=0,74$. Следовательно, водопотребление этой культуры составит $31,2 \times 0,74 = 23,1$ см.

5. Другие эмпирические методы

Водопотребление может быть определено также по данным метеорологических станций об испарении с водной поверхности и с помощью эмпирических коэффициентов

$$И = e \cdot K \quad (14)$$

где И - водопотребление, мм,

e - испарение с водной поверхности, мм,

K - эмпирический коэффициент культуры.

Т а б л и ц а 8

Значение k и K для определения водопотребления по способу ларгивса

Культура	Месячные коэффициенты												К
	Ш	Т	И	У	Т	У	У	У	У	У	У	У	
Людская	0,41	0,70	0,64	0,67	0,74	0,67	0,74	0,67	0,64	0,40	0,41	0,59	0,59
Бобы	-	-	-	0,15	0,28	0,15	0,28	0,15	0,51	-	-	0,40	0,40
Дыни	-	-	-	0,31	0,37	0,31	0,37	0,31	0,38	-	-	0,48	0,48
Морковь	0,16	0,18	0,19	0,52	0,64	0,52	0,64	0,52	-	-	-	0,33	0,33
Литрусовые	0,41	0,36	0,44	0,43	0,44	0,43	0,44	0,43	0,41	0,64	0,41	0,44	0,44
Кукуруза	-	-	-	0,12	0,38	0,12	0,38	0,12	0,26	0,10	-	0,26	0,26
Сорго	-	-	0,07	0,30	0,39	0,30	0,39	0,30	0,15	-	-	0,24	0,24
Плодовые	0,14	0,45	0,49	0,74	0,71	0,74	0,71	0,74	0,43	0,36	-	0,48	0,48
Виноград	-	0,13	0,24	0,26	0,31	0,26	0,31	0,26	0,26	0,18	-	0,23	0,23
Клевер	0,50	0,81	0,55	0,77	0,83	0,77	0,83	0,77	0,70	0,44	-	0,67	0,67
Овощи ранние	0,28	0,45	0,30	-	-	-	-	-	-	-	-	0,34	0,34
Овощи поздние	0,28	0,45	0,30	0,31	0,28	0,31	0,28	0,31	-	-	-	0,32	0,32
Пастбищные травы	0,11	0,25	0,29	0,33	0,31	0,33	0,31	0,33	0,32	0,22	0,14	0,25	0,25
Персики	0,22	0,45	0,43	0,46	0,51	0,46	0,51	0,46	0,38	0,60	0,41	0,44	0,44
Горох	0,28	0,36	0,49	0,31	-	0,31	-	0,31	-	-	-	0,36	0,36
Картофель ранний	0,55	0,72	0,73	0,62	-	0,62	-	0,62	-	-	-	0,66	0,66
Рис	-	0,32	1,34	1,42	1,40	1,42	1,40	1,42	0,51	-	-	1,07	1,07
Суданка	-	-	0,24	0,33	0,37	0,33	0,37	0,33	0,28	0,24	-	0,30	0,30
Сахарная свекла	0,19	0,27	0,55	0,37	0,69	0,37	0,69	0,37	0,15	0,10	0,03	0,36	0,36
Томаты	-	-	-	0,32	0,41	0,32	0,41	0,32	0,67	0,81	-	0,58	0,58
Арбузы	-	-	-	0,15	0,18	0,15	0,18	0,15	0,51	-	-	0,27	0,27
Сахарный тростник	0,49	0,52	0,53	0,56	0,59	0,56	0,59	0,56	0,85	0,84	0,91	0,70	0,70
Бананы	0,73	0,88	0,85	0,86	0,85	0,86	0,85	0,86	0,88	0,86	0,76	0,83	0,83

Однако несмотря на кажущуюся на первый взгляд простоту, этот метод широкого распространения не получил, так как при определении испарения с водной поверхности и коэффициента культуры возник ряд трудностей, которые не преодолены до настоящего времени. Установлено, что величина испарения зависит не только от климатических факторов, но в значительной степени также от формы и площади сосуда-испарителя, резервуара или водоема, а также от места установки испарителя. Мадер (34) считает, что величина испарения с водной поверхности увеличивается с уменьшением диаметра испарителя и с засушливостью климата.

По мнению Б.Д.Ван-Вудта (23) испарение, измеренное в сосудах, сильно превышает испарение в водоемах по мере увеличения расстояния от берега. Колер и др. (33) полагают, что адвекционное тепло оказывает большее влияние на испарение в сосудах, чем на испарение с водоемов, но при усилении ветра влияние адвекционного тепла падает.

При использовании данных испарения в сосудах-испарителях, для расчета водопотребления Ван Вудт рекомендует приводить их к испарению с водоема при помощи понижающего коэффициента. В своей работе он принимает понижающий коэффициент: для района Дейвис, округ Йоло и Лоуди, Сан-Джосе, Калифорния равным 0,7, а для района Лонг-Биг, округ Лос-Анжелос, Калифорния - 0,86.

Отношение между испарением в водоеме и испарением в сосудах разных диаметров на прибрежных и внутренних опытных станциях Австралии показано на рис.7.

Еще большие трудности встречаются при определении коэффициента культуры (отношение водопотребления к испарению с водной поверхности), так как транспирация, являющаяся основной частью водопотребления, зависит не только от климатических и почвенно-мелиоративных условий, но и от вида, физиологии и фазы развития растений, а испарение с почвы зависит от климатического режима, структуры и влажности почвы и степени затенения ее растением. Поэтому для того, чтобы установить коэффициент культуры в формуле 12, необхо-

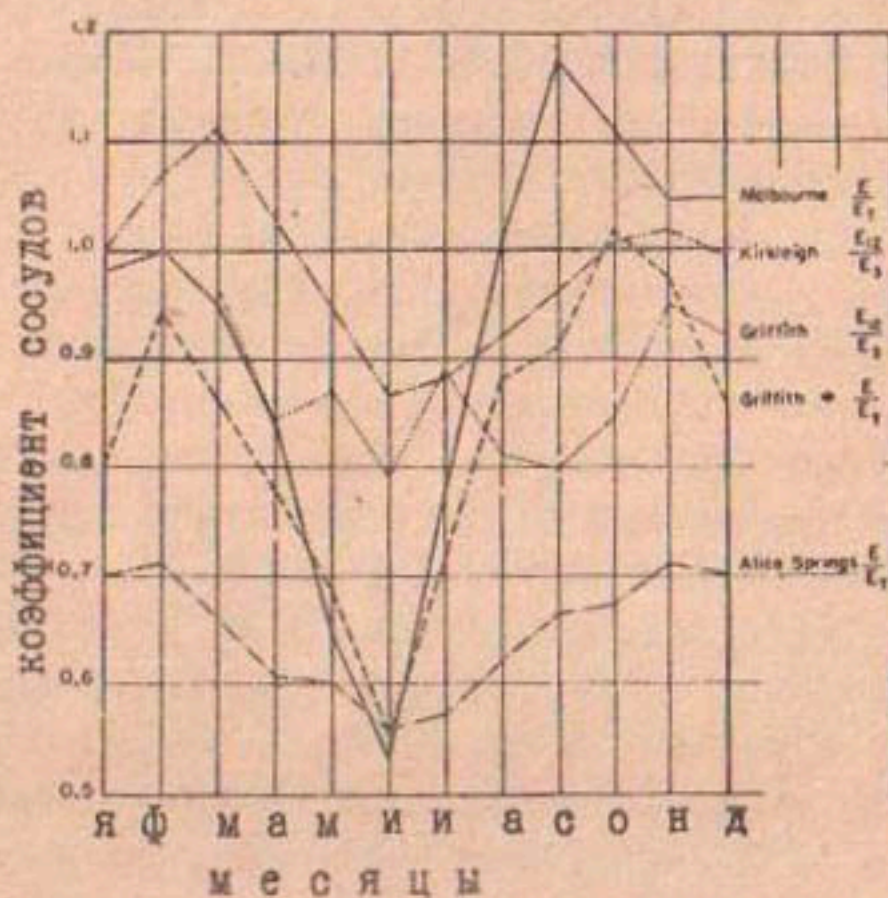


Рис.7. Отношение между испарением в водоеме и испарением в сосудах-испарителях разных диаметров: E - испарение в мелководном обширном водоеме; E_{12} - испарение в резервуаре-сосуде диаметром 3 фута (0,9 м) по Хуману; E_{12} - испарение в испарителе диаметром 12 футов (3,6 м); E_a - испарение в испарителе диаметром 3 фута (0,9 м)

димо определить водопотребление ряда сельскохозяйственных культур при различных климатических, почвенных и хозяйственных условиях.

Пенман (16) на основании двухлетних данных (1944 и 1945 гг.) дает следующие значения коэффициента культуры для задернованных лугов с близким залеганием грунтовых вод (для большинства Британских островов):

март, апрель, сентябрь, октябрь	- 0,7
май-август	- 0,8
ноябрь-февраль	- 0,6
за год	- 0,75

Пруит и Дженсен (17) для условий штата Вашингтон принимают коэффициент культуры: для люцерны - 1,09, сахарной свеклы 1,02, картофеля раннего 1,08 и картофеля летнего - 1,32.

Следовательно коэффициент культуры для разных климатических условий и в равное время года различен и может быть меньше и больше единицы.

III. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ВОДОПОТРЕБЛЕНИЯ

В зарубежной научной литературе доминируют две теоретические концепции об испарении воды с открытой водной поверхностью. Одна из них исходит из предположения, что испарение является следствием наличия потока водяных паров, обусловленного разницей в давлении паров на водную поверхность и в слое воздуха над ней.

Вторая концепция рассматривает испарение как процесс изменения энергии; он может быть выражен в виде уравнения баланса энергии солнечной радиации, получаемой на поверхности воды (земли), которая равна энергии, затрачиваемой на испарение, нагрев воздуха, нагрев почвы и другие потери.

1. Метод Пенмана

Х.Л.Пенман (15,16) для определения испарения с водной поверхности, оголенной почвы и травяного покрова предложил использовать разработанный им метод определения количества солнечной радиации, получаемой поверхностью земли (воды); величину радиации он выражает в миллиметрах испарившейся воды.

Для определения водопотребления Пенман применяет следующие формулы:

$$H = R_A (1 - \alpha) \left(0,18 + 0,55 \frac{n}{N} \right) - \sigma T_a^4 (0,56 - 0,092 \sqrt{e_d}) \quad (0,01 + 0,90 \frac{n}{N}) \text{ мм воды/сутки} \quad (15)$$

$$E_a = 0,35 (e_a - e_d) (1 + 0,0098 I_2) \text{ мм воды/сутки} \quad (16)$$

$$E = \frac{\Delta H - 0,27 E_a}{\Delta - 0,27} \text{ мм воды/сутки}, \quad (17)$$

- где: H — суточное количество тепла на поверхности земли (воды), мм;
 R_A — вычисленная радиация, которая попала бы на землю при отсутствии атмосферы, мм воды/сутки (табл. 9);
 α — коэффициент отражения от поверхности, %;
 n — фактическая продолжительность яркого солнечного освещения;
 N — максимальная возможная продолжительность яркого освещения, час;
 σ — константа Больцмана $= 2,01 \times 10^{-9}$, мм воды/сутки;
 σT_a^4 — теоретическое излучение черных тел при температуре T_a , мм воды/сутки (табл. 10);
 e_d — давление насыщенных паров при средней точке росы, т.е. фактическое давление паров в воздухе, мм ртутного столба;
 e_a — давление насыщенных паров при средней температуре воздуха в мм ртутного столба, определенное по графику (рис. 8);
 E_a — испарение, мм воды/сутки;
 E_T — водопотребление, мм воды/сутки;

Δ - коэффициент = $\frac{de_a}{dt}$, определяемый по графику (рис. 9);

U_2 - средняя скорость ветра на высоте 2 м от земли, мили/сутки; при измерении ветра на другой высоте, скорость его можно привести к скорости на высоте 2 м с помощью формулы:

$$U_2 = U_1 \frac{\lg 6,6}{\lg h},$$

где: U - измеренная скорость ветра за высоте h футов.

При определении водопотребления люцерны за июль месяц в районе Буаз по методу Пенмана Кридди применял следующий порядок вычислений:

А. Исходные данные:

- | | |
|--|------|
| 1) средняя месячная температура воздуха $^{\circ}F$ | 72,5 |
| 2) средняя месячная относительная влажность воздуха, % | 40 |
| 3) солнечное освещение $\frac{h}{N}$, % | 70 |
| 4) скорость ветра U_2 , мили/сутки | 135 |
| 5) радиация R_A , мм воды/сутки (табл. 9) | 16,2 |
| 6) коэффициент отражения - τ , % | 25 |

Б. Решение $R_A (1 - \tau) (0,18 + 0,55 \frac{h}{N})$

- | | |
|--|-------|
| 7) $(1 - \tau)$ | 0,75 |
| 8) $(0,18 + 0,55 \frac{h}{N})$ | 0,565 |
| 9) данные пункта 5 x данные пункта 7 x данные пункта 8 | 6,86 |

В. Решение - $G T a^4 (0,56 - 0,092 \sqrt{e_d}) (0,10 + 0,90 \frac{h}{N})$

- | | |
|--|-------|
| 10) давление пара | |
| а) насыщенное e_a из рис. 8 | 21,0 |
| б) фактическое $e_d = (A \cdot N \cdot e_a)$ | 8,4 |
| с) $\sqrt{e_d}$ | 2,9 |
| 11) $G T a^4$ по табл. 10 | 15,37 |

12) $(0,56 - 0,092 \sqrt{2d})$	0,29
13) $(0,10 + 0,90 \frac{n}{N})$	0,73
14) данные пункта 11х данные пункта 12х данные пункта 13	3,25
Г. Решение для Н	
15) данные пункта 9 минус данные пункта 14	3,61
Д. Решение $E_a = 0,35(e_a - e_d)(1+0,0098 I_2)$	
16) $0,35(e_a - e_d)$	4,41
17) $(1+0,0098 I_2)$	2,32
18) данные пункта 16 х данные пункта 17	10,2
Е. Решение $E_T = \frac{\Delta H + 0,27 E_a}{\Delta + 0,27}$	
19) Δ из рис.9	0,65
20) ΔH	2,23
21) $0,27 E_a$	2,75
22) $\Delta = 0,27$	0,92
23) $E_T =$ мм воды/сутки	6,67
24) " " /месяц	206,8

Криддл (8) отмечает, что метод Пенмана применяется в Англии и частично в Австралии и восточных штатах США; более широкому распространению этого метода препятствует то, что климатические показатели, входящие в формулы Пенмана, как например солнечная радиация, альбеда на многих метеорологических станциях не измеряются.

Б.Д.Ван Вудт (23) указывает, что в тех районах США, где метод Пенмана применялся он оказался более точным по сравнению с другими: например, в Дейвис (штат Калифорния) потенциальное водопотребление близко к испарению с мелких водоемов.

Длительными исследованиями Пруита в штате Вашингтон также было установлено близкое совпадение данных, полученных по формуле Пенмана с данными испарения в сосудах.

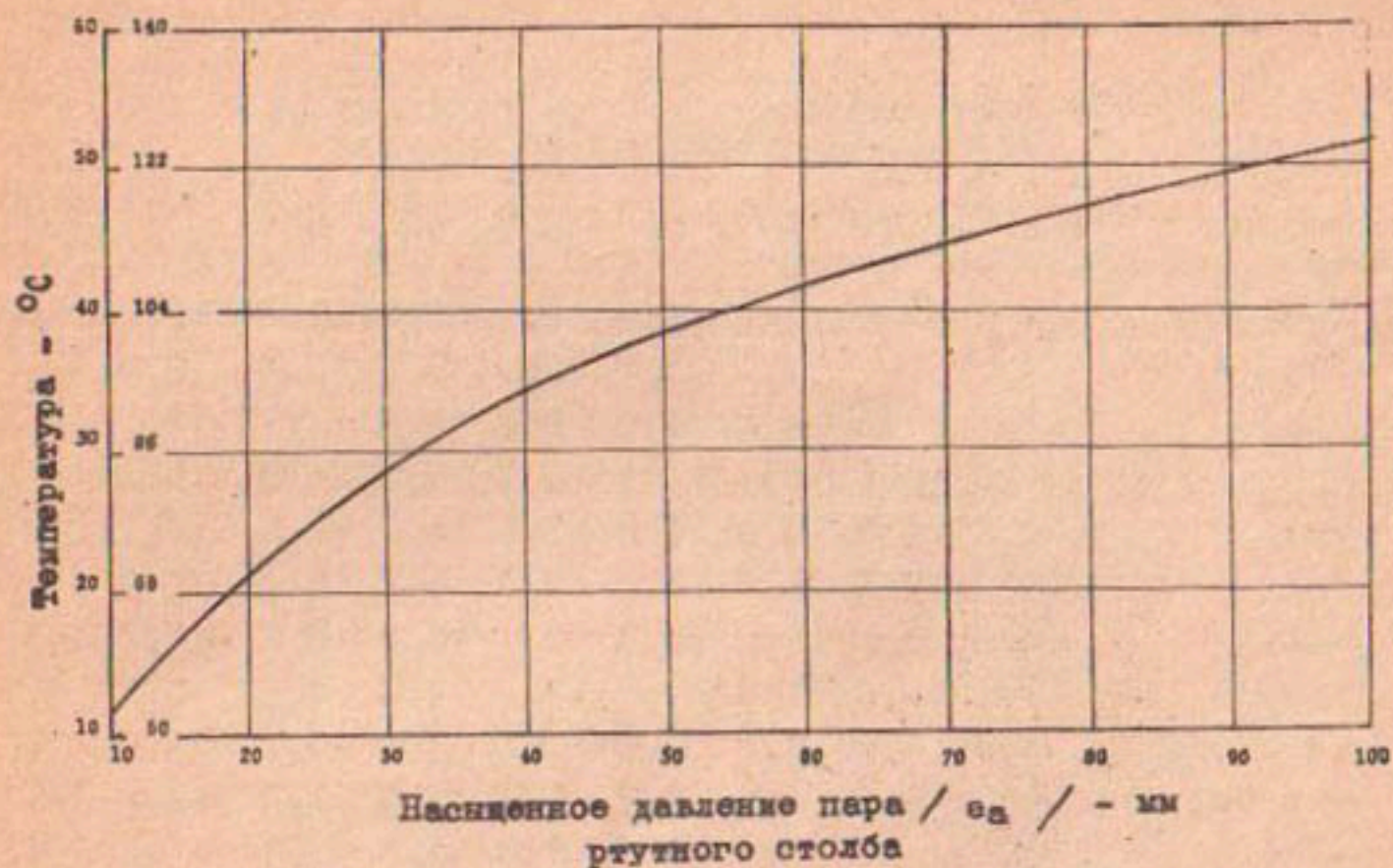


Рис. 8. Зависимость давления насыщенного пара от температуры

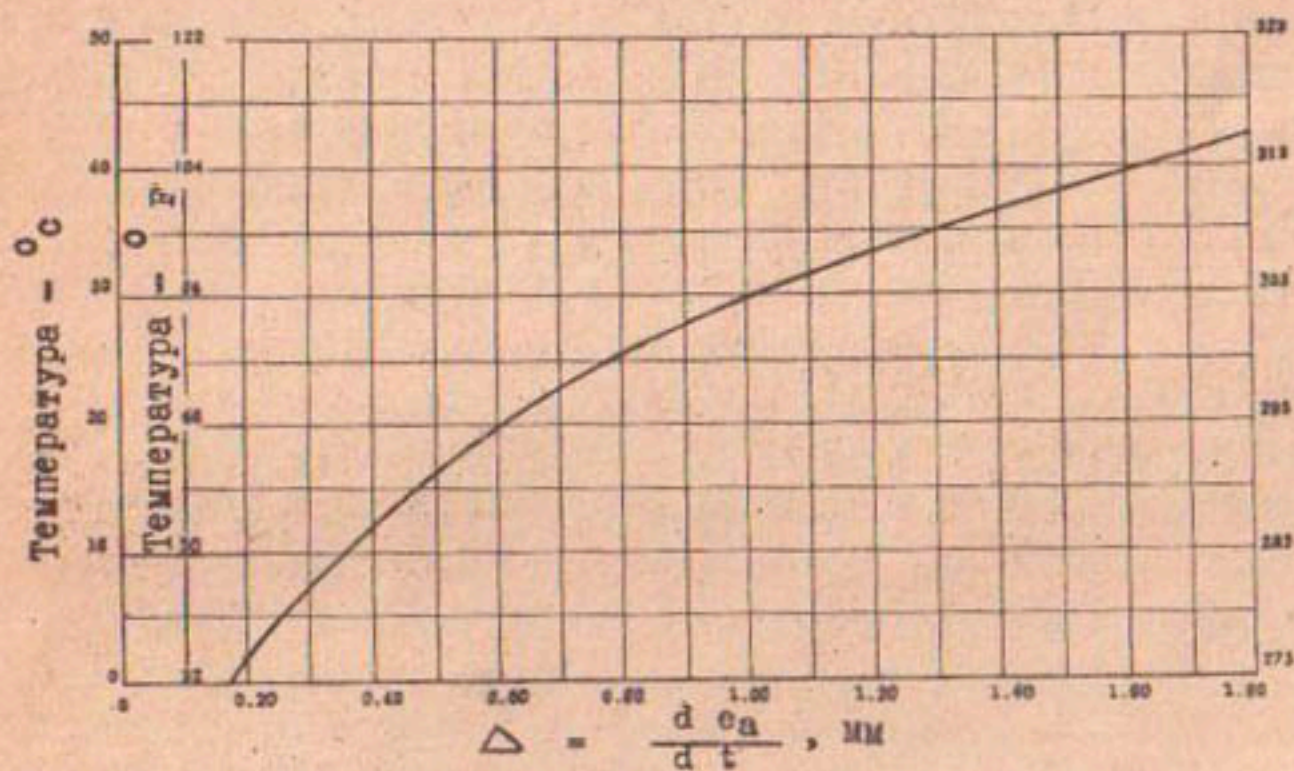


Рис. 9. Зависимость Δ от температуры

Т а б л и ц а 9

Средняя радиация R_A на горизонтальной поверхности, мм воды/сутки										
С. ш.	90°	80°	70°	60°	50°	40°	30°	20°	10°	
Январь	-	-	-	1,3	3,6	6,0	8,5	10,8	12,8	
Февраль	-	-	1,1	3,5	5,9	8,3	10,5	12,3	13,9	
Март	-	1,8	4,3	6,8	9,1	11,0	12,7	13,9	14,8	
Апрель	7,9	7,8	9,1	11,1	12,7	13,9	14,8	15,2	15,2	
Май	14,9	14,6	13,6	14,6	15,4	15,9	16,0	15,7	15,0	
Июнь	18,1	17,8	17,0	16,5	16,7	16,7	16,5	15,8	14,8	
Июль	16,8	16,5	15,8	15,7	16,1	16,3	16,2	15,7	14,8	
Август	11,2	10,6	11,4	12,7	13,9	14,8	15,3	15,3	15,0	
Сентябрь	2,6	4,0	6,8	8,5	10,5	12,2	13,5	14,4	14,9	
Октябрь	-	0,2	2,4	4,7	7,1	9,3	11,3	12,9	14,1	
Ноябрь	-	-	0,1	1,9	4,3	6,7	9,1	11,2	13,1	
Декабрь	-	-	-	0,9	3,0	5,5	7,9	10,3	12,4	
Ю. ш.	0°	10°	20°	30°	40°	50°	60°	70°	80°	90°
Январь	14,5	15,8	16,8	17,3	17,3	17,1	16,6	16,5	17,3	17,6
Февраль	15,0	15,7	16,0	15,8	15,2	14,1	12,7	11,2	10,5	10,7
Март	15,2	15,1	14,6	13,6	12,2	10,5	8,4	6,1	3,6	1,9
Апрель	14,7	13,8	12,5	10,8	8,8	6,6	4,3	1,9	-	-
Май	13,9	12,4	10,7	8,7	6,4	4,1	1,9	0,1	-	-
Июнь	13,4	11,6	9,6	7,4	5,1	2,8	0,8	-	-	-
Июль	13,5	11,9	10,0	7,8	5,6	3,3	1,2	-	-	-
Август	14,2	13,0	11,5	9,6	7,5	5,2	2,9	0,8	-	-
Сентябрь	14,9	14,4	13,5	12,1	10,5	8,5	6,2	3,8	1,3	-
Октябрь	15,0	15,3	15,3	14,8	13,8	12,5	10,7	8,8	7,1	7,0
Ноябрь	14,6	15,7	16,4	16,7	16,5	16,0	15,2	14,5	15,0	15,3
Декабрь	14,3	15,8	16,9	17,6	17,8	17,8	17,5	18,1	18,9	19,3

Т а б л и ц а 10

Значение $\bar{E} T_a^4$ для различных температур при расчетах водопотребления по методу Пенмана.

Температура, °C	$\bar{E} T_a^4$, мм воды/сут.
35	11,48
40	11,96
45	12,45
50	12,94
55	13,45
60	13,96
65	14,52
70	15,10
75	15,65
80	16,25
85	16,85
90	17,46
95	18,10
100	18,80

2. Метод Тюрка

Тюрк Л. (22) на основе разработанного им метода расчета внутригодового распределения элементов водного баланса отдельных бассейнов рек, предложил формулы II и III для расчета испарения с оголенной и покрытой растительностью почвы за декадные промежутки времени.

Формула для оголенной почвы
$$E_n = \frac{P + a}{\sqrt{1 + \left(\frac{P + a}{e}\right)^2}} \quad (\text{II})$$

Формула для почвы, покрытой растительностью:

$$E_e = \frac{P + a + V}{\sqrt{1 + \left(\frac{P + a}{e} + \frac{V}{2e} \right)^2}} \quad (III)$$

- где: E_n -испарение за декаду, мм;
 E_g -водопотребление за декаду, мм;
 P -сумма осадков в мм за декаду=сумма осадков за месяц, деленной на 3, а при орошении в эту величину входит также и поливная вода;
 a -слой воды в мм, который испарится за декаду из почвы за счет ее запасов. Величина a принимается;
 $a = 10$ мм, когда дефицит влажности почвы $\Delta \leq 25$ мм, $a = 1$ мм, когда $\Delta > 34$ мм и $a = 35 - \Delta$ в остальных случаях.
 e -максимальное значение декадного испарения в мм при достаточном количестве осадков, определяемое по формуле:

$$e = \frac{1}{16} (t + 2) \sqrt{Y} \quad (18)$$

или по формуле:

$$e = \frac{1}{16} (t + 2) \sqrt{Y} \sqrt{\frac{1}{1,5} \left(\frac{V}{V_{cp}} + 0,5 \right)}, \quad (19)$$

где t - средняя месячная температура воздуха в $^{\circ}\text{C}$.

- Y -суммарная солнечная радиация в кал/см²/сутки, величина которой принимается на основании данных фактических измерений или определяется по формуле:

$$Y_n = 12,5 (t_{\text{год}} + 11) + 25 (t_{n+1} - t_{\text{год}}) \quad (20)$$

где: Y_n -суммарная солнечная радиация, кал/см²/сутки в данный месяц;

$t_{\text{год}}$ -средняя годовая температура воздуха, $^{\circ}\text{C}$;

t_{n+1} — средняя месячная температура воздуха последующего месяца (установлено, что годовой ход суммарной солнечной радиации смещен по фазе относительно годового хода температуры воздуха приблизительно на один месяц и что амплитуда годовых колебаний γ почти пропорциональна амплитуде годовых колебаний t).

$\bar{v}$ — среднегодовая скорость ветра на рассматриваемой станции, км/час

v — скорость ветра на высоте 2 м, км/час

Множитель $\sqrt{\frac{1}{1,5} \left(\frac{v}{\bar{v}} + 0,5 \right)}$ в формуле (21)

должен учитывать влияние ветра на испарение, но так как этот множитель выведен только на основании данных о скорости ветра для Версаля и Ротамстеда, то применение его на других станциях требует уточнения.

Тюрк считает, что когда e , определенное по формуле (18), меньше 10 мм, влияние растительности на испарение прекращается и водопотребление следует определять как испарение с оголенной почвы по формуле (П).

V — фактор растительности, который учитывается в период начинающийся примерно через 20 дней после посева и до уборки урожая. Для каждой декады значение V принимается равным наименьшей из двух величин, найденных по формулам (22) и (23).

$$V = 25 \sqrt{\frac{M_c}{\Sigma}} \quad (22)$$

когда водопотребление растительности хорошо обеспечено запасами почвенной влаги и

$$V = \Delta_0 + 30 + 1,5 M_c \frac{\Sigma}{\Sigma} - \Delta \quad (23)$$

когда обеспеченность растений почвенной влагой ниже оптимальной, в которых:

- $\bar{X}$ - количество декад от 20-го дня после посева до уборки урожая;
- $\bar{Z}$ - номер рассматриваемой декады от 1 до $\bar{X}$;
- M - общий вес сухой массы растений в ц/га, включая и солому, а для свеклы, моркови, картофеля включая и подземные части растения;
- c - отношение коэффициента транспирации данного вида растительности к коэффициенту транспирации зерновых; для расчетов рекомендуется принимать следующие значения " c " для:

зерновых	-	1
кукурузы и свеклы	-	0,67
картофеля	-	0,84
лицерны, луговых злаковых трав и горчицы	-	1,33
гороха, клевера и других бобовых	-	1,17

Δ_0 - дефицит влажности почвы (разность между предельной влагоемкостью и влагосодержанием почвы) в начальный момент;

Δ_n - дефицит влажности почвы в начале каждой рассматриваемой декады.

При наличии орошения, которое должно своевременно и обильно снабжать растение водой, V определяется по формуле (22).

Потребность в орошении определяется исходя из формулы баланса:

$$P - E = D + (\Delta_n - \Delta_k), \quad (24)$$

где: P - сумма осадков за декаду, мм;

E - испарение, определенное по формулам II и III, мм;

D - сток, мм (паводковый и глубинный);

Δ_n - дефицит влажности почвы в начале декады, мм;

Δ_k - дефицит влажности почвы в конце декады, мм.

Когда испарение E , найденное по формуле III, больше осадков P , тогда сток $D = 0$, а дефицит влажности почвы от декады к декаде увеличивается пока в какую-то из декад не пре-

высит 100 мм.

Получив значение $\Delta > 100$ мм, определяют разность между Δ и 100 мм, т.е. величину необходимого орошения.

Тюрк считает, что при дефиците влажности почвы Δ меньше 100 мм растение легко забирает воду из почвы и не испытывает недостатка во влаге.

В отличие от методов, рассмотренных выше, Тюрк помимо метеорологических данных (температура, осадки, солнечная радиация, ветер) учитывает также запас воды в почве и растительность. Кроме того, если с помощью других методов можно определить главным образом суммарное водопотребление за год, за вегетационный период или месяц, то метод Тюрка позволяет путем последовательных расчетов определить также количество оросительной воды, которое необходимо дать растению в декаду.

В последнее время метод Тюрка применяется в Европе главным образом для расчетов элементов водного баланса больших территорий. Так, Монорман и И.Кесслер (13), используя метод Тюрка и метеорологические данные европейских станций, определили годовое потенциальное водопотребление для каждого пункта и на составленной ими карте Европы нанесли изолинии средних годовых значений потенциального водопотребления (рис. 10). По их мнению, метод Тюрка имеет большое преимущество перед методами Пенмана, Блейни-Криддла и Торнтвейта, так как позволяет использовать для расчета данные, имеющиеся на большинстве метеорологических станций, и на их основе составить водный баланс для бассейна любой реки.

Следует отметить, что метод Тюрка имеет большое практическое значение для сельского хозяйства, так как учитывает вид сельскохозяйственных культур, стадию развития и количество влаги, находящейся в почве.

К недостаткам метода Тюрка следует отнести то, что некоторые данные, входящие в его формулы, как, например, суммарная солнечная радиация, измеряются лишь на немногих метеорологических станциях; трудно, а порой и невозможно найти данные об общем весе сухой массы сельскохозяйственных

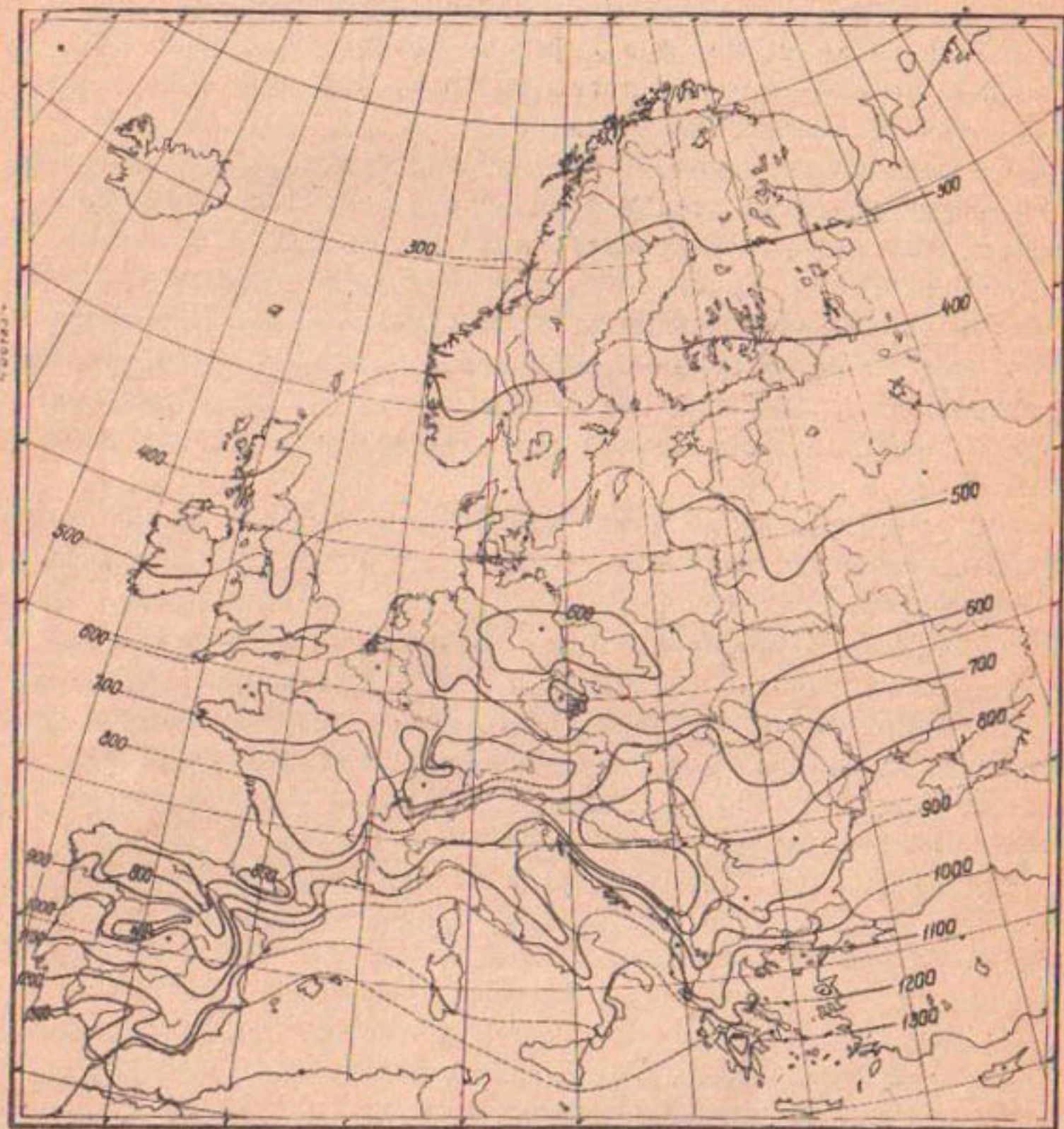


Рис. 10. Потенциальное водопотребление
в Европе, мм

культур; очень схематично определяется величина слоя воды, испаряемой из почвы за декаду и фактор растительности V ; большой объем вычислительных работ.

Пример определения суммарного водопотребления и потребности растений в оросительной воде по методу Тюрка приведен в приложении 8

1У. МЕТОДЫ РАСЧЕТА ДРУГИХ ЭЛЕМЕНТОВ РЕЖИМА ОРОШЕНИЯ

Из всех рассмотренных методов один только метод Тюрка позволяет определить помимо водопотребления и другие элементы режима орошения - величину поливных норм и время полива с учетом атмосферных осадков и запасов почвенной влаги.

С помощью других методов можно определить только потенциальное водопотребление (Лоури-Джонсон, Торнтвейт, Пенман) или водопотребление растений, в которых влияние культуры учитывается соответствующими коэффициентами (Блейни Криддла, Ларгивса).

Первые три метода используются главным образом при гидрологических расчетах и климатическом районировании для определения водного баланса бассейнов рек и больших территорий, вторые два метода, кроме того, позволяют определить водопотребление отдельных сельскохозяйственных культур, дефицит осадков и распределение его по месяцам, величину суммарной (за вегетацию) и месячной оросительной нормы.

Однако оросительная норма, полученная по этим методам, несколько завышена, так как ни один из них не учитывает запасов воды в почве, накопленной в ней за счет атмосферных осадков, влагозарядочных поливов, за счет капиллярного поднятия грунтовых вод.

Пример использования формулы Блейни-Криддла инженером Гойоном для определения водопотребления оросительной нормы

и распределения ее по месяцам приведен в приложении 6. Там же приведена применяемая им формула (8) для определения поливной нормы.

Р. Карбонери и М. Бурье (35), рассматривая методы определения поливных норм, вытекающие из теоретических представлений о перемещении влаги в почве, предлагают нижеследующую формулу для определения поливной нормы:

$$V = 10^4 A w h (C_2 - C_f) \quad (25)$$

- где: V — поливная норма, м³/га,
 h — толщина корнеобитаемого слоя, м,
 w — объемный вес сухой почвы,
 C_2 — влажность свободного удержания воды, зависящая от физических свойств почвы,
 C_f — влажность увядания, обычно принимаемая равной $0,55 C_2$,
 A — коэффициент редукции, равный 0,67 для песчаных и 0,75 для глинистых почв.

В Италии (6) для определения поливной нормы пользуются формулой Драгета:

$$V = 0,4 - 0,5 (h \cdot C) U \quad (26)$$

- где: V — поливная норма, м³/га,
 h — глубина активного слоя, м,
 C — капиллярная влагоемкость, определяемая лабораторным путем,
 U — влажность почвы, соответствующая влажности увядания.

Приведенные формулы аналогичны применяемым в СССР с той лишь разницей, что в формуле (8) за максимальный предел влажности почвы принимается предельная влагоемкость, в формуле (25) — влажность свободного удержания воды (близкая к максимальной молекулярной влагоемкости по Лебедеву), в формуле (26) капиллярная влагоемкость, определяемая лабораторным путем, а за нижний предел влажности принимается влажность увядания.

Однако применение этих формул в наших условиях затруднительно, так как входящие в формулу (25) влажность свободного удержания воды и в формулу (26) капиллярная влагоемкость требуют специального изучения; формула (8), как показали сравнительные расчеты, дает завышенную величину поливной нормы.

Это завышение вызвано тем, что автор формулы принял за нижний предел иссушения почвы влажность увядания. Иссушение почвы до влажности увядания, как показали опыты С.Н. Рыжева, С.И. Долгова и других советских исследователей, задерживает развитие растений и снижает урожайность сельскохозяйственных культур.

Методы распределения оросительной воды и установление сроков полива в зависимости от фаз развития растений, кроме метода Турка, в зарубежной литературе не освещены. Однако имеются предложения о чисто механическом распределении оросительной воды в течение вегетационного периода путем деления месячной оросительной нормы, найденной по эмпирическим формулам, на величину поливной нормы. Если при делении месячной оросительной нормы на поливную получается остаток, то его приплюсовывают к оросительной норме следующего месяца, а если поливная норма больше месячной нормы орошения, то последнюю приплюсовывают к оросительной норме следующего месяца, а затем делят на поливную норму.

Время полива большинство авторов рекомендуют устанавливать исходя из влажности почвы. Дерагет (6), Р. Карбонера и Бурье (35) и другие рекомендуют поливать, когда влажность почвы равна влажности увядания растений; Монорман и Каслер (13) считают, что для создания оптимальных условий роста растений необходимо давать полив, когда растение использовало не больше 50% доступной влаги корнеобитаемого слоя почвы; Турк (22) считает, что растение нуждается в поливе, если дефицит влажности почвы больше 100 мм.

Однако большинство этих рекомендаций могут быть использованы главным образом при установлении времени поливов в условиях эксплуатации оросительных систем, но для расчета

сроков и числа поливов при проектировании в зарубежной практике в последнее время применяют метод Тюрка.

У. СРАВНЕНИЕ РАЗЛИЧНЫХ МЕТОДОВ РАСЧЕТА РЕЖИМА ОРОШЕНИЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР

В целях сравнения результатов определения водопотребления разными методами и показа порядка проведения расчетов по каждому из них на конкретном примере, было определено водопотребление хлопчатника и люцерны в Вахшской долине на основании данных Курган-Тюбинской метеорологической станции, расположенной в полупустынной зоне на высоте 431 м ($37^{\circ}49'$ с.ш. $68^{\circ}47'$ в.д.).

Средние многолетние данные за 16 лет наблюдений за осадками, температурой и относительной влажностью воздуха, ветром, продолжительностью солнечного сияния и др. приведены в соответствующих примерах расчета водопотребления.

Для сравнения приводится также определение водопотребления по методу водного баланса (21), широко применяемого в СССР (приложение 2).

Так как формулы зарубежных авторов учитывают полное обеспечение растений водой и получение хороших урожаев, то при сравнении с нашей формулой, основанной на зависимости водопотребления от эмпирического коэффициента водопотребления и проектной урожайности, принята высокая урожайность хлопчатника - 40-50 ц/га, люцерны 100-200 ц/га и соответствующие ей коэффициенты водопотребления - 190-160 м³/ц и 80-60 м³/ц. Результаты расчетов см. в табл. 11.

Т а б л и ц а 11

Сравнение величины водопотребления
хлопчатника в районе Курган-Тюбе
Таджикской ССР, определенной по
разным методам

По методу	Суммарное водо- потребление хлоп- чатника		Суммарное водопот- ребление люцерны	
	м ³ /га	%	м ³ /га	%
Водного баланса (СССР)	7800	100	10000	100
Лоури-Джонсона	10060	128	10060	100 (для всех культур)
Харгривса	10888	138	13998	140
Торнтвейта	8733	112	8733	87 (для всех культур)
Блейни-Криддла	7780	99	10220	102
Пенмана	8218	105	8218	82 (для всех культур)
Тюрка	8319	106	9230	92

Данные табл.11 показывают, что к водопотреблению, рассчитанному по формуле водного баланса, наиболее близки определения по Блейни-Криддлу (отклонение 1-2%) и Тюрку (отклонение 6-8%). Водопотребление, полученное по формуле Харгривса, сильно завышено (отклонение соответственно 38 и 40%).

Из формул водопотребления общего для всех культур, наиболее близкое значение водопотребления дала формула Пенмана (увеличение на 5% для хлопчатника) - занижение на 18% для люцерны. Формулы Лоури-Джонсона и Торнтвейта дали завышенное значение для хлопчатника - соответственно на 28 и 12% и заниженное для люцерны по формуле Торнтвейта на 13%.

Сравнение результатов расчета поливных норм по формуле 8 (по другим формулам 25 и 26 расчет не производился из-за

отсутствия данных влажности свободного удержания для формулы 25 и капиллярной влажности — для формулы 26) с результатом расчета по формуле, рекомендуемой в НИТУ (26) показали, что поливная норма, полученная по формуле 8, сильно завышена — на 40%.

У1. ВЫВОДЫ

На основании анализа эмпирических и теоретических методов расчета режима орошения сельскохозяйственных культур, применяемых за рубежом, высказываний иностранных и советских специалистов и приведенного выше сравнения результатов расчетов можно прийти к следующим выводам:

1. Достаточно точно рассчитать основные элементы режима орошения, учитывая основные метеорологические факторы, запасы воды в почве и вид сельскохозяйственных культур, позволяет метод Турка. Метод этот, однако, очень трудоемкий и требует специального определения величины солнечной радиации и веса сухой растительной массы. Относительная новизна метода требует проверки его в разных климатических условиях и для разных культур.

2. Более простой как по количеству компонентов, так и по технике вычислений метод Блейни-Кридда позволяет рассчитывать только водопотребление и оросительную норму, без учета почвенной влаги. Несмотря на то, что из климатических элементов используется только средние месячные температуры и процент световых часов, результаты достаточно хороши, что, очевидно, объясняется тем, что при определении эмпирических коэффициентов культуры косвенно учтено также и влияние климата. Техника вычислений значительно упрощается наличием номограммы и таблиц.

3. Менее точные результаты дают остальные методы, причем часть из них, как, например, методы Лоури-Джонсона, Торнтвейта и Пенмана, используются только для расчета потенциального водопотребления.

4. Методы расчета других элементов режима орошения в зарубежной литературе освещены слабо. Формулы для расчета поливных норм в наших условиях не могут быть использованы, так как за верхний предел влажности почвы в них приняты нестандартные показатели, а за нижний предел влажности увядания, которая уже сказывается на снижении урожайности. При использовании метода Тюрка, могут быть получены подекадные поливные нормы и время их подачи — один раз в декаду.

5. Приведенные в приложении данные о фактическом водопотреблении культурной и дикой растительности и рекомендуемые отдельными авторами величины оросительных и поливных норм в разных странах могут быть использованы для предварительных расчетов в районах с близкими климатическими условиями.

Т а б л и ц а 1

Водопотребление орошаемых культур за вегетационный период по данным полевых исследований (США)

Районы	Годы исследований	Вегетационный период	Водопотребление, м ³ /га	Исследователи
1	2	3	4	5

Люцерна

Боннерс Ферри, Айдахо	1940-47	5/V-25/IX	6100	Марр и Криддл
Карлсбад, Нью-Мексико	1940	18/IV-10/XI	9750	Блейни
Дейвис, Калифорния	1939	1/IV-30/IX	7720	Вейхмейер
Форт Стоктон, Техас	1940	13/IV-11/XI	10300	Блейни и Бладгуд
Логан, Юта	1902-29	7/V-11/X	6320	Питтман и Стюарт
Сан-Фернандо, Калифорния	1940	1/IV-31/X	9500	Блейни и Стокуелл

Хлопчатник

Бекерсфилд, Калифорния	1927-30	1/IV-3/X	7420	Бекотт и Даншоу
Форт Стоктон, Техас	1940	13/IV-11/XI	7350	Блейни и Бладгуд
Лос-Банос, Калифорния	1932	1/V-31/X	6500	Адамс и Вейхмейер
Меса, Аризона	1935	1/IV-31/X	7850	Гаррис и Хокинс

Зерновые (кроме кукурузы)

Боннерс Ферри, Айдахо	1930-47	5/V-5/III	4450	Марр и Криддл
-----------------------	---------	-----------	------	---------------

1	1	2	1	3	1	4	1	5
Логан, Юта	1902-29	10/У-10/УШ	4450	Питтман и Стюарт				
Долина Сан-Луи, Ко- лорадо	1936	1/У1-31/УШ	3570	Блейни				
Скоттсблафф, Небрас- ка	1932-35	20/1У-25/УП	3740	Бауен				

Кукуруза

Дейвис, Калифорния	1939	1/У1-30/1Х	3050	Вейхмейер
Логан, Юта	1902-29	1/У1-30/1Х	6350	Питтман и Стюарт
Вернал, Юта	1948	10/У1-20/1Х	4930	Криддл и Петерсон

Садовые культуры -апельсины

Азуза, Калифорния	1929	1/1У-31/Х	5550	Блейни и Тейлор
Меса, Аризона	1931-34	1/Ш-31/Х	8220	Гаррис и Киннисон
Тустин, Калифорния	1929	1/1У-31/Х	5300	Бекетт и Пилсбери

Садовые культуры-грецкий орех

Тустин, Калифорния	1948	1/1У-30/1Х	5680	Бекетт
" "	1929	1/1У-30/1Х	6970	"

Плодовые деревья с опадающей
листвой

Альбукерк, Нью-Мексико	1936	1/У-30/1Х	4960	Блейни
Венатчи, Вашингтон	1908	15/1У-22/Х	5850	Фортъе
Онтарио, Калифорния	1928	1/1У-30/1Х	7220	Блейни и Тейлор

1	1	2	1	3	1	4	1	5
---	---	---	---	---	---	---	---	---

Дейвис, Калифорния - 1/ш-30/х1 6700 Вейхмейер

Картофель

Боннерс, Ферри, Айдахо 1947 8/у-27/1х 5330 Марр и Криддл
 Логан, Ута 1902-29 20/у-15/1х 3810 Питтман и Стюарт
 Онтарио, Орегон 1941-42 20/1у-31/уш 4550 Санфорд и Криддл
 Долина Сан-Лум, Колорадо 1936 1/у1-30/1х 5050 Блейни

Сахарная свекла

Дейвис, Калифорния - 1/1у-30/1х 6400 Вейхмейер
 Логан, Ута 1902-29 15/1у-15/х 6350 Питтман и Стюарт
 Скоттсблафф, Небраска 1932-36 20/1у-15/х 6100 Бауен

Томаты

Дейвис, Калифорния 1933-35 1/у1-31/х 5800 Вейхмейер
 Мерседес, Техас 1918-20 25/ш-30/уш 4320 Рокуелл

Овощи

Стоктон, Калифорния 1925-28 1/у-30/1х 5430 Стаут
 " " 1/1у-31/х 6250 "

Т а б л и ц а П

Годовое или сезонное водопотребление
дикой растительности в западной части
США

Районы	Период исследо- ваний	Глубина залегания грунтовых вод, м	Осад- ки, мм	Водо- пот- ребле- ние, м ³ /га	Авторы
1	2	3	4	5	6

Дикie травы (долинные земли)

Сан-Бернардино, Калифорния	х. 1928-1х. 1929	Невысокий уровень грунтовых вод	273	2540	Блейни и Тейлор
Онтарио, Калифорния	х. 1927-1х. 1928	"	359	3560	"
Анагейм, Калифорния	"	"	320	3220	"
Кукамонга, Калифорния	1928-29	"	344	3430	"
"	х. 1929-1х. 1930	"	437	3810	"
Эль-Рио, Калифорния	1931-32	"	420	3840	Блейни

Дикий кустарник (долинные земли)

Сан-Бернардино, Калифорния	х. 1927-1х. 1928	Невысокий уровень грунтовых вод	532	4860	Блейни и Тейлор
Маской, Калифорния	"	"	462	4470	"
Клиармонт, Калифорния	1929-30	"	415	4140	Блейни и Тейлор

1	1	2	1	3	1	4	1	5	1	6
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

Травы на солончаках (долинные земли)

Санта-Ана, Кали-форния	У. 1931-1У. 1932	0,30	312	10370	Блейни
"	"	0,61	312	8970	"
"	У. 1931-1У. 1932	1,22	312	3410	"
"	У1. 1931-1У. 1932	0,91	312	6040	"
Долина Санлуи, Колорадо	1У-х. 1928	0,36	-	4520	Типтон и Карт
"	"	0,61	-	3960	"
Лос-Григос, Нью-Мексико	х. 1927-1х. 1928	0,66	178	5770	Алдер
Долина Месилла, Нью-Мексико	УП. 1936-У1. 1937	0,36	-	10050	Блейни

Деревья

Долина Саффорд, Аризона-американский тополь	х. 1943-1х. 1944	2,14	152	18250	Гейтвуд и Робинсон
Долина Саффорд, Аризона-солончаковый кедр	1944	2,12	152	21900	"
Карлсбад, Нью-Мексико-тамариск	1. хп. 1940	0,91	313	14500	Блейни и Морин
Долина Саффорд, Аризона-мескитовое дерево	1943-1944	3,05	-	8250	Гейтвуд и Робинсон

Смешанная растительность

Карлсбад, Нью-Мексико-спороболус (для борьбы с эрозией)	1. хп. 1940	0,91	313	11350	Блейни и Морин
---	-------------	------	-----	-------	----------------

1	2	3	4	5	6
Ислета, Нью-Мексико-камыш	1936-37	0,08	-	19550	Блейни и Морин
Долина Сан-Лум, Колорадо - луговая трава	У1-Х1. 1936	0	-	9220	"
Долина Эсса - лант, Ала	У-Х, 1927	0,66	-	6390	Уайт
Форт Коллинс, Колорадо-камыш	У-Х, 1930	0,15	-	15280	Паршалъ
Викторвилл, Калифорния - камыш	1-Х, 1931	0	229	19900	Блейни и Тейлор

Т а б л и ц а Ш

Водопотребление ряда сельскохозяйственных культур в штатах Калифорнии, Аризона и Небраска (США) по данным исследований Блейни

Месяцы	Водопотребление, м ³ /га			
	люцерна (Лос-Анжелос, Калифорния)	хлопчатник (Бекерсфилд, Калифорния)	хлопчатник (Меса, Аризона)	свекла (Скоттсблэфф, Небраска)
Апрель	840	200	280	-
Май	1700	280	560	480
Июнь	1370	840	910	840
Июль	1980	1420	1520	1320
Август	1070	1960	2230	1750
Сентябрь	1420	1630	1830	1470
Октябрь	1120	910	740	280
Итого	9500	7240	8070	6140

Т а б л и ц а 1У

Меслцное, сезонное и годовое водопотребление, м³/га
(Данные получены экспериментальным путем, Калифорния, Департамент
осуществляющих работ, бюллетень 27, 1931)

	Меслцное водопотребление												Однее водопотреб- ление	
	январь	февраль	март	апрель	май	июнь	июль	август	сентябрь	октябрь	ноябрь	декабрь	в течение вегетацион- ного пе- риода	годо- вое
Аццерна	(183)	(244)	305	914	1219	1524	1961	1676	1524	610	(305)	(213)	9754	10698
Спаржа	182	152	152	152	244	427	1219	2073	1676	1280	366	305	8199	8199
Засоль	(183)	(244)	(244)	(488)	(610)	427	731	1768	1218	(274)	(213)	(152)	4053	6462
Свекла	(183)	(244)	(244)	306	975	1554	1859	1615	609	(306)	(305)	(213)	7010	8595
Сельдерей	(122)	(122)	(122)	(244)	(305)	305	305	610	762	914	610	152	3658	4572
Пшеница	(122)	(122)	(122)	(244)	(305)	731	2591	2560	1219	305	(305)	(213)	7406	8839
Тюды	(122)	(122)	(122)	549	975	1524	1737	1219	701	218	(213)	(152)	6919	7650
Редьчатый лук	(122)	(122)	244	306	823	1498	1311	610	(488)	(306)	(305)	(213)	4877	6523
Пастернак	244	305	610	762	762	762	762	762	610	457	305	244	6584	6584
Кертофель	(183)	(244)	(244)	(488)	457	1153	1585	914	457	(274)	(213)	(152)	4572	6370
Овощи	(183)	(244)	305	305	762	1524	1372	1372	914	457	305	(213)	7315	7955
Цар	122	122	122	244	305	306	427	306	335	274	213	152	3111	3111
Испарение с вод- ной поверхности	244	306	701	1036	1829	2316	2560	2377	1829	1006	427	244	14965	14965
Зла	152	91	274	671	1006	1153	1402	1219	1067	884	549	305	8776	8776
Необработанныя почва	213	274	305	579	731	945	1006	853	579	457	366	244	6553	6553

Примечание: Цифры в скобках относятся к не вегетационному периоду.

Т а б л и ц а У

Месячное водопотребление, определенное по методу исследования
влажности почвы на опытных участках (США) (по данным Блейни), м³/га

Культуры	Апрель	Май	Июнь	Июль	Август	Сентябрь	Октябрь	Итого	Штаты, где прово- дились опыты
Апельсины	558	558	788	865	940	788	737	5234	Лос-Анжелос, Ка- лифорния
Персики	254	889	1702	2032	1652	686	356	7571	Онтарио, Калифор- ния
Лущерна	838	1702	1372	1981	1068	1423	1118	9502	Лос-Анжелос, Ка- лифорния
Лущерна	-	1016	1779	1805	1627	-	-	-	Скоттсблафф, Не- браска
Хлопчатник	203	279	838	1423	1957	1627	914	7241	Бенерсфилд, Ка- лифорния
Хлопчатник	279	558	914	1524	2235	1828	737	8075	Меса, Аризона
Свекла	-	483	838	1322	1754	1473	279	-	Скоттсблафф, Не- браска
Картофель	-	-	-	865	1473	1118	-	-	Скоттсблафф, Не- браска

Водопотребление в отдельных хозяйствах США в 1930г., м³/га

Культуры	Долина Утага	Долина Шпек-Ривер (по Левис)	Долина Шпейер (по Левис)	Долина Колорадо (по Гейфилду)	Качела Понфуге, Долина Колорадо (по Гейфилду)	Опытная станция Брокка Альберта (Снейдсон)
Дюжерна-сено	10058	14021	8808	7772	17678	11278
Дюжерна-зерно	-	-	5060	4145	-	-
Горох	-	-	-	-	-	-
Басм	7315	7620	3658	3658	9449	6401
Пшеница	7620	9449	5426	3597	10973	4267
Овес	-	-	5608	4419	-	-
Ячмень	-	-	5121	4816	10363	7010
Лен	6706	6706	4968	4877	12802	10058
Картофель	-	-	-	-	-	-
Пастбищные	-	-	6523	4694	-	-
Клевер	-	-	-	-	-	-
Сахарная свекла	7620	7315	-	-	10973	9144
Кукуруза	7620	6706	2926	3982	-	-
					4816	4877
					4175	4175

Примечание. Данные о водопотреблении для долины Колорадо очень высокие, так как в них включены потери воды на фильтрацию.

Водопотребление в открытых металлических сосудах в лесу
Сьерра-Луга, Аризона, м³/гв

	Год иссле- дова- ний	Зимний период			Летний период			Всего за год		
		осад- ки	водопот- ребле- ние	% пот- ребле- ния осадков	осад- ки	водопот- ребле- ние	% пот- ребле- ния осадков	осад- ки	водопот- ребле- ние	% пот- ребле- ния осад- ков
На высоте 760 м										
Почва без расти- тельного покрова	1936	3660	2920	80	3020	3040	101	6700	5960	89
Травы	"	"	3070	84	"	3060	102	"	6150	92
Редкий кустарник	"	"	3400	93	"	3030	100	"	6420	96
Кустарник	"	"	3350	92	"	3050	101	"	6400	96
Древесные бобо- вые культуры	"	"	3250	89	"	3040	101	"	6300	94
Зимующие одно- летки	"	"	3500	96	"	3040	101	"	6520	98
На высоте 1560 м										
Почва без расти- тельного покрова	1936	4600	2370	52	3060	2800	92	7660	5200	68
	1938	3600	2200	61	2030	2600	130	5600	4800	86
	1939	4400	3170	72	2750	2520	92	7150	5700	80

Год иссле- дова- ний	Зимний период				Летний период				Всего за год			
	осад- ки	водопот- ребле- ние	% пот- ребле- ния	осадков	осад- ки	водопот- ребле- ние	% пот- ребле- ния	осад- ков	осад- ки	водопот- ребле- ние	% пот- ребле- ния	осад- ков
Травы	1936	4600	3230	70	3060	2920	95	7660	6150	80		
	1938	3600	2660	75	2030	2000	99	5600	4700	83		
	1939	4400	3540	81	275	2400	87	7150	5900	83		
Кустарник	1936	4600	3520	76	3060	4400	96	7660	6520	84		
	1938	3600	2650	74	2030	1980	98	5600	4650	83		
	1939	4400	3760	86	275	235	85	7150	6120	85		

Водопотребление лесной и луговой растительности на экспериментальном участке в лесу Сьерра-Анча (по данным Рича), м³/га

Тип растительности	Зимний период				Летний период				Всего за год			
	осадки	водопотребление	% потребления	осадков	осадки	водопотребление	% потребления	осадков	водопотребление	% потребления	осадков	

Водосборы Саммит (0,33-0,405 га) на высоте 1150-1190 м

Луговые растения	2820	2720	96	1410	1250	89	4240	3970	94
Карликовые деревья	2850	2800	98	1430	1410	98	4280	4200	98

Диаметры Бейз-Рок на высоте 1370 м

Полупустынные луговые участки

В среднем за 13 лет	3080	2650	86	1450	1430	99	4550	4100	90
Максимальное в 1940-41 гг.	7550	6700	70	1440	1430	99	9000	6400	74
Минимальное в 1938-39 гг.	2020	1820	91	988	988	100	3000	2800	94

Тип растительности	Зимний период			Летний период			Всего за год		
	осадки	водопотребление	% потреб-ления осадков	осадки	водопотребление	% потреб-ления осадков	осадки	водопотребление	% потреб-ления осадков

Естественные водораздельные площади 3,6-7,2 га на высоте 1800-1400 м

Пастбища и карликовые деревья

Водораздел А (важничным)	3630	3250	89	1900	1840	97	5570	5100	92
Водораздел Б (важничным)	3630	3400	93	1900	1860	98	5570	5300	95
Водораздел С (важничным)	3770	3270	87	1800	1740	97	5530	5000	90
Водораздел Д (важничным)	3770	3250	86	1800	1740	97	5530	5000	90

Водораздел Паркер-Крик 233 га на высоте 1680-2230 м

Карликовые деревья

В среднем за 15 лет	4750	3180	67	2370	2300	97	7120	5500	77
Максимальное в 1940-1941 гг.	10900	5530	51	1710	1680	98	12600	7280	57
Минимальное в 1947-1948 гг.	3130	2740	86	1240	1240	100	4370	3980	90

Водораздел Уоррен-Крик 440 га на высоте 1980-2440 м

Хвойный лес

В среднем за 10 лет	5900	5200	87	2720	2650	97	8620	7850	90
Максимальное в 1940-1941 гг.	1320	10600	79	1880	1600	92	15080	12200	81
Минимальное в 1947-1948 гг.	4000	3730	93	2330	2280	98	6330	6010	95

Т а б л и ц а 1х

Водопотребление сельскохозяйственных культур в Миссури и Арканзас. (по Фортиер), м³/га

Культуры	Водопотребление	
	минимум	максимум
Люцерна и др. фуражные	5913	7986
Картофель	4206	5182
Дыня	4572	7010
Помидоры	6401	8534
Сахарная свекла	4877	7620
Подсолнечник	3653	4267
Яблони	6401	7925
Пшеница	4145	5486
Овес	4114	5516
Ячмень	4053	5547
Горох	4450	5913
Гречиха	3200	3962
Кукуруза	3749	5577
Просо	2469	2865
Сорго	3322	5182
Суданка	3231	4480
Фасоль	3962	4877
Лен	4480	5669

Т а б л и ц а X

Водопотребление культур в юго-западных
районах США (по Фортиер и Юнг), м³/га

Культуры	Водопотребление		Культуры	Водопотребле- ние	
	миним.	максим.		миним.	максим.
Люцерна	10576	15480	Просо Feteziti	2956	3853
Ячмень	3780	5577	Просо Kafiz	4023	4694
Свекла	2652	4175	Салат	2195	4114
Сахарная свекла	5395	8291	Сорго	2926	5090
Развесистое сорго	2957	3505	Просо	2774	3322
Капуста	2865	4541	Овес	5791	6370
Цветная капуста	4353	5395	Репчатый лук	2225	4633
Морковь	3871	4877	Горох	3688	4755
Кукуруза	4389	6065	Картофель	4846	6218
Хлопчатник	7162	10698		10637	13502
Пшеница	3627	5699	Шпинат	2433	3261
Фасоль	2530	4389	Соя	5060	8564
Сорго	5151	6340	Сахарный тростник	10607	13900
Суданка	3778	9632	Помидоры	2896	4328
Бататы	5395	6853			
Пшеница	4450	6823			
Лен	3749	4846			

Т а б л и ц а X1

Водопотребление растений в США, Тихо-
океанское побережье, м³/га

Культуры	Место проведения опытов	Водопотребление	
		минималь- ное	максималь- ное
Валенсианский апельсин	Оранг и Лос Анжелес	7742	8869
Навельский апельсин	Сандiego-Тулари- Лос-Анжелес	8200	9601
Лимон	Сандiego-Оранг-Лос- Анжелес	6401	8839
Авокадо	Оранг, Калифорния	7162	7864
Виноград	Керн, Калифорния	9510	15850
Орех	Оранг и Лос Анжелес	7254	15520
Груша	Долина реки Рокс, Орегон	3810	4572
Яблони	Долина реки Шпаке, Идаго	4755	11491
Сад	Гумпатчее, Вашингтон	6840	8625
Хлопчатник	Снафтер, Калифорния	6462	10546
Рис	Долина Сакраменто, Калифорния	12497	25360

Т а б л и ц а XII

Потребность воды для орошения (не считая осадков) (из проекта по орошению для района Сливес, Португалия)

Культуры	Количество поливов (максимум)	Поливная норма, м ³ /га
Цитрусовые	27	300 или 400
Виноградник	2	600
Пшеница	5	600
Кукуруза	12	1 полив 800, а 2 по 400
Бобовые	8	400 или 500
Бататы	14	400 или 600
Картофель	13	400 или 600
Тыква	7	400 или 600
Брюква	12	400 или 600
Египетский клевер	8	500 или 600
Кукуруза	14	400
Свекла	21	600
Люцерна	21	500 или 600
Перец	19	300 или 400
Вика	15	300 или 400
Репчатый лук	13	300 или 400
Помидоры	21	300 или 400
Арбузы	7	300 или 400

Т а б л и ц а XIII

Поливные и оросительные нормы в
засушливый сезон (практика Егип-
та), м³/га

Культуры	Ороси- тельные нормы	Полив- ные нормы	Число поливов в засушливый период (II-III)
Египетский клевер	6000	857	7
Пшеница	2571	857	3
Бобовые	1714	857	2
Просо	6000	857	7
Просо на фураж	4285	857	5
Манс	5143	857	6
Ячмень, арбузы	6857	857	8
Кунжут	5143	857	6
Арахис	4285	857	5
Овощи, плодовые сады	10714	857	15
Сады цитрусовые	6857	857	8
Манго (плоды)	6857	857	8
Виноград, миндаль и др.	5143	857	6

Т а б л и ц а XIV

Количество воды, необходимое для орошения
плодовых деревьев с нормальными между-
рядами в Алжире, годовые осадки 450 мм
(данные Ребура), м³/га

Культуры	Ороси- тель- ная норма	Время орошения	Дневное
			максималь- ное водо- потребле- ние в те- чение УП-УШ
Абрикосы	2000	июнь-сентябрь	20
Японская слива	6000	май-декабрь	40
Миндаль	2000	июнь-сентябрь	20
Черешня	3000	" "	25
Айва	3000	" "	25
Инжир	2000	июнь-август	20
Японская мушмула	5000	июнь-октябрь	35
Гранат	3000	июнь-ноябрь	25
Оливы	2000	июнь-октябрь	15
Поздние персики	2500	" "	20
Поздняя груша	3000	" "	25
Поздняя яблоня	3000	" "	25
Чернослив	3000	июнь-сентябрь	25
Виноград для столо- вого вина	1500	июль-август	35
Финики	25000	весь год	120

Т а б л и ц а XУ

Оросительные и поливные нормы и примерные
сроки поливов, рекомендуемые для района
Сан-Денис де Сид (Алжир), характеризуемого
нижеследующим количеством осадков, мм

Месяцы	Я	Ф	М	А	М	И
Сумма осадков в мм	58,6	50,6	38,9	22,1	13,7	1,0
И	А	С	О	Н	Д	Год
0,3	1,9	23,8	15,0	52,0	20,7	299,8

Культуры	Оросительная норма, м ³ /га	Поливные нормы и сроки поливов
1	2	3
Молодые оливковые деревья	2000-2500	От 4 до 5 поливов по 500 м ³ /га
Оливковые деревья от 10 до 15 лет	2700-3200	В конце января и март 450 м ³ ; 450 м ³ май; 450 м ³ июнь; 450 м ³ июль; 450 м ³ август; 450 м ³ сентябрь (только для черных маслин)
Японская слива	7200	Поливная норма 800 м ³ : 1 полив в апреле, 1 в мае, 1 в июне, 2 в июле, 2 в августе, 1 в сентябре, 1 в октябре
Разные фруктовые деревья	3200	800 м ³ в конце января; 800 м ³ в конце февраля и марта; 800 м ³ в конце апреля; 800 м ³ в июле
Артишоки	9400	1000 м ³ в половине августа; 700 м ³ в последние дни августа и 700 м ³ в начале сентября; 700 м ³ в конце сентября; 700 м ³ в половине октября; 700 м ³ в начале ноября; 700 м ³ в конце ноября; 700 м ³ в половине декабря; 2 полива по 700 м ³ в янва-

1	1	2	1	3
				ре; 1 полив по 700 м ³ в феврале; 1 полив по 700 м ³ в марте и 1 полив в начале апреля
Бобовые	6100			700 м ³ в конце августа; 500 м ³ в середине сентября; 700 м ³ в середине октября; 700 м ³ в середине ноября и 5 поливов по 700 м ³ каждые 20 дней до конца февраля
Дыни и арбузы	5500 до 6500			500 м ³ в середине марта; 500 м ³ в начале апреля; 500 м ³ в конце апреля плюс 8 до 10 поливов по 500 м ³ в каждые 10 дней до конца июля или до половины августа в зависимости от года
Бататы	6300			700 м ³ в конце апреля - начале мая; 700 м ³ в конце мая плюс 7 поливов по 700 м ³ в каждые 20 дней до середины октября
Репчатый лук	5800			700 м ³ в середине марта; 500 м ³ в конце марта; 500 м ³ в конце апреля; 500 м ³ в середине мая и 500 м ³ в конце мая; 500 м ³ в середине июня; 700 м ³ в конце июня; 700 м ³ в середине июля и 700 м ³ в конце июля.
Помидоры	6300			700 м ³ во время посадки в феврале; 700 м ³ в марте; 700 м ³ в апреле; 700 м ³ в мае плюс 5 поливов по 700 м ³ в каждые 8 дней до начала июля.
Картофель	3700			700 м ³ во время посадки в середине января; 500 м ³ в середине февраля; 500 м ³ в середине марта плюс 4 полива по 500 м ³ в каждые 10 дней, начиная с первой недели апреля до 1 недели мая.
Хлопчатник	4900 до 5600			700 м ³ в середине апреля и 700 м ³ после 10 дней; 700 м ³ во второй декаде мая; 700 м ³ во второй декаде июня плюс 3 или 4 поливов по 700 м ³ каждые 20 дней до начала сентября.
Лен	1800 до 2600			800 м ³ в конце января; 1000 м ³ в начале марта и 800 м ³ по усмотрению.
Зерновые	1850			850 м ³ в январе и 1000 м ³ в конце марта.
Кукуруза	4900			700 м ³ во время посева; 700 м ³ в конце апреля; 700 м ³ в середине мая; 700 м ³ в начале июня; 700 м ³ в конце июня; 700 м ³ в середине июля и 700 м ³ в начале августа.

Т а б л и ц а XVI

Оросительные и поливные нормы м³/га и среднее количество осадков по месяцам в Оади Слиmani (Марокко)

	Ороси- тель- ные нормы	Поливные нормы											
		январь	февраль	март	апрель	май	июнь	июль	август	сентябрь	октябрь	ноябрь	декабрь
Среднее количество осадков, мм	450,30	60,43	56,27	51,84	43,86	24,77	7,36	0,89	0,58	8,68	46,52	68,73	80,37
Цитрусовые	7800	-	-	-	500	700	1000	2x800	2x800	2x800	-	-	-
Виноградники	3900	1500	-	-	-	1200	1200	-	-	-	-	-	-
Табак	4800	-	-	-	2x1200	1200	1200	-	-	-	-	-	-
Перец	7000	-	-	-	2x1000	1000	1000	1000	1000	1000	-	-	-
Лихице	10800	-	-	1200	1200	1500	1500	1500	1500	1200	1200	-	-
Египетский клевер	7000	-	-	-	1400	1400	-	-	1400	1400	1400	-	-
Свекла	6000	-	-	-	-	-	1500	1500	1500	1500	-	-	-
Кукуруза	2000	-	-	-	1000	1000	-	-	-	-	-	-	-
Абрикосовое дерево	3600	-	800	-	700	700	700	-	700	-	-	-	-
Плод. питомник	11000	2000	2000	-	-	-	2000	2000	2000	1000	-	-	-
Зерновые культуры	3000	-	-	-	1000	1000	1000	-	-	-	-	-	-
Репчатый лук	4000	-	-	2000	1000	1000	-	-	-	-	-	-	-
Батат	7000	-	-	-	-	3000	1000	1000	1000	1000	-	-	-
Помидоры	6000	-	-	-	1500	1500	1500	1500	-	-	-	-	-
Дыни	2000	-	-	-	2000	-	-	-	-	-	-	-	-

Приложение 2

Примеры расчета водопотребления по эмпирическим и теоретическим формулам на основе метеорологических данных для условий Вахшской долины (Таджикская ССР)

Водопотребление и оросительная норма хлопчатника и люцерны для района Курган-Тюбе, рассчитанные по формуле, рекомендуемой в НИТУ : $M = AU - (KP + B - \Gamma)$,

где: M_o - оросительная норма (нетто) $m^3/га$,
 U - проектная урожайность хлопчатника 40-50 ц/га
 A - коэффициент водопотребления $m^3/ц$:

для урожая хлопчатника 40 ц/га - 190 $m^3/га$
 50 ц/га - 160 "
 для урожая люцерны 100 ц/га - 80 $m^3/га$
 200 ц/га - 60 "

KP - используемые осадки для условий Средней Азии приняты = 0

B - запас усвояемой влаги в почве к моменту посева = 800 $m^3/га$

Γ - количество используемых грунтовых вод при глубоким залегании грунтов воды = 0

Наименование культур		Водопотребление, $m^3/га$	Оросительная норма, $m^3/га$
Хлопчатник при урожае	40 ц/га	7600	6800
"	50 ц/га	8000	7200
Среднее	45 ц/га	7800	7000
Люцерна при урожае	100 ц/га	8000	7200
"	200 ц/га	12000	11200
Среднее	150 ц/га	10000	9200

Определение водопотребления по методу Лоури-Джонсона для
Курган-Тюбе

Наименование	М е с я ц ы												с 1.х по 29.х	из весь вегета- ционный период
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12		
	с 16.ш по 1.1у		1у	у	у1	УП	УШ	1х						

Максимальная средняя
месячная температу-
ра, $^{\circ}\text{C}$

32 35 41 42 43 41 40 34

Температура по Фарен-
гейту

89,6 95 106 107,5 109,7 106 104 93

Сумма эффективного
тепла F мес.

921,6 1890 2294 2265 2408,7 2294 2160 1891 16124

Водопотребление U_m

5,7 11,7 14,3 14,1 15,0 14,3 13,5 11,8 100,6

Общее водопотребление за вегетационный период определено по формуле:

$$I = 0,8 + 0,156 \cdot F \text{ в футах/акр}$$

$$I_B = 0,8 + 0,156 \cdot 16,1 = 0,8 + 2,5 = 3,3 \text{ фут/акр}$$

$$I_B = 3,3 \times 30,48 = 100,6 \text{ см} = 10,060 \text{ м/га}$$

Водопотребление по месяцам определено из соотношения: $I_m = \frac{U_B}{F_B} \times F_m$

Приложение 4

Определение водопотребления и оросительных норм по Харгривсу для
Курган-Тюбе

Наименование	Вегетационный период							1х	за веге- тацион- ный пе- риод
	III	1У	У	У1	УП	УШ			
Средняя месячная температура воздуха, °С	10,8	16,9	22,4	26,5	29,2	27,2		21,8	
Коэффициент d	1,0	1,07	1,18	1,19	1,20	1,18		1,0	
Относительная влажность h	54	50	34	27	25	26		26	
К - хлопчатника	0,19	0,27	0,55	0,87	0,69	0,36		0,15	
К - ячменя	0,41	0,70	0,64	0,67	0,74	0,67		0,64	
Среднемесячное количество осадков, мм/га	490	380	200	20	0	0		0	
Рассчитанное испарение	3,06	5,8	11,8	15,7	18,1	15,68		14,43	
Водопотребление хлопчатни- ка, мм/га	148	399	1620	3480	3270	1422		549	10888
Водопотребление ячменя, мм/га	323	1030	1884	2670	3070	2670		2346	13993

Приложение 5

Определение водопотребления растений по Торнтвейту для Курган-Тюбе

Наименование	Ш	1У	У	У1	УП	УШ	1Х	За веге- тацион- ный период
Средняя месячная температу- ра, °С	10,8	16,9	22,4	26,5	29,2	27,2	21,8	
Индекс тепла определенный по формуле: $i = (\frac{t}{5}) 1,514$	3,21	6,81	9,67	12,7	18,1	12,9	9,2	
Водопотребление $e = 16 (\frac{10t}{\gamma})$, мм γ = сумме $i = 78,5$ $a = 1,75$	28,9	63,7	97,0	154,9	157,9	143,4	96,0	741,8
Поправочный коэффициент e с учетом $\frac{m}{га}$ коэффициента,	1,03	1,1	1,22	1,23	1,25	1,17	1,04	-
	298	700	1180	1905	1974	1678	998	8733

Приложение 6

Определение водопотребления и оросительных норм хлопчатника и
люцерны по Блейни-Кридли и номограмме Гойона для Курган-Тюбе

	Ш	1У	У	У1	УП	УШ	1Х	3а веге- тацион- ный период
Средняя месячная температура воздуха, °С	10,8	16,9	22,4	26,5	29,2	27,2	21,8	
Продолжительность световых дней, %	8,34	8,90	9,92	9,95	10,10	9,47	8,38	
Среднемесячное количество осадков, мм/га	490	380	200	20	0	0	0	1070
Водопотребление сельско-хозяйственных культур, мм/га:								
хлопчатника при $k=0,65$	710	920	1200	1300	1400	1280	970	7780
люцерны при $k=0,85$	920	1200	1550	1720	1850	1680	1300	10220
Оросительная норма $M = B-P$, мм/га	220	540	1000	1300	1400	1280	970	6710
хлопчатника								
люцерны	430	820	1350	1700	1850	1680	1300	9130

Приложение 7

Определение водопотребления по методу Пенмана для
Курган-Тюбе

Наименование	Ш	1У	У	У1	УП	УШ	1х	3а веге- тацион- ный период
Средняя месячная темпе- ратура воздуха, °С	10,8	16,9	22,4	26,5	29,2	27,2	21,8	
Средняя месячная темпе- ратура воздуха по Фарен- гейту	51	62	72,5	80	84,5	81	71,2	
Абсолютная влажность	8,8	12,9	14,1	15,2	16,3	14,9	11,1	
Относительная влажность	84	81	69	57	54	57	62	
Средняя скорость ветра с высоты флюгера 9 м	1,7	1,6	1,5	1,4	1,3	1,3	1,4	
R_A	11,4	14	16,0	16,6	16,3	15	12,4	
$1 - \gamma$	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	
n/R %	50	68	74	84	94	93	89	
ΣT_a^4	18	14	15,4	16,3	16,85	16,3	15,35	

Продолжение

Наименование	Ш	1У	У	У1	УП	УШ	1х	За вегетационный период
ℓ_a	9,6	14,5	20,5	26,0	30,5	26,7	19,8	
$И_2$	1,04	0,98	0,92	0,85	0,79	0,79	0,85	
Δ	0,55	0,52	0,68	0,86	0,98	0,88	0,68	
$Н$	0,4	3,64	5,05	5,66	5,72	5,19	3,19	
E_a	0,31	0,57	2,26	3,81	4,86	4,13	3,07	
E_r мм/сутки	1,8	2,58	4,25	5,21	5,3	4,94	3,2	
E_r мм/м-ц	40,3	80	131,8	156,3	164,3	153,1	96,0	
E_r м ³ /га	403	800	1318	1563	1643	1531	960	8218

Данные о средних месячных температурах воздуха $t_{с}$ абсолютной и относительной влажности и скорости ветра взяты из климатологического справочника СССР, вып. 19, 1949 (22).

$$1. H = R_a (1 - \gamma) (0,18 + 0,55 + \frac{n}{N}) - \gamma t_a (0,56 - 0,092 \sqrt{ed}) \times (0,10 + 0,90 \frac{n}{N})$$

$$2. \quad E_a = 0,85 (e_a - e_d) (1 + 0,0098 I_2)$$

$$3. \quad E_T = \frac{\Delta H + 0,27 E_a}{\Delta + 0,27}$$

R_a - из табл. 9

τ - из работы В.С.Макаровой (26) определение проектного суммарного водопотребления при орошении по методам теплового баланса и коэффициента обмена;

$\frac{n}{N}$ - из табл.31 агроклиматического справочника Уз.ССР, вып.1, 1957

ΣT_a^4 - из табл.10

e_a - из книги В.И.Виткевича. Практические занятия по метеорологии. М., 1957 (20).

I_2 - перевод скорости ветра на высоте 100 см выполнен по формуле

$$\bar{W}_{100} = \frac{1,523}{e_{gx} - 0,477} \cdot W_x \quad (\text{М.Д.Лейвиков и др. Практикум по курсу метеорологии, гидрологии и гидрометрии. М., 1959 (24)}).$$

Δ - из графика рис. 7.

Приложение 8

Порядок определения водопотребления и норм орошения хлопчатника по методу Тюрка для района Курган-Тюбе Таджикской ССР

1. Данные о средних месячных температурах воздуха и осадках P взяты из климатологического справочника. Для расчета по декадам сумма месячных осадков разделена на три.
2. Величины средней суточной суммарной радиации - γ кал/см² взяты из работы М.И.Будыко и др. "Методика климатологических расчетов, составляющих тепловой баланс" (19).
Вследствие отсутствия данных для Курган-Тюбе взяты данные по Ташкенту.

3. ℓ - величина наибольшего испарения определена по формуле: $\ell = \frac{1}{16} (\tau + 2) \sqrt{\gamma}$

4. Расчет испарения E за период от посева плюс 20 дней после посева, т.е. до III декады апреля, когда поле еще не покрыто растительностью, выполнен по формуле для оголенной почвы

$$E_0 = \frac{P + a}{\sqrt{1 + \left(\frac{P + a}{\ell}\right)^2}},$$

а начиная с III декады апреля, когда на испарение начинает влиять растительность, по формуле:

$$E_p = \frac{P + a + V}{\sqrt{1 + \left(\frac{P + a}{\ell} + \frac{V}{2\ell}\right)^2}}$$

5. V - коэффициент растительности, определен по формуле $V = 25 \sqrt{\frac{M \cdot C}{Z}}$
6. M - сухая масса хлопчатника найдена путем умножения проектной урожайности хлопчатника - 35 ц/га на переводной коэффициент $p = 2,75$ (Легостаев, Меморативное районирование. Госиздат УзССР, 1950) (24).

7. С - отношение коэффициента транспирации хлопчатника к коэффициенту транспирации зерновых = $2,5 / 3$ (0,84), взято из книги Л.Тюрка "Баланс почвенной влаги", Л., 1958 (17).
8. Z - число декад = 16, за период роста хлопчатника - двадцать дней после посева и до уборки.
9. Значение "а" принято:
с 1 марта по 30 апреля $a=10$, так как дефицит влаги в почве равен от нуля до 8,2 мм и, следовательно, разность $35 - \Delta = 35 - 8,2 =$ больше 10; в 1-й декаде мая $a=4,2$, из соотношения $35 - \Delta = 35 - 30,8 = 4,2$ и со второй декады мая и до конца вегетации $a=1$, так как дефицит влаги в почве в этом периоде выше 35, то есть разности $(35 - \Delta)$ всегда меньше единицы.
10. Дефицит влажности почвы в конце декады - определялся по формуле: $\Delta_k = E - P + D + \Delta_n$, в которой E и P берутся из таблицы для соответствующей декады, $D=0$, считая, что в этот расчетный период сток отсутствует, а Δ_n - дефицит влажности почвы в начале расчетного периода - 1 декада марта принят $\Delta_n = 0$, а в дальнейшем - равным дефициту влажности в конце предыдущей декады.
11. Потребность в орошении m (поливная норма) определялась по формуле $m = \Delta_k - 100$, как разность между дефицитом влажности почвы в конце декады 100, когда этот дефицит > 100 .
12. При определении водопотребления по формуле Ш, начиная с III декады мая, в величину P включена также поливная вода, т.е. $P = P_1 + m$.

определение водопроницаемости по Тирру для глинистых
кургов-хребтов. Таблица № 1

	Март		Апрель		Май		Июнь		Июль		Август		Сентябрь		Октябрь	
	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
Средняя месячная температура воздуха, °C	10,5	-	10,0	-	22,4	-	20,5	-	29,2	-	27,2	-	21,8	-	-	-
Средняя суммарная радиация, ккал/см²/сутки	297	-	300	-	552	-	650	-	646	-	531	-	457	-	-	-
Нахобод все испарение, мм	13,5	12,5	15,5	23,4	23,4	35,0	35,0	44,4	44,4	49,7	49,7	44,0	44,0	44,0	44,0	44,0
С	0,84	0,84	0,84	0,84	0,84	0,84	0,84	0,84	0,84	0,84	0,84	0,84	0,84	0,84	0,84	0,84
Δ	-	-	-	-	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16
М	-	-	-	-	96,3	96,3	96,3	96,3	96,3	96,3	96,3	96,3	96,3	96,3	96,3	96,3
И	-	-	-	-	50,5	50,5	50,5	50,5	50,5	50,5	50,5	50,5	50,5	50,5	50,5	50,5
О	10	10	10	10	10	4,2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Средняя сумма осадков в Декады, мм	10,5	15,5	16,5	12,7	12,7	7	7	0,7	0,7	0,7	0	0	0	0	0	110,1
Излишек воды, мм	-	-	-	-	-	4,8	39,2	53,4	53,4	53,4	53,4	51,8	51,8	51,8	51,8	35,7+41,6
спарение в транспирации, мм	12,2	12,2	12,2	16,8	35,8	45,0	44,0	54,1	53,8	53,9	53,9	51,8	51,8	51,8	51,8	51,8
Δ в конце Декады	0	0	0	4,1	8,2	30,8	68,8	104,8	139,2	153,6	153,6	151,8	151,8	151,8	151,8	141,6
Δ в начале Декады	0	0	0	0	4,1	8,2	30,8	68,8	104,8	139,2	153,6	151,8	151,8	151,8	151,8	155,7

$$\text{Баланс} = \Sigma - \text{м} + \text{О} + \text{Р} ; 8409 = 6430 + 782 + 1101 = 8313 \text{ мм/гг}$$

х) Показ в начале октября для компенсации испарения на третью декаду сентября.

Определение водосоросности по Тегу для участков Кургин-Того
Иркутской обл.

Водосоросность	Март			Апрель			Май			Июнь			Июль			Август			Сентябрь			Очень
	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	
Величина водосоросности, т/га	10,8	-	-	10,9	-	-	22,4	-	-	20,5	-	-	20,8	-	-	27,2	-	-	21,0	-	-	-
Средняя температура воздуха, °C	287	-	-	290	-	-	282	-	-	280	-	-	281	-	-	281	-	-	287	-	-	-
Средняя температура почвы, °C	12,5	13,5	13,5	23,4	23,4	23,4	25,0	25,0	25,0	44,0	44,0	44,0	44,0	44,0	44,0	44,0	44,0	44,0	44,0	44,0	44,0	
Величина водосоросности, мм	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25	
С	-	-	-	-	-	-	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	
К	-	-	-	-	-	-	142,5	142,5	142,5	142,5	142,5	142,5	142,5	142,5	142,5	142,5	142,5	142,5	142,5	142,5	142,5	
Г	-	-	-	-	-	-	85,8	85,8	85,8	85,8	85,8	85,8	85,8	85,8	85,8	85,8	85,8	85,8	85,8	85,8	85,8	
В	10	10	10	10	10	10	2,1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
Величина водосоросности, мм	10,8	10,8	10,8	12,7	12,7	12,7	7	7	7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	
Величина водосоросности, мм	-	-	-	-	-	-	-	-	-	24,2	47,4	52,2	52,2	52,2	52,2	52,2	52,2	52,2	52,2	52,2	52,2	
Величина водосоросности, мм	12,2	12,2	12,2	10,8	10,8	10,8	20,4	20,4	20,4	54,4	54,4	54,4	54,4	54,4	54,4	54,4	54,4	54,4	54,4	54,4	54,4	
Величина водосоросности, мм	0	0	0	4,1	4,1	4,1	21,9	21,9	21,9	78,2	124,2	124,2	124,2	124,2	124,2	124,2	124,2	124,2	124,2	124,2	124,2	
Величина водосоросности, мм	0	0	0	0	0	0	4,1	4,1	4,1	21,9	21,9	21,9	21,9	21,9	21,9	21,9	21,9	21,9	21,9	21,9	21,9	

Значение $E = m + 0 + 0 = 0$; $0,000 - 7,250 + 7,71 + 1,01 = 0,000 \text{ м}^2/\text{га}$
 2) Показ в начале октября для почвенных участков с третьей декадой сентября

ЛИТЕРАТУРА

1. Bauzil V. Traite 'd' irrigation. Eyrolles. Paris, 1952.

Возил В. Трактат об ирригации.

2. Blaney H.F. Consumptive use of water. Proceedings American Society of Civil Engineers, October, 1951. Volume 77, separate no.91.

Блейни Ф. Водопотребление.

3. Blaney H.F. Consumptive use Requirements for water. Agricultural Engineering 1954.

Блейни Ф. Водопотребление растительности.

4. Blaney H.F. and Criddle W.D. Determining water requirements in irrigated areas from climatological and irrigation data. U.S.D.A. , S.C.S.-TP.96, Washington, D.C., 1950.

Блейни и Криддл . Определение водопотребления в орошаемых районах по данным климатологии и ирригации.

5. Briggs L.J. and Shantz H.L. The Water Requirement of Plants US.Department of Agriculture. Bureau of Plant industry. Bull. no 285, Washington 1913.

Бригз Л.Дж. и Шанти Х.Л. Водопотребление различных видов растений.

6. Cavazza D. L'irrigatione fisiologica. L'Italia Agricola 1959 an. 96 no.1.
Кавazza Д. Орошение с учетом физиологии растений.
7. Chouteau J. Determination de l'évapotranspiration d'un sol cultivé en tabac. Application a la conduite des arrosages. Annales de l'institut experimental du tabac de Bergerac. Volume 2 no.3. an. 1956.
Шуто Ж. Определение водопотребления табака при орошении.
8. Criddle W.D. Methods of computing consumptive use water. Journal of the Irrigation and Drainage Division. Proceedings of the Irrigation American Society of Civil Engineers. Volume 84. no IRI. January 1958.
Криддл В.Д. Определение водопотребления разными методами.
9. Determination des volumes d'eau necessaires pour l'irrigation avec le methode de Blaney et Criddle. Ministere de l'Agriculture, service du genie rural. Station Experimentale d'Hydraulique Agricole.
Определение количества воды, необходимой для орошения по методу Блейни и Кридла.
10. Hargreaves G. H., Doman W.W. and Blaney H.P. Discussion of Consumptive Use of water. Proceeding. American Society of Civil Engineers. (Published in October 1951)
Харггрейвс Д.Х. и др. Дискуссия о водопотреблении.

11. Hargreaves G.H. Irrigation Requirements insed on Climatic Data Journal of the Irrigation and Drainage Division Proc. Am. Soc. of Civil Engineers. November 1956.
Хэргривс. Ирригационное водопотребление на основании климатических данных.
12. Lowry R.L. and Johnson A.P. Consumptive use of water for agricul^t re. Proc. Amer. Soc. Civil Engineers. No.67 1941.
Лоури Р.Л. и Джонсон А.Ф. Водопотребления сельскохозяйственных культур.
13. Monormannl C.I. and Kessler I. Waterdeficiencies in European Agriculture. Aclimatological survey. International Institute for Land reclamation and improvement 1959, publication 5.
Монорман И.Ц.И. и Кесслер И. Дефицит влаги в сельском хозяйстве Европы. Климатические карты.
14. Neuvey A et Bligoud R. Prairies temporaires et climat probable en Ille et Vilaine. Bulletin technique d'information des ingenieurs des Services agricoles. No. 146. An. 1960.
Новей А. и Блигуд Р. Понятие о потенциальном водопотреблении

15. Penman H.L. The Dependence of Transpiration on Weather Soil Conditions. Soil Science. Volume 1. No. 1.
- Пенман Х.Л. Зависимость транспирации от условий погоды и почв.
16. Penman H.L. Natural evaporation from open water bare soil, and grass. Proc. Royal Soc. of London. Seriesa 193:120-145. 1948.
- Пенман Х.Л. Естественное испарение с открытой поверхности воды, обнаженной почвы и травы.
17. Pruitt W.O. and Gensen M.C. Determining when to irrigate. Agricultural Engineering. 1955.
- Пруит В.О. и Дженсон М.К. Определение сроков полива.
18. Rich L.R. Consumptive Use of water by Forest and Ranga Vegetations. Proceedings ASCE 1951 No. 90.
- Рич Л.Р. Водопотребление лесной и луговой растительности.
19. Thornwaite C.W. An approach toward a rational classification of climate. The geological Review 38:55-94. 1948.
- Торнтвейт К.В. Попытка рациональной классификации климата.

20. Thornwaite C.W. and Mather J.R. Le bilan Hydrologique
(conference d'introduction) Cycle
d'etudes interregional sur la pre-
vision et le Bilan Hydrologique.
Belgrade. 28Octobre-16 Novembre
1957. Rapport final. Organisation
Meteorologique Mondiale.
Торнтвейт К.В. Водный баланс.
21. Tomlinson B.R. Comparison of Two Methods of Esti-
mating Consumptive Use of Water.
Agricultural Engineering 1953.
Томлинсон Б.Р. Сравнение двух методов расчетов
водопотребления.
22. Turc L. Le Bilan d'eau des sols; Relations
entre les precipitations, l'evapo-
ration et l'ecoulement. Laboratoire
des sols. Versailles. Institute
National de la Recherche Agrono-
mique. 1955.
Тюрк Л. Баланс почвенной влаги. Перевод с
французского. М, 1958 г.
23. Van't Woudt B.D. The Estimation of water Require -
ments for Irrigation Peanning.
Annual Bulletin of International
Commission. 1957.
Ван Вудт Б.Д. Определение водопотребления при
орошении.

24. Будыко М.И., Берлянд Т.Г., Зубенок Л.И. Методика климатологических расчетов, составляющих тепловой баланс. Труды Главной геофизической обсерватории им. А.И. Воейкова, вып. 48 /110/, Л., 1954.
25. Виткевич В.И. Практические занятия по метеорологии. М., 1957.
26. Гаража М.С. Режим орошения сельскохозяйственных культур. Материалы к ТУиН. Гипроводхоз, 1958.
27. Климатологический справочник СССР. Вып. 19, 1949.
28. Костяков А.Н. Основы мелиорации. М., 1951.
29. Лейвиков М.Л. и Азаркович Е.Ш. Практикум по курсу метеорологии, гидрологии и гидрометрии. М., 1959.
30. Легостяев В.М. и Коньков Б.С. Мелиоративное районирование. Ташкент, 1950.
31. Макарова В.С. Определение проектного суммарного водопотребления при орошении по методам теплового баланса и коэффициента обмена. Тр. ВНИИГИМ"а, том XXXIV.
32. Селим М.А. и Эль Ораби М.А. Водопотребление в пустынных районах Египта. Доклады III Конгресса по ирригации и дренажу в Сан-Франциско, 1957.

33. Kohler, M.A., Nordenson T.J. and Fox W.E. "Evaporation from pans and lakes" US. Dept. of Commerce. Research Paper 38. 1955.
- Колер М.А., Норденсон Т. и Рокс И.Е. Испарение с поверхности испарителей и водоемов.
34. Mather J.R. "The measurement of potential evapotranspiration" Publications in Climatology. Vol.vi 1 No. 1 John Hopkins Univ. 1954.
- Мазер Дж.Р. Измерение потенциального водопотребления
35. Карбонера Р. и Бурье Ж. Доклад на совещании по проблемам подземной гидравлики в г.Нанси /Франция/ Гидротехника и мелиорация №9, 1960 .
36. Л.В.Душин-Барковский. Физико-географические основы проектирования оросительных систем 1960.
37. Проектное задание мелиорации массива Тербук, проектное задание массива Росковец и др.в Народной республике Албания Гипроводхоз, 1958-1959.
38. Схема использования водных ресурсов р.Оронт в Сирийском районе ОАР. Гипроводхоз, 1959.

ОГЛАВЛЕНИЕ

	Стр.
Введение	3
1. Определение водопотребления опытным путем	5
II. Эмпирические методы определения водо- потребления сельскохозяйственных куль- тур	6
1) Метод Лоури-Джонсона	6
2) Метод Торнтвейта	7
3) Метод Блейни-Криддла	13
4) Метод Харгривса	22
5) Другие эмпирические методы	25
III. Теоретические методы определения водо- потребления	29
1) Метод Пенмана	30
2) Метод Тюрка	35
IV. Методы расчета других элементов режима орошения	41
У. Сравнение различных методов расчета ре- жима орошения сельскохозяйственных культур	44
У1. Выводы	46
Приложения 1. Фактическое водопотребление сельскохозяйственных культур и рекомен- дуемые оросительные и поливные нормы в различных странах	48
Приложение 2-8 Примеры расчета водопотребле- ния по различным методам	71
Литература	83

Гипроводхоз МСХ СССР
Москва, Первомайская ул., 119
Зак. 1117 Тир. 150