

М. И. Каплинский

**ПРОГНОЗИРОВАНИЕ
ИЗМЕНЕНИЙ ДРЕНАЖНОГО СТОКА
ПОД ВЛИЯНИЕМ
ВОДОХОЗЯЙСТВЕННЫХ МЕРОПРИЯТИЙ**



ФРУНЗЕ 1977

АКАДЕМИЯ НАУК КИРГИЗСКОЙ ССР

ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ ИНСТИТУТ ГЕОЛОГИИ

ВСЕСОЮЗНОЕ НАУЧНО-ПРОИЗВОДСТВЕННОЕ ОБЪЕДИНЕНИЕ
„СОЮЗВОДАВТОМАТИКА“

ВСЕСОЮЗНЫЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ
КОМПЛЕКСНОЙ АВТОМАТИЗАЦИИ МЕЛИОРАТИВНЫХ СИСТЕМ

М. И. КАПЛИНСКИЙ

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ИЗМЕНЕНИЙ
ДРЕНАЖНОГО СТОКА
ПОД ВЛИЯНИЕМ
ВОДОХОЗЯЙСТВЕННЫХ МЕРОПРИЯТИЙ

(на примере Чуйской впадины)

ИЗДАТЕЛЬСТВО „ИЛИМ“
Фрунзе 1977

В работе освещены вопросы учета изменения расчетного дренажного стока под влиянием проектируемых водохозяйственных мероприятий при разработке схемы дренирования как составной части бассейновых схем комплексного использования и охраны водных ресурсов.

Работа предназначена для проектировщиков и научных сотрудников, занимающихся вопросами мелиорации, разработки схем комплексного использования водных ресурсов и их обоснования с помощью прогнозных водобалансовых расчетов.

Утверждено к печати Ученым советом ВНИИКАМС
и принято Редакционно-издательским советом
Академии наук Киргизской ССР

Ответственный редактор канд. техн. наук П. С. Степаненко

Рецензенты: канд. техн. наук И. К. Дурнов, В. И. Федотов

С Издательство "Илим", 1977 г.

Введение

Данная работа освещает только один из разделов выполненных автором исследований по прогнозированию влияния водохозяйственных мероприятий на изменение режима и запасов подземных вод, мелиоративно-гидрогеологической обстановки и учету этих изменений при проектировании и эксплуатации мелиоративных систем и при разработке побассейновых схем комплексного использования и охраны водных ресурсов.

В настоящее время имеется много примеров, когда проектирование водохозяйственных объектов без учета тех изменений, которые вносит планируемый комплекс мер в мелиоративно-гидрогеологические условия, приводил к затратам лишних средств из-за резкого удорожания строительных работ и ухудшения условий эксплуатации, а иногда, наоборот, из-за неучета влияния новой техники орошения и современных методов эксплуатации на улучшение мелиоративных условий. Это говорит об актуальности проблемы прогнозирования.

Проведенный анализ показал, что решение прогнозных задач требует сочетания балансового метода с различными (в первую очередь численными) методами решения дифференциальных уравнений неустановившегося движения грунтовых вод (аналитические решения имеются лишь для наиболее простых схем).

Для прогноза предельных состояний, т.е. установившегося

режима, который наступает через определенный период после реализации проектируемых мер, достаточно точные результаты можно получить балансовым методом при правильно разработанной методике прогнозных балансовых расчетов.

Наибольшие трудности при этом возникают при оценке изменений расчетного дренажного стока, под которым подразумевается количество воды, которое необходимо отвести (или откачать) для поддержания уровня грунтовых вод на заданной глубине от поверхности земли и проектного (оптимального) мелиоративного режима в зоне аэрации.

Решению этого вопроса на основе применения прогнозных балансовых расчетов и посвящена данная работа.

На основании анализа приспособленных нами для условий межгорных впадин уравнений общего водного баланса и баланса грунтовых вод в работе даются:

- зависимости для определения расчетного дренажного стока и для прогнозирования изменения его под влиянием самых различных водохозяйственных мероприятий;

- методика их применения при сохранении заданного мелиоративного режима (и соответствующего изменения интенсивности дренирования) и при изменении его (при сохранении принятой интенсивности дренирования);

- типы и параметры мелиоративных режимов и методика обоснования выбора их путем сочетания оптимальных значений КПД системы, размеров дренажного стока и субирригации в региональном плане, достижения минимального ущерба урожаю из-за неравномерности глубины залегания грунтовых вод в локальном плане (при подборе параметров дренажа);

- зависимости для учета изменения оросительных норм в связи с изменением размеров водопотребления за счет грунтовых вод (субирригации) вследствие изменения глубин их залегания под влиянием водохозяйственных мероприятий;

- номограммы для определения расчетного дренажного стока в зависимости от изменения КПД, норм водопотребления, оросительной нормы нетто и расчетных глубин залегания грунтовых вод;

- влияние коэффициента освоения земельного фонда на изме-

нение удельного дренажного стока с гектара валовой площади и соотношение его с удельным стоком с гектара орошаемой площади;

— оценка изменения удельного дренажного стока в пространстве (по направлению потока грунтовых вод) на основе использования наблюдений над изменением интенсивного естественного выклинивания.

На примере достаточно типичной для межгорных впадин аридной зоны Чуйской впадины по разработанной методике рассчитаны прогнозные балансы подземных вод при отсутствии орошения (на ретроспективу) и на различные этапы его развития, что позволяет судить о динамике всех его элементов в разрезе выделенных зон и частей впадины, в том числе о динамике выклинивания в р. Чу и Красная. Определены расчетные значения дренажного стока на исходное состояние (1946—1959 гг.), на уровень 1980 г. при осуществлении водохозяйственных мероприятий, намеченных ген-схемой развития орошения и при полной реконструкции орошения.

Показана необходимость учета при проектировании:

— влияния мероприятий, проводимых в различных гидрогеологических зонах, и выбора расчетного мелиоративного режима на расчетный размер дренажного стока;

— влияния учета "эффекта региональности (зональности)" — увеличения размеров дренаруемой площади на уменьшение расчетного удельного дренажного стока.

Поэтому схема дренажирования (выбор расчетного дренажного стока, типа и параметров дренажа, объемов и методов использования дренажного стока на орошение и т.д.) должна являться составной частью бассейновой схемы комплексного использования и охраны водных ресурсов, разрабатываемой с учетом влияния внедрения новой техники орошения, расширения орошаемых площадей, использования подземных вод на орошение и водоснабжение, проектируемых агролесомелиоративных, эксплуатационных и водохозяйственных мер, а проектирование локальных объектов должно проводиться с учетом всего комплекса мер, принятого по ген-схеме.

Это позволит учитывать взаимодействие комплекса всех этих мер в различных гидрогеологических зонах и частях бассейна.

ибо без этого локальные решения даже для больших массивов могут оказаться ошибочными [1]. В то же время при экономическом обосновании схемы дренирования необходимо учитывать влияние различных вариантов проектных решений и сроков их реализации на стоимость дополнительных мер, связанных с отводом избыточного удельного дренажного стока в первые годы, когда осваивается лишь часть проектной площади. Надо отметить и следующие моменты. Работа базируется на проводимых с 1957 г. под руководством и с участием автора отделом регулирования водно-солевого баланса Кирг НИИВХ (ныне отдел мелиорации ВНИИ-КАМС) многолетних комплексных балансовых и мелиоративных исследованиях Чуйской впадине, а также выполненных для всех главных орошаемых районов Киргизии (Чуйская, Таласская, Кугартская, Баткенская впадины, Иссык-Кульская котловина, Ош-Карасуфский оазис и др.) исследованиях по возможностям и рациональным схемам использования подземных вод, определению их динамических и эксплуатационных ресурсов на различных этапах развития и реконструкции орошения.

Полевые исследования в содружестве с КТЗ, Калининской УОС и другими организациями проводились на 3-х балансовых участках Панфиловской системы и на системе в целом, 7-и опытных участках вертикального и горизонтального дренажа. Методы мелиорации засоленных земель изучались на 4-х опытных участках. Расчеты по оценке влияния водохозяйственных мероприятий на режим уровней грунтовых вод проводились на гидравлическом интеграторе В.С. Лукьянова и ЭВМ М-222.

Это позволило использовать необходимый экспериментальный материал и обеспечить комплексный, системный подход при решении затронутых здесь вопросов.

Такой подход отражен в принятом нами определении рациональной структуры водного баланса как такой структуры, при которой в целом по бассейну затраты воды и средств на единицу продукции получаются минимально возможными, а валовой выход ее (при высоком качестве) и коэффициенты использования водных, тепловых и земельных ресурсов максимально возможными.

В то же время ввиду лимитированного объема данная работа

изложена как методическое пособие для проектных организаций республики при разработке схем дренирования и производства прогнозных балансовых расчетов, в качестве такового была утверждена ММивХ Кирг ССР 20/ХП-1976 г.

Это обусловило соответствующий стиль изложения, отсутствие аналитического обзора литературы и результатов исследований.

Большая часть трудоемкой вычислительной работы и графического оформления выполнены ст.инженером М.Пак с использованием соответствующих расчетов, проведенных ранее Т.А.Воеводиной. Некоторые расчеты выполнены ст.инженером В.Л.Мякушко.

Автор приносит им большую благодарность.

Автор будет признателен за все замечания по работе, которые просит присылать по адресу: 720052, Фрунзе-52, Душанбинская 4, ВНИИКАМС, зав.отделом мелиорации.

1. Расчетные уравнения

1.1. Определение расчетного дренажного стока

Согласно [2] расчетный дренажный сток определяется для среднемноголетних условий из уравнений общего водного баланса (1) или баланса грунтовых вод (2). По С.Ф.Аверьянову [3,4] их можно записать так:

$$\bar{D} = (\bar{P}_a - \bar{Q}_d) + (\bar{P} - \bar{Q}) + (A - И) + (B_r - \bar{C}) \pm p ; \quad (1)$$

$$\bar{D} = (\bar{P} - \bar{Q}) + \alpha \Phi_k \pm q \pm p . \quad (2)$$

При $(\bar{P}_a - \bar{Q}_d) = 0, \bar{C} = 0$ на основе этих уравнений можно получить (при $\alpha = 1$)

$$\bar{D} = (\bar{P} - \bar{Q}) + B_r + A - И . \quad (3)$$

В этих уравнениях

$\bar{D}$ - расчетный среднемноголетний дренажный сток со всей валовой площади;

$(\bar{P}_a - \bar{Q}_d)$ - дополнительное, сверх водозабора, поступление (приток минус отток) поверхностных вод;

$(\bar{P} - \bar{Q})$ - поступление (приток минус отток) подземных вод по контуру дренируемой площади (в горизонтальном направлении по осям X и Y);

A - атмосферные осадки;

$И$ - суммарное испарение;

B_r - головной водозабор;

$\bar{C}$ - сброс за пределы дренируемой площади;

p – вертикальный водообмен (по оси Z) по подошве балансового слоя; обратим внимание, что если мощность балансового слоя принята равной всей мощности верхнего яруса подземных вод до регионального водоупора^{*)}, то p входит в член $(\Pi - \underline{Q})$;

Φ_k – фильтрационные потери в каналах оросительной сети;

α – доля фильтрационных потерь, поступающая в грунтовые воды. Для среднемноголетних расчетов можно принять $\alpha = 1$;

$\pm q$ – вертикальный водообмен между зонами аэрации и грунтовых вод.

Все члены уравнения можно выражать в $\text{м}^3/\text{с}$ (среднегодовые расходы), м^3 или $\text{м}^3/\text{га}$. При наличии в пределах орошаемой территории водохранилищ (также бассейнов краткосрочного регулирования) в уравнении (2) должен быть включен член Φ_b – фильтрация из водохранилищ (если она не включена в потери в сети). Если водохранилища заполняются из каналов, в уравнении (1) эта величина войдет в член $(B_r - \bar{C})$, а если за счет дополнительных поступлений – сбросов из русел рек предгорной зоны и т.д. – в член $(\bar{\Pi}_\lambda - \bar{Q}_\lambda)$. Иногда удобно выделять также в виде отдельных членов водозабор на вегетационные промывные (опреснительные) поливы – $B_{\text{опр}}$ и на невегетационные – промывные, профилактические, запасные поливы – $B_{\text{пр}}$. В уравнении (2) вертикальный водообмен между зонами аэрации и грунтовых вод q может быть выражен зависимостями (при $\alpha = 1$):

$$q = \Phi_n + A_{\text{гр}} - И_{\text{гр}} ; \quad (4)$$

$$q = B_b + \underline{A} - И , \quad (4a)$$

где

Φ_n – инфильтрация поливных вод на полях в грунтовые,

$A_{\text{гр}}$ – инфильтрация осадков в грунтовые воды;

$И_{\text{гр}}$ – испарение грунтовых вод, точнее подпитывание зоны аэрации грунтовыми водами;

B_b – водоподача на поля из временных оросителей; $B_b = B_r \cdot \eta_k$;

^{*)} Это очень удобно для региональных балансовых расчетов.

где

η_k — КПД сети системы.

При промывном опреснительном режиме орошения в уравнении (4) можно выделить в виде отдельного члена $\varphi_{пр} = (0,10 - 0,30) B_n$. Соответственно изменится B_b в уравнении (4а). В уравнении (3) член $(\underline{П} - \underline{Q})$ включает и вертикальный водообмен между напорными и грунтовыми водами $\pm p$. С учетом (4) (3) можно написать в виде

$$D = \underline{П} - \underline{Q} + \varphi + A_{гр} - I_{гр}, \quad (3a)$$

где

$$\varphi = \varphi_n + \varphi_k,$$

а при наличии промыв-

ного режима $\varphi = \varphi_n + \varphi_k + \varphi_{пр}$.

Для подбора параметров дренажа необходимо знать дренажный сток с орошаемых (дренируемых) земель — $D_{ор}$. Если пренебречь оттоком на неорошаемые земли,

$$D_{ор} = (\underline{П} - \underline{Q}) \alpha_{ор} + A \alpha_{ор} + B_r - I_{ор}. \quad (5)$$

Здесь

$\alpha_{ор} = \frac{F_{ор}}{F_{вал}}$; все члены уравнения, кроме $I_{ор}$, выражены в $м^3$ или в $м^3/с$ с валовой площади. $I_{ор}$ — испарение с орошаемых площадей.

Головной водозабор отнесен весь к орошаемой площади, хотя при наличии больших холостых частей каналов это не совсем точно. Из уравнений (5) и (3) легко получить

$$D_{ор} - D = I_{гр.неор} - \alpha_{неор}(\underline{П} - \underline{Q}), \quad (6)$$

следовательно,

$$D_{ор} = D \quad \text{при} \quad \alpha_{неор} = \frac{I_{гр.неор}}{\underline{П} - \underline{Q}}. \quad (6a)$$

Очевидно, $D = D_{ор} + D_{неор} \geq D_{ор}$, но $\bar{D} < \bar{D}_{ор}$, где

$$\bar{D} = \frac{D}{F_{вал}}; \quad \bar{D}_{ор} = \frac{D_{ор}}{F_{ор}} - \text{дренажный сток с } I \text{ га валовой}$$

и орошаемой площади. Таким образом, принимая за расчетный удельный дренажный сток с I га валовой площади, мы автоматически учитываем отток на неорошаемые земли, т.е. их роль как сухого дренажа. Очевидно, чем меньше $\alpha_{ор}$, тем эта роль больше. Конечно, при заданном $\alpha_{ор}$ большую роль играет расположение и размеры орошаемых массивов и их чередование с неорошаемыми. Это учитывается при проектировании конкретных

объектов. При региональных расчетах, принимая равномерное расположение орошаемых массивов,

$$\left. \begin{aligned} \bar{D}_{ор} - \bar{D} &= \alpha_{неор} \left[\frac{M_{\delta}}{\eta_c} - (\bar{Y}_{ор} - \bar{Y}_{неор}) \right] \\ \bar{Y}_{ор} &= \frac{I_{ор}}{F_{ор}} ; \quad \bar{Y}_{неор} = \frac{I_{неор}}{F_{неор}} ; \quad \alpha_{неор} = 1 - \alpha_{ор} \end{aligned} \right\} (7)$$

$$M_{\delta} = \frac{B_{\delta}}{F_{ор}} \quad \text{— оросительная норма брутто.}$$

Отсюда видно, что чем меньше $\alpha_{неор}$, тем меньше разница между удельным дренажным стоком с валовой и с орошаемой площади.

С другой стороны, при больших $\alpha_{неор}$ увеличение удельного веса оттока с орошаемых площадей может быть учтено принятием в расчет $\bar{D}$ вместо $\bar{D}_{ор}$. Учитывая, что

$$КЗИ = \frac{F_{нетто}}{F_{брутто}} = 0,85 - 0,90,$$

в запас расчетов в уравнении (5) можно принимать $\alpha_{ор} = 0,90$. Мы на этом останавливаемся ввиду того, что балансовые расчеты ведутся на валовую площадь, а при пользовании уравнениями (3) и (5) для подбора параметров дренажа расчеты ведутся, по существу, на I га орошаемой площади (при этом поступление подземных вод принимается одинаковым на I га валовой и орошаемой площади).

Головной водозабор на орошение связан с орошаемыми площадями и техникой орошения следующими зависимостями:

$$\left. \begin{aligned} B_r = M_r \cdot F_n = \frac{B_n}{\eta} = \frac{B_{\delta}}{\eta_k} ; \quad B_n = M_n \cdot F_n ; \\ B_{\delta} = M_{\delta} \cdot F_n ; \quad M_{\delta} = \frac{M_n}{\eta_{тп}} \end{aligned} \right\} (8)$$

где

M_n — оросительная норма нетто;

F_n — орошаемая площадь нетто;

M_{δ} — оросительная норма брутто —

B_{δ} — водоподача на поля из временных оросителей на I га орошаемой площади нетто;

M_r — водозабор для орошения I га;

$\eta_{тп}$ — КПД техники полива;

η_k — КПД каналов оросительной сети системы, $\eta_k = \eta_{мх}$.

$\eta_{\text{мх}}$ - КПД межхозяйственной, а $\eta_{\text{вх}}$ - КПД внутрихозяйственной сети;

η - КПД системы (сеть + поле).

$$\eta = \eta_{\text{к}} \cdot \eta_{\text{тп}} \quad (9)$$

Оросительную норму нетто можно определить из уравнения

$$M_{\text{н}} = [M_{\text{н}}] \cdot \Psi \quad ; \quad (10)$$

$$[M_{\text{н}}] = B - \mu_{\text{в}} \cdot A_{\text{в}} - (W_{\text{н}} - W_{\text{к}}) = B - \mu A, \quad (10a)$$

где

B - норма водопотребления сельскохозяйственных культур

$$B = K_{\delta} \cdot U_{\text{овер}} ;$$

K_{δ} - средневзвешенный биологический коэффициент;

μ_{δ}, μ - коэффициенты использования вегетационных ($A_{\text{в}}$) и годовых (A) осадков;

$W_{\text{н}}$ - предпосевной запас влаги в активном слое (отражающий поступление осадков в невегетационный период);

$W_{\text{к}}$ - запас влаги в этом слое в конце вегетации;

$U_{\text{овер}}$ - испаряемость за вегетационный период.

$$\Psi = 1 - \frac{I_{\text{гр1}}}{[M_{\text{н}}]} \quad (10б)$$

$I_{\text{гр1}}$ - расход грунтовых вод на водопотребление растений.

Если через Z_0 обозначить глубину, при которой $I_{\text{гр1}} = 0$ ("критическая глубина"), то при глубоком залегании грунтовых вод $\Psi = 1$;

$$M_{\text{н}} = [M_{\text{н}}] \quad . \quad \text{Величина } [M_{\text{н}}] \text{ может}$$

быть названа стандартной оросительной нормой нетто.

Не останавливаясь на освещении вопросов, связанных с правильным определением КПД, отметим лишь, что в приведенные формулы для определения дренажного стока входит, по существу, расчетный КПД, под которым мы подразумеваем КПД, соответствующий расчетному размеру фильтрационных потерь. Это дает право в уравнении (2) принимать

$$\Phi_{\text{к}} = B_{\text{г}} (1 - \eta_{\text{к}}) = \frac{B_{\delta}}{\eta_{\text{к}}} (1 - \eta_{\text{к}}) ; \quad (11)$$

$$\Phi = \Phi_{\text{н}} + \Phi_{\text{к}} = B_{\text{г}} (1 - \eta) = \frac{B_{\text{н}}}{\eta} (1 - \eta) \quad (11a)$$

Здесь подразумевается

$$B_r = B_n + \Phi_n + \Phi_k = B_\delta + \Phi_k, \quad (IIб)$$

т.е. потери на сброс и испарение принимаются равными нулю. Фактический водозабор будет больше на величину потерь на сброс и испарение с водной поверхности в каналах и на полях во время поливов.

I.2. Изменение дренажного стока

Зависимости (2) и (3) позволяют учесть влияние на величину дренажного стока всех элементов комплекса проектируемых водохозяйственных мероприятий: внедрения новой техники орошения, повышения уровня агротехники и эксплуатации (увеличение КПД системы), расширения орошаемых площадей ($F_{\text{нетто}}$), забора воды на водоснабжение и т.д.

Это сказывается на:

- а) снижении притока подземных вод с предгорной зоны (в связи с повышением КПД и расширением в этой зоне орошаемых площадей);
- б) уменьшении потерь воды в сети и на полях в равнинной зоне (непосредственно на дренируемой площади);
- в) увеличении оросительных норм вследствие снижения размеров подпитывания с грунтовых вод (в зоне выклинивания с пресными грунтовыми водами) и перехода на промывной режим орошения (на засоленных землях);
- г) увеличении водоподачи в равнинной зоне за счет расширения орошаемых площадей и применения повторных культур;
- д) улучшении мелиоративного состояния за счет увеличения водозабора подземных вод на водоснабжение;
- е) изменении полезного водопотребления и суммарного испарения за счет проектируемого комплекса агролесомелиоративных и эксплуатационных мер и т.д.

Действительно, для проектируемого комплекса, обеспечивающего достижение КПД системы η , можно для установившегося режима написать:

$$D' = (\underline{P} - \underline{Q})' + A' + B_r' - H' \quad (3)$$

$$D' = (\underline{P} - \underline{Q})' + \varphi' + A'_{гр} - H'_{гр} \quad \text{или} \quad (3a)$$

Отсюда изменение установившихся среднееголетних размеров дренажного стока можно определить по уравнению:

$$\Delta D = D' - D = \Delta \underline{P} + (A'_{гр} - A_{гр}) + \left(\frac{B'_n}{\eta'} - \frac{B_n}{\eta} \right) + (H_{гр2} - H'_{гр2}) + (H_{гр3} - H'_{гр3}) \quad (I2).$$

Учитывая (I0), можно в (3) принять

$$B'_r = \frac{[B_n] \cdot \psi'}{\eta'} \quad (I3)$$

Соответственно 3-й член уравнения (I2) можно написать в виде

$$[B_n] \cdot \left(\frac{\psi'}{\eta'} - \frac{\psi}{\eta} \right).$$

При наличии промывного режима орошения $B_r = \frac{B_n + \varphi_{пр}}{\eta}$ в уравнение (I2) должен быть введен дополнительный член

$$\left(\frac{\varphi'_{пр}}{\eta'} - \frac{\varphi_{пр}}{\eta} \right)^*.$$

При сохранении постоянства нормы водопотребления сельскохозяйственных культур можно принять

$$M'_n = M_n + (\bar{Y}_{гр1} - \bar{Y}'_{гр1}) = M_n + \Delta \bar{Y}_{гр1}. \quad (I4)$$

X)

Здесь, исходя из физического смысла КПД, принято, что при промывном режиме $\eta = \frac{B_n + \varphi_{пр}}{B_r}$

Часто для удобства расчетов и при промывном режиме составляют

$$\eta_{пр} = \frac{B_n}{B_r} = \frac{B_n}{B_n + \varphi_n + \varphi_k + \varphi_{пр}},$$

тогда

$B_r = \frac{B_n}{\eta_{пр}}$ и необходимость в указанном дополнительном члене отпадает.

$$\text{Очевидно, } \eta_{пр} = \eta \cdot \frac{B_n}{B_n + \varphi_{пр}}.$$

Если вместо η подставлять $\eta_{пр}$ в уравнения IIa и IIб,

$$\varphi = \varphi_n + \varphi_k + \varphi_{пр}.$$

Если пренебречь изменением размеров испарения с водной поверхности на различных этапах развития орошения,

$$\Delta I = I' - I = (I'_{гр2} - I_{гр2}) + (I'_{гр3} - I_{гр3}) = -(\Delta I_{гр2} + \Delta I_{гр3}), \quad (I5)$$

где

$$\Delta \bar{I}_{гр1} = \frac{\Delta I_{гр}}{F}; \quad \bar{I}_{гр} = \frac{I_{гр}}{F},$$

где

$I_{гр1}, I'_{гр}$ — испарение грунтовых вод на орошаемых землях в вегетационный период (поступающее на водопотребление растений);

$I_{гр2}, I'_{гр2}$ — испарение грунтовых вод с орошаемых земель в не-вегетационный период;

$I_{гр3}, I'_{гр3}$ — испарение грунтовых вод с неорошаемых земель за весь год.

Везде индекс "прим" относится к состоянию системы после реконструкции (при КПД η').

Учитывая (I4) вместо (I2), можно получить:

$$\Delta D = D' - D = \Delta \Pi + \Delta A_{гр} + M_n \left(\frac{F'_n}{\eta'} - \frac{F_n}{\eta} \right) + \frac{\Delta \bar{I}_{гр1} F'_n}{\eta'} + \Delta I_{гр2} + \Delta I_{гр3}. \quad (I2a)$$

При сохранении размеров орошаемой площади, т.е. $F'_n = F_n$

$$\Delta D = D' - D = \Delta \Pi + \Delta A_{гр} + B_n \left(\frac{1}{\eta'} - \frac{1}{\eta} \right) + \frac{\Delta I_{гр1}}{\eta'} + \Delta I_{гр2} + \Delta I_{гр3}, \quad (I2б)$$

где

$$\Delta I_{гр1} = I_{гр1} - I'_{гр1}; \quad \Delta I_{гр2} = I_{гр2} - I'_{гр2}; \quad \Delta I_{гр3} = I_{гр3} - I'_{гр3};$$

$$\Delta I_{гр} = \Delta I_{гр1} + \Delta I_{гр2} + \Delta I_{гр3}; \quad \Delta A_{гр} = A'_{гр} - A_{гр}.$$

Первый член уравнения (I2) $\Delta \Pi = (\Pi - Q)' - (\Pi - Q)$ дает изменение поступлений подземных вод в результате развития и реконструкции орошения в предгорной зоне, строительства водозаборов подземных вод на различные нужды и т.д. Та часть подземных вод, которая после использования на водоснабжение идет на орошение, учитывается членами $B_n = M_n \cdot F_n$ и $B'_n = M'_n \cdot F'_n$.

Второй член уравнения (I2) даст изменение поступлений осадков в грунтовые воды. Здесь также при $z' = z$ $\Delta A_{гр}$ будет равно нулю (если пренебречь влиянием развития орошения и комплекса агролесомероприятий на изменение общей величины осадков и их поступление в грунтовые воды). Третий член дает изменение водозабора в связи с понижением КИД. Так как $\eta' > \eta$, при $F'_n = F_n$ имеет место уменьшение водозабора. Четвертый член дает увеличение водозабора, обусловленное необходимостью увеличения оросительных норм в связи с понижением уровня грунтовых вод, а пятый и шестой члены отражают уменьшение испарения грунтовых вод на орошаемых землях за вегетационный период, а на неорошаемых — за весь год.

Уравнение (I2) можно написать и так:

$$\Delta D = \Delta P + \Delta A + \Delta B_{гр} - \Delta H = \Delta P + \Delta \Phi + \Delta A_{гр} - \Delta H_{гр} = \Delta Q - \Delta H_{гр}. \quad (I2')$$

При $B' = B$ (сохранение размеров водопотребления) в общем случае

$$\Delta B_{гр} = \frac{M_n + \Delta H_{гр1}}{\eta'} \cdot F'_n - \frac{M_n F_n}{\eta}. \quad (I6)$$

Если $F'_n = F_n$, то

$$\Delta B_{гр} = \frac{\Delta H_{гр1}}{\eta'} + B_n \left(\frac{1}{\eta'} - \frac{1}{\eta} \right). \quad (I6a)$$

При этом

$$\Delta B_n = \Delta H_{гр1}; \quad \Delta \Phi = \Delta H_{гр1} \frac{1 - \eta'}{\eta} - B_n \left(\frac{1}{\eta'} - \frac{1}{\eta} \right); \quad \Delta B_{гр} = \Delta B_n + \Delta \Phi. \quad (I7)$$

При $\eta = \eta'$

$$\Delta \Phi = \Delta H_{гр1} \frac{1 - \eta'}{\eta'}; \quad (I7a)$$

$$\Delta B_{гр} = \frac{\Delta H_{гр1}}{\eta'}. \quad (I7б)$$

Уравнения (I7a) и (I7б) дают увеличение фильтрационных потерь и водозабора при заданном КИД только за счет увеличения оросительной нормы нетто на величину $\Delta H_{гр1}$.

Изменение дренажного стока со всей орошаемой площади можно получить из уравнения (при $B' = B = I_{\text{ор.вер}}$):

$$\Delta D_{\text{ор}} = D'_{\text{ор}} - D_{\text{ор}} = \Delta \Pi_{\text{ор}} + M_n F_n \left(\frac{1}{\eta'} - \frac{1}{\eta} \right) + \frac{\Delta \bar{I}_{\text{гр1}} F_B \cdot \alpha'_{\text{ор}}}{\eta'} +$$

$$+ A \left(\frac{\alpha'_{\text{ор}}}{\alpha_{\text{ор}}} - 1 \right) + \frac{M_n F_B (\alpha'_{\text{ор}} - \alpha_{\text{ор}})}{\eta'} - I_{\text{ор.вер}} \left(\frac{\alpha'_{\text{ор}}}{\alpha_{\text{ор}}} - 1 \right) -$$

$$- (I_{\text{гр2}}' - I_{\text{гр2}}). \quad (18)$$

При $F_n' = F_n$, $\alpha'_{\text{ор}} = \alpha_{\text{ор}}$, $I_{\text{гр2}}' = I_{\text{гр2}}$ остаются только первые три члена.

Изменение удельного дренажного стока с орошаемых земель

$$\Delta \bar{D}_{\text{ор}} = \frac{D'_{\text{ор}}}{F'_{\text{ор}}} - \frac{D_{\text{ор}}}{F_{\text{ор}}} = \Delta \bar{\Pi}_{\text{ор}} + M_n \left(\frac{1}{\eta'} - \frac{1}{\eta} \right) + \frac{\Delta \bar{I}_{\text{гр1}}}{\eta'} + \Delta I_{\text{гр2}}. \quad (18a)$$

Часто проектировщики принимают, что при переходе с одного этапа развития орошения на другой остается постоянной оросительная норма брутто $M'_\delta = M_\delta$ или при $F_n = \text{const}$ $B'_\delta = B_\delta$. При этом $B'_n = B_\delta \cdot \eta'_{\text{тп}}$ вместо $B_n = B_\delta \cdot \eta_{\text{тп}}$.

При сохранении исходного мелиоративного режима ($z' = z$; $\Delta I_{\text{гр1}} = 0$) оросительная норма нетто

$$M'_n = M_n \frac{\eta'_{\text{тп}}}{\eta_{\text{тп}}}. \quad (19)$$

Так как $\eta'_{\text{тп}} > \eta_{\text{тп}}$, оросительная норма нетто увеличивается за счет уменьшения потерь воды на полях на величину (при $F_n' = F_n$)

$$\Delta \Phi_n = B_\delta (\eta'_{\text{тп}} - \eta_{\text{тп}}). \quad (20)$$

Соответственно увеличивается и расчетное водопотребление B' . Если сохранение исходного мелиоративного режима на новом этапе невозможно ($z' > z$, $\Delta I_{\text{гр1}} \neq 0$) при $\Delta I_{\text{гр1}} < \Phi_n$ - по (20) то расчетное водопотребление будет больше или равно исходному. При $\Delta I_{\text{гр1}} > \Phi_n$ оно будет меньше исходного. Для сохранения расчетного водопотребления ($B' = B$) необходимо обеспечить водоподачу нетто

$$B'_n = B_n + \Delta I_{\text{гр1}} = B'_n + [\Delta I_{\text{гр1}} - B_\delta (\eta'_{\text{тп}} - \eta_{\text{тп}})] \quad (21)$$

и водоподачу на поля (брутто)

$$B'_\delta = \frac{B'_n}{\eta'_{тп}} \quad (21a)$$

Другими словами, при $B' = B$ соблюдение равенства $B'_\delta = B_\delta$ невозможно, так как оно не учитывает увеличения оросительных норм при снижении грунтовых вод.

Суммарное (за счет изменения $\eta_{тп}$ и оросительной нормы нетто) изменение потерь воды на полях

$$\Delta \varphi'_п = B'_\delta (1 - \eta'_{тп}) - B_\delta (1 - \eta_{тп}) = B_n \left(\frac{1}{\eta'_{тп}} - \frac{1}{\eta_{тп}} \right) + \Delta И_{гр1} \frac{1 - \eta'_{тп}}{\eta'_{тп}} \quad (22)$$

Изменение потерь на полях только за счет изменения оросительной нормы нетто

$$\Delta \varphi'_{п1} = (B_n + \Delta И_{гр1}) \frac{1 - \eta'_{тп}}{\eta'_{тп}} - B_\delta (1 - \eta'_{тп}) \quad (22a)$$

Изменение фильтрационных потерь в системе в целом за счет изменения оросительной нормы вместо (17a) определяется по формуле (23):

$$\Delta \varphi = \frac{[\Delta И_{гр1} - B_\delta (\eta'_{тп} - \eta_{тп})](1 - \eta')}{\eta'} \quad (23)$$

Изменение головного водозабора

$$\Delta B_r = \frac{[\Delta И_{гр1} - B_\delta (\eta'_{тп} - \eta_{тп})]}{\eta'} \quad (23a)$$

Изменение дренажного стока

$$\Delta D = D' - D = \Delta \Pi + \Delta A_{гр} + B_\delta \left(\frac{1}{\Omega \eta'_к} - \frac{1}{\eta_к} \right) + \frac{\Delta И_{гр1}}{\eta'} + \Delta И_{гр2} + \Delta И_{гр3} \quad (24)$$

или

$$\Delta D = \Delta \Pi + \Delta A_{гр} + B_\delta \left(\frac{1}{\eta'_к} - \frac{1}{\eta_к} \right) + \frac{\Delta И_{гр1} - B_\delta (\eta'_{тп} - \eta_{тп})}{\eta'} + \Delta И_{гр2} + \Delta И_{гр3} \quad (24a)$$

где

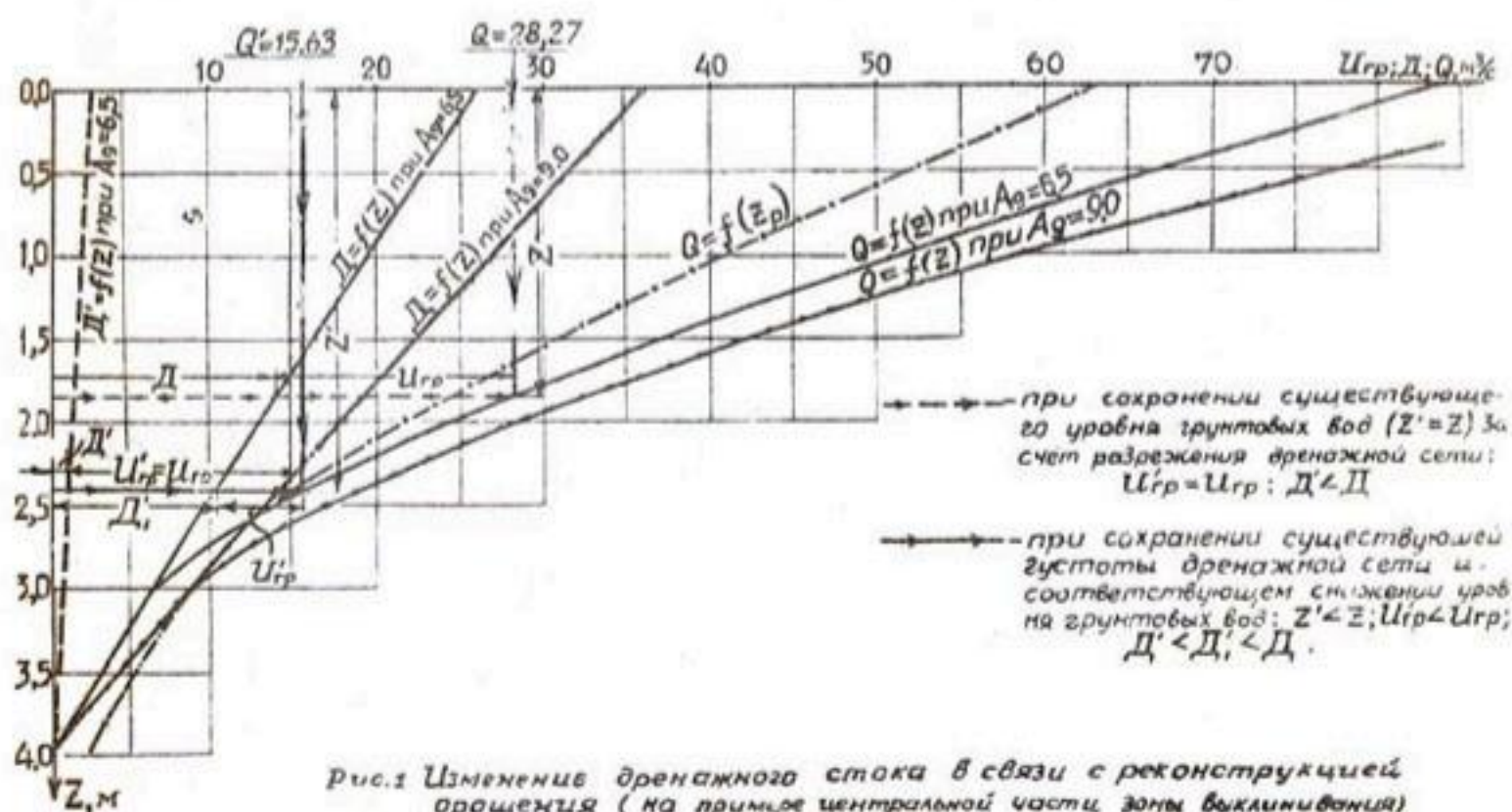
$$\eta_к = \frac{B_\delta}{B_r} = \frac{B_n}{\eta_{тп} B_r}; \quad \Omega = \frac{\eta'_{тп}}{\eta_{тп}}.$$

При $\Omega = 1$, т.е. $\eta'_{тп} = \eta_{тп}$, уравнение (24) и (24a) тождественны уравнению (12б).

Таким образом, уравнения (19) - (24) по сути дела отражают влияние изменения КПД техники полива на фильтрационные потери (на полях и в сети), головной водозабор и дренажный сток.

Как видно, допущение $M'_b = M_b$ вносит определенные осложнения в расчеты. Гораздо удобнее, когда $Z' = Z$, исходить из условия $M'_n = M_n$, а при $Z' > Z$ для сохранения расчетного водопотребления увеличить M'_n согласно уравнению (14). Величину же ΔD определить по (12). Кстати отметим, что в уравнении (12) последние 3 члена учитываются при наличии лугового, лугово-сероземного режимов и при пресных грунтовых водах, которые используются для субиригации. Это имеет место в условиях зоны выклинивания, где дренаж выполняет, главным образом, осушительную роль. При этом, если при реконструкции орошения полностью сохраняется существующий мелиоративный режим, т.е. $Z' = Z$, последние 3 члена уравнения будут равны нулю.

Для обеспечения этого условия потребуется уменьшение густоты дренажной сети в соответствии с уменьшением поступлений в грунтовые воды в связи с повышением КПД. Если же при реконструкции орошения сохраняется уже построенная дренажная сеть, уменьшение поступлений в грунтовые воды приведет к снижению уровня их и размеров испарения, что и учитывается последними членами уравнения. Это наглядно видно из кривой (рис. 1.), построенной по уравнению $Q = D + I_{gr} = f(Z)$ (25), отражающему изменение



дренажного стока, испарения грунтовых вод $I_{гр}$ и осредненной глубины их залегания Z в зависимости от суммарного питания последних Q

$$Q = (\underline{П} - \underline{Q}) + A_{гр} + \varphi_n + \varphi_k - Q_v, \quad (25a)$$

где

Q_v — водозабор подземных вод на водоснабжение и орошение в зоне выклинивания.

Методика построения и использования такой кривой будет дана ниже.

Очевидно, что до тех пор, пока $Q' \geq I_{гр}$, $D' \geq 0$, можно сохранить существующий мелиоративный режим (т.е. обеспечить $Z' = Z$, $I'_{гр} = I_{гр}$) за счет разрежения дренажной сети. При $Q' < I_{гр}$ даже при полной ликвидации дренажной сети $Z' > Z$, $I'_{гр} < I_{гр}$. Величины D и $I_{гр}$ определяется подбором.

2. Методика применения расчетных уравнений

2.1. Общие положения

Для прогнозирования дренажного стока необходимо иметь:

- а) гидрогеологическое, мелиоративное, гидромодульное и балансовое районирование региона;
- б) водный баланс и баланс подземных вод на существующее (исходное) положение за достаточно длительный срок с возможно более полным обоснованием всех элементов баланса и анализом режима грунтовых вод.
- в) расчетные водохозяйственные данные на различные этапы развития орошения: площади орошения, КПД системы, мелиоративный режим, испарение (водопотребление) на орошаемых землях, водозабор на водоснабжение и другие отрасли и т.д. Все эти данные должны быть даны в разрезе основных гидрогеологических зон (формирования, выклинивания и вторичного погружения потока грунтовых вод) и балансовых районов.

Зона выклинивания или, как ее чаще называют, "зона выкли-

нивания и неглубокого залегания грунтовых вод¹, с гидродинамической точки зрения характеризуется как зона избыточных пьезометрических напоров (H_p), где $\Delta H = H_p - h \geq 0$ (h — глубина залегания грунтовых вод), а в зоне транзита (вторичного погружения) $\Delta H \leq 0$. Однако могут иметь место случаи, когда в зоне транзита отток происходит, главным образом, по отдельным водоносным слоям, обладающим определенной напорностью, т.е. и здесь (в особенности до развития орошения) $\Delta H > 0$ ^{*}. В этом случае как раз и удобно применение второго термина, т.е. разграничение зон выклинивания и зоны транзита по дополнительному признаку $Z \leq Z_0$.

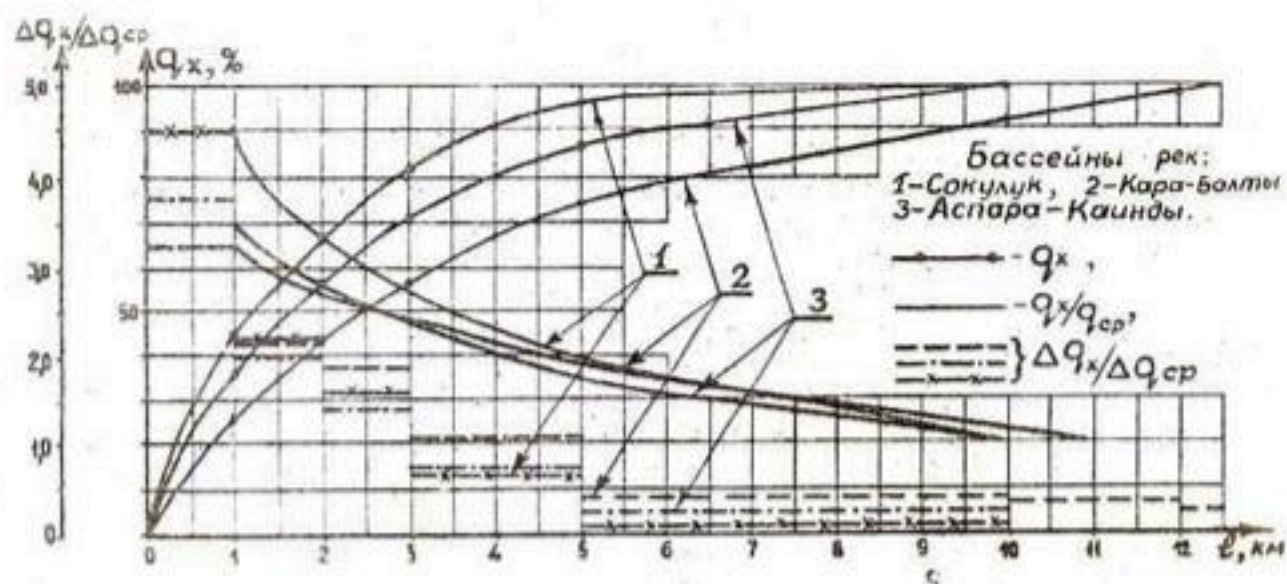
Однако в процессе развития орошения в зоне транзита также может иметь место $Z < Z_0$, правда, при этом, как правило, $\Delta H < 0$. С другой стороны, реконструкция орошения в предгорной зоне, использование подземных вод и применение промывного режима могут привести к тому, что на всей равнинной части будет иметь место $\Delta H < 0$.

Таким образом, выделение указанных зон производится на основе анализа естественного ненарушенного режима, а в процессе развития орошения границы их видоизменяются, а иногда стираются.

Тем не менее, на наш взгляд, необходимо проектирование схем комплексного использования водных ресурсов вести в разрезе этих зон в их естественных границах, так как они отражают изменение всего комплекса гидрогеологических условий, с одной стороны, и позволяют оценить взаимовлияние мероприятий, проводимых в различных зонах, с другой стороны.

В результате уменьшения притока подземных вод с предгорной зоны произойдет перемещение зоны выклинивания вниз по потоку. В первом приближении величину этого перемещения можно оценить при наличии данных об изменении расходов выклинивания по длине потока. Такие кривые в относительных величинах, по данным Сазводпроиза, для Чуйской впадины нами построены на рис.2.

^{*} Именно такая картина наблюдается на значительной части зоны транзита Чуйской впадины.



1	$q_x/q, \%$	45	67	83,1	96	100				
	q_x/q_{cp}	45	335	277	192	10				
	$\Delta q_x/\Delta q_{cp}$	4,5	2,2	1,6	0,8* 0,55	0,2*	0,1*	0,05		
2	$q_x/q, \%$	26,1	43	58	75	92	97,5	100		
	q_x/q_{cp}	326	159	242	1,88	1,15	1,02	1,0		
	$\Delta q_x/\Delta q_{cp}$	3,26	2,13	1,88	1,25* 1,06	0,88*	0,5*	0,4*	0,40	0,37
3	$q_x/q, \%$	38	56	72	88	100				
	q_x/q_{cp}	38	29	24	0,75	1,76	1,0			
	$\Delta q_x/\Delta q_{cp}$	3,8	2,0	1,4	0,9* 0,75	0,5*	0,3*	0,3*	0,26	

* Величины получены интерполяцией.

Рис 2. Изменение интенсивности выклинивания грунтовых вод по длине карасу по данным замеров Сазводпроиза (1937.)

q - суммарный расход выклинивания (расход в конце карасу),
 l - длина карасу, на которой выклинивается расход q ,
 $\Delta q_{cp} = q/l \cdot 100$; $q_{cp} = \Delta q_{cp} \cdot x$; $\Delta q_x = \frac{q_x - q_{cp} \cdot x}{\Delta x} \cdot 100, \%$

Если по вертикали отложить $(\Pi - \Pi') : \Pi$, то легко получить примерную величину перемещения зоны выклинивания Δl_v . На основании численных аналитических решений уравнений неравномерного движения грунтовых вод, принимая за граничное условие уровень воды в главной дренирующей артерии, можно более точно определить изменение положения кривой депрессии и соответственно величину $\Delta l_v = \frac{\Delta h}{i}$, где Δh - изменение уровня грунтовых вод по подошве предгорной зоны, а i - уклон местности. Учет изменения границ зон требуется для определения изменений дренажного модуля.

Изменение напорного питания и испарения грунтовых вод по длине потока приводит к весьма значительным отклонениям дренажного модуля от среднего (для всей зоны) значения. Уменьшение притока с предгорной зоны (в связи с повышением КПД и использованием подземных вод) уменьшает неравномерность напорного питания.

Дренаживание орошаемых площадей приводит к более равномерному распределению их по глубинам залегания грунтовых вод, следовательно, к уменьшению неравномерности $I_{гр}$. Таким образом, требуется учет влияния проектируемых мероприятий на изменение схемы питания дренажа в условиях наличия единого напорного комплекса подземных вод.

Наряду с неравномерностью питания грунтовых вод по длине зоны выклинивания следует учитывать и неравномерность притока подземных вод по ширине потока. Как отмечено нами в работе [13], если для всей зоны выклинивания Чуйской впадины среднее значение ($\bar{P} - \bar{Q}$) составляет $3170 \text{ м}^3/\text{га}$, то для центральной части — 3700 , для западной — 1900 , для отдельных районов внутри этих частей, боковыми границами которых является межконусные понижения, $6-7 \text{ тыс. м}^3/\text{га}$, а для отдельных участков доходит до $16000 \text{ м}^3/\text{га}$. Поэтому в пределах каждой части впадины (балансовый район) должны быть выделены подрайоны, охватывающие конуса выноса и межконусные понижения и их продолжение в равнинных зонах. Это тем более правильно, что $40-50\%$ притока с предгорной зоны формируется за счет потерь в руслах рек, которые в отличие от потерь оросительной воды нельзя принимать равномерно распределенными по площади.

Все вышеизложенное должно учитываться при размещении водозаборов подземных вод и скважин вертикального дренажа. В то же время, чем обоснованнее выполнено районирование, тем ближе среднее заданное зональное значение удельного дренажного стока $\bar{D}_{ср}$ к сумме средневзвешенных значений по районам (подрайонам), т.е. разность $\bar{D}_{ср} - \frac{\sum \bar{D}_i F_i}{F}$ ближе к нулю.

По аналогии с КПД оросительной системы следует ввести понятие КПД дренажной системы $\eta_{др} = \frac{\bar{D}_{ср}}{\bar{D}_{расч}}$, если $\bar{D}_{ср} < \bar{D}_{расч}$ или $\eta_{др} = \frac{\bar{D}_{расч}}{\bar{D}_{ср}}$, если $\bar{D}_{ср} > \bar{D}_{расч}$. Здесь $\bar{D}_{ср}$ —

проектный дренажный сток, полученный для запроектированной схемы дренирования. Учитывая принятое определение расчетного дренажного стока, отклонение от него объема дренирования как в большую, так и в меньшую сторону означает отклонение от оптимального мелиоративного режима. Таким образом, величина $Q_{др}$ является одним из важных показателей эффективности принятой схемы дренирования.

Следует, наконец, учесть, что независимо от обусловленной гидрогеологическими условиями неравномерности напорного питания дренажный модуль при освоении отдельных небольших участков будет намного больше среднего по зоне при освоении всей площади. Так, для условий центральной части чуйской впадины получен дренажный модуль для вертикального дренажа при площади дренирования

100 тыс.га	- 0,23 л/с/га; ^{х)}
50 тыс.га	- 0,24
10 тыс.га	- 0,30
5 тыс.га	- 0,35
1 тыс.га	- 0,61 л/с/га.

Все это должно учитываться при составлении схемы дренирования в составе генеральной схемы комплексного использования водных и земельных ресурсов. Сравнение и выбор вариантов должны производиться исходя из расчетного объема дренажного стока, определенного балансовыми расчетами для принятой техники орошения в разрезе гидрогеологических зон и балансовых районов. Для выбранного комплекса мероприятий должны быть составлены прогнозные балансы с тем, чтобы внести соответствующие коррективы, учитывающие его влияние на изменение мелиоративной обстановки. Локальные проекты должны составляться на основе технических решений, принятых в схеме с учетом взаимовлияния гидрогеологических зон, техники орошения и дренажа, или, как сейчас принято говорить, на основе системного подхода. С другой стороны, при обосновании вариантов должны учитываться дополнительные расходы, связанные с реальными

^{х)} Расчеты выполнены ст.инженером В.Л.Мякушко.

ми сроками освоения и постепенным вводом в строй локальных объектов [13].

2.2. Методика определения отдельных членов уравнений 3, 3'а для прогнозирования расчетного дренажного стока

Приток подземных вод с предгорной зоны

$$\Pi' = \Pi'_r + \Pi'_{\text{подр}} + A'_{\text{гр}} + \Phi'_p + \Phi'_{\text{пр}} - Q_{\text{впр}} \quad (26)$$

где

Π'_r — приток с горного обрамления;

$\Pi'_{\text{подр}}$ — подрусловой приток по горным рекам в створе опорных постов;

$A'_{\text{гр}}$ — инфильтрация осадков;

Φ'_p — фильтрация в руслах рек предгорной зоны;

$\Phi'_{\text{пр}}$ — фильтрация в каналах и на полях предгорной зоны;

$Q_{\text{впр}}$ — водозабор подземных вод в предгорной зоне.

Принимая $\Pi'_r = \Pi_r$, $\Pi'_{\text{подр}} = \Pi_{\text{подр}}$, $A'_{\text{гр}} = A_{\text{гр}}$,

можно получить $\Pi' = \Pi_r + \Pi_{\text{подр}} + A_{\text{гр}} + \gamma \Sigma \Phi$, (26а)

где

$$\Sigma \Phi = \Phi_p + \Phi_{\text{пр}};$$

γ — коэффициент изменения фильтрационного питания.

В наиболее общем виде

$$\gamma = \frac{\eta_p}{\eta'_p} \frac{(1 - \eta'_p)}{(1 - \eta_p)} \frac{q'_n F'_n}{q_n F_n}, \quad (27)$$

где

η_p — КПД речной системы (реки + сеть + поле); $\eta_p = \eta_n \cdot \eta$;

η_n — КПД источника орошения; $\eta_n = \frac{Q_r}{Q_n - Q_k} = \frac{Q_r}{Q_r + \Phi_p}$; (28)

Q_r — головной водозабор;

Q_n — расход по опорным гидростатам;

Q_k — концевой расход в руслах рек на границе предгорной зоны с зоной выклинивания;

q_n, F_n — ордината гидро модуля и орошаемая площадь при существующем (исходном) состоянии;

q'_n, F'_n — то же при реконструкции.

В частном, но часто встречающемся случае, когда $Q'_r = Q_r$ (допустим при $q'_n = q_n$, $F'_n = F_n \frac{\eta'}{\eta}$), т.е. если сэкономлен-

ная вода расходуется на орошение в пределах предгорной зоны.

$\eta'_u = \eta_u$, то

$$\gamma = \frac{1 - \eta'}{1 - \eta} . \quad (29)$$

Как уже указывалось выше, имеется в виду, что на существующее (исходное) состояние элементы баланса (в том числе все члены уравнения 26а) определены. Так как обычно Π_r , $\Pi_{подр}$, $A_{гр}$ для предгорной зоны не имеют существенного значения, наиболее важно иметь данные об изменении русловых потерь $\Phi_p = f(Q_p)$. Обычно на основе специальных исследований получают зависимость типа

$$\Phi_p = 0,01 Q_p^{m_p} A_p l_p , \quad (30)$$

где

$$Q_p = Q_n - Q_r ,$$

l_p — длина русла реки от водозабора до границы предгорной зоны;

A_p, m_p — эмпирические параметры, которые для горных рек Киргизии даны в работе [16] .

Очевидно, $\Phi_p \leq Q_p = Q_n - Q_r$. Зная головной водозабор на перспективу, можно Φ'_p определить непосредственно по (30).

Таким образом, определение притока с предгорной зоны не встречает особых трудностей.

Сложнее обстоит дело с определением оттока подземных вод за пределы зоны выклинивания Q' . Величина последнего может существенно измениться за счет развития орошения в самой зоне выклинивания и в зоне транзитного стока и соответствующего подъема уровня грунтовых вод. Как показали расчеты, выполненные для Чуйской впадины, относительные изменения Q' за счет изменения уклонов потока (изменения уровней при большой мощности потока существенно не меняет его пропускной способности) могут доходить до 150–250%. Однако в связи с тем, что поток подземных вод на 80–90% разгружается в зоне выклинивания, абсолютные значения оттока в зону транзита не играют существенной роли в балансе подземных вод, в особенности при значительном расширении орошаемых площадей и соответственном увеличении питания. Поэтому в первом приближении можно принимать $Q' = Q$. Определение B_r , как сле-

дует из уравнения (13), не встречает трудностей как при $Z = Z_0$ так и при $Z' > Z_0$, $\psi' = 1$. При промежуточных случаях задача решается подбором. Вначале определяем B_r при $\psi' = \psi$, т.е. без учета возможного изменения оросительных норм (предполагая сохранение исходного мелиоративного режима). Для полученного значения расчетного дренажного стока D' находим $I'_{гр} = Q' - D'$. Затем за счет учета $\Delta I_{гр} = I_{гр} - I'_{гр}$ уточняем B'_r и Q' на основании (16) и (17). Для подбора можно использовать кривые $Q = f(Z)$. Ход подбора будет ясен из приведенных ниже расчетов. Обычно достаточно одного приближения.

Рассмотрим вопрос определения испарения. При расчете дренажного стока можно исходить из предельно возможной величины ее, определенной по зависимости

$$I_{пр} = I_{ор} + I_{неор} = (K_{\delta} I_{овег} + I_{нев}) \alpha_{ор} + (A + \delta_{гр} I_0) \alpha_{неор} \quad (31)$$

где $I_{ор}, I_{неор}$ — суммарное испарение с орошаемых и неорошаемых земель;
 K_{δ} — средневзвешенный для данного состава культур биологический коэффициент;

$I_{овег}, I_{нев}, I_0$ — испаряемость за вегетационный и невегетационный периоды и за год;

$F_{ор}, F_{неор}, F_{\Sigma}$ — площади орошаемых, неорошаемых земель и валовая.

$$\delta_{гр} = \bar{I}_{гр} \cdot \frac{F_0 - Z_0}{F_{неор}} \quad (31a)$$

При определении $\bar{I}_{гр}$ по формуле С.Ф.Аверьянова

$$\bar{I}_{гр} = \frac{I_{гр}}{I_0} = \left(1 - \frac{Z}{Z_0}\right)^n \quad (32)$$

а по формуле С.И.Харченко

$$\bar{I}_{гр} = \frac{1}{e^{mx}} = \frac{\delta}{e^x} \quad (33)$$

где

Z — средневзвешенная глубина залегания грунтовых вод на площади $F_0 - Z_0$ с $Z \leq Z_0$;

Z_0 — глубина, при которой $I_{гр} = 0$ (критическая глубина);

n — показатель степени, по С.Ф.Аверьянову, равный 1-3 [3];

m — показатель степени, по С.И.Харченко, равный 0,78-1,4 [21];

e — основание натуральных логарифмов.

Значения $\delta_{гр}$ при $n = 1,5$ даны в таблице I.

Таблица I

$\frac{z}{z_0}$	$\frac{F_{0-z_0}}{F_{неор}}$		
	0,50	0,75	1,00
0,00	0,500	0,750	1,000
0,20	0,359	0,540	0,718
0,40	0,232	0,350	0,465
0,60	0,127	0,191	0,254

Так как F_{0-z_0} на перспективу неизвестно, принимаем

$\frac{F_{0-z_0}}{F_{неор}} = 1$, а за z принимаем средневзвешенную глубину грунтовых вод на всей валовой площади, т.е. $\delta_{гр} = \bar{Y}_{гр}$.

Значения $\bar{Y}_{гр}$ по С.И.Харченко при $m = 1$ и по С.Ф.Аверьянову при $z_0 = 4,0$; $n = 3,0$ получаются следующие:

z	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0
$\bar{Y}_{гр}$ по Харченко при $m=1$	0,61	0,37	0,22	0,14	0,08	0,05	0,03	0,018
$\bar{Y}_{гр}$ по Аверьянову при $n=3, z_0=4$	0,66	0,42	0,24	0,125	0,056	0,015	0,002	0,000

Для любых m можно получить зависимость

$$\bar{Y}_{гр m} = \bar{Y}_{гр m=1} \cdot e^{(1-m)z} = \frac{1}{e^z} \cdot \delta \quad (33a)$$

Сравнение зависимостей (32) и (33) в общем виде ($z_0 = 3$) дано на рис.3.

Наши исследования [5] показали также, что применение формулы С.Ф.Аверьянова для определения $Y_{гр}$ при наличии транспирации может быть оправдано лишь при дифференциации параметров n и Y_0 по фазам вегетации. Однако для определения сезонных и годовых размеров при балансовых расчетах может быть получена осредненная величина показателя n . Для Чуйс-

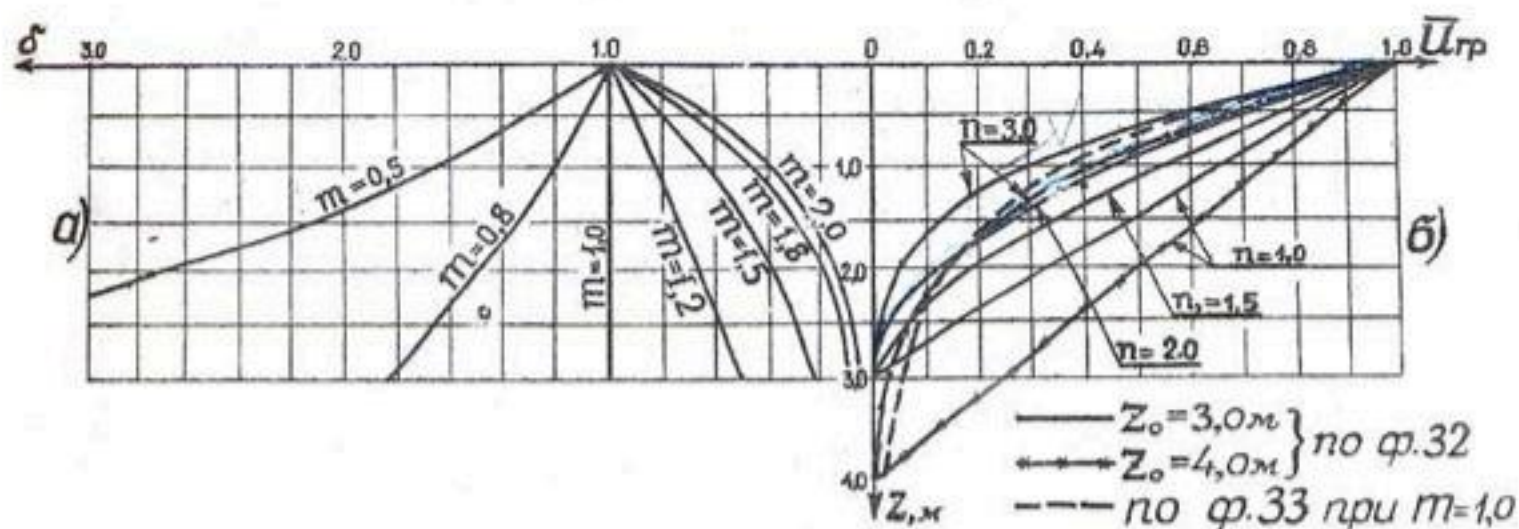


рис 3. а). Зависимость $\delta = e^{(1-m)Z}$ к формуле (33);
 б). Сопоставление зависимостей $\bar{U}_{гр} = f(Z)$
 по формулам (32) и (33).

кой впадины $n = 1,5$. То же самое относится и к формуле С.И.Харченко. Обработка многочисленных материалов исследований в Узбекистане, Таджикистане и в Киргизии показала, что для сезонных и годовых значений $I_{гр}$ для разных культур $m = 0,8-2,5$.

В настоящее время наиболее распространенной является формула С.Ф.Аверьянова (и аналогичного типа).

Зависимость для определения $I_{ор}$ можно выразить в виде

$I_{ор} = \varphi I_0$, где

$$\varphi = \frac{K_{\delta} I_{овер} + I_{онев}}{I_0} \quad (34)$$

при $K_{\delta} = 0,6 - 0,86$; $I_{овер} = 0,85 I_0$; $I_{онев} = 0,15 I_0$;

$$\varphi = 0,66 + 0,87.$$

Из (34) и (31) можно получить

$$I_{пр} = \left[\varphi \alpha_{ор} + \left(\frac{A}{I_0} + \delta_{гр} \right) (1 - \alpha_{ор}) \right] I_0 \quad (34a)$$

При $\varphi = 0,8$; $A: I_0 = 0,35$; $\delta_{гр} = 0,20$

получим

при $\alpha_{ор} = 1,0; 0,8; 0,6; 0,5; 0,4; 0,2; 0,0$.

$\varphi = I_{пр}: I_0 = 0,8; 0,75; 0,70; 0,675; 0,65; 0,60; 0,55$.

Для определения $I_{пр}$ можно использовать зависимость

В.С.Мезенцева [23]

$$I = I_m \left[1 + \left(\frac{I_m}{X} \right)^{n_1} \right]^{\frac{1}{n_1}}, \quad \text{при } n_1 = 3, \quad (35)$$

где I_m — теоретически максимально возможное (исходя из полного использования теплотенергетических ресурсов) испарение, среднее годовое значение которого определяется по формуле

$$I_m = \frac{1,15 R + 8,6}{Z_m}, \quad (36)$$

где

R — измеряемый сетью станций годовой радиационный баланс;

Z_m — скрытая теплота испарения;

X — суммарное увлажнение.

Принимая для орошаемых земель $X = I_m$, получим $I_{пр} = 0,79 I_m$, т.е. $\varphi_{пр} = 0,79$ (по Будыко $\varphi_{пр} = 0,75$).

Для неорошаемых земель $X = A + I_{гр}$, так как $I_{гр} = f(Z)$ при определении дренажного стока со всей валовой площади задача в общем случае решается подбором. При определении дренажного стока с орошаемых площадей, где $I_{ор} = I_{пр}$, возникает затруднение с определением оттока грунтовых вод на неорошаемые земли.

При больших $\alpha_{ор}$ ($> 0,75$) можно в запас расчетов пренебречь им, т.е. подбор параметров дренажа вести на удельный сток с орошаемой площади $\bar{D}_{ор}$.

Остановимся на вопросе определения отдельных компонентов

$I_{гр}$. В первую очередь надо знать величину $I_{гр}$, т.е. испарение грунтовых вод на орошаемых землях в вегетационный период, идущее на покрытие водопотребления (возвратные воды площадного выклинивания) — так называемая субиригация. При наличии данных о динамике распределения площадей по глубинам залегания грунтовых вод во времени $F(Z, t)$ на орошаемых и неорошаемых землях эта задача для настоящего момента решается на основе зависимости $I_{гр} = f(Z)$. Для прогнозных балансовых расчетов, когда $F(Z, t)$ неизвестно, можно приближенно принять

$$I_{гр1} = I_{гр} \left(1 - \frac{I_{гр2}}{I_{гр}} - \frac{I_{гр3}}{I_{гр}} \right) = I_{гр} \left(1 - \frac{I_{гр2} + I_{гр3нев} - I_{гр2ег}}{I_{гр}} \right). \quad (37)$$

Здесь $I_{гр2} + I_{гр3нев} = I_{грнев}$ — испарение грунтовых вод за невегетационный период со всей площади.

$$\text{Принимая } \beta_1 = \frac{I_{\text{гр не в}}}{I_{\text{гр}}} = \frac{I_{0 \text{ не в}}}{I_0} \left(\frac{1 - \bar{z}_{\text{не в}}}{1 - \bar{z}_{\text{год}}} \right)^n \approx \frac{I_{0 \text{ не в}}}{I_0}, \quad (38)$$

$$\text{получим } \beta_2 = \frac{I_{\text{грз вег}}}{I_{\text{гр}}} = [(1 - \beta_1)(1 - \alpha_{\text{ор}})] \beta_3; \quad (39)$$

$$I_{\text{гр1}} = (1 - \beta_1 - \beta_2) I_{\text{гр}} = \beta I_{\text{гр}}. \quad (40)$$

В уравнении (38) принято, что испарение грунтовых вод за невегетационный период пропорционально испаряемости за этот период. Это оправдывается тем, что в невегетационный период идет капиллярное подпитывание зоны аэрации, что компенсирует процесс собственно испарения, в особенности, на неорошаемых землях, которые более иссушены, чем орошаемые.

В вышеуказанных уравнениях коэффициенты β_1 , β_2 , β дают соответственно испарения грунтовых вод:

- за невегетационный период с орошаемых и неорошаемых земель;
- за вегетационный с неорошаемых земель;
- за вегетационный с орошаемых в долях от общего испарения грунтовых вод за год ($I_{\text{гр}}$).

Отметим, что, если $A_{\text{не в}} > I_{0 \text{ не в}}$, можно было бы считать $I_{\text{гр не в}} = 0$, т.е. $I_{\text{не в}} = A_{\text{не в}}$, не учитывая указанный процесс капиллярного насыщения зоны аэрации и то обстоятельство, что при близких грунтовых водах часть $A_{\text{не в}}$ может идти в дренажный и поверхностный сток. В то же время из указанных обстоятельств вытекает, что величиной $\Delta I_{\text{гр2}} = I_{\text{гр2}} - I'_{\text{гр2}}$ можно, как правило, пренебречь.

В уравнении (39) коэффициент β_3 равен отношению испарения с неорошаемых земель за вегетационный период к таковому с орошаемых. Величина его зависит от уровня грунтовых вод на неорошаемых землях (что, в свою очередь, зависит от распределения их на массиве, величины $\alpha_{\text{ор}}$, от степени дренированности и т.д.), степени распространения различных видов дикой растительности на них и т.д. Для перспективных расчетов ($\alpha_{\text{ор}} \approx 0,5$) в условиях межгорных впадин нами принято $\beta_3 = 0,5$.

Для дельтовой зоны β_3 может быть намного больше и даже больше 1.

Построение кривых $Q = D + I_{гр} = f(z)$ и их использование.

Как уже указывалось, для определения $I_{гр}$ удобно использовать формулу (32). Величину дренажного стока можно принять

$$D = A_d (h_{др} - z_d), \quad (41)$$

т.е. прямо пропорциональной действующему напору $(h_{др} - z_d)$, где $h_{др}$ — глубина дрен; z_d — принятая допустимая глубина грунтовых вод по середине междуренья.

Более правильно принять

$$D = A_d (h_d - z_d - h_0 + \Delta H), \quad (41a)$$

где

h_0 — глубина воды в дрене;

ΔH — превышение пьезометрического уровня напорных вод над уровнем грунтовых вод.

Что касается $I_{гр}$, то при его определении надо учесть наличие депрессионной поверхности в междуренье, с одной стороны, и то обстоятельство, что наибольшее расходование грунтовых вод имеет место в вегетационный период на транспирацию растительности, с другой стороны. Поэтому при глубине грунтовых вод в середине междуренья z_d для определения $I_{гр}$ надо принять

$$z_p = z_d + \left(\frac{1}{3} \div \frac{1}{4}\right) (h_{др} - z_d) - \alpha b, \quad (42)$$

где b — мощность корнеобитаемой зоны;

α — коэффициент, равный 0,35–0,60 для конечных; 0,2–0,4 — для начальных фаз вегетации. В среднем можно принять $\alpha = 0,5$.

Такая кривая при $z_p = z_d + \frac{1}{4} (h_{др} - z_d) + 0,5b$ для $b = 0,8$ построена на рис. I. Как видно, при $z > 1,5$ разница не столь существенна.

Очевидно, и z_0 должно приниматься переменной по зависимости $z_0 = H_k + b$, где H_k — предельная высота капиллярного поднятия. Поэтому, учитывая изменчивость параметров I_0 и n , напорности, распределения площадей по глубинам грунтовых вод на орошаемых и неорошаемых землях во времени и в пространстве для региональных расчетов нет смысла вносить эти уточнения. Ясно, что кривые $Q(z)$ дадут только приближенное

представление о порядке изменения средневзвешенной глубины залегания грунтовых вод при изменении их суммарного питания. Что касается параметра A_d , то его можно определить на основании любой формулы для определения притока воды в дренаж [6]

При пользовании формулой А.Н.Костякова

$$A_d = \frac{\pi k l_{др}}{l_n \bar{z}_{др} - 1} \frac{m^2}{га \cdot сутки}, \quad (43)$$

где $l_{др} = \frac{10000}{\bar{z}_{др}}$; $l_{др}$ — расстояние между дренажами;
 $\bar{z}_{др} = \frac{l_{др}}{z}$ k — коэффициент фильтрации, м/сутки;
 z — радиус дрены.

При $k = 0,5$ м/сутки и $l_{др} = 30$ м/га $A_d = 8,5 \frac{м^2}{га}$ за сутки. Для региональных расчетов удобнее A_d определять в $м^2/с$ за год со всей площади F , для чего в формулу (43) надо ввести множитель $\frac{F}{86400}$.

Зная для существующих условий дренажный сток, средневзвешенные значения $h_{др}$ и z , можно определить

$$A_d = \frac{Q}{h_{др} - z} \frac{м^2}{с} \text{ с площади } F \text{ га.} \quad (44)$$

Обратим внимание, что при $h_{др} = z_0$ и $\Pi = I$ изменение дренажного стока и испарения грунтовых вод прямо пропорциональны величине Q . Более удобно для прогнозных балансовых расчетов непосредственное применение уравнения (3) для определения дренажного стока с последующим определением $I'_{гр} = Q' - D'$ по (25) и проверкой полученного значения $I'_{гр}$ (по 3'а).

Для полученного $I'_{гр}$ можно из зависимости (32) или (33) получить соответствующее значение средневзвешенной глубины залегания грунтовых вод на перспективу z' .

$$\bar{z} = (1 - \bar{I}_{гр})^{\frac{1}{n}} \quad \text{или} \quad (32')$$

$$z = \frac{l_n I_0 - l_n I_{гр}}{m}; \quad (33')$$

$$\text{при } m=1 \quad z = l_n \frac{I_0}{I_{гр}} = l_n \frac{1}{\bar{I}_{гр}}, \quad (33'a)$$

где $\bar{I}_{гр} = \frac{I_{гр}}{I_0}$; l_n — символ натурального логарифма.
 Подставив в (44), получим

$$A_d = \frac{D}{h_{др} - \left(1 - \frac{Q-D}{I_0}\right)^{\frac{1}{n}}} \quad (44')$$

или

$$A_d = \frac{D}{h_{др} - \ell_n I_0 / (Q-D)} \quad (44'a)$$

Отсюда следует, что, определив расчетный дренажный сток на перспективу, можно получить параметр A_d и по формуле (43) найти необходимую густоту дренажной сети $\ell_{др}$.

Очевидно, каждому значению A_d соответствуют свои кривые $D, Q = f(Z)$ (рис. I). Построив на одном графике серию таких кривых для нескольких значений A_d , можно облегчить подбор расчетных значений D , $I_{гр}$ и Z . В первом приближении можно считать, что при заданной интенсивности дренирования

D и $I_{гр}$ меняются пропорционально изменению Q . Величину Z' можно проверить и по зависимости $Z' = Z + \Delta Z$,

$$\Delta Z = \frac{(Q_t - Q_c) \cdot 31,56 \cdot 10^6}{\mu_c F_v} \quad (45)$$

где Q_t, Q_c — сум. арное питание подземных вод на рассматриваемый этап и современное (исходное) состояние, m^3/c ;

F_v — валовая площадь;

μ_c — свободная пористость.

Как видим, несмотря на кажущуюся простоту исходных уравнений для определения дренажного стока, применение их затруднено необходимостью учета изменения $I_{гр}$ и Z под влиянием проектируемых мероприятий. Приведенные на рис. 4 — 9 графики и номограммы облегчают решение этой задачи.

Надо также подчеркнуть, что полученный по этим уравнениям дренажный сток включает и естественное выклинивание в карасу и русла рек. В частности, в зоне транзита он включает выклинивание в главную дренирующую артерию (в данном случае в р. Чу). Очевидно, при определении параметров искусственного дренажа надо это учитывать и в максимальной степени учесть естественные дренажи.

3. Выбор мелиоративного режима

3.1. Типы и параметры мелиоративных режимов

В широком смысле слова под мелиоративным режимом подра-

Расч. велич.	$z=0,34$	$z=0,540$		$z=0,857$	
		α	β	α	β
$(\Pi-O), \text{ м}^3/\text{га}$	16,88	9,11	6,01	7,17	-0,37
$\Pi-O, \text{ м}^3/\text{га}$	3400	1840	1210	1450	-75
$[B_n], \text{ м}^3/\text{га}$	5360				
C	-200	-2870	-3500	-3740	-4780

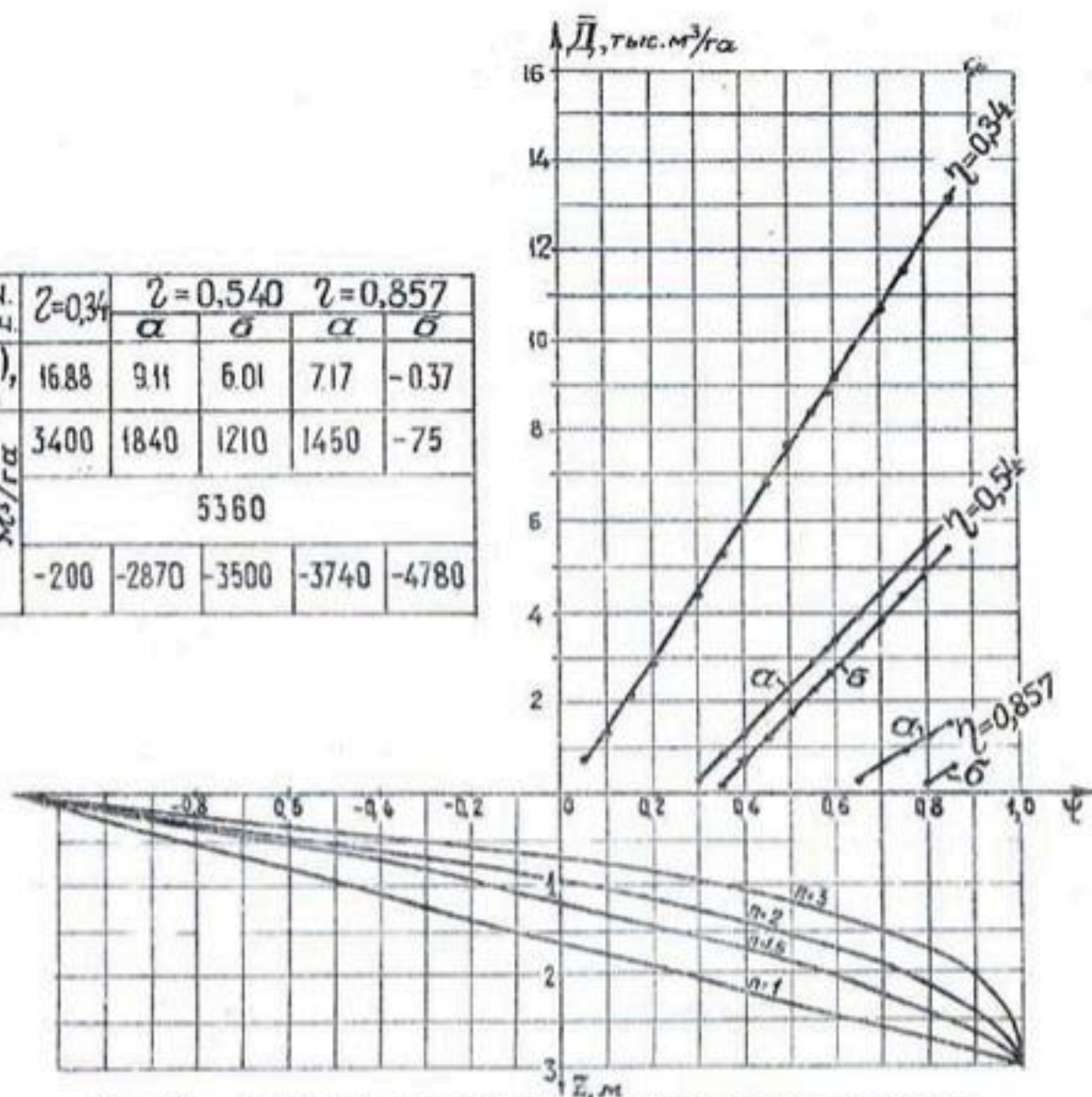


Рис. 4. $D=f(z, \psi)$ и $\psi=f(z)$ на различных этапах развития орошения для условий центральной части зоны выклинивания Чусовской впадины (левый берег) $D_n = C + [B_n] \psi / z$

зумеваются изменение водного, воздушного, солевого, пищевого, теплового и газового режимов почвы и приземного слоя воздуха в течение вегетации. Критерием оптимальности создаваемого мелиоративного режима является получение максимально возможной продукции высокого качества при минимально возможных затратах воды, труда и средств на единицу продукции.

В более узком смысле под мелиоративным режимом подразумевается изменение водно-воздушного и солевого режимов почвы. При проектировании дренажа исходят из более узкого понимания. При этом принимается, что на фоне определенного комплекса режима и техники орошения, агротехнических, лесотехнических и

эксплуатационных мер должен быть создан режим колебания уровня грунтовых вод, обеспечивающий оптимальные водно-воздушный и солевой режимы и характер почвообразовательного процесса от автоморфного (сероземного) до гидроморфного (лугового).

Придерживаясь данной общепринятой терминологии (несмотря на некоторую ее условность), можно рекомендовать следующие параметры мелиоративных режимов (табл. 2, 2а)

В таблице 2 принято:

$$z_0 = H_k + \delta, \quad (46)$$

где H_k — расчетная высота капиллярного поднятия почво-грунтов зоны аэрации. По физическому смыслу z_0 — глубина, при которой практически прекращается подпитывание активного слоя грунтовыми водами и участие последних в обеспечении во-

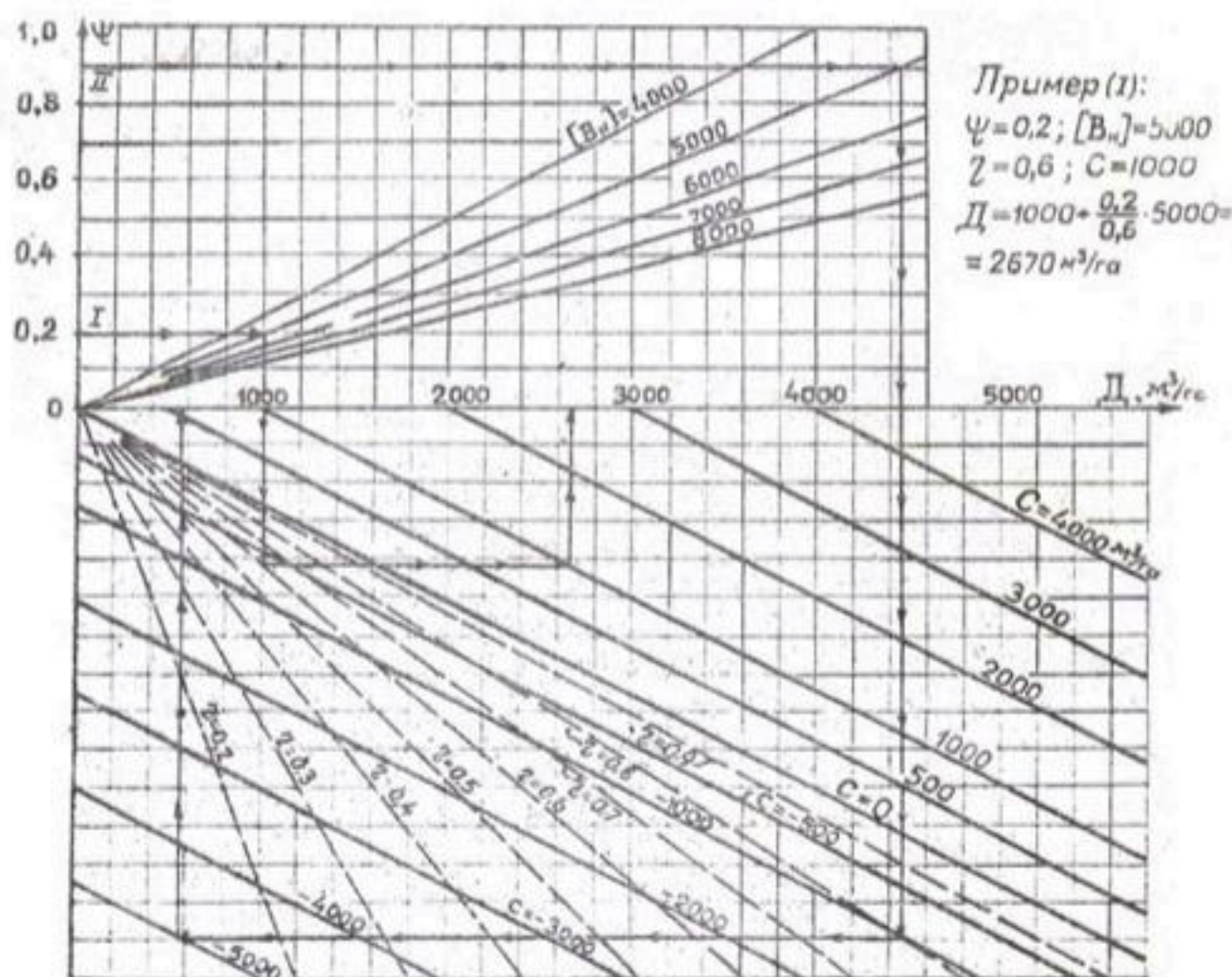


рис. 5. Номограмма функции $D = C + [B_n] \frac{\psi}{z}$;

Таблица 2

Параметры, характеризующие основные типы мелиоративных режимов в зоне пресных грунтовых вод

Параметры	Мелиоративные режимы			
	Авто- морф- ный	Полуавто- морфный	Полугид- роморф- ный	Гидроморф- ный
Относительная глубина грун- товых вод $\bar{z} = \frac{z}{z_0}$	$\geq 1,0$	$1,0 - 0,7$	$0,7 - 0,5$	$0,5 - 0,25$
Отношение испарения грун- товых вод к испаряемости $\bar{y}_{гр} = \frac{I_{гр}}{I_0}$	0	$0,05 - 0,15$	$0,20 - 0,35$	$0,45 - 0,60$
Доля грунтовых вод в норме водопотребления $\varphi_1 = \frac{I_{гр}}{B}$	0	$0,07 - 0,20$	$0,27 - 0,47$	$0,60 - 0,80$
Отношение испарения грун- товых вод к стандартной (при $z \geq z_0$) ороси- тельной норме $\varphi_2 = \frac{I_{гр}}{[M_n]} = \frac{I_{гр}}{B - \mu A}$	0	$0,10 - 0,30$	$0,40 - 0,70$	$0,90 - 1,20$
Отношение годового удель- ного дренажного стока к стандартной оросительной норме $\frac{\bar{D}}{[M_n]}$	$\geq 1,5$	$1,3 - 0,9$	$0,7 - 0,20$	$0,15 - 0,05$

допотребления и почвообразовательном процессе активного слоя почвы. Обычно $z_0 = 3-4$ м, для Чуйской впадины — $z_0 = 3,0$ м. В некоторых источниках для отдельных культур приводятся значения $z_0 = 4-6$ м.

2. При определении $I_{гр}^0$ использована формула (32) при $n = 1,5-2,0$ и средней за вегетацию глубине залегания грунтовых вод с учетом изменения мощности активного слоя. По графику (рис. 3) можно определить $\bar{y}_{гр}$ при других значениях n , а также по формуле (33).

$$\psi_1 = \frac{\bar{Y}_{гр}}{K_{\delta}} ; \quad (47)$$

K_{δ} принято 0,75.

$$4. \quad \psi_2 = \frac{\bar{Y}_{гр}}{K_{\delta} - \frac{\mu A}{\bar{Y}_{over}}} = 1 - \psi \quad (48)$$

Для условий Чуйской впадины

$$\frac{\mu A}{\bar{Y}_{over}} \approx 0,25, \quad \psi_2 \approx 2 \bar{Y}_{гр} .$$

5. В общем случае можно получить

$$\frac{\bar{D}_{ор}}{[M_H]} = \frac{P-Q}{[B_H]} + \frac{A_{гр}}{[M_H]} - \left(1 - \frac{\psi}{\eta}\right) - \frac{Y_{гр2}}{[M_H]} . \quad (49)$$

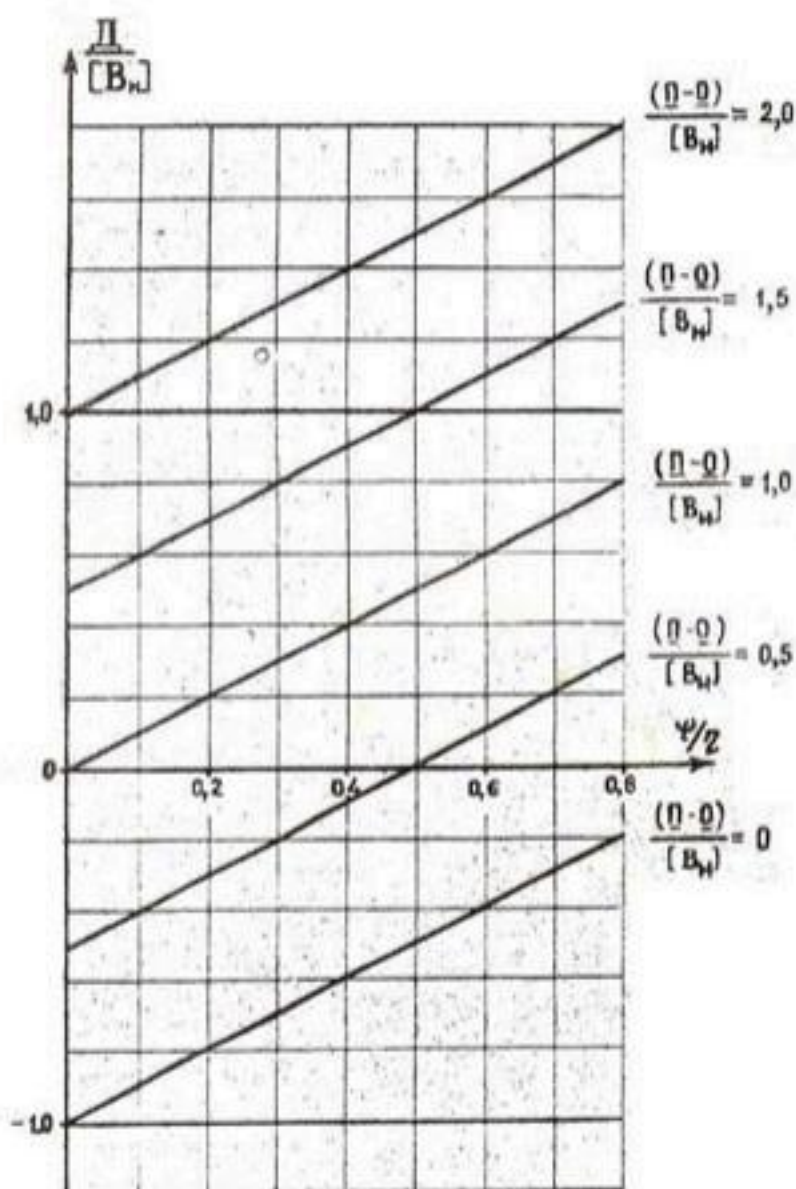


рис. 6. График зависимости

$$\frac{P}{[B_H]} = \frac{P-Q}{[B_H]} - \frac{\psi}{\eta} - 1$$

В таблице принято $\frac{0-0}{[M_n]} = 0,5; \quad \eta = 0,5; \quad \frac{A_{гр} - I_{гр}}{[M_n]} = 0.$
 Для гидроморфного режима $\eta = 0,4; \quad \frac{A_{гр} - I_{гр}}{[M_n]} \approx 0,10.$

Таблица 2а

Параметры мелиоративных режимов для засоленных почв и минерализованных грунтовых вод *

Параметры	Авто- морф- ный	Полуагро- морфный	Полугидро- морфный	Гидроморфный
Относительная глубина залегания грунтовых вод $\bar{Z}$	$\geq 1,0$	$1,0 \div 0,8$	$0,8 \div 0,6$	$0,6 \div 0,5$
Относительное испарение $I^0 = \frac{I}{M_5 + A}$	$> 0,90$	$0,83 \div 0,77$	$0,77 \div 0,72$	$0,72 \div 0,67$
Относительный дренажный сток $D^0 = \frac{\bar{D}}{M_5 + A}$	$< 0,15$	$0,15 \div 0,30$	$0,30 \div 0,50$	$> 0,50$
Отношение дренажного стока к стандартной оросительной норме нетто $\frac{\bar{D}_{ор}}{[M_n]}$				
при $\eta = 0,5$	1,10	1,15	1,20	1,30
при $\eta = 0,8$	0,27	0,29	0,30	0,32

* В таблице 2а значения I^0 и D^0 взяты по рекомендациям САНИИРИ.

Выражение для I^0 можно представить в виде

$$I^0 = 1 - \frac{S_n + \Phi_{пр}}{M_5 + A}, \quad (50)$$

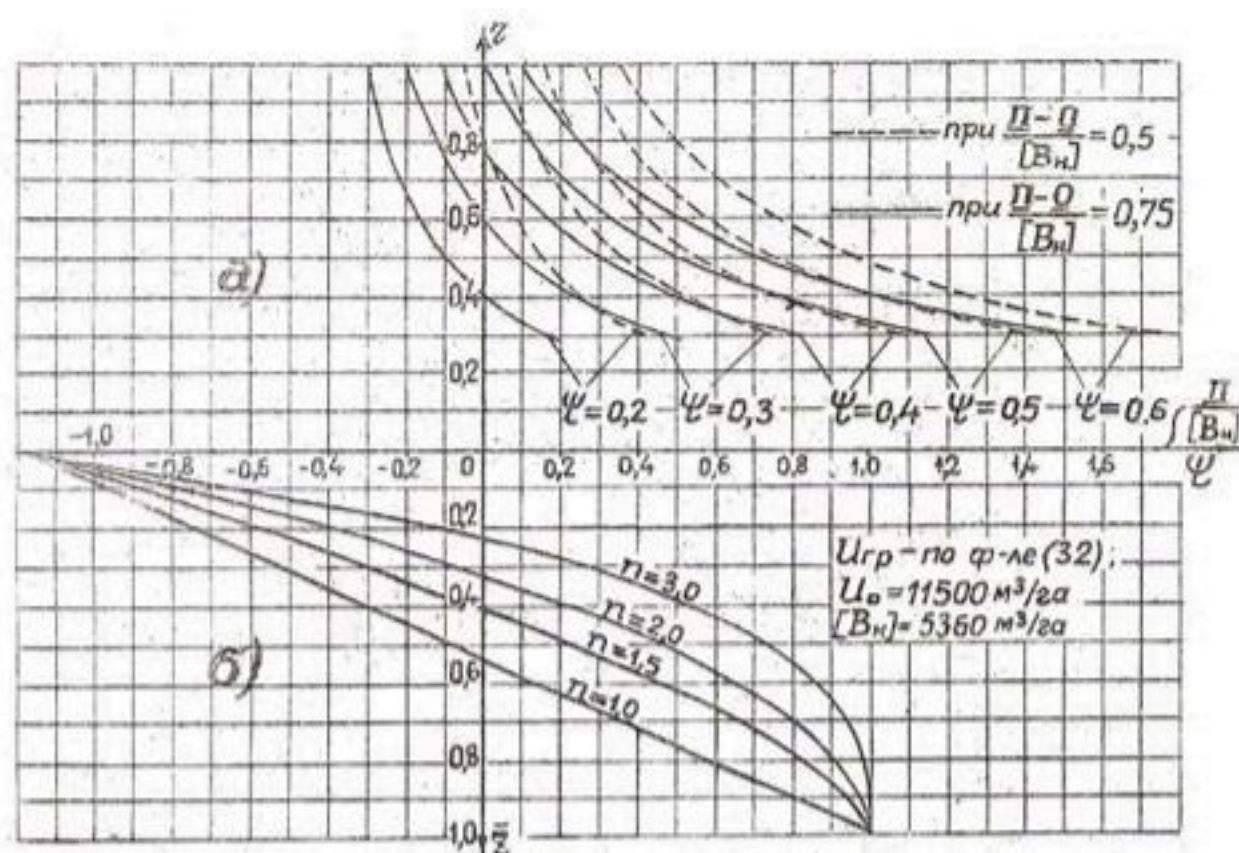


Рис. 7. Зависимости а) $\frac{D}{[M_n]} = f(z; \psi; \frac{\Pi - Q}{[B_n]})$ и б) $\psi = f(\bar{z})$

где S_n — потери воды на полях во время поливов;
 $\Phi_{пр}$ — объем воды, подаваемый на поле для поддержания промывного режима.

При промывном режиме орошения вместо (49) можно получить

$$\frac{\bar{D}_{ор}}{[M_n]} = \frac{\Pi - Q}{[M_n]} + \frac{A_{гр}}{[M_n]} + \left(\frac{1 - \eta}{\eta} \right) \left(1 + \frac{\Phi_{пр}}{[M_n]} \right) \quad (51)$$

Табличные значения даны для условий, когда первые два члена уравнения 51 равны нулю.

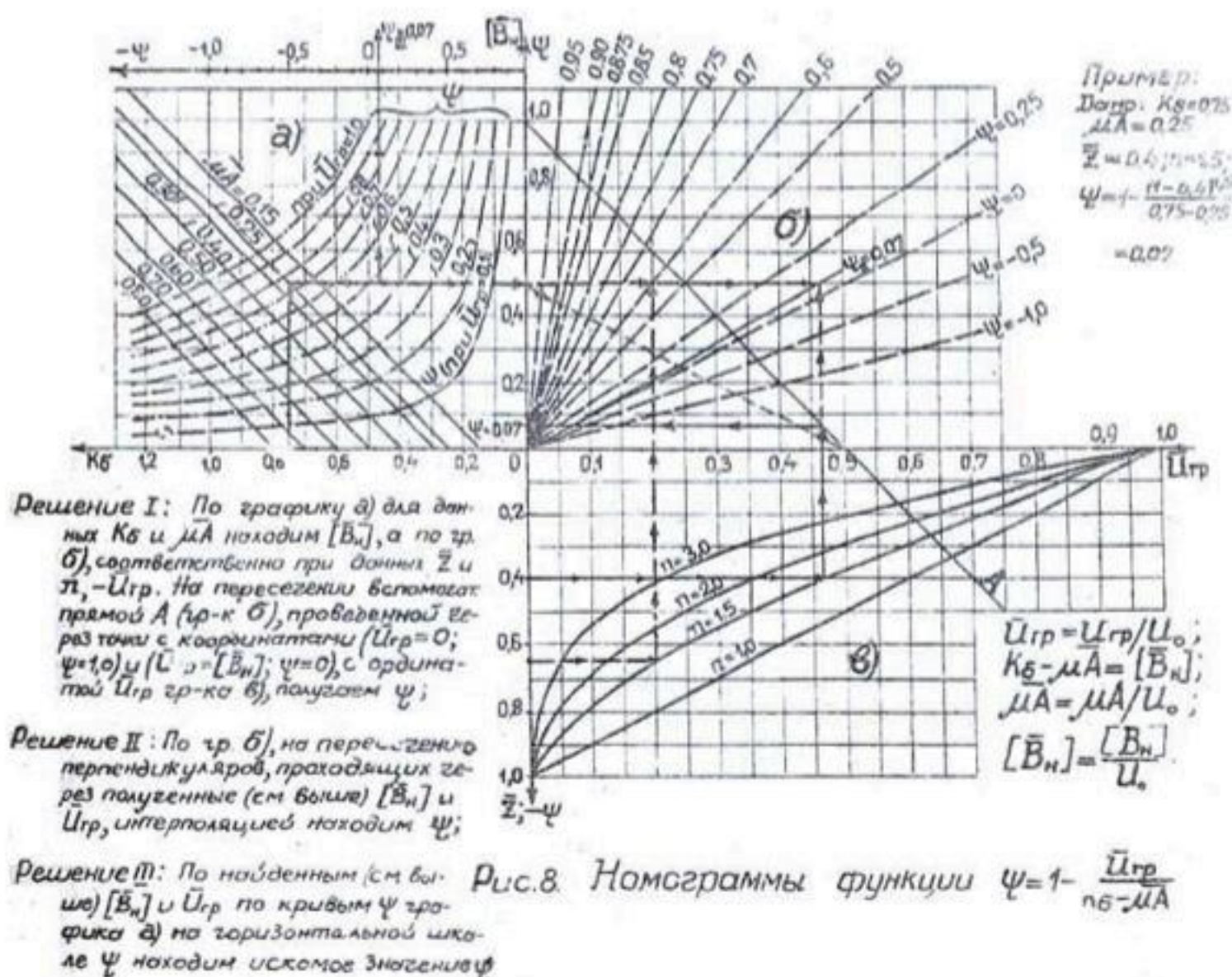
Как видно из таблиц 2, 2а при пресных грунтовых водах переход от автоморфного к гидроморфному режиму приводит к уменьшению дренажного стока, а при минерализованных наоборот. Это связано с тем, что в первом случае увеличивается использование грунтовых вод на орошение, а во втором — объем промывных вод для подавления восходящих токов.

Отсюда следует влияние схемы рассоления [14] на параметры мелиоративных режимов. Таблица 2а соответствует наиболее распро-

страненному в настоящее время случаю, когда промывкой обеспечивается рассоление только верхнего слоя почвы за счет осаливания солей при последующем поддержании минерализованных грунтовых вод на заданных глубинах и промывного режима вегетационных поливов (часто в сочетании с невегетационными — профилактическими поливами).

При коренном рассолении (с опреснением всей засоленной толщи почво-грунтов и грунтовых вод и выносом солей за пределы орошаемой территории) можно в вегетационный период обеспечить использование грунтовых вод на орошение, руководствуясь параметрами табл.2.

В промежуточном случае, когда промывками достигнуто рассоление 3 — метровой толщи и создана мощная $\approx 3-5$ м линза пресных грунтовых вод, также создается возможность исполь-



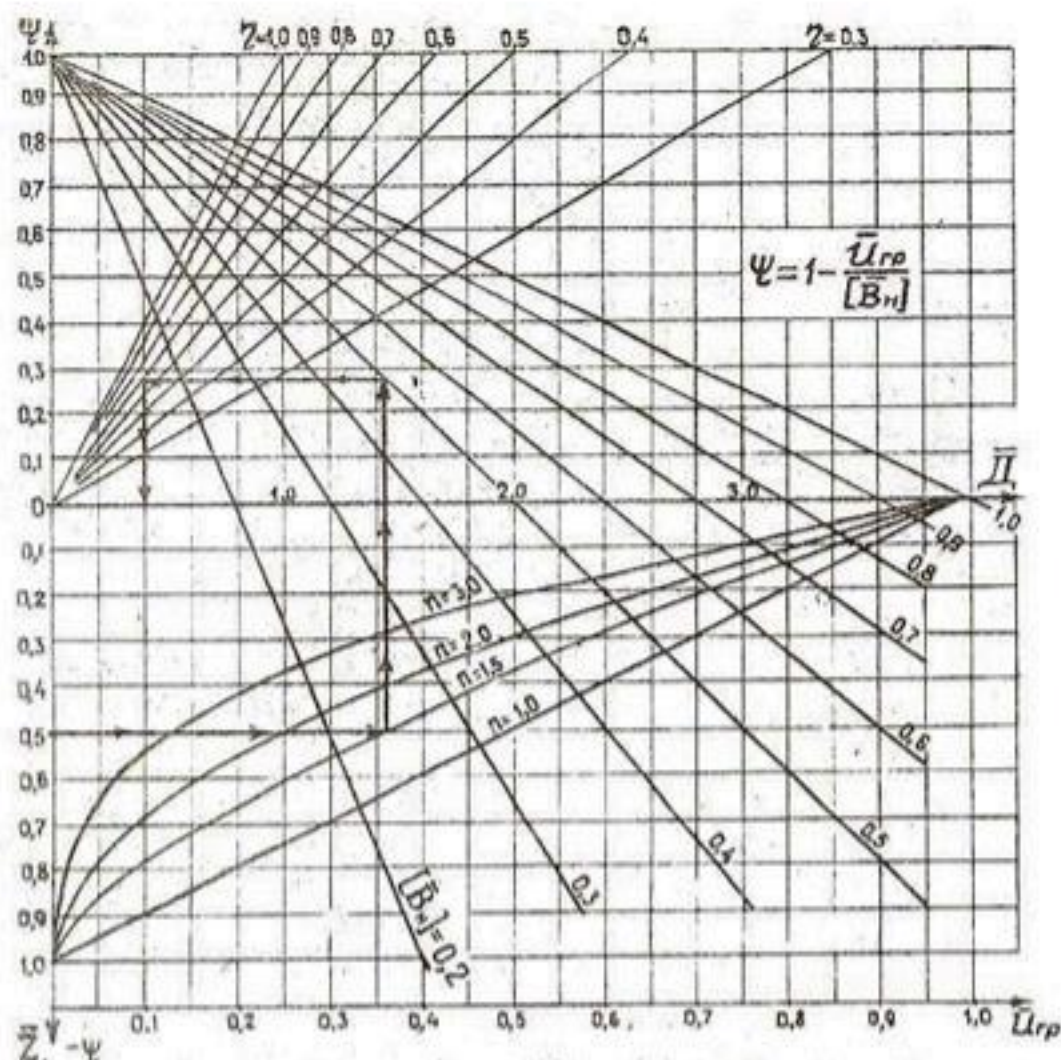


рис. 9. Номограмма $\bar{D} = \frac{D}{[B_n]} = \frac{C}{[B_n]} + \frac{\psi}{z}$ при $\frac{C}{[B_n]} = 0$

Пример: $\bar{z} = 0,5$; $n = 1,5$; $[B_n] = 0,5$; $z = 0,7$; $\psi = 1 - \frac{(1-0,5)^{1,5}}{0,5} = 0,29$
 $\bar{D} = \frac{0,29}{0,7} = 0,41$

зования последних в течение вегетации. При этом в невегетационный период потребуется пополнение в соответствующем объеме пресных грунтовых вод с помощью профилактических поливов (при норме $\geq I_{гр}$), т.е. годовая оросительная норма будет равна $[M_n]$, но параметры дренажного стока будут определяться по табл. 2.

Все это должно учитываться и при экономической оценке как самих схем рассоления, так и мелиоративных режимов.

3.2. Выбор и обоснование мелиоративного режима

Выбор мелиоративного режима производится, исходя из анализа:

- мелиоративных и гидрогеологических условий (режимов уровней и минерализации грунтовых и напорных вод, типа и степени засоления верхнего слоя почво-грунтов и всего профиля, характера литологических разрезов, степени естественной дренированности, фильтрационных и капиллярных свойств покровного слоя и нижних горизонтов и т.д.);
- технико-экономических показателей различных вариантов мелиоративных комплексов (техники орошения, дренажа, агролесомелиоративных и эксплуатационных мер), обеспечивающих данный мелиоративный режим;
- региональных прогнозных водных и солевых балансов (в разрезе гидрогеологических зон и балансовых районов), учитывающих влияние проектируемых водохозяйственных мероприятий (внедрение новой техники орошения и дренажа, регулирования стока, кольцевание рек, расширение орошаемых площадей, развитие водоснабжения, использование подземных вод и т.д.) на изменение мелиоративной обстановки в целом и режима уровней и минерализации грунтовых вод в частности.

Как видно, обоснование мелиоративного режима требует сложных многовариантных мелиоративных и экономических расчетов. Применительно к содержанию данной работы рассмотрим две задачи:

- 1) установление связи между расчетным дренажным стоком и типом мелиоративного режима при пресных грунтовых водах и различных КИД системы, отражающих технику орошения и уровень освоения;
- 2) обоснование параметров дренажа с точки зрения обеспечения наибольшей равномерности мелиоративного режима в пределах междуренья (площади влияния скважин).

Первая задача связана с обоснованием мелиоративного режима в региональном, а вторая в локальном плане. Для решения первой задачи напомним уравнение (2) так:

$$D = \underline{P} - \underline{Q} + [B_n] \psi \cdot \frac{1-\eta}{\eta} + A_{гр} - I_{гр} \quad (52)$$

Рассмотрим пределы колебаний $\underline{D}$, $I_{гр}$, B_r при заданном $[B_n] = [M_n] \cdot F_n$ в зависимости от η и ψ (табл.3). Для простоты примем везде $A_{гр} = 0$.

Пределы изменения дренажного стока ($\underline{D}$), использования грунтовых вод на водопотребление ($I_{гр}$) и головного водозабора (B_r) в зависимости от КПД системы (η) и типа мелиоративного режима даны в таблице 3.

Как видно из таблицы, при автоморфном режиме ($I_{гр} = 0$) водоподача нетто $B_n = B - \mu A = [B_n]$ и все поступления подземных вод отводятся дренажом (вертикальным или глубоким горизонтальным). Чем меньше КПД, тем больше водозабор и объем откачек подземных (в том числе возвратных) вод, которые могут быть использованы на орошение (с учетом их минерализации) на данной или нижележащей территории. С одной стороны, этот вариант позволяет нам быть полновластным хозяином водных ресурсов. С другой стороны, он требует высоких капиталовложений на технику орошения (транспортировка воды и полива) при $\eta \rightarrow 1$ или на дренаж при $\eta \ll 1$.

При определении капитальных затрат надо учитывать, что возрастание водозабора при уменьшении η приводит к увеличению габаритов каналов и сооружений. При гидроморфном режиме водоподача нетто $B_n = [B_n] - I_{гр}$.

По мере уменьшения КПД возрастает роль возвратных вод ($I_{гр}$). В рассматриваемом предельном случае (при $\underline{D} = 0$), принимая для осредненных условий зоны выщелачивания $\psi_1 = \frac{\underline{P} - \underline{Q}}{[B_n]} = 0,5$, получим, что при КПД=1 за счет грунтовых (в том числе возвратных) вод обеспечивается 50%, при КПД = 0,5 - 75%, а при КПД = 0,25 - 87,5% от $[B_n]$.

Головной водозабор в нашем примере остается постоянным, равным $0,5 [B_n]$, т.е. в два раза меньше, чем при автоморфном режиме. Поэтому некоторые считают, что при гидроморфном мелиоративном режиме непосредственное использование грунтовых вод за счет субиригации создает экономия воды. Однако приведенные расчеты показывают, что это не так, ибо одновре-

Таблица 3

Пределы изменения дренажного стока (D), использования грунтовых вод на водопотребление ($I_{гр}$) и головного водозабора ($B_{г}$) в зависимости от КЦД системы (η) и типа мелiorативного режима

Значения КЦД системы	Гидроморфные режимы	
	Автоморфный режим	$z < z_0$, $D = 0$
1. $\eta = 1$	$z \geq z_0$, $I_{гр} = 0$ $\psi = 1$, $B_{г} = [B_{н}]$	$I_{гр} = (\Pi - Q)$; $\psi = 1 - \frac{\Pi - Q}{[B_{н}]} = \psi_1$; $\frac{\Pi - Q}{[B_{н}]} = 1 - \psi_1$; $B_{н} = [B_{н}] \psi_1$; при $\psi_1 = 0.5$ $B_{н} = 0.5 [B_{н}]$; $B_{г} = [B_{н}] \psi_1 = B_{г1}$; $\bar{z} = 0.62$; $z \approx 1.86$.
2. $\eta = 0.5$	$D = (\Pi - Q) + [B_{н}] = 1.5 [B_{н}]$; $B_{г} = 2 [B_{н}]$.	$I_{гр} = (\Pi - Q) + [B_{н}] \psi_2$; $\psi_2 = 1 - \frac{(\Pi - Q) + [B_{н}] \psi_2}{[B_{н}]} = \frac{\psi_2}{2}$; $B_{н} = [B_{н}] \frac{\psi_1}{2}$; при $\psi_1 = 0.5$ $B_{н} = 0.25 [B_{н}]$; $B_{г} = [B_{н}] \psi_1 = B_{г1}$; $\bar{z} = 0.51$; $z = 1.53$.
3. $\eta = 0.25$	$D = (\Pi - Q) + 3 [B_{н}] = 3.5 [B_{н}]$; $B_{г} = 4 [B_{н}]$	$I_{гр} = (\Pi - Q) + 3 [B_{н}] \psi_3$; $B_{н} = [B_{н}] \psi_3$; $\psi_3 = 1 - \frac{(\Pi - Q) + 3 [B_{н}] \psi_3}{[B_{н}]} = \frac{\psi_3}{4}$; при $\psi_1 = 0.5$ $\psi_3 = 0.125$ $B_{н} = 0.125 [B_{н}]$; $B_{г} = [B_{н}] \psi_1 = B_{г1}$; $\bar{z} = 0.46$; $z = 1.38$

менно с увеличением B_r происходит увеличение D (за счет уменьшения I_{gr}), который может быть использован ниже (или на этой же территории через водозаборы подземных вод, играющие одновременно роль вертикального дренажа). Это подтверждается тем, что во всех вариантах (табл.3) и при гидроморфном режиме $B_n + I_{gr} = [B_n]$, т.е. экономии воды по сравнению с автоморфным режимом не получается даже при отсутствии бесполезного испарения грунтовых вод с орошаемых земель в не-вегетационный период, а с неорошаемых весь год. Между тем, как показано в работах [10, 11] и приведенных ниже расчетах, величина последнего составляет 20-40% B_n (в зависимости от α_{op}) или около 10-20% от головного водозабора, даже без учета влияния влаголюбивой растительности. Такого же порядка получается уменьшение потерь при поливе, если даже принять, что КПД техники полива при субиригации равен единице, а при поверхностном поливе — 0,85.

Надо также учесть, что при малых Z на неорошаемых землях может быть распространена влаголюбивая растительность [12 и др.], а на орошаемых землях — непроизводительное испарение в течение вегетации и уменьшение коэффициента использования осадков. Таким образом, в региональном плане в лучшем случае речь идет не об экономии воды, а о различных вариантах распределения поступлений подземных вод на субиригацию и дренажный сток, всесторонней оценке преимуществ и недостатков субиригации как способа полива и обоснованном выборе оптимального КПД системы. С этой точки зрения надо подчеркнуть выявленное исследованиями на Каиндинском участке в 1971-74 гг. [19] резкое повышение урожайности при субиригации (с искусственным регулированием уровня грунтовых вод путем перекрытия дрен), например, для сахарной свеклы, до 474 ц/га, а с применением освежительных поливов — до 575 ц/га против 307 ц/га при обычных способах полива. Отмечено также повышение сахаристости до 14,8-15% против 13%. Интересно, что суммарное водопотребление при этом было практически одинаково (колебание в пределах 4-5%).

В то же время при оценке эффективности субиригации надо

учитывать, что и при слабой минерализации грунтовых вод в результате длительного их использования могут проявиться процессы засоления и осолонцевания. При щелочных грунтовых водах в ряде работ рекомендуется резкое увеличение Z_d , т.е. уменьшение субиригации. Нам представляется, что применение гипсования может устранить опасность солонцевания. Очевидно, это потребует дополнительных затрат. При субиригации трудно также получить равномерное увлажнение междуренья, в особенности, при большой длине дрен и расстоянии между ними и неравномерности напорного питания. Так, по нашим наблюдениям [II] на 7-й день после перекрытия дрен на Каиндинском участке в конце марта 1966 г. (при незначительном испарении) на площади 42 га $Z = 0,5-1,0$ м; на площади 22 га $Z = 1,0-1,5$ м.

Правда, явление гидротропизма корней растений уменьшает влияние неравномерности глубины залегания грунтовых вод. Все эти обстоятельства надо учитывать при назначении и экономическом обосновании расчетных размеров дренажного стока и субиригации, а следовательно, при выборе мелиоративного режима и типа дренажа на перспективу.

Для облегчения расчетов по выбору оптимального решения можно на основе уравнений 3, 2 и 49 построить графики.

Для этого напишем их в виде

$$D = \underline{P} - \underline{Q} + \frac{[B_n](\psi)}{2} + A - И; \quad (53)$$

$$\frac{D}{[B_n]} = \frac{\underline{P} - \underline{Q}}{[B_n]} - \left(1 - \frac{\psi}{2}\right). \quad (54)$$

Уравнение (54) получается на основе (49), если принять, что

$$A_{гр} - И_{гр2} - И_{гр3} = 0.$$

На рис. 4 по уравнению (53) построен график для условий центральной части зоны выклинивания Чуйской впадины на различные этапы развития орошения. Значение $\psi(Z)$ получены при $[M_n] = 5360 \text{ м}^3/\text{га}$ и $n = 1,5$. Для сравнения показаны кривые $\psi(Z)$ при $n = 1, 2, 3$.

На рис. 5 построены кривые $D(\psi)$ при $\psi = 0,20 - 0,60$;

$$(\Pi - \underline{0}) + (A - И) = C = \text{от } -5000 \text{ до } +4000 \text{ м}^3/\text{га}.$$

На рис. 6 даны кривые $D = f(\frac{\Psi}{\eta})$ при $\frac{\Pi - \underline{0}}{[B_n]} = 0 + 2,0$, а на рис. 7 $\frac{D}{[B_n]} = f(\eta, \Psi)$ при $\Psi = 0,20 - 0,60$ и

$$\frac{\Pi - \underline{0}}{[B_n]} = 0,5 + 0,75.$$

На рис. 8 дано $\Psi = f(K_\delta, \mu A, И_{гр})$, а на рис. 9 $\frac{D}{[B_n]} = f(\Psi, \eta)$.

Как видно из вышеизложенного, решение поставленной задачи, в конечном итоге, сводится к установлению оптимального КПД системы (сеть + поле), при котором приведенные затраты (3) на орошение и дренаж будут минимальными. Так как первые возрастают, а вторые убывают с увеличением КПД, оптимальное значение будет находиться на пересечении соответствующих кривых $3 = f(\eta)$. Приближенные расчеты позволяют считать, что на данном этапе развития орошения в условиях пресных грунтовых вод, оптимальное значение КПД системы находится в пределах $0,60 - 0,75$ ($\eta_{гр} = 0,80 + 0,85$, $\eta_k = 0,75 + 0,85$).

Вторая задача — обеспечение наибольшей однородности мелиоративного режима в пределах междуренья (площади влияния скважины) решается на основе разработанной нами методики. Сущность ее заключается в следующем.

1. Изменение глубины грунтовых вод $Z(x)$ определяется по теоретическим формулам или по данным наблюдений на опытных участках в аналогичных условиях. Здесь $0 < x < R$, где R — половина ширины междуренья для горизонтального дренажа или половина расстояния между скважинами для вертикального (начало отсчета от оси дрены; размерами дрены пренебрегаем). Для горизонтального дренажа площадь $F_{x_2-x_1}$, заключенная между глубинами $Z_2 + Z_1$, прямо пропорциональна $(x_2 - x_1)$, а для вертикального $(x_2^2 - x_1^2)$.

2. $И_{грx}$, т.е. величина водопотребления за счет грунтовых вод определяется по приведенным выше зависимостям (32), (33) или по опытным данным. Для условий Чуйской впадины рекомендуется зависимость (32) при $n = 1,5$, т.е. $И_{грx} = (1 - \bar{Z}_x)^{1,5}$.

3. Оптимальная норма водопотребления B , обеспечивающая максимальный (при полном использовании тепловых ресурсов)

урожай, принимается 0,75 испаряемости за вегетацию. Оросительная норма нетто определяется по приведенной выше формуле (10)

$$M_n = B - \mu A - I_{гр} = [M_n] \psi.$$

Однако учитывая, что $I_{гр} = f(x)$, расчетную оросительную норму, принимая одинаковой для всего междуренья, определяем по зависимости

$$M_{нр} = B - \mu A - I_{гр,р}. \quad (55)$$

где $I_{гр,р}$ определяется для глубины Z_x , соответствующей площади $\frac{F_x}{F} = p\%$, на которой глубина грунтовых вод $\geq Z_x$. Т.е. если глубину Z_x принять за норму осушения, то p — это % площади междуренья, обеспеченной заданной нормой осушения. Так как оросительная норма принимается одинаковой для всего междуренья, влагоснабжение на расстоянии x будет равно

$$B_x = M_{нр} + \mu A + I_{гр,х} = B - (I_{гр,р} - I_{гр,х}). \quad (56)$$

4. Принимаем зависимость между урожайностью Y_x и влагоснабжением B_x по формуле, предложенной М.М. Кабаковым

[17] :

$$\bar{Y} = \frac{Y_x}{\bar{Y}} = a_0 (k - k_0)^{n_0} - b_0 (k - k_0)^{m_0}, \quad (57)$$

где $k = B_x / B$, a_0, k_0, n_0, b_0, m_0 — параметры кривой $\bar{Y} = f(k)$, которые берутся по работе [17].

Для сахарной свеклы в наших условиях можно принять

$$a_0 = 2,5, \quad k_0 = 0,2, \quad n_0 = 1,0, \quad b_0 = 1,56, \quad m_0 = 2,0.$$

Средневзвешенный откосительный урожай

$$\bar{Y}_{ср} = \sum \bar{Y}_{\Delta x} \cdot \Delta x, \quad (58)$$

для горизонтального дренажа и

$$\bar{Y}_{ср} = \sum \bar{Y}_{\Delta x} \cdot \Delta F, \quad (58a)$$

для вертикального,

где $\Delta x = \frac{x_2 - x_1}{R}$; $Y_{\Delta x} = \frac{Y_{x_1} + Y_{x_2}}{2}$; $\Delta F = \frac{\pi(x_2^2 - x_1^2)}{2R^2} = \frac{\Delta F}{F}$,

Так как $k = \frac{B_x}{B} = f(M_{нр})$, меняя величину p (т.е. процент обеспеченности дренируемой площади данной нормой осушения) и соответствующую ему величину расчетной оросительной нормы $M_{нр}$, получаем различные значения $\bar{Y}_{ср}$.

5. В аспекте учета степени неравномерности мелиоративного режима тот вариант дренажа, который обеспечивает наибольшее значение $\bar{Y}_{\text{ср}}$, является наиболее приемлемым. В пределах данного варианта дренажа (с определенными соотношениями между дренажным расстоянием к глубине дрены $\frac{2R}{h_{\text{др}}}$ или к расчетному понижению $\frac{2R}{S}$) наибольшему значению $\bar{Y}_{\text{ср}}$ соответствует наиболее выгодное значение $M_{\text{нр}}$ и p .

Сравнение вариантов с учетом неоднородности мелиоративного режима надо проводить по расчетным (приведенным) затратам на единицу продукции $\bar{Z}'_i = \frac{Z_i}{\bar{Y}_{\text{ср}}}$, где $\bar{Z}_i$ — приведенные затраты на 1 га. Выполненные по указанной методике расчеты для различных вариантов дренажа и способов определения исходных данных показали следующее (расчеты выполнены ст. инженером В.Л. Мякушко):

1) В зависимости от принятой обеспеченности p нормы осушения и соответствующей ей расчетной оросительной нормы $M_{\text{нр}}$ средневзвешенная по площади урожайность колеблется в пределах 55 — 99% от максимальной (проектной). Это показывает важность правильного назначения p и $M_{\text{нр}}$.

Если, как это практикуется в настоящее время, оросительную норму нетто назначать, исходя из нормы осушения в середине междуренья, т.е. принимая $p = 100\%$ для горизонтального дренажа $\bar{Y}_{\text{ср}} \approx 73\% Y$, т.е. величина ущерба урожаю доходит до 27%, то при $p = 50 - 60\%$ $\bar{Y}_{\text{ср}} = 83 - 96\%$, т.е. ущерб уменьшается до 4 — 17% от проектного урожая. Для вертикального дренажа (при понижениях до 19 м) при $p = 100\%$ $\bar{Y}_{\text{ср}}$ может доходить до 55%, а при $p = 50 - 60\%$ поднимается до 74—92%.

Потери урожая за счет неоднородности мелиоративного режима при вертикальном дренаже по сравнению с горизонтальным компенсируются за счет повышения КЭИ — полностью при открытом и до 40 — 50% — при закрытом. Следует также учитывать, что вертикальный дренаж создает возможность более активно регулировать уровень грунтовых вод за счет изменения режима откачек.

Таким образом, при назначении нормы осушения и расчетной

орошительной нормы надо исходить из обеспеченности $p = 50-60\%$, при которой $\bar{V}_{ср}$ получается наибольший (рис. 10, 10а). Могут возразить, что $M_{н100\%} < M_{н60\%}$ и освободившееся количество воды можно использовать на расширение орошаемых площадей. Но выполненные нами расчеты показывают, что экономически выгоднее получать больший урожай на существующей площади.

2) Обращает на себя внимание большая роль принятой закономерности определения $I_{гр}$. Наименьшие значения $\bar{V}_{ср}$ получаются при определении $I_{гр}$ по (32). Ясно, что большое значение имеют принятые расчетные параметры в этих формулах. Так, при $n = 3$ и $Z_0 = 4$ м формула (32) дает результат, близкий к (33). Большое значение имеет и правильное назначение положения депрессионной кривой $z = f(x)$, закономерностей изменения урожайности от влагоснабжения $Y_x = f(k_x)$, учет неустановившегося во времени режима грунтовых вод и т.д.

3. Необходимы хорошо организованные инженерно-экономические исследования для уточнения оценки влияния неоднородности мелиоративного режима. Тем не менее, выполненный анализ

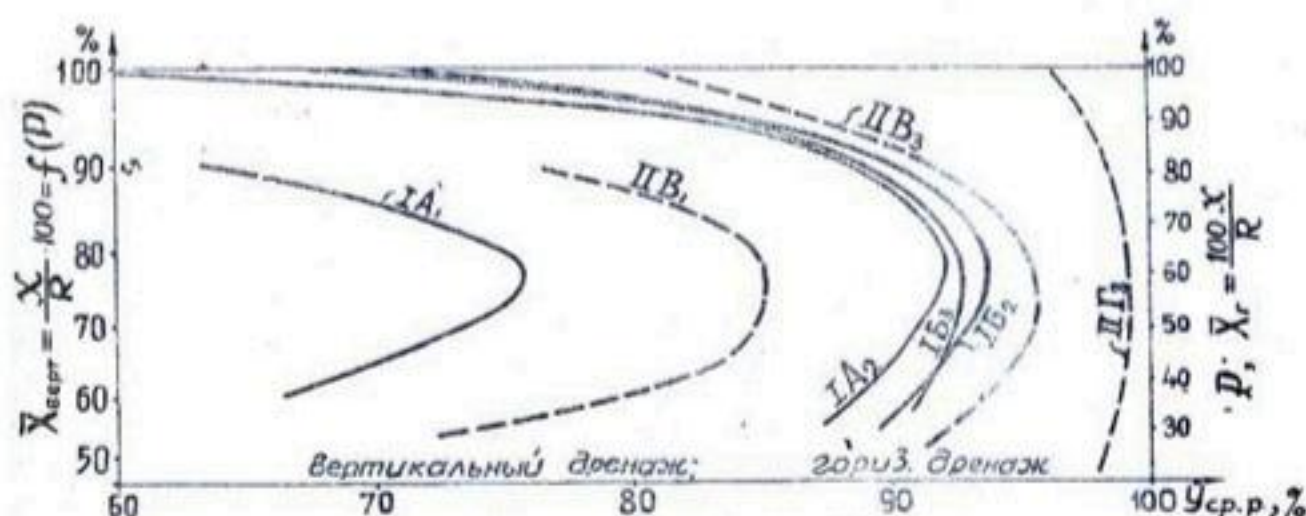


Рис. 10. Зависимости изменения средневзвешенной по площади междуренья относительной урожайности ($\bar{Y}_{ср.p}$) от величины расчётной обеспеченности (P) нормы осушения для различных типов дренажа (при постоянной по площади междуренья орошительной норме нетто- $M_{н.p}$)

I - Кривая депрессии по Дюпюи при $S_0 = 19$ м и $Z_0 = 1,0$ м и $I_{гр}$ по С.Ф. Аверьянову (IA_1) и по С.И. Харченко (IA_2) - обе при $U_0 = 900$ мм; То же, при $S_0 = 11$ м и $I_{гр}$ по Харченко (IB_2) и по расчётной кривой.

II - Кривая депрессии фактическая при $S_0 = 2,6$ м и $I_{гр}$ по Аверьянову ($II B_1$) и по расчётной кривой ($II B_3$); То же, при $S_0 = 3,2$ м, $Z_0 = 1,84$ м и $I_{гр}$ по расчётной кривой ($II Г_3$)

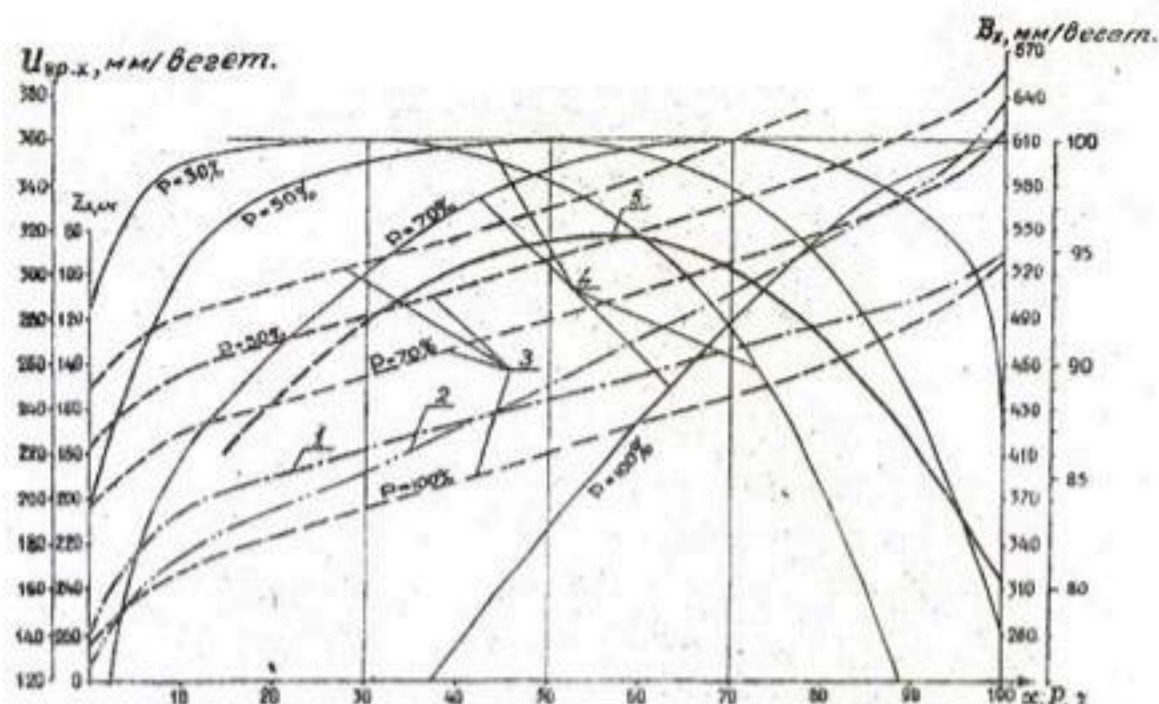


Рис. 10а. Характеристика неоднородности мелиоративного режима почв для горизонтального дренажа (осредненные эмпирические данные)

Закономерности изменения: 1-глубины залегания (Z_x) грунтовых вод и 2-испарения их ($U_{гр.х}$) по ширине междуренья ($2x$); 3-водопотребления (B_x) и 4-относит. урожайности (q_x) в зависимости от расстояния до оси дрены (X) и расчетной обеспеченности нормы осушения ($P=30; 50; 70; 100\%$); 5-средневзвешенной по площади междуренья относительной урожайности ($U_{ср.р}$) в зависимости от принятой нормы осушения, определяемой P (см. выше) и соответствующей постоянной по междуренью оросит. нормой нетто ($M_{кр}=149; 239; 279; 319$ мм).

позволяет рекомендовать предложенную методику и полученные на данном этапе результаты для практического применения.

Оценка влияния неоднородности мелиоративного режима может быть сделана также на основе определения затрат на дополнительные поливы, которые необходимы для обеспечения расчетного режима увлажнения на площадях, прилегающих к дрене, где

$Z_x > Z_{расч.}$. Эти дополнительные затраты будут различны при различных способах полива, но главное — практически трудно обеспечить дифференцированный режим орошения по площади междуренья. Поэтому следует стремиться к подбору параметров дренажа и режима работы его таким образом, чтобы обеспечить возможно большую однородность мелиоративного режима.

3.3. Рекомендуемые для Чуйской впадины типы мелиоративных режимов

С учетом водохозяйственных мероприятий, предусмотренных схемой комплексного использования водных ресурсов для зоны:

выклинивания с пресными или слабоминерализованными грунтовыми водами, рекомендуются:

— в восточной части — автоморфный и полуавтоморфный, в центральной и западной частях — полугидроморфный и гидроморфный режимы;

— для слабо- и средnezасоленных земель подзоны слабого выклинивания и зоны транзитного стока с слабоминерализованными водами — полугидроморфный и полуавтоморфный режимы;

— для средне- и сильнозасоленных земель с минерализованными грунтовыми водами — полуавтоморфный и автоморфный режимы.

При этом освоение земель первой группы производится на основе промывного режима орошения за счет профилактических поливов и учащенных вегетационных поливов повышенными нормами, а второй группы — на основе капитальных промывок с коренным рассолением засоленного слоя почво-грунтов (мощность его не превышает 2–3 м) с помощью временного дренажа (с применением, где это возможно, посевов затопляемого риса).

Районирование по типам дренажа дано в работе [18], но оно должно быть уточнено с учетом приведенных здесь положений и материалов новейших гидрогеологических исследований.

4. Пример расчета дренажного стока для Чуйской впадины

Расчеты дренажного стока производились при выполнении прогнозных расчетов баланса подземных вод (приложение 3–5) для Чуйской впадины в целом и отдельно для восточной, центральной и западной частей впадины (для левого и правого берегов) в разрезе трех гидрогеологических зон: формирования подземного стока (предгорной), выклинивания и неглубокого залегания грунтовых вод, транзитного стока (рис. II), границы которых приняты по П.Г. Григоренко [7].

Для выделенных внутри этих районов подрайонов (блоков) по границам конусов выноса и межконусных понижений и их продолжения по равнине произведена в первом приближении только дифференциация величины суммарного питания грунтовых вод [20].

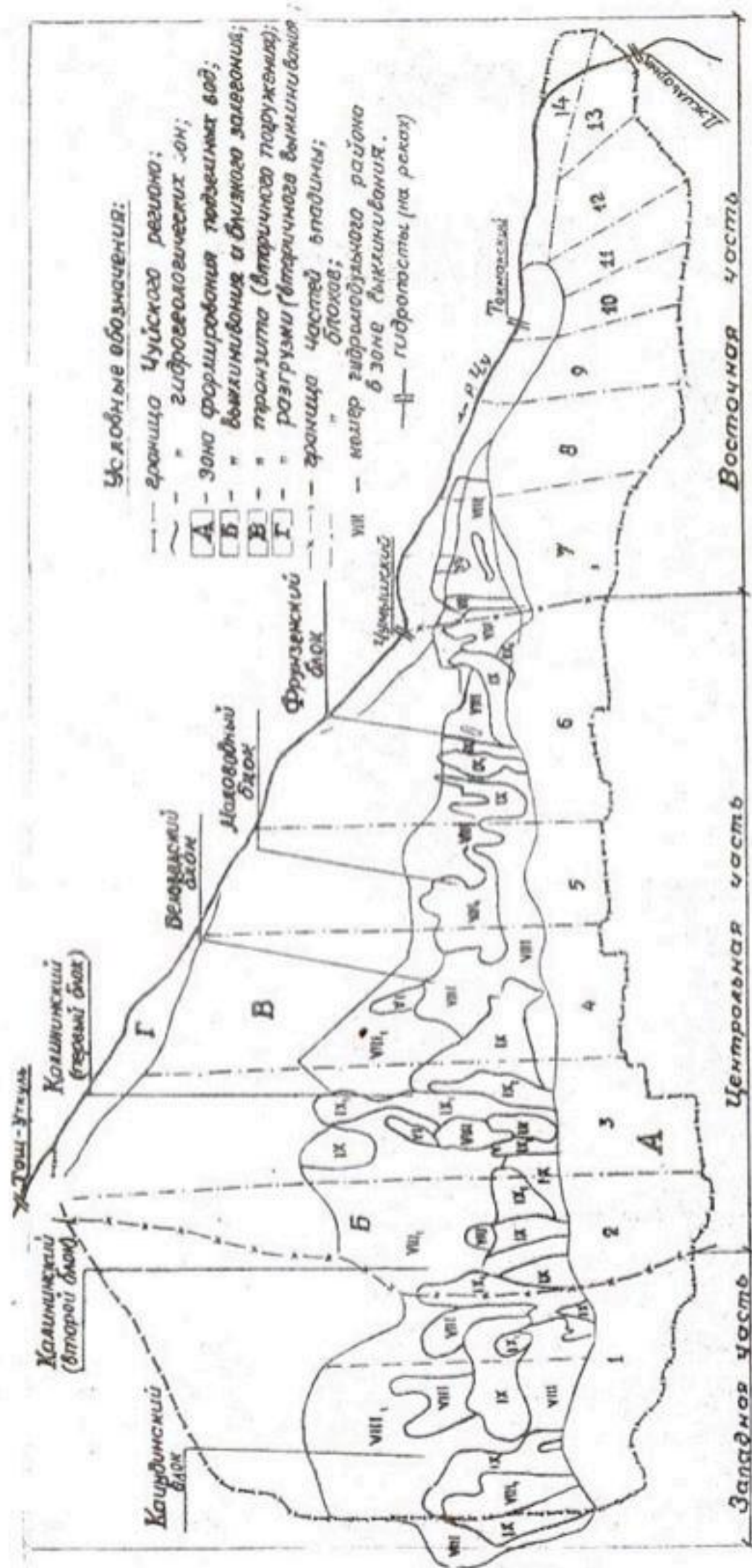


Рис. 11. Схема балансового районирования Чуйской впадины

Системы рек: 1 — Аспара; 2 — Кара-балты; 3 — Ак-су; 4 — Сокулук; 5 — Ала-Арча — Джаламыш; 6 — Аламедин — Ала-Арча; 7 — Уссык-Ата и Аламедин; 8 — Уссык-Ата; 9 — Кегеты; 10 — Шамсу-Кегеты; 11 — Шамсу; 12 — Кызыл-су; 13 — Талды-Булак; 14 — Плодальная зона реки Чу.

Площадь правобережной части впадины 215480 га, в том числе в восточной части (выше Чумыша) 45840 га, а в центральной от Чумыша до Таш-Уткуля 169640 га. Подавляющая часть ее относится к предгорной зоне.

Зона выклинивания правого берега начинается ниже Токмака и занимает узкую плоскую площадь всего 6660 га, примыкающую к современной долине р. Чу, которая является главной дренирующей артерией впадины. Поэтому прогнозирование дренажного стока представляет интерес только для левого берега.

Зона формирования левого берега находится примерно в границах между линией, соединяющей опорные гидропосты, расположенные при выходе горных рек из ущелий на юге и шоссе Токмак — Фрунзе — Чалдовар на севере.

Северная граница зоны выклинивания проходит несколько севернее Атабашинского канала.

Восточная часть левого берега имеет предгорную зону, включающую конусы выноса горных рек и реки Чу (до Токмака) и зону выклинивания от Токмака до Чумыша. В последней расположена р. Красная, протяженностью 34 км, идущая параллельно р. Чу — естественная дрена, расход которой формируется за счет фильтрационных потерь в оросительных системах и горных реках левого берега, а также р. Чу (в так называемой "провальной" зоне) от Бурулдая до Токмака.

Расход р. Красной отличается весьма малой изменчивостью, среднемноголетняя величина его за 1946—1959 гг. равна 22,4 м³/сек.

Граница между восточной и центральной частью проходит по водоразделам рек Аламедин и Норус и далее с юга на север параллельно направлению потока подземных до Чумыша. Учитывая, что подрусловой поток по р. Чу в створе Чумыша составляет всего 0,44 м³/сек, восточную часть можно считать самостоятельным бассейном подземных вод.

Центральная часть впадины расположена по течению р. Чу между Чумышом и Таш-Уткулем. Восточная граница ее идет по водоразделу рек Карабалты и Чон-Каинды и далее по направлению потока подземных вод до Таш-Уткуля. Западная граница ее идет

до западному водоразделу бассейна р. Аспары и далее с севера на юг до устья р. Курагаты. Северной границей является линия, соединяющая устье р. Аспары с Таш-Уткулем. В указанных границах, охватывающих течение р. Чу от Джиль-Арыка до Таш-Уткуля, площадь впадины — 910542 га, в том числе на левом берегу 695062 га из них в равнинной части (зоны выклинивания и транзита) — 458742 га.

Центральная и западная часть левого берега имеет четко выраженную, расширяющуюся к западу зону транзитного стока (вторичного погружения), примыкающую к современной долине р. Чу. Разгрузка потока подземных вод, сформировавшегося в предгорной зоне левого берега происходит, в основном, в зоне выклинивания. Лишь около 15% его доходит до р. Чу. Это подтверждается анализом руслового бассейна р. Чу и его связи с балансом подземных вод [8].

Описание гидрогеологических условий Чуйской впадины дано в работах [7, 8, 22 и др.]. Здесь из нем не останавливаемся так же, как на описании водохозяйственных условий.

Отметим лишь, что в среднем за 1946–1959 гг. имелось площадей с залеганием грунтовых вод в левобережной части впадины

	Восточная	Центральная	Западная	Всего
0 – 1 м	6242	21150	2034	29426
1 – 2 м	6500	54418	31354	92272
2 – 3 м	7950	53809	23227	84986
Итого	20692	129377	56615	206684

Общая площадь засоленных земель 223 тыс. га, из них около 1/3 имеет среднюю и сильную степень засоления или солонцеватости. Расположены они в зоне транзита и частично в подзоне слабого выклинивания. Расчеты нами

сделаны на ретроспективу (полное отсутствие орошения) на период 1946 — 1959 гг. (исходный уровень), на перспективу — при осуществлении планируемых по генеральной схеме комплексного использования водных ресурсов на уровень 1980 г. мероприятий и при коренной реконструкции орошения.

Расчетные значения КПД системы, площадей орошения, водозабора и водоподачи (брутто и нетто) даны в таблице 4.

Не останавливаясь на описании комплекса водохозяйственных мер, отметим лишь, что на уровень 1980 г. и при коренной реконструкции орошения (условно уровень 2000 г.) рассмотрены два главных варианта:

а) при отсутствии бетонированных обводных русел на притоках левого берега;

б) при наличии таковых, что сводит фильтрационные потери в руслах рек предгорной зоны, а следовательно, и приток подземных вод к зоне выклинивания к минимуму.

По разработанной методике рассчитаны с использованием фактических данных органов водного хозяйства, гидрометслужбы, гидрогеологической экспедиции, различных научных организаций и материалов обширных балансовых исследований, развернутых нами с 1958 г. в Чуйской впадине, водный баланс и баланс подземных вод по впадине в целом и в разрезе выделенных балансовых районов за исходный период (1946—1959 гг.), и перечислены этапы развития орошения [8] .

Кроме вариантов, опубликованных в работах [8, 15], рассмотрен и ряд других, различие между которыми сводится к двум главным моментам.

I. Различие в технических решениях, что, в конечном итоге, сводится к различиям в КПД системы и ее звеньев. Рассмотрим для примера вопрос учета влияния водохранилищ. В схеме фильтрационные потери из водохранилищ (так же, как потери за счет промывного режима) учтены отдельно сверх потерь в сети. Это соответствует случаю, когда водохранилища заполняются за счет дополнительного водозабора

$$B_{г.д} = B_{н.д} + \Phi_{в} + И_{в} \quad (59)$$

Так как водоподача нетто определена нами на всю орошае-

Таблица 4

Расчетные значения КПД сети, орошаемых площадей ($F_{ор}$), вододачи брутто (B_{δ}) и нетто (B_n) и водозабора (B_r) на различные этапы развития орошения для равнинной части Чуйской впадины

Этапы гг.	$\frac{\rho_{гн}}{\rho_{к}}$	$\rho = \rho_{гн} \rho_{к}$	Восточная				Центральная				Западная				Вся впадина			
			$\frac{F_{ор}}{F_{в}}$	$\alpha_{ор}$	$\frac{B_{\delta}}{B_r}$	B_n	$\frac{F_{ор}}{F_{в}}$	$\alpha_{ор}$	$\frac{B_{\delta}}{B_r}$	B_n	$\frac{F_{ор}}{F_{в}}$	$\alpha_{ор}$	$\frac{B_{\delta}}{B_r}$	B_n	$\frac{F_{ор}}{F_{в}}$	$\alpha_{ор}$	$\frac{B_{\delta}}{B_r}$	B_n
Зона выклинивания																		
1946-1959	$\frac{0,80}{0,435}$	0,34	$\frac{17142}{26080}$	0,653	$\frac{2,66}{5,29}$	2,130	$\frac{65032}{156357}$	0,418	$\frac{3,93}{8,84}$	3,14	$\frac{4729}{78245}$	0,060	$\frac{0,49}{1,18}$	0,39	$\frac{86903}{260682}$	0,333	$\frac{7,08}{15,31}$	5,66
1980	$\frac{0,85}{0,635}$	0,54	$\frac{20835}{26080}$	0,800	$\frac{3,26}{5,20}$	2,79	$\frac{122350}{156357}$	0,783	$\frac{18,75}{29,59}$	15,94	$\frac{34270}{78245}$	0,438	$\frac{5,75}{9,35}$	4,90	$\frac{177455}{260682}$	0,680	$\frac{27,76}{44,14}$	23,63
2000	$\frac{0,95}{0,903}$	0,857	$\frac{20835}{26080}$	0,800	$\frac{3,26}{3,63}$	3,10	$\frac{122350}{156357}$	0,783	$\frac{18,75}{20,75}$	17,80	$\frac{34270}{78245}$	0,438	$\frac{5,75}{6,38}$	5,45	$\frac{177455}{260682}$	0,680	$\frac{27,76}{30,76}$	26,40
Зона транзита																		
1946-1959	$\frac{0,80}{0,435}$	0,34	-	-	-	-	$\frac{20984}{155290}$	0,135	$\frac{2,24}{5,06}$	1,79	$\frac{0}{42770}$	0,0	-	-	$\frac{20984}{198060}$	0,105	$\frac{2,24}{5,06}$	1,79
1980	$\frac{0,85}{0,635}$	0,54	-	-	-	-	$\frac{64500}{155290}$	0,415	$\frac{7,64}{12,20}$	6,49	$\frac{6908}{42770}$	0,162	$\frac{2,28}{3,35}$	1,94	$\frac{71408}{198060}$	0,360	$\frac{9,92}{15,55}$	8,43
2000	$\frac{0,95}{0,903}$	0,857	-	-	-	-	$\frac{64500}{155290}$	0,415	$\frac{7,64}{8,48}$	7,25	$\frac{6908}{42770}$	0,162	$\frac{2,28}{2,52}$	2,16	$\frac{71408}{198060}$	0,360	$\frac{9,92}{11,0}$	9,42

Примечание.

1. Данные за 1946-1959 гг. получены на основе обработки фактических материалов, а на 1980 г. - по схеме развития орошения в Чуйской долине, "Киргизгипроводхоз", Фрунзе, 1968 г.
2. Водозабор и водоподача (брутто и нетто) даны без учета понижения уровня грунтовых вод (изменения мелиоративного режима) при реконструкции орошения.

ную площадь (включая водоподачу на площадь, орошаемую из водохранилищ $B_{н.д}$), в расчет надо принять

$$B_{г.д} = \varphi_v + I_v \quad (59a)$$

и

$$\eta = \frac{B_n}{B_r + B_{г.д}}, \quad (60)$$

который будет меньше расчетного, приведенного в табл.4. Если считать, что B_r включает и водозабор в водохранилища, то КПД сети равен расчетному $\eta = \frac{B_n}{B_r}$, но при этом потери в каналах должны быть меньше на величину φ_v , что соответственно потребует увеличения протяженности облицованных каналов.

Первому случаю в табл. 5,6 соответствует дренажный сток D^* , а второму D . Могут быть и промежуточные случаи.

2. Различия в методах определения отдельных элементов балансов и допущениях, принятых при определении исходных данных, частично освещенных в первом разделе.

Здесь использованы балансовые расчеты [8] для перечисленных основных вариантов. Они легли в основу расчетов дренажного стока с валовой и орошаемых площадей на различные этапы развития орошения (табл. 5,6). Расчеты в табл.5,6 выполнены по зависимостям (3), (5). Приток с предгорной зоны определен по уравнению (26). Не останавливаясь на деталях, отметим лишь следующее:

1) при определении расчетного дренажного стока задается расчетный уровень водопотребления на орошаемых землях и соответствующее ему суммарное испарение с валовой площади по зависимости (3I);

2) величина D в табл. 6 соответствует среднему расчетному КПД сети $\eta_k = 0,635$ (1980 г.) и $0,903$ (2000 г.); величина $D^* = D + \varphi_v$ и соответствует КПД сети центральной части (в остальных частях изменения незначительны)

$$\eta_k = \frac{18,75}{29,59 + 4,94} = 0,542 \text{ на 1980 г. и } \eta'_k = \frac{18,75}{20,75 + 4,94} = 0,73 \text{ на 2000 г.}$$

Таблица 5

Расчет среднего размера дренажного стока по этапам орошения по уравнению $D = \Pi - 0 + B_r + A - И$

Стапы орошения	Восточная			Центральная			Западная			Вся площадь																			
	П	0	В _г	А	И	Д	Д*	П	0	В _г	А	И	Д	Д*	П	0	В _г	А	И	Д	Д*	П	0	В _г	А	И	Д	Д*	
ретроспек- тива	3975	0,44	-	3,0	5,50	3681	3691	2045	2,35	-	9,20	1440	1,75	1,75	6791	3,55	-	3080	5010	45,6	4508	-	-	-	-	3080	5010	45,6	4508
	4800	530	-	3700	6690	44490	44490	4110	470	-	3670	5770	690	690	8050	420	-	3790	6010	5410	5410	-	-	-	-	3790	6010	5410	5410
1946-1959	4098	0,44	-	3,0	5,73	4210	4210	1923	2,35	8,84	1860	3640	7,92	7,92	5,09	0,75	1,18	9,20	1473	-0,02	-0,02	6530	3,55	1531	3080	5786	50,0	50,0	50,0
	48400	530	-	6380	3700	8120	4930	4930	480	1780	3760	7360	1590	1590	2020	310	480	3670	6030	-170	-170	7750	420	1820	3790	7000	5940	5940	5940
а	2281	-	-	5,20	3,0	7,10	2391	1145	2,35	2959	1860	4203	1527	1527	4,09	0,75	9,35	9,20	17,0	5,68	5,38	3916	3,11	4414	3080	5613	4486	5050	5050
	27600	-	-	6380	3700	8570	29110	2300	470	5950	3760	8470	3070	4070	1960	310	3760	3760	6850	2230	2700	4020	370	5250	3790	8020	4670	5510	5510
б	1623	-	-	5,20	3,0	7,10	1783	1283	2,35	2359	1860	4203	1217	1217	2,64	0,75	9,35	9,20	17,0	2,43	4,13	2723	3,11	4414	3080	5613	3343	3907	3907
	20200	-	-	6380	3700	8570	21710	1690	470	5950	3760	8470	2460	3460	1050	310	3760	3670	6850	1330	1800	3280	370	5250	3790	8020	3930	4770	4770
а	1781	-	-	3,63	3,0	7,10	1734	1734	2,35	2075	1860	4203	4,49	4,49	3,70	0,75	6,38	9,20	17,0	1,52	2,22	3103	3,11	3076	3080	5613	2335	2899	2899
	21500	-	-	4380	3700	8570	21010	1920	470	4060	3760	8470	800	1900	1490	310	2580	3670	6850	580	820	3450	370	3590	3790	8020	2440	3300	3300
б	1048	-	-	3,63	3,0	7,10	1001	1001	2,35	2075	1860	4203	-305	1,09	0,00	0,75	6,38	9,20	17,0	-213	-148	1246	3,11	3076	3080	5613	4,78	1042	1042
	12650	-	-	4380	3700	8570	12160	400	470	4060	3760	8470	-720	330	0,00	310	2580	3670	6850	-810	-630	1480	370	3590	3790	8020	470	1350	1350

Зона выкликов

ретроспек- тива	2,79	-	-	1830	2,79	2,79	0,76	2,00	-	5,05	5,05	-124	-124	3,55	2,00	-	2335	2335	1,55	1,55	-	-	-	-	2335	2335	1,55	1,55	
	560	-	-	3710	3710	560	560	1470	-	3710	3710	-950	-950	560	320	-	3710	3710	250	250	-	-	-	-	3710	3710	250	250	
1946-1959 гг.	2,790	-	-	5,06	1830	20,10	5,35	5,35	0,76	2,00	-	5,05	5,05	-124	3,55	2,00	5,06	2335	2585	4,11	4,11	-	-	-	-	2335	2585	4,11	4,11
	560	-	-	1020	3710	4220	1070	1070	560	1470	-	3710	3710	-950	560	320	800	3710	4120	650	650	-	-	-	-	3710	4120	650	650
а	2,35	-	-	1220	1830	2940	3,45	5,65	0,76	2,00	3,35	5,05	6,20	0,96	1,50	3,11	2,00	1555	2335	3560	4,41	7,15	-	-	2335	3560	4,41	7,15	
	480	-	-	2460	3710	5960	690	1100	560	1470	2460	3710	5850	710	1110	500	320	2480	3710	5670	710	1150	-	-	3710	5670	710	1150	
1980г.	2,35	-	-	1220	1830	2940	3,45	5,65	0,76	2,00	3,35	5,05	6,20	0,96	1,50	3,11	2,00	1555	2335	3560	4,41	7,15	-	-	2335	3560	4,41	7,15	
	480	-	-	2460	3710	5960	690	1110	560	1470	2460	3710	5850	710	1110	500	320	2480	3710	5670	710	1150	-	-	3710	5670	710	1150	
а	2,35	-	-	8,48	1830	2940	-0,27	1,93	0,76	2,00	2,52	5,05	6,20	0,13	0,67	3,11	2,00	11,0	2335	3560	-0,14	2,60	-	-	2335	3560	-0,14	2,60	
	480	-	-	1720	3710	5960	-50	580	560	1470	1850	3710	5850	30	490	500	320	1750	3710	5670	-30	420	-	-	3710	5670	-30	420	
2000г.	2,35	-	-	8,48	1830	2940	-0,27	1,93	0,76	2,00	2,52	5,05	6,20	0,13	0,67	3,11	2,00	11,0	2335	3560	-0,14	2,60	-	-	2335	3560	-0,14	2,60	
	480	-	-	1720	3710	5960	-50	580	560	1470	1850	3710	5850	30	490	500	320	1750	3710	5670	-30	420	-	-	3710	5670	-30	420	

Примечания: 1. $D^* = D + \Phi_6 + \Phi_{пр}$; 2. Числитель - D в м³/сек; Знаменатель - D в м³/га; 3. $И_{пр}$ рассчитана по формуле (31) при $K_6 = 0,75$, $\delta = 0,2$ (зона выкликов) и $\delta = 0$ (зона транзита); 4. Если значение $D < 0$, принимаем расчетное $D = \Phi_{пр}$.
 Q_6 : $\Phi_{пр}$ включает промывные и профилактические поливы.

Расчет среднего размера дренажного стока по этапам развития орошения по уравнению

$$D_{ор} = (П - Q) \alpha_{ор} + B_r + A \alpha_{ор} - И_{ор}$$
 (без учета р. текания и. неорошаемую площадь)

Год орошения	Восточная					Центральная					Западная					Вся площадь																	
	$(П-Q) \alpha_{ор}$	B_r	$A \alpha_{ор}$	$И_{ор}$	$D_{ор}$	$(П-Q) \alpha_{ор}$	B_r	$A \alpha_{ор}$	$И_{ор}$	$D_{ор}$	$(П-Q) \alpha_{ор}$	B_r	$A \alpha_{ор}$	$И_{ор}$	$D_{ор}$	$(П-Q) \alpha_{ор}$	B_r	$A \alpha_{ор}$	$И_{ор}$	$D_{ор}$	$(П-Q) \alpha_{ор}$	B_r	$A \alpha_{ор}$	$И_{ор}$	$D_{ор}$	$(П-Q) \alpha_{ор}$	B_r	$A \alpha_{ор}$	$И_{ор}$	$D_{ор}$			
1946-1959 гг.	2670	529	237	4.20	7640	3016	3016	55400	3016	7.06	8.84	7.80	1570	7590	800	3910	8.00	026	118	056	102	5800	098	6530	098	3402	1531	1073	2092	7100	3914	12700	3914
1960 г.	1825	520	238	5.25	7640	2108	38700	2108	7.14	2959	1460	2940	7390	2193	5650	2637	181	935	405	740	6800	731	7190	851	2720	4414	2153	4205	7100	5082	8940	5646	
1960 г.	1340	520	238	5.25	7640	1623	24600	1623	4.70	2959	1460	2940	7590	1049	5010	2443	132	335	405	740	6800	582	6280	752	1392	4414	2153	4205	7100	4254	7550	4811	
2000 г.	1423	363	238	5.25	7640	1519	23500	1519	5.62	2075	1460	2940	7590	1187	2380	1651	129	638	405	740	6800	432	3970	502	2114	3076	2153	4205	7100	3138	5690	3703	
2000 г.	830	363	238	5.25	7640	956	14400	956	-0.29	2075	1460	2940	7590	566	1460	1050	-033	638	405	740	6000	270	2480	340	768	3076	2153	4205	7100	1792	3260	2356	
1946-1959 гг.																																	
1960 г.																																	
2000 г.																																	
1946-1959 гг.																																	
1960 г.																																	
2000 г.																																	

Зона выщелачивания

Зона транзитная

Примечание: $D_{ор} = D_{ор} + Q_{др} + Q_{др}$. Для зоны выщелачивания $Q_{др}$ на этап 1980, 2000 гг. для центра - 0,42, для запада - 0,70. Для зоны транзита $Q_{др}$ на этап 1960, 2000 гг. для центра - 2,20, для запада - 0,36 m^3/c .

в числителе - $И_{ор} = 0.60 И_{вер} + И_{неб}$;в знаменателе - $И_{ор} = 0.75 И_{вер} + И_{неб}$;

а - при отсутствии, б - при наличии бетонизированных обводных русел на пшениках левых берегах.

В табл. 7 основные расчеты выполнены для D^* . На величину $I_{гр} = Q - D$ это не отражается, так как соответственно на Φ_B увеличивается Q , т.е. принятый мелиоративный режим для центральной части может быть обеспечен как при величине дренажного стока D и $\eta_K = 0,635$, так и при D^* и $\eta = 0,73$. В то же время следует иметь в виду, что не обязательно вся величина Φ_B должна пойти на увеличение D . Часть ее может пойти на увеличение $I_{гр}$ (с соответствующим уменьшением M_n).

Таким образом, распределение данного Q между D и $I_{гр}$ находится в руках проектировщика. Лучшее соотношение между ними, зависящее от типа и параметров дренажа и техники орошения, должно быть экономически обосновано. Могут быть выбраны и промежуточные варианты, которые здесь не приведены. Выполненные расчеты проверены по балансу подземных вод (ур. (2), (4)) с определением $I_{гр}$ из уравнения 25 (табл. 7); поступления в зону выклинивания — по уравнению 25а (с добавлением фильтрации из водохранилищ Φ_B и промывного режима $\Phi_{пр}$). Инфильтрация осадков $A_{гр}$ принята по построенной на основании проведенных исследований кривой $A_{гр} = f(Z)$ (рис. 12), равной $5,29 \text{ м}^3/\text{с}$, в т.ч. для восточной части — $0,21$, центральной — $3,20$, западной — $1,88 \text{ м}^3/\text{с}$. Фильтрационные потери в сети и на полях по исходным данным таблицы 4 определены по формулам (II) и IIа). Потери из водохранилищ — Φ_B и на промывной режим — $\Phi_{пр}$ взяты по схеме (величина $\Phi_{пр}$ нужна для определения Q). В уравнении (3,5) — для определения D она входит в B_r .

3). Водопотребление на орошаемых землях обеспечивается за счет оросительной нормы нетто M_n , осадков μA и подпитыванием грунтовых вод $I_{гр}$ (формулы 10, 10а). Поэтому сохранение расчетного водопотребления при постоянной M_n возможно только при сохранении и остальных компонентов, в том числе и подпитывания грунтовых вод (т.е. при глубине залегания последних $Z = \text{const}$). Принимая на различных этапах M_n или M_b одинаковыми (как это сделано при переходе на этапы 1980 г. и 2000 г.), надо помнить, что сохранение расчетного водопотребления при этом возможно при $Z' = Z$.

Среденные результаты расчета дренажного стока
и испарения грунтовых вод по различным способам для зоны выклинивания левого берега
Чуйской впадины

Наименование статей	Восточная						Центральная						Западная						Вся зона						
	1946-1959			2000			1946-1959			2000			1946-1959			2000			1946-1959			2000			
	рег-по-спек-тива	а	б	а	б	а	рег-по-спек-тива	а	б	а	б	а	рег-по-спек-тива	а	б	а	б	а	рег-по-спек-тива	а	б	а	б		
$Q_1 = \Pi + A_{гр} + \Pi_{гр} + \Pi_{г} + \Pi_{г} + \Pi_{г} + \Pi_{г}$	3983	44,26	2545	1937	1855	1122	2101	2611	3090	2780	1826	1072	8,65	642	1117	8,92	6,44	2,74	6949	7679	67,52	5609	43,25	24,68	
$D_6 = Q_6$	-	0,20	Q60	Q60	Q60	Q60	-	Q35	253	253	253	253	-	Q20	Q95	0,95	0,95	0,95	-	Q75	4,18	4,18	4,18	4,18	
$Q = Q_1 - D_6$	3983	44,06	2485	1877	1795	1062	2101	2576	2827	2517	1553	809	8,65	622	1022	7,97	5,49	1,79	6949	7604	63,34	5191	39,07	20,50	
Дренажный сток																									
$D_1^* = (\Pi - Q) + B_{г} + \Pi_{г} + \Pi_{г} + A - \Pi$	3681	42,10	2391	1783	1734	1001	650	792	2021	1711	943	189	1,75	Q02	638	4,13	2,22	-1,48	4506	50,0	50,50	3907	28,99	10,42	
$D_{гр}^* = (\Pi - Q) + B_{г} + \Pi_{г} + \Pi_{г} + A_{г} - \Pi_{г}$	-	29,35	2024	1539	1455	872	-	490	2077	1833	1041	450	-	Q77	701	6,02	3,52	1,90	-	3502	48,02	3974	28,58	15,12	
$D_{г}$ по кривой $Q = A(f-z) + \Pi_{г}(1-\frac{z}{L})$	-	-	-	-	-	-	980	1090	1420	1320	1030	730	2,80	230	420	3,60	3,20	0,90	-	-	-	-	-	-	
$D = D_{г} + D_6$	-	-	-	-	-	-	980	1125	1683	1583	1293	993	2,80	250	515	4,55	4,15	1,85	-	-	-	-	-	-	
Испарение с грунтовых вод																									
$\Pi_{г} = Q_1 - D$	302	2,48	154	154	121	121	1451	1444	1069	1069	883	883	6,90	480	479	4,79	4,22	4,22	2443	2172	17,02	1702	14,26	14,26	
$\Pi_{г} = Q_1 - D_{гр}$	-	14,91	521	398	390	250	-	2121	1013	947	735	622	-	511	416	2,90	2,82	0,84	-	4123	19,50	1635	14,67	9,56	
$\Pi_{г} = Q - D_{г} (D_{г} \text{ по кривой})$	-	-	-	-	-	-	1121	1486	1407	1197	533	Q79	5,85	338	702	4,37	2,29	0,89	-	-	-	-	-	-	
Расчетные значения																									
При $z' \geq z, \Pi_{г}' = \Pi_{г}, z' > z$ (за исключением вост. части, где принята $\Pi_{г}' = 0$)	D_1	3681	41,78	2545	1937	1855	1122	650	1167	1527	1217	449	253	1,75	179	568	3,43	1,52	0,95	4506	5524	46,40	34,97	24,56	1480
	D_1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,95	4506	5524	52,04	40,61	30,20	1480
При $z' > z, \Pi_{г}' < \Pi_{г}$ $z' = z$ с учетом $M_{г} = f(z)$ (по рис 1 при $A_{г} = 6,5$)	D_1	-	2570	1962	1875	1142	-	-	-	-	-	1323	1058	-	-	-	4,10	2,90	-	-	2443	2172	15,48	13,05	988
	D_1	-	Q00	Q00	Q00	Q00	-	-	-	-	-	583	133	-	-	-	2,76	0,13	-	-	-	-	-	-	-
	D_1	-	2570	1962	1875	1142	-	-	-	-	-	1906	1191	-	-	-	-	6,86	3,03	-	-	-	-	-	-

Примечания: 1) а - при отсутствии, б - при наличии бетонированных обводных русел на притоках левого берега;

2) фильтрация из водохранилищ Q_6 на 1930 и 2000 гг. принята по "Схеме": для восточной части - 0, для центральной части - 4,52 м³/с, для западной - 0, на остальные этапы $Q_6 = 0$, $D = D_1$ (для случая $Q_6 = 0$)

3) для варианта б на этап 2000 г. расчетное значение $D = D_1$. Расчетное значение $\Pi_{г}$ при этом будет (в перь.м приближении) для центральной - 3,15, для западной - 1,29. В остальных случаях $\Pi_{г}$ не меняется.

4) $\Pi_{г}$ за 1946-1959 гг. определено по формуле (32) при $\alpha = 1,5$ при фактическом распределении площадей по глубинам грунтовых вод.

Если это не соблюдается, т.е. $z' > z$ ($I_{гр}' < I_{гр}$), необходимо увеличить оросительную норму по формулам (14) или (21). Соответственно увеличится и B_r , φ , Q . Таким образом, полученные по формулам (3) и (5) значения D на перспективу надо рассматривать лишь как первое приближение, так как они не учитывают изменения оросительных норм с изменением глубины залегания грунтовых вод.

Уточненное решение получается подбором на основе увязки с балансом подземных вод (уравнения (2), (4)) с определением $I_{гр}$ из уравнения (25) в табличной (табл.7) или графической форме (рис.1). Ход подбора при переходе от этапа 1980 г. к этапу 2000 г. на примере западной части впадины для варианта "б" показан в табл.8. Первые две строки таблицы взяты из табл. 5 и 4 соответственно. При коренной реконструкции орошения (этап 2000 г.) для варианта "б" получается отрицательное D и $D_{ор}$ (при сохранении забора подземных вод на уровне 1980 г.). Очевидно, что всегда $D \geq 0$, и отрицательное значение D лишено физического смысла. Оно показывает, что сумма поступлений в грунтовые воды не обеспечивает палв-



Рис.12. Зависимость годовой величины инфильтрации атмосферных осадков в грунтовые воды ($A_{гр}/A$) от глубины их залегания (Z) для условий Чулысской впадины (обобщенно)

чения принятого расчетного водопотребления, следовательно, или оно должно быть снижено (допустим за счет $K_5 = 0,60$ — см. табл. 6), или должен быть увеличен B_r . Аналогично $I_{гр} \leq Q$ (в нашем примере при $D = 0$ $I_{гр} = 2,04$). При сохранении намеченного объема откачек (водозабора подземных вод Q_B , включая D_B) и промывного режима орошения, необходимо обеспечить на этап 2000 г.

$$D' = Q_B + Q_{пр}. \quad (61)$$

Учитывая, что при соответствующем размещении скважин откачки могут обеспечить и дренирование с отводом $Q_{пр}$, в нашем примере (третья строка) принято минимальное значение

$$D' = Q_B = 0,95 \text{ м}^3/\text{с} \text{ и в первом приближении максимальное}$$

$$I'_{гр} = Q' - D' = Q' - Q_B. \quad (62)$$

Расчеты по формулам (40 — 37) на перспективу дали следующие значения коэффициента β для зоны выклинивания:

для восточной части $\alpha_{ор} = 0,80$, $\beta = 0,79$;

для центральной части $\alpha_{ор} = 0,783$, $\beta = 0,78$;

для западной части $\alpha_{ор} = 0,438$, $\beta = 0,67$.

Отсюда величина подпитывания грунтовых вод, используемая на водопотребление растений в течение вегетации

$$I_{гр_1} = \beta I_{гр}, \quad \Delta I_{гр_1} = \beta \Delta I_{гр}, \quad (63)$$

где $\Delta I_{гр} = I_{гр} - I'_{гр}$.

Уменьшение непроизводительного испарения (с орошаемых земель в невегетационный период и с неорошаемых в течение всего года)

$$\Delta I_{гр_{2+3}} = (1 - \beta) \Delta I_{гр}. \quad (64)$$

В первом приближении принимаем $I' = I$ (третья строка), а далее

$$I' = I - (1 - \beta) \Delta I_{гр}. \quad (65)$$

(Везде индекс "прим" относится к этапу 2000 г.).

Другими словами, принимаем, что расчетное испарение на этап 2000 г. можно снизить за счет устранения непроизводительного испарения грунтовых вод (в связи с получающимся снижением их

Таблица 8

этапы	$\Pi - Q$	$\frac{B_r}{B_s}$	A	И	Д	Q	$\frac{I_{гр} - Q - \Delta I}{I_{гр} - \beta I_{гр}}$	$\Delta I_{гр}$	$\frac{\Delta I_{гр}}{\beta \Delta I_{гр}}$	B_n	$B_n + I_{гр}$
1980	1,88	$\frac{9,35}{5,75}$	9,20	17,0	3,43	8,22	$\frac{4,79}{3,21}$	0,0	0,0	4,88	8,09
Без учета мелиоративного режима											
2000 "нулевое" прибл.	-0,76	$\frac{6,38}{5,75}$	9,20	17,0	-2,18	2,04	4,22	-	-	5,46	-
С учетом изменения мелиоративного режима											
2000 первое прибл.	-0,76	$\frac{9,51}{8,60}$	9,20	17,0	0,95	2,49	$\frac{1,54}{1,03}$	-3,25	-2,18	8,16	9,19
второе прибл.	-0,76	$\frac{8,44}{7,62}$	9,20	15,93	0,95	2,34	$\frac{1,39}{0,93}$	-3,40	-2,28	7,25	8,18
третье прибл.	-0,76	$\frac{8,39}{7,58}$	9,20	15,88	0,95	2,33	$\frac{1,38}{0,92}$	-3,41	-2,29	7,20	8,12

уровня) при сохранении расчетного водопотребления растений, т.е.

$$И_{гр} + B_n = \text{const} \quad (66)$$

Для определения

$$B'_r = B_r + \Delta B_r \quad (67)$$

удобнее всего пользоваться уравнением (I2'):

$$\Delta D = \Delta \Pi + \Delta A + \Delta B_r - \Delta И$$

Принимаем $\Delta A = 0$. В первом приближении $\Delta И = 0$, а затем $\Delta И = И' - И$. Из (I2')

$$\Delta B_r = \Delta D - \Delta \Pi - \Delta A + \Delta И \quad (I2'а)$$

в первом приближении $\Delta B_r = (0,95 - 3,43) - (-0,76 - 1,88) - 0 + 0 = -2,48 + 2,64 = +0,16$. $B_r = 9,35 + 0,16 = 9,51$.

Изменение поступлений подземных вод удобно определять по сравнению с исходным (нулевое приближение) на 2000г. При этом будет справедлива простая зависимость

$$\Delta Q = \Delta \Phi = \Delta B_r (1 - \eta), \quad (68)$$

где в данном случае $\Delta B_r = B'_r - B_{r0}$

В первом приближении $\Delta Q = (9,51 - 6,38) (1 - 0,857) = 0,45$;

$Q' = 2,04 + 0,45 = 2,49$, $И'_{гр} = 2,49 - 0,95 = 1,54$;

$\Delta И_{гр} = 1,54 - 4,79 = -3,24$, $\Delta И_{гр} = 0,63 \cdot (-3,24) = -2,18$.

Во втором приближении по уравнению (65) $И' = 17 - 1,07 = 15,93$. Сравнение можно вести с первым приближением. Тогда по уравнению (I2'а) $\Delta B_r = -1,07$, откуда

$$B'_r = 9,51 - 1,07 = 8,44.$$

Дальнейший ход расчетов не нуждается в пояснениях.

Для контроля можно использовать: уравнения (I6, I6а, 23а) для определения ΔB_r ; для определения D по балансу грунтовых вод в данном случае (без учета Φ_s) удобно уравнение

$$D = \Pi - Q + B_r (1 - \eta) + A_{гр} - И_{гр} \quad (69)$$

и для определения $И$

$$И = A + B_n + И_{гр} - A_{гр}. \quad (70)$$

Достаточную точность дает уже второе приближение.

Приведенные расчеты показывают, что учет изменения мелиоративного режима, т.е. учет того, что $И_{гр}$, M_n , $M_b = f(Z)$, а $Z = f(Q)$ вносит существенные поправки в рас-

четыре — водоподача нетто и головной водозабор увеличились на 31%, обеспечен минимально необходимый дренажный сток.

$\bar{D} = \bar{D}_B = 0,95 \text{ м}^3/\text{с}$ против полученного при непосредственном использовании уравнения (3) $\bar{D} = -2,18 \text{ м}^3/\text{с}$.

Механическое использование ур. (3), как это иногда практикуется, приводит к грубым ошибкам. Из (6I) следует, что сохранение исходного мелиоративного режима возможно при $Q' \geq I_{гр} + Q_B + Q_{пр}$ или в крайнем случае $Q' \geq I_{гр} + Q_B$. Только в этих пределах возможно непосредственное применение уравнения (3).

Решение поставленной задачи может быть выполнено и в графоаналитической форме с использованием кривых $Q = f(z)$. Вообще-то можно было бы ограничиться аналитическим подбором, (как показано в табл. 8), но, учитывая, что дренажная сеть строится закрытой и срок ее службы составляет 50 лет, следует рассмотреть, как в процессе эксплуатации (в переходный период) будет меняться дренажный сток при сохранении интенсивности дренирования на уровне 1980 г. ($\mathcal{L}' = \mathcal{L}$, $\ell'_{др} = \ell_{др}$, $A'_d = A_d$). По мере снижения питания грунтовых вод, будет увеличиваться глубина их залегания, а испарение грунтовых вод будет уменьшаться. Будет уменьшаться и дренажный сток, но он будет значительно больше, чем при сохранении исходного мелиоративного режима. Уменьшению $I'_{гр}$ соответствует увеличение орошительной нормы и водозабора согласно зависимостям (IOa), (IO3).

Для этих расчетов более удобно использовать кривые

$Q = f(z)$, которые дадут достаточно точное распределение

$\bar{D}$ и $I_{гр}$ при изменении Q и сохранении данной интенсивности дренирования. Такой вариант (т.е. $\mathcal{L}' = \mathcal{L}$, $\ell'_{др} = \ell_{др}$) может рассматриваться и при проектировании, в особенности при переходе с этапа 1980 г. на 2000 г. (коренная реконструкция орошения). Приведем пример такого расчета для центральной части Чуйской впадины.

Параметр A_d определен по формуле (43) с учетом естественной дренированности. При построении кривых $Q = f(z)$ принято $h_{др} = 4,0 \text{ м}$, $z_0 = 3 \text{ м}$, $n = 1,5$. На исходный уровень (1946 — 1959 гг.) получено $A_d = 4,68$, а на этап

1980 г. $A_d = 6,5 \text{ м}^2/\text{с}$ со всей валовой площади (для западной части соответственно 1,22 и 2,0). Первая кривая распространяется на ретроспективу, а вторая на этап 2000 г.

Проверка по формуле (44) дала неплохое совпадение. Так, по формуле (32') при $I_{гр} = 10,69$ средневзвешенная глубина грунтовых вод получена $[z] = 2,04$ при $D = 15,27 \text{ м}^2/\text{с}$;
 $D_{гг} = 15,27 - 2,63 = 12,64 \text{ м}^2/\text{с}$; $A_d = \frac{D}{h_{др}[z]} = 6,45 \text{ м}^2/\text{с}$.

В то же время для $D_{гг}^* = 20,21 - 2,63 = 17,68 \text{ м}^2/\text{с}$ (при самостоятельном учете Φ_v) и $I_{гр} = 10,69$; $A_d = 9,00 \text{ м}^2/\text{с}$. Так как поставлена задача показать только методику расчетов, в таблице 7 не приведены значения D^* по кривой при $A_d = 9,00$, тем более, что выборочная проверка показала, что на окончательные результаты (в части соотношений между D и $I_{гр}$) это мало влияет. В то же время, как показано выше, значение $D_{гг}$ лежит между D и D^* . Расхождение в значениях по формуле (3) и по кривой (табл. 7) объясняется тем, что в первом случае предполагается сохранение исходного мелиоративного режима за счет разрежения сети при уменьшении Q , а по кривой — сохранение исходной густоты дренажной сети (λ , $l_{др} = \text{const}$).

Надо иметь в виду, что непосредственно по кривой получаем дренажный сток для горизонтального дренажа $D_{гг}$. Общий дренажный сток $D = D_{гг} + D_v$. Проиллюстрируем использование кривых примером. Для варианта "а" на 1980 г. по табл. 7 имеем ($\frac{\text{м}^3}{\text{с}}$) $Q_1 = 30,90$; $D = 20,21$; $D_{гг} = 14,20$; $D_v = 2,63$, $I_{гр} = 10,69$, на 2000 г. по кривой $Q' = 18,26$; $D' = 12,93$ ($D'_{гг} = 10,30$, $D'_v = 2,63$) $I'_{гр} = 5,33$ $\Delta I_{гр} = 5,33 - 10,69 = -5,36$.

Отсюда $\Delta I_{гр1} = \beta \Delta I_{гр} = -0,78 \cdot 5,36 = -4,17$.

При сохранении всех остальных статей баланса ($A_{гр}$, Φ_v , $\Phi_{пр}$, Π , Q_v , Q) на принятом в таблицах 5, 7 уровне разница в величине поступлений подземных вод Q получится только за счет изменения величины потерь в системе (сеть + поле) на величину $\Delta \Phi$. Так как у нас в табл. 5, 6 первоначально ("нулевое приближение" без учета изменения мелиоративного режима)

было принято $B'_\delta = B_\delta \cdot \Delta \Phi$ надо определять по (23) (если бы было принято $B'_n = B_n$, надо было бы определять $\Delta \Phi$ по (Г'а)). Напомним, что эти формулы дадут не общее изменение потерь при переходе с этапа 1980 г. на 2000 г., а только ту ее часть, которая связана с учетом изменения оросительной нормы (что не учтено в расчетах по формуле (3) на этап 2000 г. в табл. 5,6). Для наших условий $\eta' = 0,857$;
 $\frac{1-\eta'}{\eta'} = 0,162$, $\eta'_{тп} - \eta_{тп} = 0,95 - 0,85 = 0,10$, $B_\delta = B_r \cdot \eta_c$,
 $\eta_k = 0,635$ (на уровне 1980 г.) $B_\delta = 29,59 \cdot 0,635 = 18,75$,
 $\Delta \Phi = 0,162$ ($\Delta I_{гp} = 0,1 \cdot B_\delta$) $= 0,162$ ($4,17 - 0,1 \cdot 18,75$) $= 0,37$. Исправленное на этап 2000 г.
 $Q' = 18,26 + 0,37 = 18,63$.

По кривой для $Q' - Q_b = 18,63 - 2,63 = 16,00$ находим
 $D'_r = 10,34$; $I'_{гp} = 5,66$; $D' = 10,34 + 2,63 = 12,97$
(было 12,93). Так как изменение незначительно, можно остановиться на первом приближении.

Приведем такой же расчет при определении исходных значений на уровень 1980г. по кривой. На 1980г. $Q = 30,90$;
 $D = 16,83$ ($D_r = 14,20$; $D_b = 2,63$); $I_{гp} = 14,07$;
 $\Delta I_{гp} = 14,07 - 5,33 = 8,74$; $\Delta I_{гp,1} = 0,78 \cdot 8,74 = 6,81$;
 $\Delta I_{гp,2-3} = 8,74 - 6,81 = 1,93$; $\Delta \Phi = 0,162 \times 6,81 = 0,1 \times 18,75 = 0,80$.

Исправленное $Q' = 18,26 + 0,80 = 19,06$, $Q' - Q_r = 19,06 - 2,63 = 16,43$. По кривой находим $D'_r = 10,60$, $I'_{гp} = 5,83$,
 $D' = 10,60 + 2,63 = 13,23$, так как изменение незначительное, можно остановиться на первом приближении.

Как видно, при сохранении существующей дренажной сети дренажный сток уменьшится с 20,21 до 13,23 (12,97), а $I_{гp}$ с 10,69 (14,07) до 5,83 (5,66). В скобках указаны значения D^* и $I'_{гp}$ при исходных данных на уровень 1980 г., определенных по табл. 6,7.

Как видим, разница в D и $I'_{гp}$ получается незначительная. Это говорит о том, что на точность прогноза изменения D и $I'_{гp}$ приближенность построения кривых сказывается незначительно, в особенности, при высоком КПД системы на перспективу (это видно из формулы для определения $\Delta \Phi$).

Надо отметить, что на измененные величины головного водозабора это положение не распространяется.

Действительно, изменение головного водозабора за счет уменьшения $\Delta I_{гр}$ при условии $B'_б = B_б$

$$\Delta B_r = \Delta I_{гр} - B_б(\eta'_{гп} - \eta_{гп}) = \frac{4,17 - 18,75 \cdot 0,1}{0,857} = 2,67 \text{ м}^3/\text{с}$$

в первом случае и $\frac{6,81 - 18,75 \cdot 0,1}{0,857} = 5,75 \text{ м}^3/\text{с}$ во

втором.

При $B_r = 20,75$ это дает увеличение водозабора от 12,9 до 27,8%. Как видим, здесь требуется большая точность определения $\Delta I_{гр}$, так как уменьшение испарения грунтовых вод должно быть компенсировано соответствующим увеличением оросительной нормы и водозабора. Аналогичные расчеты сделаны для всех частей зоны выклинивания. Соответствующие для этого случая ($Z = \text{const}$) значения D' , $I'_{гр}$, Q' приведены в нижних строках табл.7.

Как видно в этом случае, изменение Q невелико, но использование грунтовых вод в зоне выклинивания резко уменьшается, а дренажный сток увеличивается. Надо отметить, что кривые $Q = f(Z)$ удобны и для получения осредненных глубин залегания грунтовых вод $Z = f(Q)$. При табличных расчетах эти глубины можно определить, исходя из полученного $I_{гр}$ по зависимости (32), (33) или (45).

Значение Z за период 1946–1959 гг. определено по данным о фактическом распределении площадей по глубинам залегания грунтовых вод за эти годы в интервалах 0 – 1; 1 – 2; 2 – 3 м. Сравнительные расчеты по этим способам приведены в табл.9. Они дают представление о порядке изменения $[Z]$ в зависимости от изменения питания подземных вод при реконструкции и развитии орошения. Как видно, и здесь учет изменения мелиоративного режима (последняя строка таблицы 9) заметно влияет на точность полученных значений средневзвешенной глубины и уменьшает расхождение результатов определения ее различными способами.

Таблица 9

Сравнение различных способов определения изменения осредненной глубины залегания грунтовых вод в связи с развитием и реконструкцией орошения.

Наименование статей	Восточная					Центральная					Западная							
	1946-1959		1980		2000	1946-1959		1980		2000	1946-1959		1980		2000			
	Ретро-спек-тива	а	б	а		б	Ретро-спек-тива	а	б		Ретро-спек-тива	а	б					
$Q = Q_{пр} + P_{эва} - Q_0 - Q_{чв}$	39,06	44,06	24,85	18,77	17,95	10,62	21,01	25,76	28,27	25,17	15,63	8,09	8,65	6,22	10,22	7,97	5,49	1,79
$Q - Q_{чв}$	17,31	24,26	19,14	13,06	12,24	4,91												
$Q_t - Q_{исх}$	-6,95	0	-5,12	-11,20	-12,02	-19,35	-4,75	0	2,51	-0,59	-10,13	-17,57	2,43	0	4,0	1,75	-0,73	-4,43
$\Delta z = \Delta Q \cdot 31,56 \cdot 10^6 / 0,2 \cdot F \cdot 10^4, м$	-4,20	0	-3,10	-6,77	-7,26	-11,70	-0,48	0	0,25	-0,06	-1,20	-1,77	0,49	0	0,80	0,35	-0,15	-0,89
$[z] = \Sigma F_t \cdot \alpha_t$	1,98							1,76						1,87				
$[z] = z_{исх} - \Delta z_1$	6,18	1,98	5,08	8,75	9,24	13,68	2,24	1,76	1,51	1,82	2,96	3,53	1,38	1,87	1,07	1,52	2,02	2,76
$[z]$ по кривой							1,88	1,64	1,84	1,96	2,40	2,88	1,66	1,98	1,88	2,10	2,37	3,04
$I_{гр}, \text{ при } z' = z$	3,02	2,48	0	0	0	0	14,51	14,41	10,69	10,69	8,83	8,09	6,90	4,80	4,79	4,79	4,22	1,79
$[z] = z_0 (1 - I_{гр})$	1,62	1,77	3,0	3,0	3,0	3,0	1,81	1,82	2,04	2,04	2,15	2,20	1,76	2,03	2,03	2,03	2,11	2,50
$I_{гр}, \text{ при } z' > z$					0	0					5,83	1,33					2,76	3,12
$[z], \text{ соотв. } I_{гр},$					3,0	3,0					2,33	2,79					2,34	2,91

Примечание: а - при отсутствии, б - при наличии бетонированных обводных русел на притоках левого берега.

С учетом вышеизложенного рассмотрим полученные результаты. Как видно, по мере повышения КПД оросительных систем зон формирования и выклинивания подземных вод, расчетный дренажный сток резко уменьшается (рис. 13). Соответственно уменьшению

$\bar{D}$ (следовательно, и дренажного модуля) из условия сохранения мелiorативного режима, т.е. $z' = z$, $h'_{гр} = h_{гр}$, должно быть увеличено расстояние между дренами $\mathcal{L}$. В первом приближении при $h_{др}$ и $z_d = \text{const}$ можно считать, что $\mathcal{L}$ обратно пропорционально $Q_{др} = \frac{\bar{D}}{F}$, т.е. уменьшение $\bar{D}$ в

N раз приведет к такому же увеличению $\mathcal{L}$. Можно для определения $\mathcal{L}$ воспользоваться кривыми $\mathcal{L} = f(Q_{др})$ (рис. 14) по различным формулам, построенным с использованием расчетов, выполненных Л.К.Госсу [9] при $K = 1$.

Согласно рис. 14 на уровень 1980 г. $\mathcal{L} = 280-380$ м, а на 2000 г. $\mathcal{L} = 450-1300$ м (при $K = 1$ м/сут.).

Из таблицы 7 следует, что на этап 1980 г. (суммарное питание грунтовых вод в зоне выклинивания резко уменьшается только в восточной части, в особенности, для варианта б (бетонированные обводные русла на левобережных реках). Соответ-

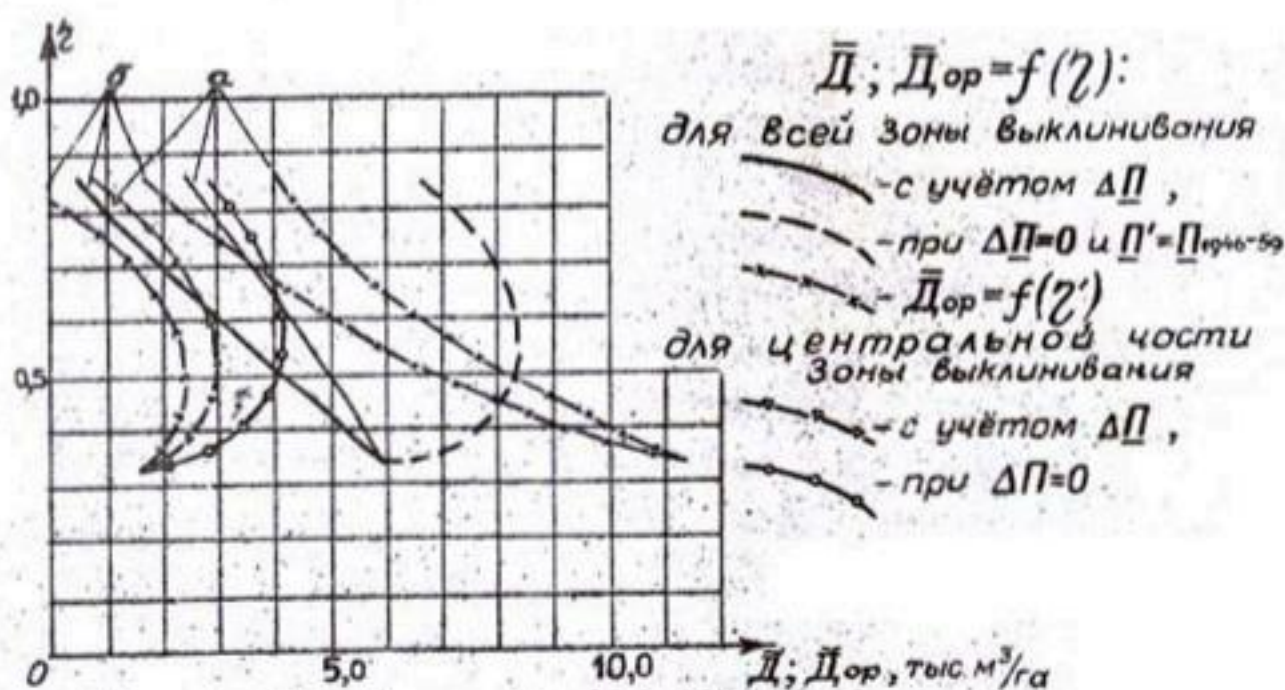


Рис. 13. Уменьшение удельного дренажного стока по различным этапам развития орошения для зоны выклинивания Чуйской впадины (без учёта Φ_0): $\bar{D}; \bar{D}_{ор} = f(\mathcal{L})$ (а - при отсутствии, б - при наличии бетонированных обводных русел на речках левого берега)

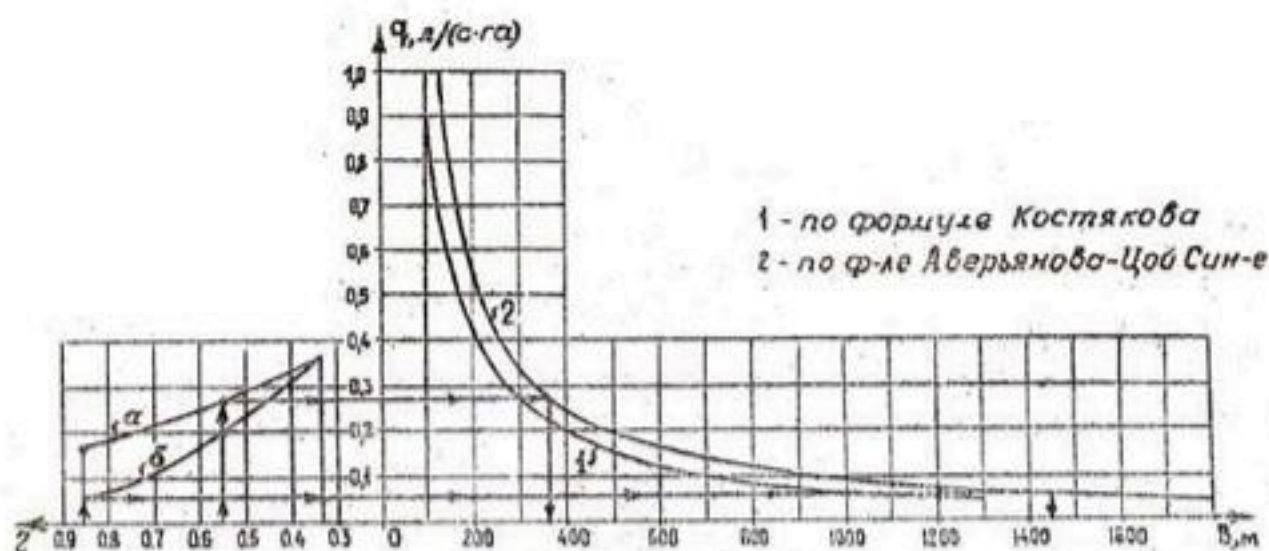


Рис. 14. Изменения дренажного стока и междреннего расстояния на различных этапах развития орошения (а - при отсутствии, б - при наличии бетонированных обводных русел рек на левом берегу впадины)

венно резко снизится уровень грунтовых вод (см. табл. 9), установится автоморфный режим на всей площади. Размер дренажного стока соответствует высокой дренирующей способности р. Красная и Чу, и потребность в искусственном дренаже отпадает. Дальнейшее повышение КПД (этап 2000 г.) приведет к еще более резкому уменьшению руслового выклинивания. В абсолютных цифрах дренажный сток D падает с 49830 до 21700 (1980 г.) и до 12160 м^3 (2000 г.) с 1 га валовой площади.

Для центральной и западной частей на этапе 1980 г., несмотря на повышение КПД, происходит увеличение Q за счет расширения орошаемых площадей. Это позволяет сохранить примерно на прежнем уровне подпитывание грунтовыми водами, несмотря на большое увеличение забора подземных вод как в зоне выклинивания, так и в предгорной (в предгорной зоне он на перспективу составляет $9,75 \text{ м}^3/\text{с}$, в том числе восточная часть - $2,30$; центральная - $5,70$; западная $1,75 \text{ м}^3/\text{с}$). Дренажный сток увеличивается с 1600 до $2460 - 3070$ для центральной и $1330 - 2730 \text{ м}^3/\text{га}$ с валовой площади - для западной части. На этапе 2000 г. имеем дальнейшее резкое уменьшение Q и D (вплоть до $D < 0$) при сравнительно небольшом уменьшении $I_{\text{гр}}$. При этом последнее полностью или частично компенсируется увеличением водоподдачи

нетто за счет повышения КПД техники полива. Так, для центральной части $\Delta I_{гр} = 10,69 - 8,83 = 1,86$ практически равно B_{δ} .
 $(\eta'_{гп} - \eta_{гп}) = 18,75 (0,95 - 0,85) = 1,88$.

В этом свете представляют интерес расчеты изменения D , $I_{гр}$, B_r , Φ при различных значениях $\eta_{гп}$, выполненные в таблице 10 для центральной части при $\Delta I_{гр1} = 2,55$, полученном в одном из промежуточных (не приведенных здесь) вариантов. Как видно из таблицы (графы 5 и 3), при $B'_\delta = B_\delta$ происходит некоторое уменьшение $I'_{гр}$ за счет увеличения $\eta'_{гп}$. При этом головной водозабор $B'_r = B_r = 20,75$.

Сравнение граф 3 и 4 показывает, что за счет повышения $\eta_{гп}$ с 0,85 до 0,95 получаем уменьшение головного водозабора с 20,75 до 18,59 и дренажного стока с 3,52 до 1,36, т.е. на 2,16 м³/с. При учете изменения B_n (графы 6,7) на $\Delta I_{гр1} = 0,78$. $(14,08 - 10,84) = 2,55$ при $\eta'_{гп} = 0,95$ получаем $B'_r = 21,55$, а при $\eta'_{гп} = 0,85$ $B'_r = 24,20$ соответственно меняется и D' с 5,03 до 7,66 м³/с.

Таким образом, в зависимости от принятой техники орошения дренажный сток меняется от 1,36 до 7,66 против 16,67 на 1980 г. Соответственно увеличатся расстояния между дренами. Выбор варианта должен производиться на основе экономического обоснования. Для этого полезно рассмотреть предельный случай создания автоморфного мелиоративного режима с полным прекращением субиригации, т.е. $I_{гр} = 0$, $z' \geq z_0$. Расчеты по этому варианту выполнены непосредственно по формуле (3) (табл. II).

Расчетное испарение I' находим по формуле (15). При этом $I_{неор}$ по формуле (38) определено при $\delta = 0,2$. Для сравнения в графе 12 дано расчетное испарение I'_1 при $\delta = 0$ и $\Delta I_{гр2} = 0$. Как видно, только для западной части, где $\alpha_{00} = 0,56$ (против 0,20 - 0,22 для остальных частей), это дает заметную разницу в величине расчетного испарения. Соответственно изменится и дренажный сток. Надо полагать, что для западной части принятие $\delta = 0,2$ дает завышение испарения с грунтовых вод на неорошаемых землях. Для контроля сделана проверка по формуле (24, 24а), где принято $A_{гр} = 0$ (табл. 12). Результаты полу-

Таблица 10

Параметры	На 1980 г.	на 2000 г.						Примечание
		без учета изменения мелiorативного режима						
		мелиоратив. режим						
I	2	3	4	5	6	7	8	
		при $\varphi'_{гп} = \varphi_{гп}$	$\varphi'_{гп} = 0,95, B'_{гп} = 0,95, B'_{гп} = 0,95$			$\varphi'_{гп} = 0,95$	$\varphi'_{гп} = 0,85$	
Водоподача нетто (B_n)	15,94	15,94	15,94	17,80	18,49	18,49	1) Принято	
КПД техники полива ($\varphi_{гп}$)	0,85	0,85	0,95	0,95	0,95	0,35	$A'_{гп} = A_{гп}, \varphi'_{гп} = \varphi_{гп}$	
Водоподача брутто (B_g)	18,75	18,75	16,80	18,75	19,40	21,75	$\varphi'_{гп} = \varphi_{гп}$	
КПД сети (φ_k)	0,635	0,903	0,903	0,903	0,903	0,903	тогда	
КПД системы (φ)	0,537	0,768	0,857	0,857	0,857	0,768	$\varphi' = \varphi + \Delta\varphi + \Delta\Pi$	
Головной водозабор (B_r)	29,60	20,75	18,59	20,75	21,55	24,20	$\Delta\Pi = (\Pi - Q) - (\Pi - Q)$	
Фильтрационные потери ($Q\varphi = B_r - B_n$)	13,66	4,81	2,65	2,95	3,08	5,71	2) Индекс "прим" от-носится к этапу 2000г; без индекса - уровень 1980 г.	
Приток минус отток подземных вод ($\Pi - Q$)	9,11	4,81	4,81	4,81	4,81	4,81		
Поступление в грунтовые воды (Q)	30,75	17,60	15,44	15,74	15,87	18,50		
Испарение грунтовых вод ($I_{гп}$)	14,08	14,08	14,08	12,22	10,84	10,84		
Дренажный сток (D)	16,67	3,52	1,36	3,52	5,03	7,66		

Таблица II

Определение расчетного дренажного стока для зоны выклинивания Чуйской впадины (левый берег) на этап полной реконструкции орошения (2000 г.) при автоморфном мелиоративном режиме $I'_{гр} = 0$, $z' \approx z_0$

Варианты	(Π-0)	В _г '	А	И'	Д'	Д ^с с учетом Φ _g	Вспомогательные данные			
							В _н	ΔИ _{гр}	ΔИ _{гр1}	$\frac{\Delta И_{гр1}}{p'}$ И'
Восточная часть										
а	17,81	4,68	3,00	6,78	18,71	18,71	2,79	1,54	1,22	6,70
б	10,48	4,68	3,00	6,78	11,38	11,38	2,79	1,54	1,22	6,70
Центральная часть										
а	7,17	28,30	18,60	39,66	14,41	19,35	15,34	10,69	8,32	39,41
б	-0,37	28,30	18,60	39,66	6,87	11,81	15,94	10,69	8,32	39,41
Западная часть										
а	2,94	9,25	9,20	15,23	6,16	6,86	4,90	4,79	3,02	14,07
б	-0,76	9,25	9,20	15,23	2,46	3,16	4,90	4,79	3,02	14,07
Итого										
а	27,92	42,23	30,80	61,67	39,28	44,92	23,63	17,02	12,56	60,18
б	9,35	42,23	30,80	61,67	20,71	26,35	23,63	17,02	12,56	60,18

Примечание. 1. При $I'_{гр} = 0$; $\Delta I_{гр} = -(I'_{гр} - I_{гр}) = I_{гр}$, где $I_{гр}$ - годовое испарение грунтовых вод на этап 1980 г, принято равным $(Q - D)$ по таблице 7.
По формуле (40) $\Delta I'_{гр} = \beta \Delta I_{гр}$; $\beta = 0,79$ для восточной части; $\beta = 0,78$ для центральной; $\beta = 0,67$ для западной части.

2. $B'_r = \frac{B'_n}{\beta} = \frac{B_n + \Delta I_{гр}}{\beta}$, B_n - оросительная норма нетто без учета снижения грунтовых вод при условии сохранения $B' = B$ (индекс "прим" относится к 2000 г.).

3. $I'_{гр} = I - \Delta I_{гр} = I - (1 - \beta) \Delta I_{гр}$; $I' = \alpha_{ор} I_{ор} + \alpha_{неор} A$

Определение ΔD по формуле (24а) и $D' = D + \Delta D$ (без учета Φ_0)
 при автоморфном мелiorативном режиме ($I'_{гр} = 0$; $z' > z_0$) для зоны
 выклинивания левого берега Чуйской впадины.

Варианты	$\Delta \Pi$	$B_0 \cdot (\frac{1}{g_k} - \frac{1}{g_k'})$	$\frac{\Delta I_{гр1}}{g_k'}$	$\frac{\Delta \Phi_{п}}{g_k'}$	$\Delta I_{гр2} + \Delta I_{гр3}$	ΔD	D (1980)	D' (2000)	B_r (1980)
Восточная часть									
а	- 5,00	- 1,54	1,35	-0,33	0,31	- 5,21	23,91	18,70	5,20
б	- 6,25	- 1,54	1,35	-0,33	0,31	- 6,46	17,83	11,37	5,20
Центральная часть									
а	- 1,94	- 8,80	9,25	-1,87	2,35	- 1,01	15,27	14,26	29,59
б	- 6,38	- 8,80	9,25	-1,87	2,35	- 5,45	12,17	6,72	29,59
Западная часть									
а	- 1,19	- 2,72	3,34	-0,57	1,77	0,63	5,68	6,31	9,35
б	- 2,64	- 2,72	3,34	-0,57	1,77	- 0,82	3,43	2,61	9,35
Итого									
а	- 8,13	-13,06	13,94	-2,77	4,43	- 5,59	44,86	39,27	44,14
б	-15,27	-13,06	13,94	-2,77	4,43	-12,73	33,43	20,70	44,14

чились практически одинаковыми, что показывает правильность полученных зависимостей и приемлемость принятых допущений при определении коэффициентов β в формулах (38) и (40).

Сопоставление таблиц II и I2 с 5 - 7 показывает:

- переход на автоморфный режим на этап 2000 г. приводит к резкому увеличению головного водозабора (по зоне выклинивания в целом на $42,23 - 30,76 = 11,47 \text{ м}^3/\text{с}$) и дренажного стока (для варианта "а" на $44,92 - 30,20 = 14,72$, для варианта "б" - на $28,35 - 14,80 = 13,55 \text{ м}^3/\text{с}$) по сравнению (в таблицах 4 и 7 на этап 2000 г.) с принятым;

- при этом по сравнению с этапом 1980 г., несмотря на резкое повышение КПД (с 0,535 до 0,857), головной водозабор уменьшается всего на $44,14 - 42,23 = 1,91 \text{ м}^3/\text{с}$, а дренажный сток на $52,04 - 44,92 = 7,12$ (вариант "а") и $40,51 - 28,35 = 12,16 \text{ м}^3/\text{с}$ (вариант "б").

- водопотребление нетто на орошаемых землях $B'_n = 42,23 \cdot 0,857 = 36,20$ остается таким же, что и на 1980 г.; ($B_n + И_{гр} = 23,69 + 12,56 = 36,19$, количество используемых осадков принимаем постоянным, т.е. $\mu A' = \mu A$). Суммарное испарение с валовой площади уменьшается на $66,13 - 61,67 = 4,46 \text{ м}^3/\text{с}$.

Таким образом, на конкретном примере видно, что никакой речи об экономии оросительной воды при гидроморфном режиме (за счет субиригации) не может быть, наоборот, в конечном итоге, такая экономия получается при автоморфном режиме за счет сокращения непроизводительного испарения грунтовых вод.

Однако в условиях зоны выклинивания поддержание автоморфного режима даже при сведении притока подземных вод к минимуму (за счет повышения КПД сети предгорной зоны, строительства обводных русел на горных реках (вариант "б") и обеспечения предусмотренного объема откачек) возможно только в восточной части, ибо в остальных частях это связано с увеличением протяженности искусственной дренажной сети и мероприятиями по использованию дренажного стока за пределами зоны выклинивания. Конечно, если вместо горизонтального дренажа перейти на вертикальный с использованием подземных вод на орошение, карти-

на существенно меняется, и при этом легко сочетается решение задач увеличения дренажного стока и его использования.

В то же время для варианта "б" при полной реконструкции орошения, включая ликвидацию русловых потерь в реках предгорной зоны за счет строительства обводных русел, практически отпадает необходимость в горизонтальном дренаже в зоне выклинивания. Для принятого варианта (табл. 7) расчетный дренажный сток в центральной и западной частях соответствует объему откачек, а в восточной части — естественной дренирующей способности. Сводные данные, отражающие роль отдельных слагаемых в общем изменении дренажного стока на примере центральной части зоны выклинивания, приведены в табл. 13.

Приведенные на рис. 5 — 9 графики позволяют установить величину дренажного стока для различных сочетаний расчетного водопотребления (K_6 , μA , I_0), $\Delta \Pi$, мелиоративных режимов $I_{гр}$, ψ и т.д. Пользование ими не требует особых пояснений.

Как видно из таблицы, при переходе на этап 2000 г. доля $\Delta \Pi$ в изменении дренажного стока ΔD составит от 18 до 44%. Нетрудно подсчитать, что при переходе от исходного уровня (1946 — 1959 гг.) на уровень 1980 г. абсолютная величина $\Delta \Pi$ составляет от — 7,77 (вариант "а") до — 10,87 (вариант "б") или от 30 до 214% от ΔD . Другими словами, отказ от переустройства сети, а также от строительства водозаборов подземных вод в предгорной зоне, т.е. $\Delta \Pi = 0$ (рис. 13) означает увеличение расчетного дренажного стока на этап 1980 г. на 7,77 — 10,87 м³/с или на 30—64%, а на этап 2000 г. — на 9,71 — 17,25 м³/с или на 103—655%. Это лишний раз подчеркивает необходимость учета влияния мероприятий, проводимых в предгорной зоне на расчетный дренажный сток.

Само назначение мелиоративного режима и выбор типа дренажа не могут быть правильно сделаны без учета этих обстоятельств.

Только при комплексном, системном подходе, учитывающем требования использования водных ресурсов для различных отраслей народного хозяйства (орошение, водоснабжение), взаимовлияние гидрогеологических зон, поверхностных и подземных вод,

Таблица 13

Параметры	1946- 1959 гг.	1980 г.		2000 г.		2000 - 1980 гг.	
		а	б	а	б	а	б
П-0	16,88	9,11	6,01	7,17	-0,37	$\Delta П$	-1,94 - 6,38
B_r	8,84	29,59	29,59	20,75	21,45	ΔB_r	-8,84 - 8,10
B_n	3,00	15,94	15,94	17,80	18,54	ΔB_n	+1,86 + 2,60
Φ_8	0,00	4,94	4,94	4,94	4,94	$\Delta \Phi_8$	0,00 0,00
И	32,65	42,03	42,03	42,03	42,03	$\Delta И$	0,00 0,00
D^*	11,67	20,21	17,11	9,43	2,63	ΔD^*	-10,78 -14,48
Φ_2	5,84	13,65	13,65	2,95	3,01	$\Delta \Phi_2$	-10,68 -10,62
Q	26,11	30,90	27,80	18,26	10,72	ΔQ	-12,64 -17,08
$I_{гр}$	14,44	10,69	10,69	8,83	8,09	$\Delta I_{гр}$	-1,86 - 2,60

Примечание. 1. Расчетное водопотребление и суммарное испарение на 2000 г. и 1980 г.

приняты одинаковыми, т.е. $B'_n = B$; $B_n + I_{гр} = B'_n + I'_{гр}$; $\mu'A' = \mu A$; $I' = I$ (уменьшением производительного испарения грунтовых вод пренебрегаем).

2. Разница в $I_{гр}$ получается потому, что расчет сделан при $B'_8 = B_8$, т.е. водоподача на поле сохраняется на уровне 1980 г. ($29,59 \cdot 0,635 = 18,75$). Следовательно, $B'_n = B_n + B_8 (\varphi'_{гн} - \varphi_{гн})$, а $I'_{гр} = I - B_8 \cdot (\varphi'_{гн} - \varphi_{гн})$. Если принять $B'_n = B_n$, получим $I'_{гр} = I_{гр}$ (при сохранении данного мелiorативного режима).

3. Для варианта "б" на 2000 г. по уравнению (3) $D = 1,89$, но так как по проекту $D_8 = 2,63$, принято $D = 2,63$, соответственно уменьшено $I_{гр}$.

4. $\Delta D = \Delta П + \Delta B_r + \Delta A - \Delta И = \Delta Q - \Delta I_{гр} = \Delta П + \Delta \Phi - \Delta I_{гр}$.

Принято $\Delta A = 0$, $\Delta A_{г0} = 0$.

мероприятий агролесомелиоративного и эксплуатационного комплекса, техники орошения и дренажа, можно правильно разрешить эту задачу. На это нами обращалось внимание еще в работах 1960-1962 гг., в частности, в работах [1, 10]. В работе [1] даны зависимости для установления оптимального КПД систем предгорной зоны (и объем откачек подземных вод), исходя из сопоставления расчетных затрат на орошение путем использования сбереженной воды при переустройстве или при откачках с одновременным достижением мелиоративного эффекта. Рассмотрим вопрос о влиянии коэффициента использования земельного фонда ($\alpha_{ор}$) на дренажный сток. Удельный дренажный сток с орошаемой площади $\bar{D}_{ор} = \frac{D_{ор}}{F_{ор}}$ можно принимать постоянным

при условии $\frac{P-Q}{F_{ор}} \approx const$, что справедливо для больших орошаемых массивов и при региональных расчетах. Удельный дренажный сток с га валовой площади $\bar{D} = \frac{D}{F_v} = f(\alpha_{ор})$, т.е. зависит от коэффициента использования земельного фонда, что отражено в уравнениях 5, 6, 7. При сравнении полученных нами в табл. 5, 6 значений $\bar{D}$ и $\bar{D}_{ор}$ надо иметь в виду, что по физическому смыслу $\bar{D} \geq \bar{D}_{ор}$. Следовательно, случаи, когда получено $\bar{D} < \bar{D}_{ор}$, означают наличие неувязок в принятых расчетных размерах $I_{ор}$ и $I_{неор}$. Сопоставление полученных $\bar{D}$ и $\bar{D}_{ор}$ помогает выявить эти неувязки и уточнить расчеты баланса подземных вод и его элементов.

Изменение $\bar{D} = f(\alpha_{ор})$ на примере центральной части Чуйской впадины показано на рис. 15 для расчетных данных, полученных на уровень 1980 г.:

$P = 2300$, $Q = 472$, $M_r = 7700$, $A = 3760$, $I = 8470 \text{ м}^3/\text{га}$
 При $\alpha_{ор} = 1$ $\bar{D} = \bar{D}_{ор}$ (для рассматриваемых условий $4160 \text{ м}^3/\text{га}$).
 Как видно, зависимость $\bar{D}_{ор} = f(\alpha_{ор})$ при принятых допущениях представляет собой прямую. По графику легко получить то значение $\alpha_{ор}$, при котором для принятых расчетных данных $\bar{D} = 0$. Для рассматриваемых условий (рис. 15) $\bar{D} = 0$ при $\alpha_{ор} = 0,1$, т.е. при этом за счет оттока грунтовых вод на неорошаемые земли последние играют роль су-

кого дренажа, и необходимость в искусственном дренировании орошаемых земель полностью отпадает.

В общем случае $\bar{D} = 0$ при $\alpha_{ор} = \frac{\bar{D} - 0 - \delta_{гр} \bar{Y}_0}{\bar{Y}_{ор} - \bar{A} - \delta_{гр} \bar{Y}_0 - M_{г}}$. (71)

Все обозначения в этой формуле ясны из предыдущего изложения; здесь нужно подставить только их удельные значения с валовой площади, за исключением нормы головного водозабора, которая, как обычно, подставляется с орошаемой площади.

Представляют интерес дифференцированные расчетные значения дренажного стока в разрезе гидромодульных районов Чуйской впадины при изменении КПД. Необходимые расчетные данные есть в табл. I4, I5. Оросительные нормы брутто взяты по данным Киргизгипроводхоза. Расчеты сведены в табл. I6, где определены значения дренажного стока с I га валовой площади $\bar{D}$ (при $\alpha_{ор}$ по фактическим данным на современное расстояние и по проекту — на перспективу) и при $\alpha_{ор} = 0,9$, т.е. практически при

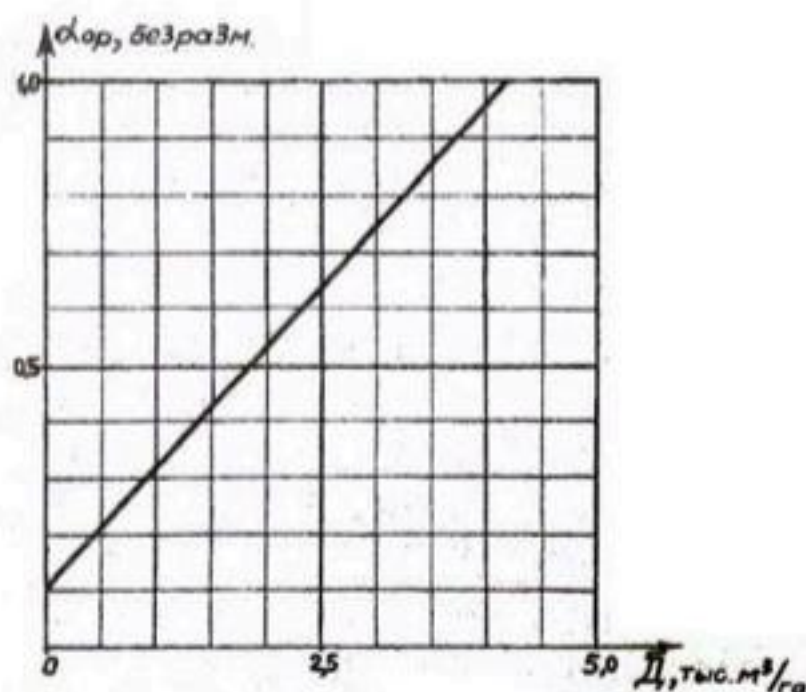


Рис. 15. Изменение удельного дренажного стока ($\bar{D}$) в зависимости от коэффициента использования зеленого фонда ($\alpha_{ор}$) для центральной части зоны выжимания левобережья Чуйской впадины

Таблица Г4

Исходные данные для расчета дренажного стока в левобережной части Чувской впадины

Наименование статей	Центральная часть						Западная часть					
	$\eta = 0,5$		$\eta = 0,7$		$\eta = 0,9$		$\eta = 0,5$		$\eta = 0,7$		$\eta = 0,9$	
	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б
Зона выклинивания												
(П-0), м ³ /га	3440	1840	1200	1250	-75	1790	1660	710	1140	-310		
Λ, м ³ /га		3760		3760				3670		3670		
$\alpha_{ор}$	0,416	0,783		0,783		0,0605	0,438			0,438		
И при $\alpha_{ор}$ факт. и по проекту	7360	8470		8470		6030	6850			6850		
И при $\alpha_{ор} = 0,9$	8810	8810		8810		7970	7970			7970		
Зона транзита												
(П-0), м ³ /га	560,0	470,0	470,0	470,0	470,0	-910	-910	-910	-910	-910		
Λ, м ³ /га		3710		3710				3690		3690		
$\alpha_{ор}$	0,131	0,415		0,415		0	0,162			0,162		
И при $\alpha_{ор}$ факт. и по проекту	4490	5960		5960		3740	4580			4580		
И при $\alpha_{ор} = 0,9$	8560	8560		8560		8560	8560			8560		

Таблица 15

Гидрометеорологический район	Расчетная глубина грунтовых вод	Сахарная свекла $Q = 0,25$	Лещерна		Зерновые		Итого
			прошлые годы 0,375	текущий год 0,125	озимые 0,125	яровые 0,25	
IX	1,0	$\frac{4800}{1200}$	$\frac{3800}{1425}$	$\frac{3000}{450}$	$\frac{1900}{238}$	$\frac{2200}{275}$	3588
УШ	1,0	$\frac{6200}{1550}$	$\frac{6000}{2250}$	$\frac{5200}{650}$	$\frac{2400}{300}$	$\frac{2800}{350}$	5100
IX'	2,0	$\frac{6700}{1675}$	$\frac{6200}{2325}$	$\frac{5800}{725}$	$\frac{3100}{388}$	$\frac{3800}{475}$	5588
УШ'	2,0	$\frac{9000}{2250}$	$\frac{8800}{3300}$	$\frac{7500}{937}$	$\frac{3800}{475}$	$\frac{4300}{537}$	7199
УІ	2,0	$\frac{7800}{1950}$	$\frac{7500}{2810}$	$\frac{6100}{762}$	$\frac{2900}{362}$	$\frac{3700}{463}$	6347

Примечание. 1) В числителе абсолютная M_3 , а в знаменателе взвешенная $M_3 \cdot a$ - оросительная норма.

2) Значения П-П, И, А даны в табл. 14.

*) Данные Киргизгипроводхоза.

Определение расчетного дренажного стока в разрезе гидроморфных районов Чуйской впадины: $\bar{D} = (\bar{D} - 0) + \Phi_{\alpha} \alpha_{op} + M_{\beta} \beta_{op} + A - H$ в м³/га

Таблица 16

Гидроморфные районы	M _β	M _β α _{op}		Φ _α α _{op}		Д	
		Центральная		Западная		Центральная	
		Р _к =0,5	Р _к =0,9	Р _к =0,5	Р _к =0,9	Р _к =0,5	Р _к =0,9
расчет при Р _к =0,5	Р _к =0,5	Р _к =0,5	Р _к =0,9	Р _к =0,5	Р _к =0,9	Р _к =0,5	Р _к =0,9
факт. вод.	Р _к =0,5	Р _к =0,5	Р _к =0,9	Р _к =0,5	Р _к =0,9	Р _к =0,5	Р _к =0,9
Зона выклинивания							
IX ₁ Д _{op} при α _{op} =0,9	3588	3230	3230	3230	3230	3230	3230
X ₁ Д _{op} при α _{op} =0,9	3588	5030	5030	5030	5030	5030	5030
XI ₁ Д _{op} при α _{op} =0,9	3588	1490	2810	1490	2810	1490	2810
по проекту	3588	4380	4380	4380	4380	4380	4380
Д _{op}	5100	4600	4600	4600	4600	4600	4600
Д	7200	2120	4000	2120	4000	2120	4000
Д _{op}	5588	5030	5030	5030	5030	5030	5030
Д	5588	2320	4380	2320	4380	2320	4380
Д _{op}	7200	6480	6480	6480	6480	6480	6480
Д	7200	3000	5630	3000	5630	3000	5630
Д _{op}	6347	5700	5700	5700	5700	5700	5700
Д	6347	2640	4960	2640	4960	2640	4960
Д _{op}	5600	5040	5040	5040	5040	5040	5040
Д	5600	730	2320	730	2320	730	2320
Д _{op}	7200	6480	6480	6480	6480	6480	6480
Д	7200	940	2990	940	2990	940	2990

Примечание: 1000 м³/га - 0,0312 л/о/га;

Для отклонения Д необходимо или увеличить головной водозабор на (H₁ + D_{min}), где D_{min} - D_{факт} или соответственно уменьшить растенный испарение (H)

риод может быть предусмотрено завышенное количество их, в то время как запущенная сеть закрытого горизонтального дренажа приведет к омертвлению капитала после реализации мер по реконструкции орошения. В этом аспекте следует остановиться еще на вопросе учета изменения интенсивности напорного питания по длине потока. Все приведенные расчеты выполнены в предположении постоянства элементов баланса, в частности, напорного питания по всей площади. Между тем, если в пределах выделенных балансовых районов зоны выклинивания инфильтрационное питание можно принимать постоянным, то для напорного питания этого делать нельзя.

Это видно из обработанных нами материалов наблюдений Сазводпроиза в 1937 г. за изменением выклинивания в карасу по длине их.

Эти данные показаны на рис.2 в виде кривых $\frac{q_x}{q}$ в %, где q_x — расход карасу на длине x от начала, q — суммарный расход выклинивания на длине ℓ .

Для карасу в бассейнах рек Сокулук и Каинда-Аспара $\ell = 10$ км, для бассейна Карабалты $\ell = 12,5$ км.

Однако основной расход (75-96%) выклинивается на протяжении первых 5 км. На основании этих данных построены кривые

$\frac{q_x}{q_{ср}} = f(x); \quad \frac{\Delta q}{\Delta q_{ср}} = \frac{q_x - q_{x-\Delta x}}{\Delta q_{ср}} = f(x),$
где $q_{ср}$ — фактический расход выклинивания на длине x ;

$q_{ср} = \Delta q_{ср} \cdot x = \frac{q}{\ell} x$ — расход выклинивания, который имел бы место при равномерной интенсивности ($\Delta q = \text{const}$).

Первые дают изменение относительной интенсивности по длине x , а вторые — по участкам Δx .

Величина $\frac{\Delta q}{\Delta q_{ср}}$ представляет собой коэффициент неравномерности руслового выклинивания по отношению к средней ее величине, которая изменяется от 4,5 до 0,08, причем даже на первых трех километрах от 4,5 до 1,4, т.е. более чем в 3 раза. Для определения коэффициента неравномерности площадного выклинивания примем условно, что глубины грунтовых вод изменяются по длине зоны выклинивания прямолинейно от $Z = 0$ до $Z = Z_n$. Определяя $I_{гр}$ по Аверьянову С.Ф. (формула 32) при $n = 1,5$,

получим изменение интенсивности испарения по длине и соответственно $\frac{\Delta I_{гр}}{\Delta I_{гр\text{ ср}}}$, т.е. коэффициент неравномерности площадного выклинивания или изменения испарения грунтовых вод (рис. 16). Суммарный коэффициент неравномерности

$$K_n = \frac{\Delta q}{\Delta q_{ср}} \cdot D \% + \frac{\Delta I_{гр}}{\Delta I_{гр\text{ ср}}} \cdot I_{гр} \% , \quad (72)$$

где $D \% = \frac{D}{D + I_{гр}} \% ; I_{гр} \% = \frac{I_{гр}}{D + I_{гр}} \%$

Значения K_n при $D = 25\%$, а $I_{гр} = 75\%$ даны в табл. 17. Как видно, он меняется от 1,90 до 0,33, т.е. почти в 6 раз. Таким образом, для верхней части зоны выклинивания суммарное напорное питание будет в 2 раза больше среднего, а для нижней части в 6 раз меньше среднего. Надо сказать, что принятое гидромодульное районирование Чуйской впадины не отражает этого обстоятельства, гидромодульные районы УШ, УШ', IX, IX' (рис. II) расположены в различных гидрогеологических зонах и вытянуты в меридиональном направлении.

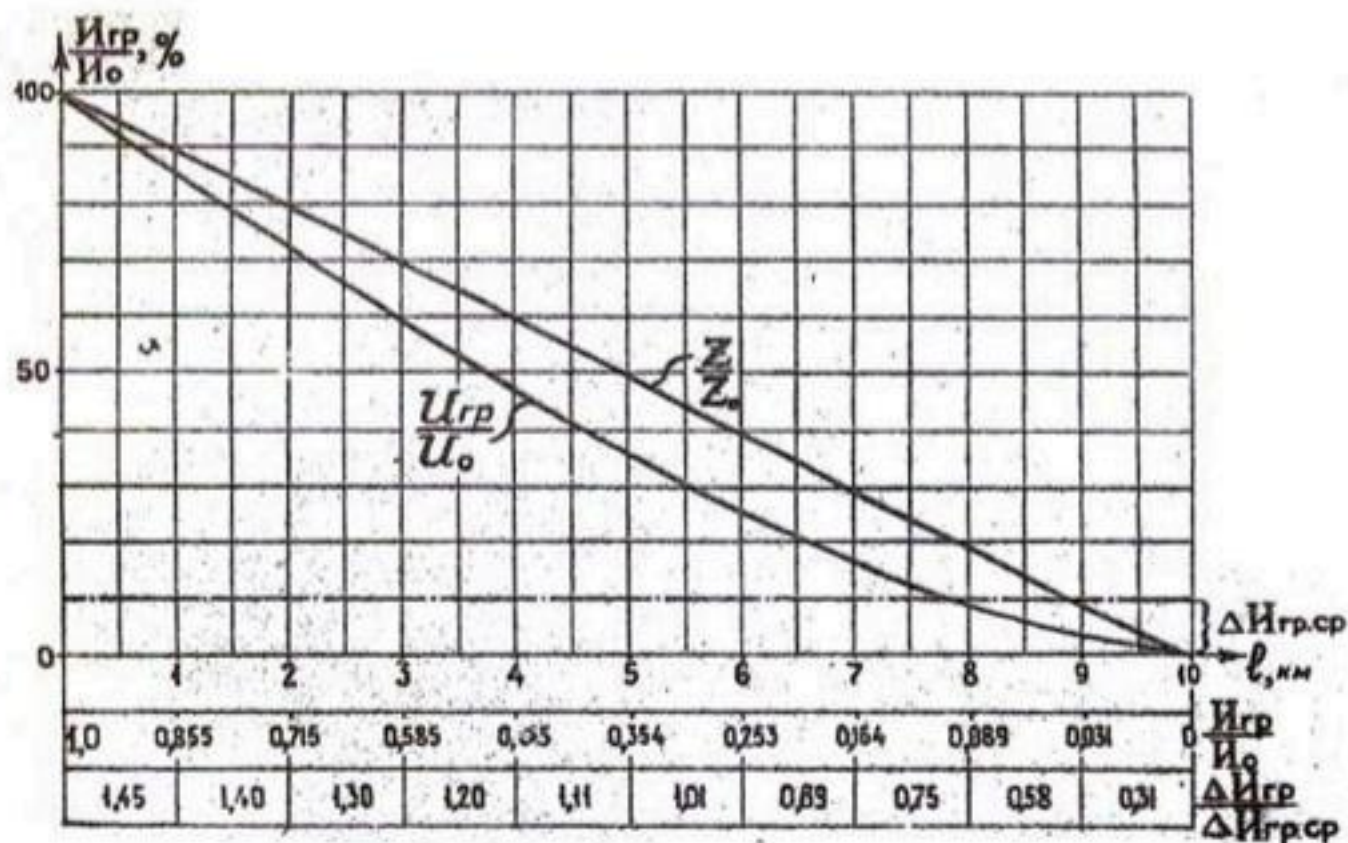


Рис. 16. Изменение площадного выклинивания — испарения грунтовых вод — при прямолинейном изменении глубины их залегания по длине зоны выклинивания (от $Z=0$ при $x=0$ до $Z=Z_0$ при $x=l$): $I_{гр}/I_0 = (1 - Z/Z_0)^{1,5}$

Таблица 17

Значения коэффициента неравномерности напорного питания
по длине зоны выклинивания

№ пп	$\frac{\Delta Q}{\Delta Q_{\text{ср}}}$	$\frac{\Delta Q}{\Delta Q_{\text{ср}}} \text{ д } \%$	$\frac{\Delta I_{\text{гр}}}{\Delta I_{\text{гр ср}}}$	$\frac{\Delta I_{\text{гр}}}{\Delta I_{\text{гр ср}}} I_{\text{гр}} \%$	$K_n \%$
1.	3,26	81,5	1,45	109,0	190,5
2.	2,13	53,2	1,40	105,0	158,2
3.	16,88	47,0	1,30	97,5	144,5
4.	1,25	31,2	1,20	90,0	121,2
5.	0,88	22,0	1,11	83,3	105,3
6.	0,50	12,5	1,01	75,7	38,2
7.	0,40	10,0	0,89	67,0	77,0
8.	0,40	10,0	0,75	56,4	66,4
9.	0,40	10,0	0,58	43,5	53,5
10.	0,40	10,0	0,31	23,3	33,3

Следовательно, принятие для них постоянного напорного питания необоснованно. Правда, в процессе развития орошения, увеличения водозабора подземных вод заметно уменьшается неравномерность руслового выклинивания. Так, уже в настоящее время по данным замеров Киргизгипроводхоза и Киргизской гидрогеологической экспедиции в 1973 – 1975 гг. на длине порядка 3 – 5 км выклинивается 5 – 6 м³/с, т.е. около 50–60% от расхода карасу на период 1946 – 1959 г.г. и около 40–50% от суммарного расхода карасу и коллекторно-дренажной сети по данным замеров 1973 – 1975 г.г. Это примерно в 1,5 раза меньше, чем по замерам 1937 г. На этап 1980 г. для центральной части доля притока с предгорной зоны Π в суммарном питании грунтовых вод зон выклинивания Q будет составлять 41–33%, а на этап 2000 г. 61–25% против 75% на уровне 1946–1959 гг. Таким образом, доля местного инфильтрационного питания резко возрастает, а напорного питания резко уменьшается, в особенности, при строительстве обводных русел на горных реках, когда оно может снизиться до 25%. Совершенно очевидно.

что все это должно быть учтено при разработке схемы дренирования Чуйской впадины как составной части схемы комплексного использования ее водных ресурсов. Это относится и к другим районам аридной зоны.

Заклучение

1. Разработанная методика прогнозирования изменения расчетных размеров дренажного стока при региональных балансовых расчетах на основе использования уравнений общего водного баланса и баланса подземных вод позволяет учесть влияние на дренажный сток:

- развития (расширения орошаемых площадей F_{op} , увеличения расчетного водопотребления B и соответственно оросительных норм нетто M_n) и реконструкции орошения (повышение КПД системы и ее элементов $\eta_p, \eta, \eta_k, \eta_{гп}$) через член $\Delta B_r = \frac{B'_n}{\eta'} - \frac{B_n}{\eta}$ как непосредственно в зоне дренирования, так и в предгорной зоне - (через изменение притока подземных вод $\Delta \Pi$);
- развития водоснабжения и орошения за счет использования подземных вод (через Q_B), строительства водохранилищ (через Φ_B);
- изменения мелиоративного режима - за счет учета $I_{гр} = I_{гр1} + I_{гр2} + I_{гр3}$, ψ , $M_n = f(z)$, $\Phi_{пр}$ и т.д.;
- изменения расчетного испарения I со всей валовой площади, в том числе непроизводительного испарения грунтовых вод ($I_{гр2} + I_{гр3}$);
- совершенствования комплекса агролесомероприятий и освоения орошаемых земель (через расчетное водопотребление и КПД техники полива);
- неравномерности изменения питания подземных вод по длине и ширине потока за счет учета коэффициента неравномерности и соответствующего балансового районирования.

2. Применение предложенной методики и полученных аналитических зависимостей достаточно просто и может быть еще более упрощено путем использования построенных кривых и номограмм (рис. 5-9). В то же время обеспечено получение рас-

четного дренажного стока на тот или иной заданный уровень с достаточной точностью. Это облегчает обоснованный выбор оптимальных вариантов мелиоративного режима и сочетания всех элементов мелиоративного комплекса — техники орошения и дренажа, агролесомелиоративных и эксплуатационных мер и отражающих эти элементы показателей (КПД оросительной и дренажных систем, нормы водозабора, водоподачи и водопотребления, коэффициенты использования земельных и водных ресурсов, расчетные затраты на 1 га и на единицу продукции и т.д.). Учитывается также использование водных ресурсов для других отраслей. Другими словами, обеспечивается комплексный, системный подход.

3. При наличии данных о динамике интенсивности выклинивания по длине потока в естественном (или близком к нему) состоянии можно приблизительно определить изменение интенсивности выклинивания и длины зоны выклинивания под влиянием водохозяйственных мероприятий. Поэтому в объем исследований, проводимых под проекты орошения, надо включить устройство створов пьезометров для изучения динамики напорности, гидрометрических постов для измерения расходов карасу в нескольких створах и сети наблюдательных скважин для изучения режима уровней грунтовых вод и распределения площадей по глубинам их залегания.

4. Подтверждено, что схема дренирования (выбор расчетного объема дренажного стока, типа и параметров дренажа, объема и методов использования дренажного стока на орошение и т.д.) должна разрабатываться как составная часть побассейновой схемы комплексного использования и охраны водных ресурсов. Локальные решения даже для отдельных зон без учета их взаимовлияния приводят к искажению расчетных размеров дренажного стока.

В то же время при экономическом обосновании схемы дренирования необходимо учитывать влияние сроков реализации проектных решений на дренажный сток — эффект локальности или точнее региональности. Более подробно это развито в нашей работе [13].

5. Указанные общие положения проверены на примере Чуйской впадины. Так как Чуйская впадина достаточно типична для аридной зоны, указанные положения могут быть распространены и на другие межгорные впадины этой зоны. Как видно, при полной реконструкции орошения, включая ликвидацию русловых потерь в реках предгорной зоны за счет строительства обводных русел и обеспечения требуемого объема использования подземных вод на различные нужды, практически отпадает необходимость в дренаже в зоне выклинивания.

6. Сохранение гидроморфного режима в зоне выклинивания и соответствующих размеров использования грунтовых вод через субиригацию возможно при определенном сочетании уровня освоения, техники орошения, объема водоснабжения и интенсивности дренирования на всех рассмотренных этапах развития орошения. В то же время сохранение предусмотренной на 1980 г. интенсивности дренирования приведет на уровне 2000 г. к резкому или практически полному (вариант "б") сокращению субиригации. Отсюда вытекают следующие моменты:

а) учитывая, что ликвидация ручных способов полива, т.е. механизация и автоматизация полива с соответствующим переустройством внутрихозяйственной сети — процесс необходимый и неизбежный, надо основные усилия и средства направить на эти цели. Борьба с потерями в крупной межхозяйственной сети, а тем более в руслах рек является сейчас актуальной лишь в тех случаях, когда иным путем нельзя обеспечить орошение земель данной зоны;

б) строительство густой сети закрытого горизонтального дренажа означает омертвление капитала в перспективе, когда необходимость в ней отпадет. Это означает, что в зоне выклинивания имеет дополнительное преимущество вертикальный дренаж;

в) оптимальные значения КПД сети ($\eta_k = \eta_{mx} \cdot \eta_{вх}$) предгорной зоны из условий сохранения субиригации в зоне выклинивания и получения минимальных совокупных затрат на оросительную и дренажную сеть в обеих зонах и обеспечения требуемого забора подземных вод не превышают на данном этапе 0,65 — 0,70.

7. Выполненные в данной и других наших работах исследова-

ния показывают, что прогнозные балансовые расчеты по принятой методике дают достаточно полное представление об установившемся режиме формирования и разгрузки подземных вод и их ресурсах при проведении определенного комплекса мероприятий. Поэтому необходимым элементом побассейновых "Генсхем" являются прогнозные водные (общие и частные) балансы при различных вариантах развития и реконструкции орошения.

Здесь использованы разработанные нами прогнозные балансы подземных вод на различные этапы развития орошения (приложения 3, 4, 5). Анализ проведенных исследований показывает, что при правильном выборе комплекса водохозяйственных мероприятий можно гарантировать улучшение мелиоративного состояния при полном освоении всех пригодных к орошению земель и рациональном использовании водных и тепловых ресурсов.

п.8. Учет изменения дренажного стока является важным элементом более общей проблемы — учета изменения мелиоративной обстановки, режима уровней и минерализации грунтовых вод под влиянием проектируемых водохозяйственных мер. Решение этой проблемы также требует сочетания балансового метода с различными методами решения уравнений неустановившегося движения грунтовых вод для прогноза изменения их уровней и минерализации.

Использование обоих направлений обеспечит и совершенствование методов решения задач прогнозирования дренажного стока.

Литература

1. М. И. Калинин. Использование подземных вод на орошение. "Гидротехника и мелиорация". М., ГИЛ, № 10, 1962.
2. Указания по проектированию оросительных систем (Проект). Ч. УШ. Дренаж на орошаемых землях. М., 1972.
3. С. Ф. Аверьянов. Горизонтальный дренаж при борьбе с засолением орошаемых земель. М. Изд. АН СССР, 1959.

4. С.Ф.Аверьянов. Некоторые вопросы предупреждения засоления орошаемых земель и меры борьбы с ним в европейской части СССР. Сб. "Орошаемое земледелие в европейской части СССР". "Колос", М., 1965, стр.90-151.
5. М.И.Каплинский. Некоторые результаты балансовых исследований в Чуйской впадине. Сб. "Изучение элементов водного баланса, режима и техники орошения", Фрунзе, КиргНИИВХ, 1965.
6. Технические указания по проектированию горизонтального дренажа засоленных земель, стр.139, Госземводхоз СССР, М., 1965.
7. М.Н.Большаков, П.Г.Григоренко. Перспективы использования подземных вод Чуйской долины для орошения. Труды ИВХЭ, Фрунзе. Изд.АН Кирг.ССР, 1956.
8. М.И.Каплинский. Комплексное использование поверхностных и подземных вод межгорных впадин (на примере Чуйской впадины Кирг.ССР) Национальный комитет СССР по ирригации и дренажу. стр.99-115, М., "Колос", 1975.
9. Л.К.Госсу. О выборе формул для расчета междуречных расстояний в условиях северо-западной части Чуйской впадины. Сб. "Вопросы водного хозяйства" (промывка, дренаж), вып.13. Фрунзе "Кыргызстан", 1970.
10. М.И.Каплинский. Некоторые выводы из анализа водного баланса Чуйской впадины. Известия АН Кирг. ССР, т.2, вып.4, 1960.
11. М.И.Каплинский, И.К.Дукнов, А.О.Налойченко. Структура баланса и возможности использования грунтовых вод для орошения путем регулирования дренажного стока в условиях Чуйской впадины. Сб. "Вопросы водного хозяйства", вып.8, Фрунзе, "Кыргызстан", 1970.
12. Л.В.Дунин-Барковский. Физико-географические основы проектирования оросительных систем. М., Изд. МСХ СССР, 1960.
13. М.И.Каплинский. Некоторые вопросы методики технико-экономического сравнения различных типов дренажа. В печати.
14. М.И.Каплинский, Е.Г.Шеслэр. Итоги работ по промывке засоленных земель в Киргизской ССР. Сб. "Вопросы водного хозяйства" (промывка, дренаж), вып.13, Фрунзе, "Кыргызстан", 1970.
15. М.И.Каплинский. Определение изменения динамических ресурсов подземных вод при проведении водохозяйственных мероприя-

- тий. ММВХ СССР. Экспресс-информация, серия I, вып.5. Орошение и оросительные системы. М., 1975.
16. М.М. Кабаков. Результаты эксплуатационных исследований потерь воды в источниках и каналах Киргизии. Изв. АН Кирг.ССР, т. IV, вып.5 (водное хозяйство), Фрунзе, 1962.
17. М.М. Кабаков, Р.И. Горбачева. Влагообеспеченность и урожай. сб. "Вопросы водного хозяйства" (орошение), вып.31, Фрунзе, "Кыргызстан", 1973.
18. М.И. Каплинский, И.К. Дуэнов, М.А. Сабитов, Л.К. Госсу, В.Л. Мякушко. Вопросы районирования мелируемых территорий по типам дренажа (Чуйской впадины). Сб. "Вопросы водного хозяйства" (мелиорация), вып.29. Фрунзе, "Кыргызстан", 1974.
19. Д.А. Суюмбаев, А.О. Налойченко. Субирригация в Чуйской долине. КиргизИНТИ. Экспресс-информация, № 12, 1975.
20. М.И. Каплинский, А.А. Тарасова. О схемах питания грунтовых вод в условиях Чуйской впадины. В сб. "Вопросы водного хозяйства". Вып.38. В печати.
21. С.И. Харченко. "Гидрология орошаемых земель". Л., Гидрометиздат, 1968.
22. В.Г. Карпов. Ресурсы подземных вод Чуйской впадины (материалы к ТЭД по комплексному использованию подземных вод Чуйской впадины), Фрунзе, КГУ, 1972.
23. В.С. Мезенцев и др. Режимы влагообеспеченности и условия гидромелиораций степного края. М., Колос, 1974 г.

Приложение I

Фактические значения параметров A_p , m_p в формуле (30) по некоторым рекам Киргизии [16] .

Наименование реки	Фактические значения расчетных параметров	
	A_p	m_p
Ирдык	5,00	0,760
Ала-Арча	4,05	0,428
Ак-Су	3,25	0,250
Кара-Унгур-Сай	5,30	0,507
Кугарт-Сай	5,20	0,610
Шайдан-Сай	3,40	0,562
Чанач-Сай	7,10	0,611
Шамси	7,40	0,770
Иссык-Ата	8,55	0,461
Кара-Балты	17,10	0,376
Джеты-Огуз	18,50	0,708
Среднее значение	7,71	0,550

Фактические значения параметров в формуле (50)
по [17]

Культура	$Y_{\text{макс}}$ ц/га	В мм	Значение параметров					K_1
			K_0	a_0	n_0	δ_0	m_0	
Сах. свекла	525	800	0,24	2,20	0,97	1,29	2,30	0,676
—"	410	665	0,21	1,74	0,85	0,85	3,00	0,635
—"	730	665	0,16	1,60	0,96	0,70	3,93	0,678
Хлопчатник	24,5	600	0,49	4,00	1,11	3,61	2,09	0,921
—"	32,0	735	0,50	4,07	1,10	3,85	2,10	0,915
—"	45,5	775	0,43	3,87	1,08	3,40	2,00	0,844
Кукуруза	91,5	1025	0,20	4,14	1,31	3,29	2,03	0,666
—"	62,5	580	0,17	1,80	0,79	0,82	2,18	0,485
—"	52,7	475	0,32	3,80	0,84	2,89	1,31	0,619
—"	71,0	605	0,29	4,18	1,14	3,40	1,82	0,705
Горох	28,8	425	0,23	4,80	1,12	4,03	1,79	0,669
—"	31,5	430	0,26	2,50	1,10	1,64	2,41	0,746
Подсолнечник	36,1	525	0,41	1,94	0,85	1,34	3,29	0,887
—"	30,0	510	0,47	3,50	1,08	3,30	2,31	0,896
Табак	29,0	525	0,25	2,65	1,20	1,82	2,54	0,765
—"	26,0	520	0,32	4,38	1,06	3,70	1,72	0,694
Чайный лист	77,5	615	0,16	2,10	1,05	1,14	2,42	0,615
—"	50,5	540	0,19	2,80	1,20	1,88	2,24	0,675
Пшеница яровая	22,8	690	0,28	3,30	1,07	2,47	1,93	0,699
—"	31,0	565	0,21	1,80	1,06	0,90	3,48	0,776
Пшеница озимая	34,5	610	0,31	5,70	1,17	4,91	1,62	0,714
—"	58,7	738	0,29	2,00	0,98	1,24	3,12	0,738
Травосмесь	86,0	675	0,10	2,00	0,99	1,06	2,69	0,483
—"	116,5	750	0,08	1,30	0,88	0,32	5,25	0,526
Томаты	43,0	630	0,29	3,35	1,16	2,54	2,05	0,750

K_1 соответствует уровню влагоснабжения (в долях от В), при котором затраты воды на единицу продукции (коэффициент водопотребления) получатся минимальными.

**Баланс подземных вод по зонам и частям Чульской впадины на ретроспективу и на период
1946-1959 гг.**

Наименование статей	Ретроспектива						Современное состояние							
	Восточная		Центральная		Западная	Вся впадина	Восточная		Центральная		Западная	Вся впадина		
	Левый	Прав.	Левый	Правый	Левый		Левый	Прав.	Левый	Правый	Левый			
Предгорный шлейф														
Приход	Подрусловой приток	0,69	-	1,51	-	0,30	2,50	0,69	-	1,51	-	0,30	2,50	
	Инфильтр. осадков	0,30	0,12	0,23	0,43	0,07	1,15	0,30	0,12	0,23	0,43	0,07	1,15	
	- из русел рек (без Чу)	17,01	7,01	18,71	4,40	7,34	54,47	10,14	4,20	6,15	2,45	2,31	25,25	
	- из р. Чу	21,75	-	-	-	-	21,75	19,80	-	-	-	-	19,80	
	- из м/х сети	-	-	-	-	-	-	4,51	1,35	5,14	2,03	1,22	14,25	
	- из в/х сети	-	-	-	-	-	-	4,37	1,36	5,04	1,28	1,11	13,16	
	- на полях	-	-	-	-	-	-	1,32	0,41	1,51	0,38	0,33	3,95	
Итого	39,75	7,13	20,45	4,83	7,71	79,87	41,13	7,14	19,58	6,57	5,34	80,06		
Расход	Водозаб. из скваж.	-	-	-	-	-	-	0,15	-	0,35	-	0,25	0,75	
	Отток в зону выклинивания	39,75	7,13	20,45	4,83	7,71	79,87	40,98	7,44	19,23	6,57	5,09	79,31	
	Итого	39,75	7,13	20,45	4,83	7,71	79,87	41,13	7,44	19,58	6,57	5,34	80,06	
Зона выклинивания														
Приход	Приток с предгорн. зоны	39,75	7,13	20,45	4,83	7,71	79,87	40,98	7,44	19,23	6,57	5,09	79,31	
	Инфильтр. осадков	0,52	0,17	2,91	0,07	1,70	5,37	0,56	0,17	3,53	0,07	1,30	5,63	
	- из м/х сети	-	-	-	-	-	-	0,85	-	2,29	-	0,38	3,52	
	- из в/х сети	-	-	-	-	-	-	1,78	-	2,62	-	0,31	4,71	
	- на полях	-	-	-	-	-	-	0,53	-	0,79	-	0,10	1,42	
	Итого	40,27	7,30	23,36	4,90	9,41	85,24	44,70	7,61	28,46	6,64	7,18	94,59	
Расход	Испар. с поверх. грунтовых вод	3,02	0,55	14,51	0,29	6,90	25,27	2,48	0,52	14,44	0,26	4,80	22,50	
	Водозабор из скв.	-	-	-	-	-	-	0,20	-	0,35	-	0,20	0,75	
	Выклинив. в р. Чу	14,35	6,50	-	4,61	-	25,46	16,21	6,84	-	6,99	-	30,04	
	- в р. Красная	19,76	-	-	-	-	19,76	22,36	-	-	-	-	22,36	
	- в Токмак. родники	2,45	-	-	-	-	2,45	2,73	-	-	-	-	2,73	
	- в карасу	0,25	0,25	6,50	-	1,75	8,75	0,28	0,25	9,17	-	1,59	11,29	
	- в дренаж. сеть	-	-	-	-	-	-	-	-	1,30	-	1,00	2,30	
Отток в зону транз.	0,44	-	2,35	-	0,76	3,55	0,44	-	2,35	-	0,76	3,55		
Итого	40,27	7,30	23,36	4,90	9,41	85,24	44,70	7,61	27,61	7,25	8,35	95,52		
Невязка балан. по зоне выклинивания										0,85	-0,61	-1,17	-0,93	
Зона транзита														
Приход	Инфильтр. из русел рек	-	-	3,13	-	1,59	4,72	-	-	2,32	-	1,15	3,47	
	- из м/х сети	-	-	-	-	-	-	-	-	1,32	-	-	1,32	
	- из в/х сети	-	-	-	-	-	-	-	-	1,50	-	-	1,50	
	- на полях	-	-	-	-	-	-	-	-	0,45	-	-	0,45	
Расход	Приток с зоны выкл.	-	-	2,79	-	0,76	3,55	-	-	2,79	-	0,76	3,55	
	Итого	-	-	5,92	-	2,35	8,27	-	-	8,38	-	1,91	10,29	
	Выклинивание в р. Чу	-	-	5,92	-	-	5,92	-	-	8,38	-	-	8,38	
Расход	Отток подземных вод	-	-	-	-	2,00	2,00	-	-	-	-	2,00	2,00	
	Итого	-	-	5,92	-	2,00	7,92	-	-	8,38	-	2,00	10,38	
Невязка баланса по зоне транзита						0,35	0,35						-0,09	-0,09
Невязка баланса по впад.						0,35	0,35						-1,02	

Баланс подземных вод по зонам и по частям Чуйской впадины на 1980г. и 2000г. (полная реконструкция) (вариант а - при отсутствии бетонированных обводных русел на притоках левого берега)

Наименование статей	Перспектива						Полная реконструкция					
	Восточная		Центральная		Западная		Восточная		Центральная		Западная	
	Левый	Правый	Левый	Правый	Левый	Вся впадина	Левый	Правый	Левый	Правый	Левый	Вся впадина
Предгорный шлейф												
Подрусловой приток	0,69	-	1,51	-	0,30	2,50	0,69	-	1,51	-	0,30	2,50
Инфильтрация осадков	0,30	0,12	0,23	0,43	0,07	1,15	0,30	0,12	0,23	0,43	0,07	1,15
-"- из русел рек	9,33	4,20	6,51	2,45	2,84	25,33	10,58	4,59	10,95	2,54	4,44	33,10
-"- из р. Чу	5,71	-	-	-	-	5,71	5,71	-	-	-	-	5,71
-"- из м/х сети	1,58	0,32	2,00	0,58	1,33	5,81	0,74	0,15	0,88	0,30	0,23	2,30
-"- из в/х сети	4,81	1,12	4,50	2,40	1,51	14,34	0,74	0,14	0,84	0,27	0,21	2,20
-"- на полях	2,02	0,40	2,41	0,80	0,59	6,22	0,68	0,13	0,81	0,26	0,20	2,08
-"- из обводного канала	0,67	-	-	-	-	0,67	0,67	-	-	-	-	0,67
Итого	25,11	6,16	17,16	6,66	6,64	61,73	20,11	5,13	15,22	3,80	5,45	49,71
Водозабор из скважин	2,30	-	5,70	-	1,75	9,75	2,30	-	5,70	-	1,75	9,75
Отток в зону выклинив.	22,81	6,16	11,46	6,66	4,89	51,98	17,81	5,13	9,52	3,80	3,70	39,96
Итого	25,11	6,16	17,16	6,66	6,64	61,73	20,11	5,13	15,22	3,80	5,45	49,71
Зона выклинивания												
Приток с предгорной зоны	22,81	6,16	11,46	6,66	4,89	51,98	17,81	5,13	9,52	3,80	3,70	39,96
Инфильтрация осадков	0,21	0,06	3,20	0,07	1,88	5,42	0,21	0,06	3,20	0,07	1,88	5,42
-"- из м/х сети	0,46	-	2,39	-	0,94	3,79	0,19	-	1,03	-	0,34	1,56
-"- из в/х сети	1,48	-	8,45	-	2,66	12,59	0,18	-	0,98	-	0,29	1,45
-"- на полях	0,49	-	2,81	-	0,86	4,16	0,16	-	0,94	-	0,29	1,39
-"- из проек. в/х	-	-	4,52	-	-	4,52	-	-	4,52	-	-	4,52
-"- за счет промыв. режима	-	-	0,42	-	0,70	1,12	-	-	0,42	-	0,70	1,12
Итого	25,45	6,22	33,25	6,73	11,93	83,58	18,55	5,19	20,61	3,87	7,20	55,42
Испарение с грунт. вод	-	0,52	10,69	0,26	4,79	16,26	-	-	8,83	-	4,22	13,05
Выклинивание в р. Чу	9,70	5,45	-	6,47	-	21,62	7,00	5,19	-	3,87	-	16,06
-"- в р. Красная в карасу и м/д сеть	15,15	0,25	17,58	-	5,43	38,41	10,95	-	6,80	-	1,27	19,02
Водозабор из скважин	0,60	-	2,63	-	0,95	4,18	0,60	-	2,63	-	0,95	4,18
Отток в зону транзита	-	-	2,35	-	0,76	3,11	-	-	2,35	-	0,76	3,11
Итого	25,45	6,22	33,25	6,73	11,93	83,58	18,55	5,19	20,61	3,87	7,20	55,42
Зона транзита												
Приток с зоны выклинив.	-	-	2,35	-	0,76	3,11	-	-	2,35	-	0,76	3,11
Инфильтрация из м/х сети	-	-	1,16	-	0,23	1,39	-	-	0,44	-	0,12	0,56
-"- из в/х сети	-	-	3,40	-	0,84	4,24	-	-	0,40	-	0,12	0,52
-"- на полях	-	-	1,15	-	0,34	1,49	-	-	0,38	-	0,11	0,49
-"- из водоохр.-ц	-	-	-	-	0,18	0,18	-	-	-	-	0,18	0,18
-"- за счет промыв. режима	-	-	2,20	-	0,36	2,56	-	-	2,20	-	0,36	2,56
Итого	-	-	10,26	-	2,71	12,97	-	-	5,77	-	1,65	7,42
Выклинивание в р. Чу	-	-	6,81	-	-	6,81	-	-	3,19	-	-	3,19
-"- в дренаж. сеть	-	-	3,45	-	0,71	4,16	-	-	2,58	-	0,47	3,05
Отток подземных вод	-	-	-	-	2,00	2,00	-	-	-	-	1,18	1,18
Итого	-	-	10,26	-	2,71	12,97	-	-	5,77	-	1,65	7,42

Баланс подземных вод по зонам и частям Чуйской впадины на 1980г. и 2000г. (полная реконструкция), вариант б - при наличии бетонированных обводных русел на притоках левого берега

Наименование статей	Перспектива						Полная реконструкция					
	Восточная		Центральная		Западная		Восточная		Центральная		Западная	
	Левый	Прав.	Левый	Прав.	Левый	Вся впадина	Левый	Прав.	Левый	Правый	Левый	Вся впадина
Предгорный шлейф												
Подрусловый приток	0,69	-	1,51	-	0,30	2,50	0,69	-	1,51	-	0,30	2,50
Инфильтрация осадков	0,30	0,12	0,23	0,43	0,07	1,15	0,30	0,12	0,23	0,43	0,07	1,15
- " - из русел рек	1,90	4,20	1,64	2,45	0,59	10,78	1,90	4,59	1,64	2,54	0,59	11,26
- " - из р. Чу	5,71	-	-	-	-	5,71	5,71	-	-	-	-	5,71
- " - из м/х сети	1,58	0,32	2,00	0,58	1,33	5,81	0,74	0,15	0,88	0,30	0,23	2,30
- " - из в/х сети	4,81	1,12	4,50	2,40	1,51	14,34	0,74	0,14	0,84	0,27	0,21	2,20
- " - на полях	2,02	0,40	2,41	0,80	0,59	6,22	0,68	0,13	0,81	0,26	0,20	2,08
- " - из КБЧК	1,35	-	1,77	-	-	3,12	1,35	-	1,77	-	-	3,12
- " - из обвод. канала	0,67	-	-	-	-	0,67	0,67	-	-	-	-	0,67
Итого	19,03	6,16	14,06	6,66	4,39	50,30	12,78	5,13	7,68	3,79	1,60	30,99
Водозабор из скважин	2,30	-	5,70	-	1,75	9,75	2,30	-	5,70	-	1,75	9,75
Отток в зону выклинивания	16,73	6,16	8,36	6,66	2,64	40,55	10,48	5,13	1,98	3,80	-	21,39
Итого	19,03	6,16	14,06	6,66	4,39	50,30	12,78	5,13	7,68	3,80	1,75 ^{х)}	31,14
Зона выклинивания												
Приток с предгорного шлейфа	16,73	6,16	8,36	6,66	2,64	40,55	10,48	5,13	1,98	3,80	0	21,39
Инфильтрация осадков	0,21	0,06	3,20	0,07	1,88	5,42	0,21	0,06	3,20	0,07	1,88	5,42
- " - из м/х сети	0,46	-	2,39	-	0,94	3,79	0,19	-	1,03	-	0,34	1,56
- " - из в/х сети	1,48	-	8,45	-	2,66	12,59	0,18	-	0,98	-	0,29	1,45
- " - на полях	0,49	-	2,81	-	0,86	4,16	0,16	-	0,94	-	0,29	1,33
- " - из проектных водохранилищ	-	-	4,52	-	-	4,52	-	-	4,52	-	-	4,52
- " - за счет промив. режима	-	-	0,42	-	0,70	1,12	-	-	0,42	-	0,70	1,12
Итого	19,37	6,22	30,15	6,73	9,68	72,15	11,22	5,19	13,07	3,87	3,50	36,85
Испарение с грунтовых вод	0	0,52	10,69	0,26	4,79	16,26	0	0	8,09	0	1,79	9,88
Выклинивание в р. Чу	7,32	5,45	-	6,47	-	19,24	4,14	5,19	-	3,87	-	13,20
- " - в р. Красная	11,45	0,25	14,48	-	3,18	29,36	6,48	-	-	-	-	6,48
- " - в карасу и к/д сеть	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Водозабор из скважин **)	0,60	-	2,63	-	0,95	4,18	0,60	-	2,63	-	0,95	4,18
Отток в зону транзита	-	-	2,35	-	0,76	3,11	-	-	2,35	-	0,76	3,11
Итого	19,37	6,22	30,15	6,73	9,68	72,15	11,22	4,99	13,07	3,87	3,50	36,85
Зона транзита												
Приток с зоны выклинивания	-	-	2,35	-	0,76	3,11	-	-	2,35	-	0,76	3,11
Инфильтрация из м/х сети	-	-	1,16	-	0,23	1,39	-	-	0,44	-	0,12	0,56
- " - из в/х сети	-	-	3,40	-	0,84	4,24	-	-	0,40	-	0,12	0,52
- " - на полях	-	-	1,15	-	0,34	1,49	-	-	0,38	-	0,11	0,49
- " - из водохранилищ	-	-	-	-	0,18	0,18	-	-	-	-	0,18	0,18
- " - за счет промив. режима	-	-	2,20	-	0,36	2,56	-	-	2,20	-	0,36	2,56
Итого	-	-	10,26	-	2,71	12,97	-	-	5,77	-	1,65	7,42
Выклинивание в р. Чу	-	-	6,81	-	-	6,81	-	-	3,19	-	-	3,19
- " - в дренаж. сеть	-	-	3,45	-	0,71	4,16	-	-	2,58	-	0,47	3,05
Отток подземных вод	-	-	-	-	2,00	2,00	-	-	-	-	1,18	1,18
Итого	-	-	10,26	-	2,71	12,97	-	-	5,77	-	1,65	7,42

х) Незначительным превышение водозабора над притоком подземных вод пренебрегаем.

***) Включая все локальные дренажи

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	3
1. Расчетные уравнения	8
1.1. Определение расчетного дренажного стока	8
1.2. Изменение дренажного стока	13
2. Методика применения расчетных уравнений	20
2.1. Общие положения	20
2.2. Методика определения отдельных членов уравнений для прогнозирования дренажного стока	25
3. Выбор мелиоративного режима	34
3.1. Типы и параметры мелиоративных режимов	34
3.2. Выбор и обоснование мелиоративного режима	43
3.3. Рекомендуемые типы мелиоративных режимов для Чуйской впадины	52
4. Пример расчета дренажного стока для Чуйской впадины	53
5. Заключение	85
Литература	88
Приложение	91

МОИСЕЙ ИЗРАИЛЕВИЧ КАПЛИНСКИЙ

**ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ИЗМЕНЕНИИ
ДРЕНАЖНОГО СТОКА ПОД ВЛИЯНИЕМ
ВОДОХОЗЯЙСТВЕННЫХ МЕРОПРИЯТИИ**

(на примере Чуйской впадины)

Редактор *Ф. Гурович*
Технический редактор *Е. П. Бек*
Оформление художника *В. Ф. Роёка*

Подписано в печать 1/III 1977 г. Формат бумаги 70×108 1/16. Бумага писчая. Объем 5,75 п. л. + вкл. 1,75 п. л., 5,2 уч.-изд. л. + вкл. 0,8 уч.-изд. л.
Д—05032. Тираж 500 экз. Заказ 1837. Цена 92 коп.

Издательство Академии наук Киргизской ССР,
г. Фрунзе, Ленинский проспект, 265а

Типография Академии наук Киргизской ССР,
г. Фрунзе, ул. Пушкина, 144