

K-32.

МИНИСТЕРСТВО МЕЛИОРАЦИИ И ВОДНОГО
ХОЗЯЙСТВА СССР

ВСЕСОЮЗНОЕ НАУЧНО-ПРОИЗВОДСТВЕННОЕ
ОБЪЕДИНЕНИЕ «СОЮЗВОДАВТОМАТИКА»

ВОПРОСЫ ВОДНОГО ХОЗЯЙСТВА
(Мелиорация земель)
В Ы П У С К 44

Фрунзе — 1978 г.

1С-391
626.8
МИНИСТЕРСТВО МЕЛИОРАЦИИ И ВОДНОГО ХОЗЯЙСТВА СССР
ВСЕСОЮЗНОЕ НАУЧНО-ПРОИЗВОДСТВЕННОЕ ОБЪЕДИНЕНИЕ
"СОЮЗВОДАВТОМАТИКА"

ВОПРОСЫ ВОДНОГО ХОЗЯЙСТВА

(Мелиорация земель)

Выпуск 44

Фрунзе 1978

Сборник подготовлен в отделе технологии и техники мелиорации земель.

На основании анализа и обобщения материалов научных и проектных организаций и полевых исследований в Чуйской долине рассмотрены такие вопросы, как рациональные методы регулирования мелиоративного режима, обоснование побассейновых схем комплексного использования и охраны водных ресурсов, методы расчета промывок засоленных земель и пути повышения их эффективности, превентивный вертикальный дренаж, а также влияние безвозвратного изъятия воды на орошение на уровень оз. Иссык-Куль.

В отдельных статьях освещаются некоторые практические задачи прикладной математики в области мелиорации.

Сборник предназначен для специалистов, работающих в области мелиорации и водного хозяйства.

© Вопросы водного хозяйства. Сборник научных статей. Фрунзе, ВНИО "Союзводоавтоматика", 1977.

РАЦИОНАЛЬНЫЕ МЕТОДЫ РЕГУЛИРОВАНИЯ МЕЛИОРАТИВНОГО РЕЖИМА В УСЛОВИЯХ ЧУЙСКОЙ ПЛАСМИНЫ

М. И. Каплинский

В широком смысле слова под мелиоративным режимом подразумевается изменение водного, воздушного, газового, солевого, пищевого и теплового режимов почвы и приземного слоя воздуха.

Критерием оптимального мелиоративного режима является получение максимально возможного количества продукции высокого качества при минимальных затратах материальных и денежных ресурсов (воды, труда, энергии, средств и т.п.) на единицу продукции.

Гидротехнические мелиорации — орошение, дренаж, промывки непосредственно регулируют водный и солевой режимы*, а также оказывают существенное воздействие на воздушный и тепловой режимы почвы и тепловой режим приземного слоя воздуха.

С другой стороны, каждый из элементов комплекса агролесомелиоративных и эксплуатационных мер, непосредственно регулируя какой-либо элемент мелиоративного режима, оказывает более или менее существенное влияние и на остальные его элементы.

Поэтому выбор рациональных методов регулирования мелиоративного режима должен основываться на оптимальном сочетании всех элементов комплекса агрогидролесомелиоративных и эксплуатационных мер. Учитывая закон равнозначности и незаменимости

* Орошение с применением освежительных, удобрительных и теплительных поливов оказывает непосредственное воздействие и на остальные компоненты мелиоративного режима.

всех основных факторов жизни растений: свет, вода, тепло, пища, воздух, нужно обеспечить максимальное использование притока солнечной энергии. В настоящее время расчетное водопотребление (B) определяется таким образом, чтобы водный фактор не лимитировал величину урожая, т.е. показатель использования тепловых ресурсов

$$\frac{B}{U_0} = K_f - 1, \quad (I)$$

где U_0 - испаряемость; B - расчетное водопотребление (суммарное испарение), включающее испарение почвой U_n , транспирацию растительности T , т.е. $B = U_n + T$ (2)

Так как на ранних, а также самых поздних фазах вегетации транспирация незначительна, то средневзвешенный за вегетацию биологический коэффициент в зависимости от состава культур севооборота и применения повторных посевов не превышает 0,65-0,85.

Если принять испаряемость U_0 за теоретический предел максимально возможного (исходя из полного использования теплоэнергетических ресурсов) испарения, то практический предел максимально возможного испарения U_n не превышает по Мезенцеву $0,79 U_0$ при $\frac{X}{U_0} = 1,0$ и $0,96 U_0$ при $\frac{X}{U_0} = 2$.

По формулам Будико, Ольдекопа, Тюрка, Шрейдера отношение $\frac{U_n}{U_0}$ будет еще ниже [1].

Здесь X - суммарное (за счет поливов, осадков, подпитывания грунтовых вод) влагоснабжение активного слоя почвы. Практически в орошаемых районах $\frac{X}{U_0} \leq 1$, а $\frac{U_n}{U_0} = 0,79$. Это показывает, что приведенные значения $K_f = 0,65-0,85$ соответствуют максимально возможному использованию теплоэнергетических ресурсов при оптимальном увлажнении.

При этом за счет высокого уровня агротехники и техники полива, режима орошения и других мер надо, чтобы основная часть нормы водопотребления уходила на продуктивную транспирацию, т.е. на создание урожая высокого качества. Отношение $\frac{T}{B}$ должно быть не меньше 0,75 - 0,80, а коэффициент водопотребления близок к минимальному пределу.

С другой стороны, оросительная норма нетто не должна превышать дефицита водопотребления, т.е. естественные осадки должны использоваться максимально.

При районировании мелиоративных мероприятий и проектировании дренажа мелиоративный режим трактуется в более узком смысле, как изменение водно-воздушного и солевого режимов почвы. При этом принимается, что на фоне определенного комплекса режима и техники орошения, агротехнических, лесотехнических и эксплуатационных мер должен быть создан режим колебания уровней грунтовых вод, обеспечивающий оптимальные водно-воздушный и солевой режимы и характер почвообразовательного процесса от автоморфного (сероземного) до гидроморфного (лугового). В работе [2], придерживаясь этой общепринятой терминологии (несмотря на некоторую её условность), даны подробные параметры мелиоративных режимов для зон пресных и минерализованных грунтовых вод.

В табл. I приводятся лишь рекомендуемые значения относительной глубины залегания грунтовых вод $\bar{Z} = \frac{Z}{Z_0}$, (3) где Z - глубина залегания грунтовых вод; $Z_0 = H_k + b$, а H_k - расчетная высота капиллярного поднятия; b - мощность активного корнеобитаемого слоя.

Таблица I

Рекомендуемые значения относительной глубины залегания грунтовых вод

Минерализация грунтовых вод	Мелиоративные режимы			
	автоморфный	полуавтоморфный	полугидроморфный	гидроморфный
Практически пресные	≥ 1	$1 - 0,7$	$0,7 - 0,5$	$0,5 - 0,25$
Минерализованные	≥ 1	$1 - 0,8$	$0,8 - 0,6$	$0,6 - 0,50$

Вопросы обоснования выбора мелиоративного режима и параметров дренажа в зональном и локальном (по площади междуречья) планах освещены в работе [2].

При этом следует учитывать влияние принятой схемы рассоления.

1. При коренном рассолении с выносом солей за пределы орошаемой территории из всей засоленной толщи почвогрунтов и грунтовых вод можно обеспечить использование опресненных грунтовых вод на орошение и соответствующие глубины их залегания (верхняя строка). Такое рассоление в короткий срок возможно на основе капитальных промывок на фоне вертикального и горизонтального постоянного дренажа с применением густой сети (через 15-25 м) временного сравнительно глубокого (1,5-1,7 м) дренажа.

2. При коренном рассолении с выносом солей за пределы орошаемой территории только из верхней 3-метровой толщи и создании достаточно мощной ($\geq 3-5$ м) линзы пресных грунтовых вод последние также можно использовать на орошение, но надо обеспечить пополнение их расхода в течение вегетации с помощью невегетационных профилактических поливов. Такое рассоление можно достигнуть при промывках на фоне постоянного дренажа с помощью мелкого (1-1,2 м) временного при расстояниях между дренами 25-50 м.

3. При рассолении верхнего слоя почвы за счет осаживания солей с последующим поддержанием минерализованных грунтовых вод (с помощью постоянного дренажа) на заданных глубинах использование последних на орошение уже невозможно. Здесь требуется промывной режим вегетационных поливов (уменьшение межполивного периода и завышение поливные нормы) в ряде случаев в сочетании с невегетационными промывными (профилактическими) поливами.

Очевидно, выбор схемы рассоления должен производиться на основе технико-экономического сравнения, исходя из минимума приведенных затрат в мелиоративный и эксплуатационный периоды.

В то же время при назначении методов регулирования мелиоративного режима, надо учитывать, что засоленные земли передаются в эксплуатацию с допустимым пределом засоления, по крайней мере, в верхнем почвенном слое (не меньше одного метра), а в процессе освоения за счет правильного сочетания ре-

жимов орошения и работы дренажа должны поддерживаться допустимые на каждой фазе вегетации пределы засоления, также как и допустимые (возможно, более близкие к оптимальным) пределы колебания влажности, температуры почвы и т.д.

Исходя из этих посылок, на основе обобщения материалов исследований, проведенных отделом мелиорации ИНИКАМС (под руководством и с участием автора) и рядом других научных и проектных учреждений республики, нами разработана схема мероприятий по рациональному регулированию мелиоративного режима [4].

Для краткости здесь они приведены (таблица 2) в сокращенном изложении и только в разрезе основных гидрогеологических зон, выделенных по П.Г. Григоренко.

Само собой разумеется необходимость соблюдения совершенной системы земледелия, включающей меры по недопущению засоления и заболачивания, борьбы с ирригационной эрозией и т.д. с учетом конкретных условий каждого почвенно-мелиоративного района, типов засоления и т.д. [11-16]. Отметим лишь, что в наших условиях следует больше внимания уделить применению уплотненных севооборотов за счет повторных и пожнивных культур. Аналогично комплекс эксплуатационных мер должен обеспечить совершенные методы эксплуатации и, в первую очередь, оперативный учет воды и регулирование водозабора и водоподачи на основе планового водопользования.

Обязательным элементом комплекса для всех зон является также планировка орошаемых земель.

Техника полива - активное средство регулирования мелиоративного режима, и в то же время она предопределяет конструкцию транспортирующей сети. Ближайшая задача - внедрение механизированных способов полива. Дождевание обеспечивает регулирование режима влажности как почвы, так и микроклимата. Область применения его непрерывно расширяется в направлениях приспособления дождевальной техники к поливу на больших уклонах, на тяжелых почвах, проведении промывок, использования подземных вод, проведения освежительных поливов, внедрения импульсного и мелкодисперсного дождевания и т.д.

Тем не менее, область применения механизированных поверхностных поливов остается весьма обширной. Здесь также идет непрерывное совершенствование поливной техники. Большие возможности при этом имеются для применения комбинированных мелиоративных систем [5]. Главным способом является полив по бороздам. Для культур сплошного сева применяются засеваемые борозды. Полив напуском (механизированный) в наших условиях весьма затруднителен и возможен при хорошей планировке и небольшой ширине полос (4 м).

Надо отметить, что в Таджикистане, где условия орошения схожи с нашими, этот способ также не предусмотрен [6,7].

Следует остановиться на внутрипочвенном поливе. Его преимущества очень велики. В частности, он очень удобен в зоне транзита для двустороннего регулирования водно-солевого режима в верхнем слое почвы (0,7-1,0 м) на фоне горизонтального дренажа. При этом обеспечивается применение комбинированных (совмещенных) мелиоративных систем, т.е. систем, где оросительная сеть полностью или частично совмещена с дренажной [5].

Затраты энергии при внутрипочвенном орошении меньше, чем при дождевании, но при этом отсутствует возможность проведения освежительных поливов. Главным препятствием является потребность в трубах (3-6 тыс. м на 1 га).

Трудно предвидеть, как в дальнейшем пойдет развитие этого способа полива. Надо только отметить, что наши расчеты, выполненные еще в 1959 г. [3], показали, что если учитывать не только непосредственные, но и все косвенные эффекты того или иного способа полива в системе в целом (поле + оросительная и дренажная сети сооружения), самые дорогие способы полива могут оказаться самыми выгодными.

Тем не менее в ближайшей перспективе массовое применение внутрипочвенного полива не предвидется. Это подтверждается работами Г.Ю.Шейнкина для Таджикистана, М.М.Кабакова и Г.Л.Еуравской для Киргизии [6,7,8,9]. Поэтому нами предусмотрено лишь применение в зоне выклинивания подпочвенных поливателей типа инж.Фищенко, обеспечивающих одновременное внесение воды и удобрений с обработкой почвы.

РЕКОМЕНДУЕМЫЙ МЕЛИОРАТИВНЫЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ ОСНОВНЫХ ЗОН ЧУЙСКОЙ ВПАДИНЫ

Краткая характеристика естественных условий и содержания элементов комплекса	Предгорная зона (рассеивания поверхностных и формирования подземных вод)	Противизально-аллювиальная равнина - зона выклинивания подземных вод (подзоны интенсивного и слабого выклинивания)
Почвенно-мелиоративные подрайоны (по Баженову) [12, 13]	а) Прогрессивного выщелачивания и выноса карбонатов и легко-растворимых солей; б) прогрессивного рассоления с остаточным засолением и солонцеватостью почв	в) Гидрокарбонатного, г) гидрокарбонатно-сульфатного, д) сульфатного засоления
Гидромодульные районы	II, III, IV, V	VI, VII, VIII, IX
Испаряемость по Иванову, мм осадки, мм	1050 - 1340 350 - 460	1050 - 1170 350 - 370
Сумма температур за теплый период, °C	3000 - 3600	3400 - 3600
Глубины залегания грунтовых вод, м	5 - 100 м и более	0 - 5 м
и их минерализация, г/литр	до I	до I, реже I-3
ЭЛЕМЕНТЫ МЕЛИОРАТИВНОГО КОМПЛЕКСА		
Схема рассоления засоленных почв	Промывные и профилактические поливы остаточного засоления почв	Промывной режим орошения - сочетание опреснительного режима вегетационных поливов с осенними, иногда с ранневесенними промывными (профилактическими) в зависимости от степени засоления
Химические мелиорации Мелиоративный режим	Гипсование солонцеватых почв Автоморфный $Z \gg Z_0$	Гипсование солонцов и содово-сульфатных засоленных почв Восточная часть - полуавтоморфный, автоморфный, центральная и западная - полугидроморфный, гидроморфный. Для слабозасоленных земель - полугидроморфный и полуавтоморфный
Агротехномелиоративные мероприятия (специфика)	Комплекс мер по борьбе с русловой и площадной водной эрозией и по использованию естественных осадков. Облесение, террасирование, залужение склонов. Поперечная, полосная и контурная обработка почвы	Комплекс мер по предотвращению засоления и заболачивания почв (в том числе применение похлизовых и повторных посевов). Десополосы вокруг прудов и водохранилищ
Режим орошения	Увлажнительный, иногда с освежительными поливами	Увлажнительно-освежительный. Опреснительный и промывной на засоленных почвах

Продливиально-аллювиальная равнина с увалисто-долинным рельефом - зона вторичного погружения (транзитного стока) подземных вод	Современная долина р. Чу - зона вторичного выклинивания подземных вод, (площадного и в главную дренажную артерию впадины)
Сульфатного, остаточного-сульфатного, вторично-сульфатного и хлоридного засоления	Неразвитых аллювиальных почв и галечниковых отложений гидрокарбонатно-сульфатного засоления
VI, VIII, VIII', IX'	IX
1170 370	1000 350
3400	3400
3-10 и > 10 (до развития орошения до 20-30 м)	0- 3-5 м
I - 3 до 10-50	до I
Для слабо и средnezасоленных почв - промывной режим орошения. Для сильно засоленных почв - капитальные промывки с коренным рассолением верхнего слоя почвы с помощью временного дренажа, где возможно - с посевами риса	
То же Для слабозасоленных земель - полу-гидроморфный; для средние и сильно засоленных - полуавтоморфный, автоморфный	Полугидроморфный, гидроморфный
То же	Комплекс мер по предотвращению заболачивания
То же	Увлажнительно-освежительный

Техника полива	Самонапорное стационарное и полустационарное дождевание средние и дальние струйными установками, машинами типа "Орегат" и др. Импульсное, мелкодисперсное дождевание. Полив по бороздам из самонапорной сети (Шарова-Шейкина) с применением поливных машин и трубопроводов. Капельное орошение садов и виноградников	Дождевание машинами типа "Орегат" с водозабором из скважин, ДДА-100М и др. Подпочвенные поливатели типа "Ойценко". Полив по бороздам с помощью поливных машин типа ППА-165, ППА-165А и др. Автоматизированный полив по бороздам из лотковой сети. Подпочвенный полив на основе субиригации	Механизированные способы поверхностного полива, дождевание машинами типа ДДА-100М "Орегат" (по возможности с водозабором из скважин). Дождевально-поливные машины на базе ДДА-100М (оборудованным для полива как дождеванием, так и по бороздам). Импульсное, мелкодисперсное дождевание	Дождевание машинами "Орегат", ДДА-100М и др.
Техника транспортировки воды	В зависимости от техники полива - закрытая и открытая (облицованная и необлицованная), в равнинных зонах по возможности совмещенная (полностью или частично) с дренажной - комбинированные мелиоративные системы			
Дренаж	Не нужен	Вертикальный, горизонтальный, комбинированный (горизонтальный с колодцами - усилителями)	Горизонтальный, горизонтальный в сочетании с вертикальным	Горизонтальный
Использование подземных вод на орошение	В периферийной части - водозаборные скважины Подземные воды, поступающие на водоснабжение после очистки должны быть использованы и на орошение	Артезианские скважины, использование откачиваемых вод (комплексное применение вертикального дренажа). Субиригация стихийная и регулируемая (двустороннее регулирование ЛВ)	Комплексное применение вертикального дренажа. Водозаборы подземных вод (линейные - вдоль каналов и групповые). Субиригация в зависимости от схемы рассоления. Аккумуляция сбросных и дренажных вод (поступающих из верхней зоны) в водоохранилищах	Субиригация
Гидротехнические и эксплуатационные мероприятия (специфика)	Борьба с наносами, использование паводкового стока. Нагорные каналы, гидротехнические меры по борьбе с эрозией (русловой и площадной). Долгосрочное и оперативное прогнозирование формирования стока	Расчистка и углубление кюветов. Использование сбросных и дренажных вод. Организация мелиоративной службы, АЭС по уровням, минерализации грунтовых вод, размерам и минерализации дренажного стока и сбросных вод.	То же	То же. Организация АЭС по русловому балансу р. Чу

Предусматривается комплексное (с использованием подземных вод на орошение применение вертикального дренажа, а также учет дренажной роли водозаборов подземных вод. Расчетная величина дренажного стока на различные этапы развития орошения дана в работе [2]

В заключение следует остановиться на следующих моментах.

1. В настоящее время при обосновании выбора рациональной структуры водного баланса мы исходим из получения максимально возможных показателей использования как водных, так и земельных ресурсов [10]. Даже при достижении КПД системы порядка 0,90-0,95 и учете некоторых возможностей снижения расчетного водопотребления возникнет острый дефицит в воде в ближайшие 20-30 лет. Другая картина появится при использовании всех возможностей интенсификации земледелия. Исходя из возможного использования притока солнечной энергии, урожайность может быть повышена в среднем в 10 раз. Очевидно, при этом потребность в материальных и энергетических ресурсах на единицу продукции соответственно резко уменьшится.

О высокой экономической эффективности интенсификации орошаемого земледелия говорит следующий пример.

Рассмотрим два варианта, обеспечивающие получение одинаковой заданной продукции:

а) увеличение орошаемой площади с F_1 до F_2 при сохранении существующей урожайности Y_1 и приведенных затрат на её получение C_1 рублей на га;

б) сохранение орошаемой площади F_1 при увеличении урожайности с Y_1 до Y_2 и приведенных затрат на 1 га до C_2 рублей на га. Разница в приведенных затратах между вариантами а) и б) будет:

$$\Delta C = F_1 \left(C_1 \frac{F_2}{F_1} - C_2 \right).$$

Используя данные Киргизгипроводхоза по зависимости ежегодных приведенных затрат от отношения фактической урожайности к проектной $Y_{пр}$ для различных культур, получим, что для сахарной свеклы (при $Y_{пр} = 445$ ц/га) при $Y/Y_{пр} = 50\%$, $C_1 = 539,8$ руб/га, при $Y/Y_{пр} = 100\%$ $C_1 = 637,8$ руб/га.

Для получения заданной продукции в данном случае необходимо, чтобы $F_2/F_1 = 2$ (т.е. орошаемая площадь была увеличена вдвое), при этом $\Delta C = 441,72 F_1$ руб.

Если возьмем $Y/Y_{пр} = 80\%$, $C_1 = 598,2$ руб/га; $F_2/F_1 = 1,25$.
 $\Delta C = 110,2 F_1$.

Таким образом, получение заданного объема продукции сахарной свеклы при повышении урожайности вдвое дает экономию затрат 441,72 руб/га, а при повышении урожайности на 25,0% на 110 руб/га по сравнению с соответствующим расширением орошаемых площадей даже в том случае, если капитальные затраты на гектар нового орошения и реконструкцию существующего приняты одинаковыми. Это говорит о высокой эффективности затрат на проведение перечисленного комплекса мер по повышению урожайности.

2) Есть еще один путь, использование которого в сочетании с первым в корне изменит наши представления о рациональной структуре водного баланса будущего. Это путь "оборотного орошения" путем создания замкнутого (вернее всего частично замкнутого) цикла: транспирация – конденсация – транспирация. Если бы ночью удалось сконденсировать и вернуть в почву воду, ушедшую на транспирацию и испарение почвой, можно было бы обойтись оросительной нормой (после рассоления почвы) 100 м³/га или, допустим за счет не полностью замкнутого круговорота, 500–1000 м³/га.

Это требует закрытия пленкой растений в течение вегетации. Размышляя над этим еще 20 лет назад, мы приходили к выводу, что это в производственных масштабах фантастично. Но в последние годы появляются сообщения, что за рубежом такие исследования ведутся.

Решение этой проблемы связано с решением теоретических вопросов локального и регионального тепловлагообмена, водного и теплового балансов и с преодолением ряда технологических и технических трудностей – надо обеспечить не только конденсацию влаги, но и влагоснабжение поверхностного слоя почвы (влагозапасы в активном слое должны быть созданы осенне-зимними и ранневесенними осадками или зарядковыми поливами), пленка должна пропускать соответствующий спектр солнечных лучей, надо решить ряд специфических вопросов возделывания, обработки, уборки с.-х. культур, селекции их и т.д. и т.п.

Но учитывая, что при резком увеличении урожайности необходимая для орошения площадь будет почти на порядок меньше, эта проблема может быть и будет решена. Это означает возможность

минимального изъятия водных ресурсов для орошения, которые составляют основную долю безвозвратных потерь стока, и восстановление (с нужными коррективами) нарушенного человеком динамического равновесия влагооборота земной поверхности между поверхностными и подземными водами и т.д.

Это означает, наконец, возможность восстановления (конечно, в облагороженном виде) миллионов га лесных и пастбищных угодий, изъятых для посевов.

Как видно, возможности интенсификации орошаемого земледелия поистине безграничны и использование их открывает перспективу ликвидации дефицита в продукции сельского хозяйства, в водных и земельных ресурсах для их получения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Мезенцев В.С. и др. Режимы влагообеспеченности и условия гидромелиораций степного края. М., "Колос", 1974.
2. Каплинский М.И. Прогнозирование изменений дренажного стока под влиянием водохозяйственных мероприятий. Фрунзе, "Илим", 1977.
3. Каплинский М.И. К вопросу об организации и содержании исследований по внедрению новой техники орошения в Киргизии. Изв.АН КиргССР, серия ест.и техн.наук, т.IV, вып.5, Фрунзе, 1962.
4. Каплинский М.И. Разделы 8.1.1, 8.3 заключительного отчета по теме 052.027 о "Разработать и внедрить в практику проектирования зональные мероприятия по регулированию водно-солевого режима окружающих земель, исключаящие засоление почв и повышающие их плодородие". Фонды ИНИКАМС, Фрунзе, 1975.
5. Каплинский М.И. Комбинированные (совмещенные) мелиоративные системы. Экспресс-информация № 3, КиргизИТИ, Фрунзе, 1976.
6. Шейнкин Г.Ю. Техника и организации орошения в Таджикистане, Душанбе, "Ирфон", 1970.
7. Шейнкин Г.Ю. Районирование и опытно-производственные исследования способов и техники полива. "Хлопководство", № 5 – 7, 9, II, 1974.
8. Муравская Г.Д. Результаты районирования территории Чуйской

долины по способам и технике полива. Материалы к республиканской научно-технической конференции по вопросам мелиорации и водного хозяйства. Ч. I, Фрунзе, 1968 .

9. Кабаков М.М. Принципы районирования территории по способам и технике полива. В сб.: "Вопросы водного хозяйства", вып. 12, Фрунзе, "Кыргызстан", 1969 .
10. Каплинский М.И. Основные показатели к технико-экономическому обоснованию побассейновых схем комплексного использования и охраны водных ресурсов (в данном сборнике) .
11. Система ведения сельского хозяйства Кыргызской ССР. Фрунзе, " Кыргызстан", 1968 .
12. Баженов Н.К. Засоление почвы Киргизии и пути их мелиорации. Фрунзе, " Кыргызстан", 1973.
13. Коллектив авторов под ред. акад. Мамытова А.М. Почвы Кыргызской ССР. Фрунзе, " Илим", 1974 .
14. Баженов Н.К., Каплинский М.И. Мелиорации земель Киргизии. Фрунзе, МСХ КиргССР, 1968 .
15. Каплинский М.И., Сабитов М.А. Схема дренирования орошаемых земель на примере Чуйской впадины. Материалы межведомственного совещания по мелиоративной гидрогеологии и инж. геологии, вып. I, ч. 4, М., 1972.
16. Каплинский М.И., Дуянов И.К., Сабитов М.А., Госсу Л.К., Микушко В.А. Вопросы районирования мелиорируемых территорий по типам дренажа (Чуйская впадина). В сб.: "Вопросы водного хозяйства", вып. 29, Фрунзе, " Кыргызстан", 1974 .

ОСНОВНЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ К ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКОМУ ОБОСНОВАНИЮ ПОБАССЕЙНОВЫХ СХЕМ КОМПЛЕКСНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ И ОХРАНЫ ВОДНЫХ РЕСУРСОВ

М.И. Каплинский

Основными задачами побассейновых схем комплексного использования и охраны водных ресурсов являются обоснование и выбор наиболее рациональных (оптимальных) с народнохозяйственной точки зрения :

- распределения водных ресурсов между различными отраслями (сельское хозяйство, водоснабжение, гидроэнергетика, рыбное хозяйство, водный транспорт и т.д.) ;
 - технологических схем использования водных ресурсов внутри каждой отрасли ;
 - комплекса мер по охране водных и земельных ресурсов и всей окружающей среды от возможных вредных воздействий, связанных с использованием вод и нарушением сложившегося в природе динамического равновесия ;
 - очередности строительства водохозяйственных объектов и мероприятий по их освоению.
- Для аридной зоны основным водопотребителем является орошаемое земледелие. В других отраслях должно быть предусмотрено более полное повторное использование выделенной им воды для орошения.
- Комплексный (системный) подход к решению проблемы требует :
- обоснования дифференцированного по зонам сочетания агролесомелиоративных и эксплуатационных мер, техники орошения (транспортировки воды и полива) и дренажа, обеспечивающего оптимальный мелиоративный режим, эффективное использование водных, земельных и тепловых ресурсов ;
 - учета взаимосвязи различных частей бассейна (по течению реки) и гидрогеологических зон (формирования, выклинивания, вторичного погружения и вторичного выклинивания подземных вод) ;
 - учета эффекта региональности (зональности), суть которого заключается в том, что эффективность ряда мероприятий может быть правильно оценена лишь при реализации их на больших массивах. Например, если расчетный объем откачек для вертикального дренажа в условиях центральной части Чуйской впадины при площади 100 тыс. га принять за 100, то при площадях 25, 10, 5 и 1 тыс. га он равен соответственно 109, 125, 140 и 216. Следовательно, оценка экономической эффективности вертикального дренажа на основе параметров, полученных для массивов меньше 20-25 тыс. га, дает заведомо искаженные результаты;

- обоснования оптимальных размеров и сроков освоения крупных массивов с учетом упомянутого эффекта и дополнительных затрат на обеспечение нормальных условий эксплуатации и мелиоративных режимов в течение принятого периода освоения массива.

Анализ показывает, что достаточно всестороннюю, интегральную характеристику технической эффективности различных вариантов дают показатели таблицы I. В дополнение к приведенным в таблице I показателям эффективность промывок оценивается коэффициентом $\mathcal{E}_{пр} = \frac{S}{M_{пр}}$, характеризующим вынос солей S из рассоляемого слоя почвы на кубический метр промывной нормы $M_{пр}$, а эффективность работы дренажа выражается через КПД дренажной системы $\eta_{др} = \frac{D}{D_{рокт}}$ при $D < D_{рокт}$ или $\eta_{др} = \frac{D_{расч}}{D}$ при $D > D_{рокт}$, где $D_{рокт}$ - расчетный дренажный сток (количество воды, которое необходимо отвести (или откачать) для поддержания грунтовых вод на заданной глубине от поверхности земли и поддержания оптимального мелиоративного режима в зоне аэрации); D - дренажный сток, обеспечиваемый принятыми в проекте схемой дренирования, параметрами и режимом работы дренажа (для эксплуатируемых систем - фактический дренажный сток). Не останавливаясь на рассмотрении всех показателей, отметим, что влияние различных мероприятий (элементов комплекса) переплетается.

Таблица I

Основные показатели технической эффективности орошения

I. О Б Щ И Е

1. Коэффициенты использования земельных ресурсов -

$$K_{1в} = \frac{F_{н}}{F_{б}} ; K_{3б} = \frac{F_{н}}{F_{б}} ;$$

$F_{н}$ - орошаемая площадь нетто,
 $F_{б}$ - валовая площадь,
 $F_{б} = F_{н} + F_{непосл} + F_{пастбищ}$

2. Коэффициент использования водных ресурсов -

$$\eta_0 = \frac{M_{пр}}{\Pi_{поверх} \cdot \Pi_{подзем} \cdot \Lambda}$$

3. Общий коэффициент полезного действия оросительной системы -

$$\eta_0 = \frac{M_{пр} \cdot \alpha}{M_{поверх}} = \eta_{пр} \cdot \eta_{мн} \cdot \eta_c = \eta_{пр} \cdot \eta ; \eta_{пр} = \frac{M_{пр}}{M_{поверх}} ; \eta_{мн} = \frac{M_{н}}{M_{поверх}} ; \eta_c = \frac{M_{пр}}{M_{поверх}}$$

4. Коэффициент использования тепловых ресурсов -

$$K_{т} = \frac{M_{пр}}{U_{н}} ; K'_{т} = \frac{M_{пр} \cdot \alpha}{U_{н}}$$

5. Валовой выход продукции и урожайность Y .

П. У Д Е Л Ь Н Ы Е (на единицу продукции)

1. Коэффициент водопотребления - $K_{в} = \frac{M_{пр} + U_{н}}{Y} = \frac{B}{Y}$

2. Коэффициент использования водных ресурсов на транспирацию -

$$K_{тр} = M_{тр} : Y$$

3. Коэффициент использования оросительной воды на транспирацию -

$$K'_{тр} = (M_{пр} \cdot \alpha) : Y$$

$M_{пр}$ - расход воды на полезную (продуктивную) транспирацию;

α - доля этого расхода за счет оросительной воды;

$M_{н}$ - водоподача нетто;

$M_{б}$ - водоподача на поля брутто (в регулируемую сеть - выводные борозды, дождевальные аппараты и т.д.);

$M_{поверх}$ - головной водозабор для целей орошения;

$\Pi_{поверх} - \Pi_{подзем}$ - поступления (приток минус отток) поверхностных и подземных вод;

Λ - атмосферные осадки; $U_{н}$ - испаряемость;

$U_{п}$ - испарение почвой.

Однако комплекс агролесомелиоративных мероприятий влияет, главным образом, на коэффициенты использования воды, на продуктивную транспирацию, тепловые ресурсы и частично на $\eta_{мн}$. Техника орошения отражается через КПД системы $\eta = \eta_{тр} \cdot \eta_c$, а в общем случае через КПД речной системы, который получается как произведение КПД системы на КПД источника орошения η_0 , где $\eta_0 = \frac{Q_0}{Q_p - Q}$, Q_0 - головной водозабор, Q_p - расход реки по опорному гидронесту, Q - концевой расход ниже водозаборов

(для горных рек на границе предгорной зоны). Влияние КПД системы, т.е. техники орошения, на динамические ресурсы подземных вод, величину возвратных вод, расчетный размер дренажного стока, оценку сравнительной эффективности откачек подземных вод и реконструкции орошения, величину оросительных норм и другие элементы баланса можно оценить по полученным зависимостям (табл.2).

Таблица 2

Влияние изменения КПД (при различных вариантах техники орошения) на расчетные данные

1. Динамические ресурсы подземных вод -

$$Z = \Pi_{\text{под}} + \Pi_{\text{поп}} + A_{\text{г}} + \gamma \Sigma \Phi$$

 $\Pi_{\text{под}}$ - приток подземных вод извне; $\Pi_{\text{поп}}$ - подрусловой приток;
 $A_{\text{г}}$ - инфильтрация осадков; $\Sigma \Phi$ - сумма фильтрационных потерь в оросительной системе и руслах рек, поступающих на питание подземных вод;

$$\gamma = \frac{\eta(1-\eta')}{\eta'(1-\eta)} \cdot \frac{q_n F_n}{q_n' F_n'}$$

q_n, F_n - ординаты гидро модуля и орошаемая площадь нетто при КПД η ;

q_n', F_n' - ординаты гидро модуля и орошаемая площадь нетто при КПД η' ;

η - КПД системы (при наличии потерь Φ_r в руслах рек КПД речной системы $\eta_p = \eta - \eta_r$; $\eta_r = \frac{Q_r}{Q_r + \Phi_r}$ - КПД источника орошения.

2. Целесообразность откачек подземных вод по сравнению с реконструкцией орошения в предгорной зоне.

Откачки оправданы экономически, если

$$Z_1 \leq \frac{PK_1}{\eta - 1} \cdot P = P_a + \frac{1}{\eta} ;$$

K_1 - капитальные вложения на 1 га прироста за счет реконструкции;

P - амортизационные отчисления;

T - срок окупаемости;

Z_1 - приведенные затраты на 1 га орошения при откачках подземных вод.

3. Изменение расчетного объема дренажного стока -

$$D' - D = \Delta \Pi + B_n \left(\frac{1}{\eta'} - \frac{1}{\eta} \right) + \frac{U_{12 \text{ ор } 121} - U'_{12 \text{ ор } 121}}{\eta'} + (U_{12 \text{ неор } 122} - U'_{12 \text{ неор } 122})$$

D' - расчетный дренажный сток при КПД - η' ;

D - то же при КПД - η ;

$\Delta \Pi$ - изменение поступлений подземных вод;

B_n - водоподача нетто;

U_{12} - испарение с грунтовых вод.

Индексы „ор“ - с орошаемых, „неор“ - с неорошаемых земель; „122“ - за вегетационный, „121“ - за невегетационный период, „204“ - за год.

4. Изменение оросительных норм при сохранении расчетного водопотребления -

$$\frac{M_1}{M_2} = \frac{\Phi'}{\Phi} \cdot \frac{\eta}{\eta'}, \quad \Phi = 1 - \frac{U_{12 \text{ ор } 121}}{B - \mu A}$$

μ - коэффициент использования атмосферных осадков на водопотребление.

5. Величина возвратных вод -

$$Q_2 = Q_1 (1 - \eta)(1 - \varphi),$$

где Q_1 - головной водозабор;

φ - коэффициент рассеивания стока, формулы которого получены для

а) общего (выклинивающегося и сбросных) размера возвратных вод - $\varphi = \frac{U_1 + (1 - \alpha_{12}) U_{12}}{S}$,

U_1 - испарение с водной поверхности каналов, на полях, водохранилищах, заполненных за счет водозабора;

α_{12} - коэффициент использования грунтовых вод на водопотребление;

$S = U \cdot \Phi \cdot C$ - сумма потерь в системе на испарение, фильтрацию и сбросы ;

б) вод руслового и площадного выклинивания -

$$\varphi = \frac{(1 - \alpha_{\text{ис}}) U_{\text{ис}}}{\Phi} ;$$

в) только русловых - $\varphi = \frac{U_{\text{ис}}}{\Phi} ;$

г) поступающих за пределы региона - $\varphi = \frac{U_{\text{ис}} \cdot Q'}{\Phi} ;$

д) выклинивающихся в главную дренажную артерию - $\varphi = \frac{U_{\text{ис}} \cdot D}{\Phi} ;$

D - расход выклинивающихся в искусственную и естественную дренажную сеть вод ;

Q' - часть его, используемая на орошение и другие нужды в пределах региона.

6. Общая величина возвратных вод (включая возврат от потерь Φ_p в руслах рек)

$$Q_{\text{в}} = Q_p (1 - \eta_p) (1 - \varphi) , \quad Q_p \text{ - расход источника орошения.}$$

7. Суммарное (выклинивающихся и сбросных) поступление возвратных вод

$$Q_{\text{в}} = \bar{Q} - \bar{Q}_1 + Q_p = \bar{Q} - \bar{Q}_1 + Q_{\text{в}} / \eta$$

$\bar{Q}$ - отток поверхностных вод за пределы региона на данном этапе развития орошения ;

$\bar{Q}_1$ - то же при отсутствии орошения (водозабор) ;

$Q_{\text{в}}$ - водоподача нетто $Q_{\text{н}} = Q_{\text{в}} \cdot F_{\text{н}}$.

Выполненные нами для основных межгорных впадин Киргизии балансовые расчеты показали, что основную роль в формировании динамических ресурсов подземных вод играют возвратные воды за счет фильтрационных потерь в сети и в руслах рек предгорной зоны. Приток извне, а также инфильтрация осадков, как правило, незначительны. Это подтверждается данными различных авторов для большинства других регионов аридной зоны.

В конечном итоге, в пределах региона одна и та же площадь (т.е. заданный расход нетто) может быть обеспечена при однократном водозаборе с максимальным КЦД или при многократном (за счет использования возвратных вод) при низких КЦД. В последнем случае следует учитывать повышение минерализации

возвратных вод по сравнению с поверхностным. Максимально возможное КЦД обеспечивает минимальные изъятия стока и нарушения естественных режимов уровней, минерализации и запасов подземных вод. Непосредственные затраты на технику орошения будут при этом максимальные, а на дренаж - минимальные. В то же время из предложенных зависимостей видно, что в определенных пределах уменьшение питания подземных вод за счет повышения КЦД компенсируется увеличением его за счет расширения орошаемых площадей ($\lambda = 1$). Поэтому выбор варианта техники орошения должен быть обоснован экономическими расчетами.

Из вышеизложенного следует :

- выбор путей комплексного использования поверхностных и подземных вод тесно связан с выбором оптимального КЦД ;

- экономическая оценка принятой техники орошения (или вариантов реконструкции её) должна производиться с учетом её влияния на ресурсы и качество подземных вод, а оценка принятой техники дренажа - с учетом возможностей использования дренажных вод на орошение ;

- выбор техники полива, транспортировка воды и дренаж должны производиться по системе технико-экономических показателей, обеспечивающей сравнимость вариантов, более всестороннюю объективную оценку их с учетом влияния на урожай создаваемого мелиоративного режима. Такая система показателей была нами предложена в работах [1,2] . С некоторыми уточнениями и дополнениями она выглядит следующим образом.

Для техники полива

- Сохранение плодородия почвы и обеспечение высоких и устойчивых урожаев высокого качества :

а) обеспечение благоприятного водно-воздушного, теплового и солевого режимов почвы в соответствии с физиологическими потребностями растений ;

б) равномерность увлажнения по площади ;

в) создание условий для устранения специфических при орошении заболеваний растений, предотвращения полегания и т.п. ;

г) создание благоприятного фитоклиматического режима ;

д) сохранение структуры почвы, отсутствие водной эрозии .

- Комплексная механизация и автоматизация полива и всех с.-х. работ :

а) минимальная потребность в ручном труде и облегчение условий работы при поливе ;

б) степень автоматизации водораспределения при поливе;

в) внесение удобрений и ядохимикатов при поливе ;

г) отсутствие препятствий для механизированной обработки почвы и уборки урожая ;

- Высокая производительность труда при поливах.

- Экономное использование оросительной воды, т.е. возможно более высокий КИД полива и минимальный коэффициент водопотребления.

- Минимальная потребность в планировочных работах для получения заданной урожайности .

- Минимальные потери площади под поливную сеть и обеспечение оптимальной густоты стояния растений, т.е. высокий коэффициент использования орошаемых земель (КЗИ) .

- Возможность полива на больших уклонах.

- Экономическая эффективность, т.е. минимальные металлоемкость, энергоемкость, приведенные затраты и срок окупаемости.

Для техники транспортировки воды

- Степень водонепроницаемости, т.е. степень уменьшения потерь на фильтрацию.

- Долговечность в условиях работы оросительных каналов (переменные уровни воды, высокие амплитуды температур и т.д.).

- Повышение допускаемых скоростей и уменьшение сечения каналов.

- Удобства эксплуатации, механизации и автоматизация водораспределения, учета воды.

- Удобства механизации строительных работ.

- Минимальные затраты площади под оросительную сеть и сооружения на ней (повышение КЗИ).

- Экономическая эффективность с учетом уменьшения потребностей дренажа.

Для дренажа

- Получаемый дренажный модуль и необходимая длина дренажа на 1 га ; высокий КИД дренажной системы .

- Удельный дебит на 1 м длины дренажа .

- Скорость спада уровня грунтовых вод (максимальная, минимальная, средневзвешенная) .

- Срок службы .

- Равномерность осушения, рассоления и распределения площадей по глубинам залегания грунтовых вод по междуренью.

- Минимальные потери площади на 1 га.

- Удобства механизации с.-х. работ (включая применение с.-х. авиации) .

- Использование дренажных и подземных вод.

- Экономическая эффективность осушения или рассоления 1 га с учетом оросительного эффекта, орошение 1 га (при различной технике полива) с учетом мелиоративного эффекта.

Исходя из объективной необходимости всемерной интенсификации производства в связи с непрерывным уменьшением водных, земельных и вообще природных ресурсов на душу населения, мы должны стремиться к получению максимальной урожайности $U_{\text{макс}}$. Величина $U_{\text{макс}}$ может быть определена по известной зависимости Д.И.Шашко; норма водопотребления $B_{\text{макс}}$, соответствующая урожайности $U_{\text{макс}}$, по зависимости $B_{\text{макс}} = [K_s] U_0$, (1), где $[K_s]$ - средневзвешенный для проектного состава культур (с учетом повторных и пожнивных посевов) биологический коэффициент ;

U_0 - годовая испаряемость, определяемая приближенно по Н.И.Иванову.

Для наиболее благоприятного сочетания всех факторов жизни растений $[K_s] = 0,65-0,85$. Однако обеспечить получение $U_{\text{макс}}$ на всех площадях на данном этапе может оказаться невозможным или экономически невыгодным. Поэтому проектная урожайность должна назначаться в соответствии с современным уровнем агротехники.

Возникает вопрос о зависимости расчетной нормы водопотребления $\bar{B}$ от урожайности $\bar{Y}$.

Здесь надо отметить следующее.

1. Такая зависимость справедлива лишь в том случае, если на всех фазах вегетации уровень влагообеспеченности не опускается ниже допустимого. Действительно, при одной и той же норме водопотребления может иметь место самая различная урожайность в зависимости от сроков полива и уровня увлажнения, не говоря уже об уровне агротехники. Так, для сахарной свеклы, например [4] при $\bar{B} = 6650 \text{ м}^3/\text{га}$ получен урожай 410 ц/га и 780 ц/га, а при $\bar{B} = 8000 \text{ м}^3/\text{га}$ - 525 ц/га. Таких примеров множество.

2. Попытка обобщения многочисленных опытных данных для получения зависимости $\bar{B} = \zeta(\bar{Y})$ дает самые противоречивые результаты. Это объясняется как тем, что опыты проводились в самых различных условиях при различных сроках и нормах поливов и уровнях агротехники, так и тем, что при этом выдерживался принцип "при прочих равных условиях".

Между тем для отыскания оптимального сочетания факторов этот принцип не годится, так как повышенной влагообеспеченности должны соответствовать повышенные дозы удобрений, свои меры по поддержанию оптимального, теплового и воздушного режимов и т.п. Это в значительной степени обусловило то обстоятельство, что минимальный коэффициент водопотребления не соответствует максимальной урожайности.

Так, полученную М.М.Кабаковым [4] на основе обработки многочисленного фактического материала в разных зонах страны многочленную зависимость $\bar{B} = \zeta(\bar{Y})$ можно при $\bar{B} = 1-0,6$ и $\bar{B}_0 \leq 0,30-0,35$ без ущерба для точности привести к виду $\bar{B} = \bar{Y}^{\bar{\lambda}}$ (3), а при $\bar{B} = 1,0-1,3$ к виду $\bar{B} = \frac{1}{\bar{Y}^{\bar{\lambda}}}$ (2а). Здесь $\bar{B} = \frac{B}{B_{\text{опт}}}$; а $\bar{Y} = \frac{Y}{Y_{\text{макс}}}$; $\bar{B}_0 = \frac{B_0}{B_{\text{опт}}}$ - параметр в формуле М.М.Кабакова, "представляющий собой уровень обеспеченности, при котором урожайность равна нулю".

По А.А.Черкасову [5] можно получить $\bar{B} = \sqrt{\bar{Y}}$ (3). Таким образом, в интересующих нас для аридной зоны пределах $\bar{B} \leq 1$ можно получить обобщенную зависимость $\bar{B} = \bar{Y}^{\bar{\lambda}}$ (4) при $\bar{\lambda} = 0,5-2,0$.

Ясно, что такой диапазон колебания как раз подтверждает все вышесказанное в отношении зависимости $\bar{B} = \zeta(\bar{Y})$.

При этом важно учесть, что при $\bar{\lambda} < 1$, коэффициент водопотребления $\bar{\lambda}$ получается минимальным при $\bar{Y} = Y_{\text{макс}}$, при $\bar{\lambda} > 1$ $\bar{\lambda}$ увеличивается с увеличением $\bar{Y}$, а при $\bar{\lambda} = 1$ $\bar{\lambda} = \text{const}$ (табл.3).

Таблица 3

Значения $\bar{B}$ и $\bar{\lambda}$ при различных показателях степени в формуле (4)

$\bar{Y}$	При коэффициенте $\bar{\lambda}$									
	0,5		0,667		0,75		1,5		2	
	$\bar{B}$	$\bar{\lambda}$	$\bar{B}$	$\bar{\lambda}$	$\bar{B}$	$\bar{\lambda}$	$\bar{B}$	$\bar{\lambda}$	$\bar{B}$	$\bar{\lambda}$
0,5	0,707	1,414	0,630	1,260	0,595	1,189	0,354	0,707	0,25	0,500
0,6	0,775	1,291	0,711	1,166	0,682	1,136	0,465	0,775	0,36	0,600
0,7	0,837	1,195	0,788	1,126	0,765	1,093	0,586	0,837	0,49	0,700
0,8	0,894	1,118	0,862	1,077	0,846	1,057	0,716	0,894	0,64	0,800
0,9	0,949	1,054	0,932	1,036	0,924	1,027	0,854	0,949	0,81	0,900
1,0	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,00	1,000

$$* \bar{\lambda} = \frac{\lambda_{\bar{Y}}}{\lambda_{Y_{\text{макс}}}} = \left(\frac{B}{\bar{Y}} : \frac{B_{\text{опт}}}{Y_{\text{макс}}} \right) = \bar{Y}^{\bar{\lambda}-1}$$

По Зависимости М.М.Кабакова, минимальные значения коэффициента водопотребления получаются при $\bar{B} = 0,483-0,941$.

С нашей точки зрения, при оптимальном сочетании всех основных факторов жизни растений максимальному урожаю будет соответствовать минимальный коэффициент водопотребления. Это и отражается зависимостью (4) при $\bar{\lambda} = 0,5-0,75$, которую мы и считаем возможным принять для нормирования водопотребления при оптимальном уровне агротехники. По мере совершенствования уровня агротехники и эксплуатации $\bar{Y}$ будет приближаться к $Y_{\text{макс}}$, а $\bar{B}$ к $B_{\text{опт}}$.

Оросительная норма нетто определяется как дефицит водопотребления (влагообеспеченности) по зависимости

$$M_n = B - \mu \Lambda - U_{\text{эв}}. \quad (5)$$

где μ - коэффициент использования естественных осадков (включая предосевной запас влаги, образуемый осенне-зимними и ранне-весенними осадками) ;

$\bar{Q}$ - годовое количество осадков ;

$\bar{Q}_{гв}$ - водопотребление за счет грунтовых вод.

Оросительная норма брутто $M_{бр} = \frac{M_{н}}{\eta_{гв}}$, а норма головного водозабора

$$M_{г} = \frac{M_{н}}{\eta_{г}} = \frac{M_{н}}{\eta} \quad (6)$$

При снижении уровня грунтовых вод вследствие реконструкции орошения откачек и т.п. для сохранения расчетной нормы водопотребления необходимо

$$\frac{M'_{н}}{M_{н}} = \frac{\Phi'}{\Phi} ; \frac{M'_{бр}}{M_{бр}} = \frac{\Phi'}{\Phi} \cdot \frac{\eta_{гв}}{\eta'_{гв}} ; \frac{M'_{г}}{M_{г}} = \frac{\Phi'}{\Phi} \cdot \frac{\eta}{\eta'} ; \quad (7)$$

$$\Phi = 1 - \frac{\bar{Q}_{гв}}{B - \mu \bar{A}} ; \Phi' = 1 - \frac{\bar{Q}'_{гв}}{B - \mu \bar{A}} \quad (8)$$

На засоленных землях оросительные нормы увеличиваются в объеме, необходимом для создания требуемого мелиоративного режима.

Таким образом, проектирование оросительных систем ведется из расчета, чтобы водный фактор не лимитировал величину урожая. В конечном итоге, каждому варианту соответствует своя структура водного баланса (общего и частных - подземных, почвенных, поверхностных вод, а также руслового баланса главной дренирующей артерии) и свое соотношение объемов использования поверхностных и подземных, а также возвратных вод.

Рациональной (оптимальной) следует считать такую структуру, при которой приращение в таблице I общие показатели и валовой выход продукции (высокого качества) получаются максимально возможными, а себестоимость последней и затраты воды, материальных и трудовых ресурсов на единицу продукции - минимально возможными.

Несмотря на сложность такой постановки задачи, она в настоящее время решается на основе различных вариантов развития и реконструкции орошения и дренажа:

- прогнозных расчетов общего и частного водных и солевых балансов в разрезе частей и гидрогеологических зон региона ;

- прогнозных гидродинамических расчетов неустоявшегося режима грунтовых вод с помощью ЭВМ и АЭМ как для региона в целом, его частей и зон (изменение режимов уровней) напорности, минерализации грунтовых вод, размеров и расположения гидрогеологических зон и т.п.), так и для отдельных объектов ;

- экономико-математических расчетов с применением ЭМ (обеспечение оптимальной обеспеченности орошения, дренажа и исходных расчетных данных, обоснование оптимального технического решения в пределах каждого элемента комплекса и всего комплекса в целом).

Анализ выполненных нами расчетов по определению фактических и предельно возможных показателей использования водных и тепловых ресурсов в разрезе основных регионов Киргизии требует дополнительного описания. Здесь отметим только, что общий КПД системы колеблется в пределах от 0,20-0,25 для Чуйской впадины, 0,38-0,45 для Ош-Карасуйского оазиса, а коэффициент использования водных ресурсов соответственно 0,15-0,30. За счет реконструкции орошения и получения хотя бы проектной урожайности эти коэффициенты могут быть повышены, но крайней мере, вдвое. Это требует соответствующих капитальных вложений, но расчеты показывают, что они себя полностью оправдывают.

ЛИТЕРАТУРА

1. Каплинский М.И. К вопросу об организации и содержании исследований по внедрению новой техники орошения в Киргизии. Изв. АН КиргССР, серия ест. и техн. наук, т. IV, вып. 5, Фрунзе, 1962.
2. Каплинский М.И. Разделы заключительного отчета по теме 052.027а. "Разработать рекомендации по проектированию и рациональной эксплуатации оросительных систем с учетом закономерностей изменения гидрогеолого-мелиоративной обстановки орошаемых массивов под влиянием орошения". Фонд ИНИКАМС, Фрунзе, 1974.

3. Каплинский М.И. Техничко-экономические показатели расчета систем. В кн. "Производственные исследования на оросительных системах", глава X, Фрунзе, АН КиргССР, 1961.
4. Кабаков М.М., Горбачева Р.И. Влагообеспеченность и урожай. "Вопросы водного хозяйства (орошение)", вып.31, Фрунзе, "Кыргызстан", 1973.
5. Черкасов А.А. Мелиорация и сельскохозяйственное водоснабжение. М., 1950.

К СОСТАВЛЕНИЮ ГИДРОМОДЕЛИ ДЛЯ ДВУХМЕРНОЙ В ПЛАНЕ И ОДНОРОДНОЙ ПО ВЕРТИКАЛИ ОБЛАСТИ ФИЛЬТРАЦИИ

А.А.Тарасова

Как известно, в основу решения плановых задач для однородной среды применяется дифференциальное уравнение в виде

$$\mu \frac{\partial H}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left[K(H-z) \frac{\partial H}{\partial x} \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[K(H-z) \frac{\partial H}{\partial y} \right] + W. \quad (1)$$

Для составления гидромодеи, как и в случае одномерной схемы [1], принимаем известными при $t=0$ значение вертикального водообмена W , гидравлические уклоны в направлении оси x и y , приток и отток к границам области фильтрации.

При установившемся режиме (т.е. при соответствии питания расчетной схеме) $\partial H / \partial t = 0$, и уравнение (1) в конечных разностях можно записать в виде

$$\Delta Q_x + \Delta Q_y = -W. \quad (2)$$

С помощью уравнения (2) при $W_1 = W_2 = W_3 = W$ и граничных условиях $y=0, (0 \leq x \leq L_x)$ и $x=0, (0 \leq y \leq L_y)$, $q_{np} = 0$; $x=L_x, (0 \leq y \leq L_y)$ и

$y=L_y, (0 \leq x \leq L_x)$, $H_1 = \text{const}$ или $q_{on} \neq 0$ составим баланс подземных вод для элементарных участков, для чего об-

ласть фильтрации разобьем на элементарные прямоугольники размером $\Delta x \cdot \Delta y$ (рис.1).

Для первого участка первой полосы ($y=0, n=0$) площадью $F_{\infty} = \frac{\Delta x}{2} \cdot \frac{\Delta y}{2}$ уравнение баланса подземных вод будет:

$$W \cdot F_{\infty} = Q_y^{\infty} \frac{\Delta x}{2} + Q_x^{\infty} \frac{\Delta y}{2}$$

где $Q_y^{\infty}, Q_x^{\infty}$ - отток подземных вод в направлении осей y и x ; индексы вверху указывают: первый - номер полосы (вдоль оси x), второй - номер участка (вдоль оси y).

Принимая $\Delta x = \Delta y$ и $Km = \text{const}$ в пределах F_{∞} , получим

$$W \cdot \frac{\Delta x^2}{4} = Km_{\infty} \left(\gamma_y^{\infty} \frac{\Delta x}{2} + \gamma_x^{\infty} \frac{\Delta x}{2} \right)$$

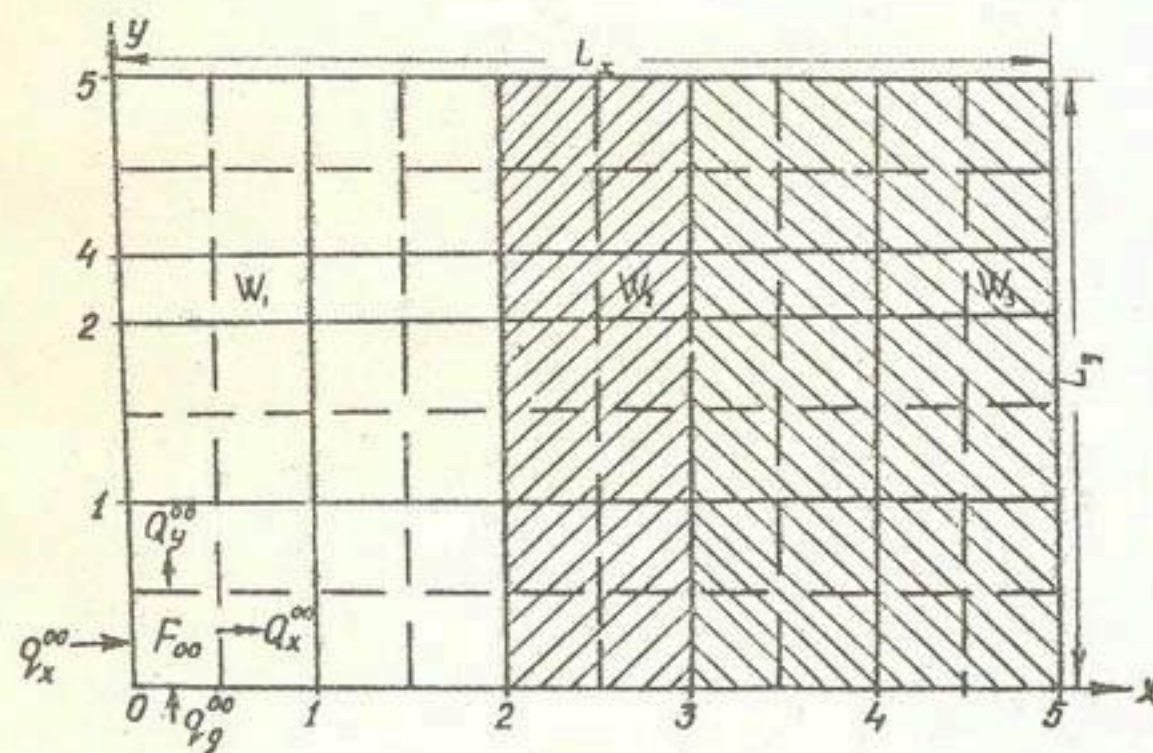


Рис.1. Схема к расчету баланса подземных вод

$$\text{откуда } Km_{00} = \frac{0,5 \cdot W \cdot \Delta x}{J_y^{\infty} + J_x^{\infty}} \quad (3)$$

где J_y^{∞} и J_x^{∞} - гидравлические уклоны подземных вод в направлении осей y и x .

Для участка $y=0, n=1$

$$W(F_{\infty} + F_{01}) = Q_x^{\infty} \frac{\Delta x}{2} + Q_y^{01} \frac{\Delta x}{2} + Q_x^{01} \Delta x,$$

$$\text{или } 1,5W\Delta x - Q_x^{\infty} = Km_{01}(J_y^{01} + 2J_x^{01}),$$

$$\text{откуда } Km_{01} = \frac{1,5W\Delta x - Q_x^{\infty}}{J_y^{01} + 2J_x^{01}}; \quad (4)$$

для участка $y=0, n=2$

$$Km_{02} = \frac{0,5W\Delta x - Q_x^{\infty} - 2Q_x^{01}}{J_y^{02} - 2J_x^{01}}$$

и т.д. Для последнего участка $y=0, n=\tilde{y}_1=5$

$$W \frac{\Delta x}{2} \cdot \frac{10}{2} \cdot \Delta x - Q_x^{\infty} \frac{\Delta x}{2} - Q_x^{01} \Delta x - Q_x^{02} \Delta x - Q_x^{03} \Delta x - Q_x^{04} \Delta x =$$

$$= Km_{05} (J_y^{05} \frac{\Delta x}{2} + J_x^{05} \frac{\Delta x}{2}), \text{ откуда}$$

$$Km_{05} = \frac{5W\Delta x - Q_x^{\infty} - 2(Q_x^{01} + Q_x^{02} + Q_x^{03} + Q_x^{04})}{J_y^{05} + J_x^{05}} \quad (5)$$

Составим уравнение баланса подземных вод для полосы $y=1, n=0$

$$W\Delta x \frac{\Delta x}{2} + Q_x^{\infty} \frac{\Delta x}{2} = Q_y^{10} \Delta x + Q_x^{10} \frac{\Delta x}{2} = Km_{10}(J_y^{10} \Delta x + J_x^{10} \frac{\Delta x}{2}), \text{ откуда}$$

$$Km_{10} = \frac{0,5W\Delta x + 0,5Q_x^{\infty}}{J_y^{10} + 0,5J_x^{10}}; \quad (6)$$

для $y=1, n=1$

$$Km_{11} = \frac{1,5W\Delta x + 0,5Q_x^{\infty} + Q_x^{10} - 0,5Q_x^{10}}{J_y^{11} + J_x^{11}} \quad (7)$$

и т.д. Аналогично можно составить уравнение баланса для крайней справа полосы.

Как видно, расчет водопроводимости можно производить по рекуррентным формулам (табл. I) вручную и с помощью ЭВМ.

Таблица I

Рекуррентные формулы к расчету водопроводимости по полосам и участкам

1. Для крайней слева полосы ($y=0$)

$$Km_{0n} = \frac{(n+0,5z)W\Delta x - P_1 \sum_{i=0}^{n-1} Q_x^{0i}}{J_y^{0n} + \lambda_1 J_x^{0n}}, \quad (8)$$

с учетом притока к границам

$$Km_{0n} = \frac{(n+0,5z)W\Delta x + Q_y^{\infty} - P_1 \sum_{i=0}^{n-1} Q_x^{0i} + P_2 \sum_{i=0}^n Q_x^{0i}}{J_y^{0n} + \lambda_1 J_x^{0n}}. \quad (8')$$

Коэффициент	$n=0$		$n=1$	$1 < n < \tilde{y}_1$		$n = \tilde{y}_1$	
	$m=0$	$m < 0$		$m=0$	$m > 0$	$m=0$	$m > 0$
λ_1	1,0	1,0	2,0	2,0	2,0	1,0	1,0
z	1,0	1,0	1,0	2,0	1,0	0	0
P_1	0	0	0,5	1,0	2,0	1,0	2,0
P_2	0	0	2,0	2,0	2,0	1,0	1,0

2. Для внутренних полос ($0 < y < \tilde{y}_1$)

$$Km_{yn} = \frac{(n+0,5z)W\Delta x \pm P_2 \sum_{i=1}^{\tilde{y}_1} \sum_{m=0}^n Q_x^{im}}{J_y^{yn} + \lambda_2 J_x^{yn}}; \quad (9)$$

при наличии притока к границе

$$Km_{yn} = \frac{(n+0,5z)W\Delta x + Q_y^{yn} \pm P_2 \sum_{i=1}^{\tilde{y}_1} \sum_{m=0}^n Q_x^{im}}{J_y^{yn} + \lambda_2 J_x^{yn}} \quad (9')$$

+ при нижнем значении S , - при верхнем значении S .

Продолжение таблицы I

Коэффици- циент	$n=0$	$0 < n < \tilde{\tau}_i$			$m=n$ $S=\gamma$	$n = \tilde{\tau}_i$		
		$m=0$	$0 < m < \tilde{\tau}_i$	$m = \tilde{\tau}_i$		$m=0$	$0 < m < \tilde{\tau}_i$	$m = \tilde{\tau}_i$
λ_3	0,5	1,0	1,0	1,0	1,0	0,5	0,5	0,5
τ	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	0	0	0
P_3	0,5	0,5	1,0	0,5	0	0,5	1,0	0,5

3. Для крайней справа полосы ($\gamma = \tilde{\tau}_2$)

$$Km_{\tau n} = \frac{(n+0,5\tau)W \cdot \Delta x + P_3 \sum_{x=0}^n Q_{x, \tau, m}}{\gamma_{\tau n}^{\tau n} + \lambda_3 \gamma_{\tau n}^{\tau n}}; \quad (10)$$

при наличии притока к границе

$$Km_{\tau n} = \frac{(n+0,5\tau)W \cdot \Delta x + P_3 \sum_{x=0}^n (Q_{x, \tau, m}^{\tau, m} + Q_{x, \tau, m}^{\tau, m})}{\gamma_{\tau n}^{\tau n} + \lambda_3 \gamma_{\tau n}^{\tau n}} \quad (10')$$

Коэффици- циент	$n=0$	$0 < n < \tilde{\tau}_i$		$n = \tilde{\tau}_i$	
		$m=0$	$m > 0$	$m=0$	$m > 0$
λ_3	0	0	0	0	0
τ	1,0	1,0	1,0	0	0
P_4	0,5	1,0	2,0	1,0	2,0

Для примера приведен (табл. 2 и 3) расчет Km вручную для двух полос, выделенных на площади размером $(12 \times 12) \text{ км}^2$. Среда по вертикали и в плане однородная, положение водоупора — горизонтальное. Движение в плане — двумерное, радиальное (рис. 2).

Для исключения погрешностей при определении Km по предлагаемой методике за счет уровней начальные условия определяли-

сь расчетом на ЭВМ*. При этом в основу описания депрессионной поверхности было принято уравнение Кене-Брудастова, представленное в виде

$$H_r = \sqrt{H_0^2 - q\tau^2}, \quad (11)$$

где H_0 — отметка УТВ в $x=y=0$,
 $q = \frac{W}{K}$ (W — инфильтрация, K — коэффициент фильтрации);
 τ — радиус, равный расстоянию от $x=y=0$ до искомой точки.

Так как $\tau^2 = x^2 + y^2$, то

$$H_{xy} = \sqrt{H_0^2 - q(x^2 + y^2)}. \quad (12)$$

Проверено при таком размере питания выражение (12) удовлетворяет уравнению Буссинеска, положенному в основу алгоритма при решении прогнозных задач на ЭВМ. Для этого, продифференцировав (12) по x и y , подставим в (1).

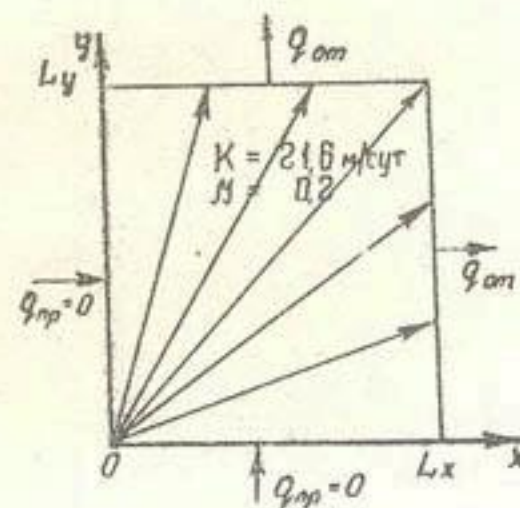


Рис. 2. Расчетная схема для получения начальных условий

* Программа составлена ст.н.ср И.У.Мурзакматовым.

Расчет водопроводимости по формуле (8)

Участок	Координаты, км; уровни, м; уклоны (милли)										Водопроводимость, мдсут		Расход по оси x Q_x			
	по оси y					по оси x										
	x, y	H	$x; y + \Delta y$	H	J_y^n	x, y	H	$x + \Delta x, y$	H	J_x^n	по формуле	факт.				
Σ	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
0	0	0,5	0,5	0,5	375,75	0,5; 1,0	375,64	0,114	0; 0,5	375,75	1,0; 0,5	375,64	0,114	8120	8115	0,926
0	1	1,5	0,5	1,0	375,64	0,5; 2,0	375,29	0,342	0; 1,0	375,64	1,0; 1,0	375,55	0,114	6112	6113	0,925
0	2	2,5	0,5	2,0	375,30	0,5; 3,0	374,72	0,572	0; 2,0	375,32	1,0; 2,0	375,21	0,114	8092	8106	0,922
Σ																Σ
0	11	11,5	0,5	11,0	361,70	0,5; 12,0	358,96	2,733	0; 11,0	361,73	1,0; 11,0	361,61	0,118	7793	7812	0,920
0	14	14,0	0,5	11,5	360,36	0,5; 12,5	357,50	2,864	0; 12,0	358,99	1,0; 12,0	358,88	0,120	7757	7753	0,921

Примечание. $Km_{факт} = 21,6 \cdot m_{ин}$, $m_{ин} = \frac{H_{x,y} + H_{x,y+1}}{2}$

$$\frac{\partial H}{\partial x} = -\frac{qx}{\sqrt{H_x^2 - q(x^2 + y^2)}}; \frac{\partial H}{\partial y} = -\frac{qy}{\sqrt{H_x^2 - q(x^2 + y^2)}}; \frac{\partial H}{\partial t} = 0,$$

тогда
$$0 = -\frac{\partial}{\partial x} \left[K \sqrt{H_x^2 - q(x^2 + y^2)} \cdot \frac{qx}{\sqrt{H_x^2 - q(x^2 + y^2)}} \right] -$$

$$- \frac{\partial}{\partial y} \left[K \sqrt{H_x^2 - q(x^2 + y^2)} \cdot \frac{qy}{\sqrt{H_x^2 - q(x^2 + y^2)}} \right] + \varepsilon,$$

откуда $-2Kq + \varepsilon = 0$ или $\varepsilon = 2W$. (13)

В связи с тем, что в имеющихся программах питание задается в половинном размере по направлениям осей x и y , для приведенной расчетной схемы $W_x = W_y = W$.

Как видно (табл. 2 и 3), расчет водопроводимости проводится следующим образом: по уровням грунтовых вод (графы 4 и 5) определяется уклон по оси y и заносится в графу 6, по УТВ граф 7 и 8 – уклон по оси x и заносится в графу 9. По рассчитанным гидравлическим уклонам, заданному $W = 2 \cdot 1,85 \text{ мм/сут}$ (согласно формуле 13) по (3) находим $Km_{ин}$ (графа 10). Полученное значение $Km_{ин}$ служит основой для определения расхода по оси x (выраво), как это и предусматривается формулой (4) при подсчете $Km_{ин}$, для чего $Km_{ин}$ умножаем на гидравлический уклон в графе 9 и результат заносим в графу 12. Подсчет Km для остальных участков этой полосы производится аналогичным образом по (8).

Для следующей полосы ($y=1$) подсчет $Km_{ин}$ производится по (9), начиная с $n=0$ по (6). При этом расходы из графы 12 табл. 2 заносятся в графу 10 табл. 3, как приток с полосы $y=0$. После выполнения расчета водопроводимости по внутренним полосам производится расчет Km для крайней справа полосы (10).

Как видно из приведенных расчетов, для определения $Km_{ин}$ (на последних участках всех полос) и $Km_{ин}$ (на всех участках последней полосы) возникающее затруднение для подсчета расхода на границе можно устранить экстраполированием предыдущих уклонов за пределы границы.

Расчет водопроводимости по формуле (9)

участок		координаты, км; уровни, м; уклоны (милли)										расход по осм. Q_x	расход по осм. Q_x		расход по осм. Q_x	
		по осм. y					по осм. x						по формуле	факт.		
		x; y	H	x; y; $\alpha\gamma$	H	γ_y^m	x; y	H	x; $\alpha\gamma$; y	H	γ_x^m					
№	n	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
1	0	0,5	1,0;	375,67	1,0;	375,53	1,0	1,0;	375,64	2,0;	375,29	0,350	0,925	8116	8110	2,840
1	1	1,5	1,0;	375,55	1,0;	375,21	0,340	1,0;	375,55	2,0;	375,21	0,340	0,925	8115	8108	2,759
1	2	2,5	1,0;	375,21	1,0;	374,64	0,570	1,0;	375,21	2,0;	374,67	0,340	0,922	8111	8101	2,756
Σ																Σ
1	11	14,5	1,0;	361,61	1,0;	358,88	2,730	1,0;	361,61	2,0;	361,25	0,350	0,920	7748	7607	2,769
1	12	120	1,0;	360,27	1,0;	357,41	2,860	1,0;	358,87	2,0;	358,52	0,350	0,931	7732	7746	2,706

Примечание. $Km_{\text{ср}} = 21,6 \cdot m_{\text{п}} \cdot m_{\text{дп}} = \frac{H_{x,y} + H_{x,y}}{2}$

Для оценки точности Km , определенной по рекомендуемой методике, в графе II табл.2 и гр.12 табл.3 приведены фактические значения водопроводимости. Как видно, получена весьма высокая точность.

При неравномерном распределении W по ширине или по длине потока необходимо участки или полосы выделять в пределах одинаковых значений W или в расчетах брать $W_{\text{ср}}$.

Обычно различные значения питания в условиях межгорных впадин связаны с гидрогеологическими условиями: наибольшее поступление в грунтовые воды имеет место на конусах выноса при больших коэффициентах фильтрации, а наименьшее - в межконусных понижениях с низкими коэффициентами фильтрации. При этом имеет место резко выраженное двумерное движение с растеканием инфильтрационного бугра под рекой в сторону межконусных понижений и движение, при котором растеканием можно пренебречь.

Для проверки возможности применения приведенных формул к расчету гидромоделей в этих условиях моделировалась область фильтрации с различными коэффициентами фильтрации и питания (например, $K_1 = 21,6 \text{ м/сут}$ $W_1 = 1,85 \text{ мм/сут}$ и $K_2 = 2,16 \text{ м/сут}$ $W_2 = 0,185 \text{ мм/сут}$).

Как показывают расчеты, и по этим схемам точность получения достаточно большая. При этом установлено, что при уклонах потока вдоль одной из осей на порядок меньше относительно другой (например, в сторону межконусных понижений) растеканием целесообразно пренебречь. Естественно, формулы (8-10) упрощаются до

$$Km_m = \frac{(n+0,5)W\Delta t}{\gamma_y^m} \quad (14)$$

ВЫВОДЫ

1. Разработанный и проверенный алгоритм позволяет определять водопроводимость потока подземных вод (как один из основных элементов гидромоделей) в условиях двумерной схемы

движения подземных вод при однородной по вертикали среде, при горизонтальном и произвольном положении водоупора, при равномерном и неравномерном распределении питания. Методика выбора начальных и граничных условий применительно к гидрогеологическим условиям межгорных впадин остается той же, что и для одномерной схемы [1].

2. При уклонах $\alpha \leq 5 \cdot 10^{-5}$ расчет водопроводимости можно производить по упрощенной формуле (14).

ЛИТЕРАТУРА

Тарасова А.А. К составлению гидромоделей для решения прогнозных задач в условиях межгорных впадин. В со.: "Вопросы водного хозяйства", вып. 38, Фрунзе, ВНИО "Совхозавтоматика", 1977.

ВЛИЯНИЕ ОСРЕДНЕНИИ ПИТАНИЯ ГРУНТОВЫХ ВОД НА ТОЧНОСТЬ РАСЧЕТОВ

М.И.Каплинский, Т.Н.Хан

Исследованию методов решения фильтрационных задач и особенностей режима грунтовых вод при постоянной во времени инфильтрации для различных граничных условий посвящены работы [1-6] и [5,7,8,9] при переменной во времени инфильтрации.

Еще в 1960 г. М.И.Каплинским были составлены обширные программы исследований на аналоговых машинах (гидравлический интегратор, ЭГДА) и на ЭВМ по влиянию водохозяйственных мероприятий на режим уровней, баланс и ресурсы подземных вод. [11]. В частности, были предусмотрены и в определенном объеме проведены исследования по влиянию изменения интенсивности, схемы питания и удаленности от источника питания на режим уровней и расход грунтовых вод в заданном створе.

Действительно, развитие и реконструкция орошения и дрена-

жа, совершенствование уровня освоения орошаемых земель и эксплуатация оросительных систем в конечном итоге сказываются на изменении интенсивности и схемы питания грунтовых вод

$$W(x, y, z, t).$$

где x, y, z — пространственные координаты; t — время.

В общем виде суммарное питание грунтовых вод складывается из инфильтрации осадков Φ_{oc} , фильтрации из русла Φ_r , междоульезной $\Phi_{мх}$ и внутрихозяйственной $\Phi_{вх}$ сетей, на полях Φ_n , выклинивания в горизонтальный (естественный и искусственный) дренаж D_q , откачек из скважин вертикального дренажа D_b и водозабора подземных вод Q_b , подпитывания грунтовыми водами зон аэрации U_{zp} , водообмена с водоносными горизонтами, лежащими ниже подошвы расчетного балансового слоя $\pm P$, т.е.

$$W = \Phi_{oc} + \Phi_r + \Phi_{мх} + \Phi_{вх} + \Phi_n - (D_q + D_b + U_{zp}) \pm P. \quad (1)$$

Для условий предгорной зоны члены, стоящие в скобках, надо исключить, и в связи с очень глубоким залеганием грунтовых вод можно принять $W = S(x, y, t)$, а для одномерных задач — $W = S(x, t)$. Очевидно, в зависимости от распределения перечисленных компонентов W в пространстве и во времени, что, в свою очередь, определяется проводимыми водохозяйственными мероприятиями, меняется интенсивность и схема (запра) питания [13].

В статье освещаются лишь в указанном аспекте результаты выполненных Т.Н.Хан расчетов на ЭВМ для гидрогеологических условий предгорной зоны Чуйской впадины применительно к схематизированным условиям Чалдоварского створа (рис.1), принятым по [11-13]. Вопросы динамики уровней и расходов оттока подземных вод, длительности периода стабилизации и др. не рассматриваются.

Область фильтрации принята однородной, граница с горным обрамлением — вертикальной, подошва водоупорного слоя — горизонтальной; приток подземных вод Q_b и $Q_b(x)$ соответственно по этим границам отсутствует. Мощность водоносного горизонта — 359-376 м. Ввиду незначительных колебаний уровней грунтовых вод на границе предгорной зоны с зоной выклинивания в первом

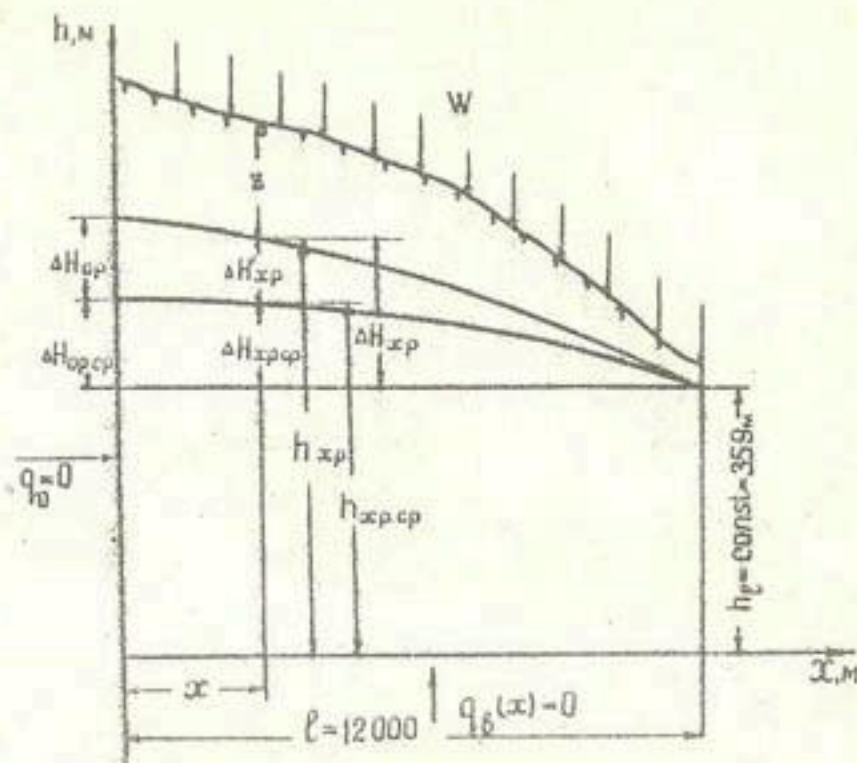


Рис.1. Расчетная схема Чалдоварского створа

приближении принято $h_l = \text{const}$ (рис.1). Для определения интенсивности питания использованы балансовые расчеты на различных этапах развития орошения М.И.Каплянского [14] и Н.Н.Медведева [15] за 1951-53 гг.

Задача решена, как одномерная и позволила выяснить, как будет изменяться режим уровней грунтовых вод при заданном суммарном питании, т.е.

$$W = \int_T \int_D W(x,t) dx dt = \text{const} \quad (2)$$

в двух случаях:

1) W меняется только по области $D = \{0 \leq x \leq l\}$, но постоянно во времени;

2) W постоянно по области, но переменное во времени.

При этом рассмотрены различные варианты схем (эпюры) питания, когда оно сосредоточено, в основном, в начале, в середине и в конце расчетного профиля или периода времени T . (рис.2,3, табл.1).

Таблица I

Распределение питания при различных вариантах, мм/сут

Случай	Вариант	W при R, равном			$\delta\%$	Центр тяжести R_g	Схема питания
		0	$q/2$	q			
I, II	I	3,700	1,850	0	100	0,33	
	Ia	2,035	1,850	1,665	10	0,48	
I	Ib	2,405	1,850	1,295	30	0,45	
	Iв	2,775	1,850	0,925	50	0,41	
I, II	2	0,000	3,700	0,000	100	0,50	
I	2a	1,665	2,035	1,665	10	0,50	
II	2a	0,307	3,393	0,307	83,5	0,50	
I, II	3	0,000	1,850	3,700	100	0,667	
	3a	1,665	1,850	2,035	10	0,50	

Здесь (табл.1) $R_g = \frac{x}{l}$, $R = x$, $q = l$ для случая I и $R = t$, $q = T$ для случая II; $\delta = \frac{W_{\text{макс}} - W_{\text{ср}}}{W_{\text{ср}}} \cdot 100\%$.

Очевидно, что для любой треугольной эпюры питания $\delta = 100\%$, для трапецидальной эпюры $\delta = \frac{W_{\text{макс}} - W_{\text{мин}}}{W_{\text{макс}} + W_{\text{мин}}} \cdot 100\%$.

Во всех задачах $W_{\text{ср}} = \text{const} = 1,85$ мм/сут. Для проведения расчетов была использована математическая программа численного решения уравнения неустойчивой фильтрации [8]:

$$\mu \frac{\partial h}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left[K(h-b) \frac{\partial h}{\partial x} \right] + W, \quad (3)$$

где K - коэффициент фильтрации;

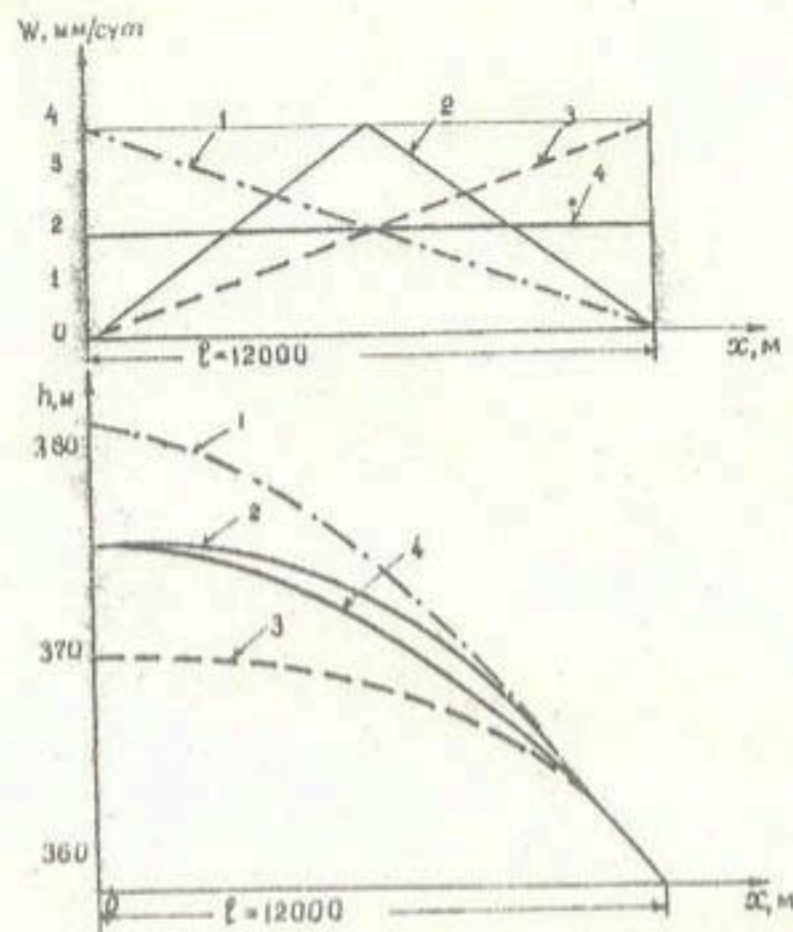


Рис. 2. Влияние питания W на распределение уровней грунтовых вод, когда оно сосредоточено по профилю: 1- в начале, 2- в центре, 3 - в конце, 4- равномерно

μ - свободная пористость ;

B - отметка водоупора. Остальные обозначения показаны на рис. 1 .

Граничные условия при $x=0$ $q_0 = Kh \frac{\partial h}{\partial x} = 0$,
при $x=l$ $h_l = \text{const} = 359$ м, $l = 12000$ м. Начальное распределение уровней грунтовых вод принято по уравнению

$$h = \sqrt{h_l^2 + \frac{W(l-x)^2}{K}} \quad \text{для установившегося режима при } W = 1,85 \text{ мм/сут.}$$

Задачи решались до стабилизации уровней грунтовых вод на 20-летний период, хотя практически период стабилизации уровней не превышает 10-12 лет. при $W = W(x)$ в случае I и на период времени T при $W = W(t)$ в случае II при различных вариантах. Значения $W(t)$ в случае II приведены в месячном разрезе (табл. 2) .

Таблица 2

Распределение питания в течение года при различных вариантах, мм/сут

Вариант	Месяц											
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
I	3,70	3,36	3,03	2,69	2,36	2,00	1,68	1,35	1,01	0,68	0,34	0
2	0	0,34	0,68	1,01	1,35	1,68	2,00	2,36	2,69	3,03	3,36	3,70
3	0	0,74	1,48	2,22	2,96	3,70	3,70	2,96	2,22	1,48	0,74	0
2а	0,31	0,92	1,54	2,16	2,78	3,39	3,39	2,78	2,16	1,54	0,92	0,31

Результаты расчетов вариантов 1,2,3 случая I показаны на рис. 2 в виде установившихся (на конец периода стабилизации) кривых депрессии $h(x)$, для случая II (рис. 3) в виде кривых ΔH в месячном разрезе при $x=0$. В таблице 3 и 4 даны значения $\Delta H_{x,р} = h_{x,р} - h_{x,р,ср}$, т.е. изменения уровня грунтовых вод $h_{x,р}$ при $W = W(x)$ и $W = W(t)$ по сравнению с таковыми при $W = W_{ср} = \text{const}$, и значекия $\frac{\Delta H_{x,р}}{\Delta H_{x,р,ср}}$, которые дают характеристику относительных изменений уровней в зависимости от схемы питания.

Для того, чтобы судить о допустимости осреднения питания в пространстве и во времени, необходимо установить допустимые пределы отклонения уровней, т.е. критерии точности. Они могут быть : абсолютная ΔH_p и относительная $\frac{\Delta H_p}{h_{p,ср}}$ величины отклонений и отношение уровней $\frac{h_p}{h_{p,ср}}$.

При разных глубинах залегания грунтовых вод Z допустимые отклонения различны. Величина допустимых отклонений зависит также от цели расчетов. Так, при подсчете запасов подземных

вод по Дарси подходит в 3-й критерий, причем, можно считать вполне приемлемым отклонение $\frac{\Delta h_p}{h_p}$ в пределах 10% (в другие доли). При $Z > 5$ м для большинства задач вполне приемлемым является $\Delta Z = 1-2$ м и даже больше, тем больше, чем больше Z . При $Z < 5$ м, в особенности при $Z < 3-4$ м допустимые абсолютные отклонения могут доходить до 0,05 - 0,10 м и в. во всяком случае, не превосходят $0,3 \div 0,5$ м в зависимости от требуемой точности подсчетов величин напора в грунтовых вод U_p (подплативных грунтовыми водом зоны вращений), запасов вод в деформационном слое, дренажного стока. Так, в работе [16] показано, что

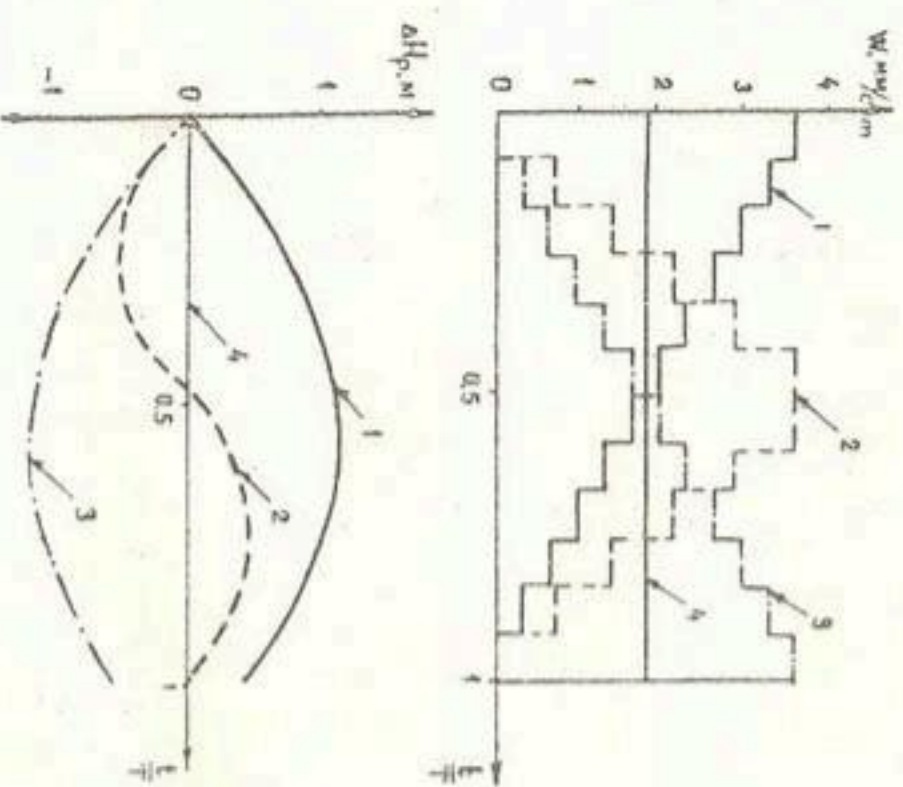


Рис.3. Зависимость отклонения уровня грунтовых вод $\Delta h_p/h_p$ от Z и k при $t = 0$ и $t = 1$ - в начале, 2 - в центре, 3 - в конце, 4 - равномерно

Таблица 3
Отклонения уровней грунтовых вод на конец расчетного периода ($T = 20$ лет) при различных вариантах $W = W(x)$

x, км	Отклонение δ , %									
	100									
	Вариант									
	1	2	3	1в	1б	1а	2в	3в		
0	5,43	0,14	5,56	2,76	1,61	0,56	0,02	0,54		
	1,32	1,01	0,67	1,17	1,10	1,03	1,00	0,97		
6	2,79	1,54	2,84	1,43	0,81	0,31	0,17	0,27		
	1,22	1,12	0,77	1,11	1,06	1,02	1,01	0,98		

Таблица 4
Отклонения уровней грунтовых вод при различных вариантах $W = W(t)$

Вариант	Месяц											
	Расстояние, x, км											
	0	6	0	6	0	6	0	6	0	6	0	6
1	0,27	0,26	0,55	0,55	0,76	0,77	0,95	0,94	1,08	1,04	1,15	1,09
	1,02	1,02	1,03	1,03	1,04	1,04	1,06	1,06	1,06	1,08	1,07	1,08
2	-0,28	-0,27	-0,56	-0,55	-0,76	-0,76	-0,96	-0,92	-1,08	-1,03	-1,15	-1,08
	0,98	0,98	0,96	0,97	0,95	0,95	0,94	0,94	0,94	0,92	0,94	0,92
3	-0,28	-0,27	-0,45	-0,44	-0,5	-0,48	-0,45	-0,42	-0,28	-0,24	-0,00	-0,05
	0,98	0,98	0,97	0,97	0,97	0,97	0,97	0,97	0,98	0,98	1,00	1,00
2а	-0,23	-0,23	-0,37	-0,36	-0,42	-0,4	-0,37	-0,35	-0,23	-0,2	-0	-0,04
	0,98	0,98	0,97	0,97	0,97	0,97	0,97	0,97	0,96	0,98	1,0	1,00

* Примечание. В числителе величины $\Delta h_p/h_p$, в знаменателе - $\Delta h_p/h_p$

Ва- ри- ант	Месяц											
	УП		УШ		IX		X		XI		XII	
	Расстояние, X, км											
	0	6	0	6	0	6	0	6	0	6	0	6
1	1,17	1,08	1,14	1,03	1,00	0,87	0,87	0,72	0,69	0,52	0,40	0,22
	1,07	1,08	1,07	1,08	1,06	1,05	1,05	1,04	1,04	1,03	1,02	1,02
2	1,18	1,08	1,15	1,02	1,07	0,92	0,93	0,76	0,75	0,56	0,51	0,52
	0,94	0,92	0,94	1,08	0,93	0,94	0,94	0,95	0,95	0,97	1,03	0,98
3	0,28	0,33	0,45	0,49	0,51	0,54	0,45	0,40	0,19	0,2	0,09	0,09
	1,02	1,02	1,03	1,02	1,03	1,03	1,03	1,03	1,02	1,02	1,01	0,99
2а	0,23	0,27	0,37	0,41	0,42	0,45	0,37	0,4	0,24	0,25	1,01	0,01
	1,02	1,02	1,02	1,02	1,03	1,03	1,02	1,03	1,02	1,02	1,00	1,00

при определении U_{np} по С.Ф.Аверьянову глубина Z_1 , при которой подпитывание отличается на $N\%$ от такого при глубине Z_2 , получается по зависимости $Z_1 = 1 - (1 \pm \frac{N}{100})^{1/m} (1 - \bar{Z}_2)$, где $\bar{Z} = \frac{Z}{Z_0}$.

Z_0 — глубина, при которой $U_{np} = 0$ ($Z_0 = 3-4$ м), по С.И.Харченко $Z_1 = Z_2 - \ln(1 \pm \frac{N}{100})$ (при $m=1$).

Учитывая это, лучше за критерий точности вместо $\frac{\Delta H}{H_{ггг}}$ взять $\frac{\Delta Z}{\Delta Z_{ггг}}$ (рис.1), причем, допустимую величину последнего можно принять порядка 0,85 — 0,90. При этом влияние схемы питания резко меняется в зависимости от гидродинамической схемы разгрузки фильтрационного потока и глубины залегания водоупора [13].

ВЫВОДЫ

1. Перемещение центра тяжести эпюры питания (при одной и той же суммарной величине её) влечет за собой понижение уровней грунтовых вод по расчетной области с максимальным понижением в точке $X = 0$.
2. Осреднение инфильтрационного питания при $\delta > 50\%$ допустимо лишь в том случае, когда $R_k \approx 0,5$, т.е. когда центр тяжести

эпюры питания близок к центру области фильтрации. При $R_k > 0,5$ в точке $X = 0$ имеем повышение уровня (по сравнению с $P_{гг}$), а при $R_k < 0,5$, наоборот, — понижение. При $\delta < 50\%$ изменение ΔH не превышает 17%. Следовательно, осреднение инфильтрационного питания по длине возможно в очень широких пределах. Причем, точность расчетов увеличивается при $R_k \approx 0,5$.

3. При изучении многолетнего режима колебания уровня грунтовых вод осреднение питания во времени вполне допустимо, так как абсолютные $\Delta H_{гг}$ и относительные $\frac{\Delta H_{гг}}{\Delta H_{ггг}}$ отклонения на конец года для самых крайних вариантов питания незначительны. Это позволяет при расчетах оперировать среднегодовым питанием. Для годового режима это справедливо, если нас интересует только уровень на конец года. Этот вывод подтверждается исследованиями на гидравлическом интеграторе [12] и ЭВМ [17,16], а также работой [10], которая выполнена для иных гидрогеологических условий. Следовательно, последний вывод является достаточно общим.

ЛИТЕРАТУРА

1. Аверьянов С.Ф. Фильтрация из каналов и её влияние на режим грунтовых вод. В сб.: "Влияние оросительных систем на режим грунтовых вод". М., АН СССР, 1956, с. 85-447.
2. Веригин Н.Н. О течениях грунтовых вод при местной усиленной инфильтрации. М., ДАН СССР, т.70, № 5, 1950.
3. Лебедев А.В. Методы изучения баланса грунтовых вод. М., "Недра", 1976, с. 223.
4. Полубаринова-Кочина П.Я. Теория движения грунтовых вод. М., Гостехтеоретиздат, 1952, с.676.
5. Чжан-Вей-Цинь. Неустойчивый режим грунтовых вод под влиянием орошения. В сб.: "Влияние орошения на режим грунтовых вод", АН СССР, 1959, с. 121-162.
6. Шестаков В.М. Теоретические основы оценки подпора, водопонижения и дренажа. М., МГУ, 1965, с. 233.
7. Абуталиев Ф.Б. Применение ЭВМ к прогнозу уровня грунтовых вод. Труды координационного совещания по гидротехнике. Вып.35, Л., 1967, с.197-207.

8. Абуталиев Ф.Б. Методы математического моделирования гидро-геологических процессов. М., "Недра", 1972, с.64 .
9. Абуталиев Ф.Б. и др. Анализ динамики подземных вод аналитическими и численными методами. Ташкент, "Фан", 1975, с.151 .
10. Алексеева Л.И., Михайлова А.В. Оценка расчетами на ЭВМ влияния периодичности инфильтрационного питания на подъем уровня грунтовых вод. В сб.: "Физическое и математическое моделирование в мелиорации" М., " Колос", 1973, с.38-52 ,
11. Предварительная программа исследований на гидравлическом интеграторе проф. Лукьянова В.С. на 1960-1964 гг. Составитель Каплинский М.И. Фрунзе, 1960 . Фонды НИИКАмелиорации. Рабочая программа по разделу " Лабораторные исследования по фильтрации и движению грунтовых вод на гидравлическом интеграторе и приборе ЭИДА". Фрунзе, 1963. Фонды НИИКАмелиорации.
Общая программа по теме " Влияние водохозяйственных мероприятий на режим уровней грунтовых вод (на примере Чуйской впадины) ". Фрунзе, 1967 .
12. Фильтрационные расчеты на гидравлическом интеграторе проф. В.С.Лукьянова (Некоторые вопросы методики моделирования и задачи по водохозяйственным объектам в Киргизии). (Сводный заключительный отчет), тема 0.52.002 "г". Научный руководитель Каплинский М.И. Фрунзе, 1970 , НИИКАмелиорации.
13. Каплинский М.И. О влиянии питания на дебит дрена (фильтрационный расход) и зависимость от напора. В сб.: "Вопросы водного хозяйства", вып. I, Фрунзе, "Кыргызстан", 1969, с.3-38 .
14. Каплинский М.И. Комплексное использование поверхностных и подземных вод межгорных впадин Киргизии. Труды МКИД, М., 1975 .
15. Пути комплексного использования поверхностных и подземных вод. (Заключительный отчет за 1954-1957 гг.) Научный руководитель темы Н.Н.Мешевцев, НИИКАмелиорации, Фрунзе, 1957 .
16. Каплинский М.И. Автоматизированные системы управления технологическими процессами ВХК бассейна р.Чу. (Краткий отчет) ,Фрунзе, НИИКАмелиорации, 1975 .

17. Разработать и внедрить в практику проектирования и эксплуатации зональные мероприятия по регулированию водно-солевого режима орошаемых земель, исключая засоление почв и повышающие их плодородие. (Заключительный отчет, тема 0.52.0276 за 1971-1975 гг.). Научный руководитель Каплинский М.И. Фрунзе, "НИИКАмелиорации", 1975 .
18. Тарасова А.А. К составлению гидромоделей для решения прогнозных задач в условиях межгорных впадин. В сб.: "Вопросы водного хозяйства, вып. 38, Фрунзе, ВПО "Совхозагрономтех", 1977 .

К РАСЧЕТУ ПРИТОКА (ОТТОКА) ГРУНТОВЫХ ВОД ПО ЗАМЕРУ УГВ В ОДНОЙ ТОЧКЕ

М.У.Мурзакизов, А.А.Тарасова

При анализе изменения гидрогеолого-мелиоративной обстановки за счет притока с орошаемых и промываемых земель возникает необходимость в расчете расхода подземных вод. Обычно расчеты выполняются по формуле Дарси при наличии замеров уровня грунтовых вод (УГВ) в двух точках. Естественно, применение указанной формулы ограничивается , с одной стороны, необходимостью бурения двух скважин, с другой, наличием погрешностей при определении разности уровней. Как видно (табл. I), даже при отметках УГВ, полученных с помощью ЭНМ, отклонения в расходах от замеренных на гидроинтеграторе достигают 10%. Поэтому определенный практический интерес представляет расчет расхода грунтовых вод по замеру УГВ в одной точке путем решения обратной задачи для одномерного уравнения Буассинеса. Пусть требуется найти функцию $Q(t)$, если

$$\mu \frac{\partial H}{\partial t} - \frac{\partial}{\partial x} \left[K(H-b) \frac{\partial H}{\partial x} \right] = W(x,t), \quad (I)$$

$$0 < x < L, \quad 0 < t \leq T.$$

$$H(x,0) = H_0(x) \quad (2)$$

$$\frac{\partial H}{\partial x} = 0, x=0 \quad (3)$$

$$K(H-b) \frac{\partial H}{\partial x} = q(t), x=L \quad (4)$$

и известно $\tilde{H}(t) = H(x, t)$, $0 \leq x \leq L$, где $H(x, t)$,

$K(x)$, $b(x)$, $\mu(x)$ — соответственно уровень грунтовых вод, коэффициент фильтрации, отметка водоупора и сво-

Таблица I

Отклонения в рассчитанных q и замеренных q_u расходах

Месяц	W, мм/сут	q_u , м ³ /сут	q при Δx^*		W, мм/сут	q_u , м ³ /сут	Δq при $\Delta x^* = 250$ м
			250 м	1000 м			
Январь	0,832	20,52	0,15	2,19	0,764	19,35	-5,9
Февраль	1,26	22,71	0,41	11,62	-	-	-
Март	1,11	20,13	-0,25	1,44	-	-	-
Апрель	2,44	21,20	-4,81	2,03	-	-	-
Май	1,71	20,52	-1,36	-0,097	-	-	-
Июнь	2,88	22,00	-4,01	2,05	-	-	-
Июль	3,52	23,23	-1,55	2,76	1,46	18,19	-5,2
Август	3,20	23,42	-4,70	1,24	-	-	-
Сентябрь	1,93	23,60	2,67	4,62	-	-	-
Октябрь	1,19	22,96	2,56	5,79	-	-	-
Ноябрь	0,98	21,20	-1,04	0,20	-	-	-
Декабрь	0,82	20,20	0,45	2,11	0,764	18,00	-3,5

* Δx — расстояние от границы $x=L$ до точки с замером УГВ

$$\Delta q = q_u - q$$

бодная водоотдача в точке x ; $W(x, t)$ — вертикальный водообмен.

Поставленная задача решается методом регуляризации [1]. Здесь используется алгоритм для решения нелинейных задач, разработанный в работах [2, 3].

Каждому значению функции $q(t)$ соответствует определенный уровень грунтовых вод $\tilde{H}(t)$ в точке $x = x_0$, т.е. определен оператор $F(q) = \tilde{H}(t)$, который может быть задан алгоритмически сеточным аналогом задачи (1)–(4) [4]

$$\mu_i \frac{H_i^j - H_i^{j-1}}{\tau} - \frac{b}{2h^2} \left[(P_{i-1}^j + P_i^j) H_{i-1}^j - (P_{i-1}^j + 2P_i^j + P_{i+1}^j) H_i^j + (P_i^j + P_{i+1}^j) H_{i+1}^j \right] - \\ - \frac{1-b}{2h^2} \left[(P_{i-1}^{j-1} + P_i^{j-1}) H_{i-1}^{j-1} - (P_{i-1}^{j-1} + 2P_i^{j-1} + P_{i+1}^{j-1}) H_i^{j-1} + (P_i^{j-1} + P_{i+1}^{j-1}) H_{i+1}^{j-1} \right] = \\ = 6W_i^j + (1-b)W_i^{j-1}, \quad i = 1, 2, \dots, n-1. \quad (5)$$

$$H_i^0 = H_0(x_i); \quad i = 0, 1, \dots, n. \quad (6)$$

$$\left[\frac{b}{2h} (P_0^j + P_1^j) + \frac{h\mu_0}{2\tau} \right] \cdot H_0^j = \frac{b}{2h} (P_0^j + P_1^j) \cdot H_1^j + \frac{1-b}{2h} (P_0^{j-1} + P_1^{j-1}) \cdot \\ \cdot (H_1^{j-1} - H_0^{j-1}) + \frac{h}{2} \left[\frac{\mu_0}{\tau} H_0^{j-1} + 6W_0^j + (1-b)W_0^{j-1} \right]. \quad (7)$$

$$\left[\frac{b}{2h} (P_{n-1}^j + P_n^j) + \frac{h\mu_n}{2\tau} \right] H_n^j = \frac{b}{2h} (P_{n-1}^j + P_n^j) \cdot H_{n-1}^j + \frac{h}{2} \left[\frac{\mu_n}{\tau} H_n^{j-1} + \right. \\ \left. + 6W_n^j + (1-b)W_n^{j-1} \right] - \frac{1-b}{2h} (P_{n-1}^{j-1} + P_n^{j-1}) (H_n^{j-1} - H_{n-1}^{j-1}) - q^j. \quad (8)$$

$$j = 1, 2, \dots, m; \quad m = \frac{T}{\tau}, \quad n = \frac{L}{h}, \quad \text{где } P = K(H-b), \quad 0 < b \leq 1$$

Разностная схема (5) – (8) аппроксимирует задачу (1) – (4) с точностью $O(h^2 + \tau)$ при $b \neq 0,5$ и $O(h^2 + \tau^2)$ – при $b = 0,5$ [5]. Реализация схемы производится с помощью метода прогонки с применением метода квазилинеаризации [6] к нелинейным членам.

Наблюдаемый уровень воды $\tilde{H}$ обычно задается с некоторой погрешностью $\|H_T - \tilde{H}\| \leq \delta$, где H_T - точное значение уровня. Метод регуляризации позволяет из всех q , удовлетворяющих

$$\|F(q) - \tilde{H}\| \leq \delta,$$

выбрать в качестве решения гладкое.

Такое решение доставляет минимум следующему сглаживающему функционалу

$$M_\alpha(q) = \|F(q) - \tilde{H}\|^2 + \alpha \|q\|^2, \quad (9)$$

где $\alpha > 0$ - так называемый параметр регуляризации. При этом погрешность, вносимая за счет сглаживающего члена $\alpha \|q\|^2$, должна быть порядка погрешности измерений.

Поскольку оператор $F(q)$ нелинейный, то минимизация функционала (9) осуществляется методом последовательных приближений.

Для проведения расчетов составлена АЛГОЛ-программа для ЭВМ-222. Проверка алгоритма и программы производилась путем решения конкретных задач применительно к гидрогеологическим условиям Чалдоварского створа при расчетной схеме: среда однородная с $K = 21,6$ м/сут, $\mu = 0,2$, $L = 12$ км, $B = 0$, $W = 1,08$ мм/сут, расчетный период $T = 25$ лет при $\tau = 365$ сут. За начальные условия приняты УГВ, соответствующие граничным условиям $q_{пр} = 0$, $q_{от} = 22,2$ м/сут, $W = 1,85$ мм/сут.

В качестве исходной информации принимались уровни в одной точке в расчетах, выполненных ранее на ЭВМ при $H_L = H_L(t)$ и на гидроинтеграторе при $H_L = \text{const} = 359$ м.

Расходы и УГВ, определенные по предлагаемому методу, сравнивались с $q_{от}$ и H_L , полученными в соответствующих расчетах (табл.2).

Для анализа влияния расстояния точки задания $\tilde{H}(t)$ от границы расчеты выполнялись при $\tilde{H}(t)$ в $x=0, x=0,5L$ и $x=L$. При этом установлено (см.табл.2), что для данной расчетной схемы, равномерном распределении питания отклонения в сравниваемых расходах не превышают 5% даже при задании $\tilde{H}(t)$ в начале профиля. Точность определения $q_{от}$ повышается с приближением к

Таблица 2

Отклонения в расчетных и фактических расходах Δq и уровнях ΔH

Год	При $H_L = H_L(t)$						При $H_L = \text{const} = 359$ м					
	$x=0$		$x=0,5L$		$x=L$		$x=0$		$x=0,5L$		$x=L$	
	Δq	ΔH_L	Δq	ΔH_L	Δq	ΔH_L	Δq	ΔH_L	Δq	ΔH_L	Δq	ΔH_L
1	-0,18	0,08	0,01	0	-0,01	-0,03	0	0,22	0,06	0,35	0	0,39
5	-0,66	0,25	-0,03	0	0,01	0	-0,48	0,13	-0,04	0,01	0	-0,08
10	0,22	-0,08	-0,06	0	0,01	-0,01	-0,95	0,27	-0,23	0	0	-0,24
15	0,18	-0,10	0,07	-0,01	-0,04	0	0,10	-0,14	-0,23	0	0,01	-0,19
20	-0,44	0,14	-0,05	0	0,03	0,01	-0,12	0,01	0,05	0,01	0,05	0,01
25	-0,10	0,06	-0,11	0	0,05	0,01	-0,18	0	-0,03	0	-0,03	0,01

Примечание. $\Delta q = q_{от} - q$, $\Delta H_0 = H_0 - H_L$, $\Delta H_L = H_L - H_L$, $\Delta H_L = H_L - H_L$, $\Delta H_L = H_L - H_L$.

$x=L$: при $H(t) = H(x_2, t)$ отклонения составляют около 1%,
при $\dot{H}(t) = \dot{H}(x_1, t) - \sim 0,1\%$. Аналогичная картина наблю-
дается и в уровнях.

ВЫВОДЫ

1. Предложенный алгоритм и программа позволяют вести расчет оттока грунтовых вод при задании отметки воды в одной скважине в условиях неоднородной по длине профиля фильтрационной среды, неравномерного распределения вертикального водообмена, при произвольном положении водоупора.
2. Для повышения точности расчета (при учете характера распределения питания, неоднородности среды и др. факторов), УТВ необходимо задавать ближе к расчетной границе.
3. Вопрос об использовании данной программы к прогнозу оттока может быть решен после разработки методики задания $\dot{H}(t)$ на перспективу. Это можно сделать путем последовательных приближений, как в [7] .

ЛИТЕРАТУРА

1. Тихонов А.И., Арсенин В.Я. Методы решения некорректных задач, М., "Наука", 1974 .
2. Тихонов А.Н., Гласко В.Б. Применение метода регуляризации в нелинейных задачах. Журнал вычислительной математики и математической физики, 1965, т.5, №3 стр.463-473 .
3. Гласко В.Б., Захаров М.В., Колп А.Я. О применении метода регуляризации к решению одной обратной задачи нелинейной теории теплопроводности. Журнал вычислительной математики и математической физики, 1975, 15, № 6, стр. 1607-1611.
4. Мурзакматов М.У. Применение вариационно-разностного метода к решению задач подземных вод. Дисс. на соиск. учен. степ. канд. физ.-мат. наук. Фрунзе, 1975 .
5. Самарский А.А. Введение в теорию разностных схем, М., "Наука", 1971 .
6. Беллман Р., Калаба Р.. Квазилинеаризация и нелинейные краевые задачи. М., " Мир", 1968 .

7. Тарасова А.А., Хан Т.Н. Приближенный метод расчета неустановившегося притока подземных вод к зоне выклинивания. В сб.: "Вопросы водного хозяйства", вып.38 , Фрунзе, ВНИО "Совхозавтоматика", 1977 .

МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЫКЛИНИВАНИЯ В ДРЕНАЖ И ЛОГА НА ЭВМ (НА ПРИМЕРЕ ЦЕНТРАЛЬНОЙ ЧАСТИ ЧУЙСКОЙ ВПАДИНЫ)

Р.Г. Литвак

Наиболее эффективным методом решения задач неустановившейся фильтрации является математическое моделирование на ЭВМ. В настоящее время при моделировании на больших территориях выклинивание в дренаж и лога либо не выделяется вообще, либо задается в виде некоторой постоянной величины (модуля дренажного стока) .

В работе предлагается методика учета выклинивания в дренаж и лога при решении сложных задач теории фильтрации на ЭВМ. Величина выклинивания предполагается зависимой от пьезометрического напора, размеров дрен, фильтрационных свойств покровного слоя и его толщины.

Неустановившийся фильтрационный поток в первом напорном горизонте может быть описан уравнением

$$\mu \frac{H_i^{n+1} - H_i^n}{\tau} = T_i \Lambda_i \left[G H_i^{n+1} + (1-G) H_i^n \right] - W_i(H_i^n) - W_i(H_i^n) + W(H_i^n), \quad (1)$$

где n -- номер временного слоя ;
 i -- номер блока по пространству ;
 H_i^n -- напор на n -м временном слое в точке i ;
 μ -- упругая водоотдача ;
 τ -- шаг во времени ;
 T_i -- водопроницаемость слоя в точке i ;
 Λ_i -- разностный аналог оператора Лапласа ;

В каждом районе выклинивание в естественные и искусственные дрена соответственно задается в виде

$$W_i(H_i^2) = KA_i(\xi_i - \bar{z}) \quad (2)$$

$$W_i(H_i^n) = KA_i(\xi_i - Z) \quad (3)$$

где $\bar{A}_1$ и $\bar{A}_2$ — постоянные величины внутри каждого района (более подробно о них будет сказано ниже) ;

ξ_1, ξ_2 - глубины естественной и искусственной дрен;

Σ - глубина пьезометрической поверхности (от поверхности земли);

K – осредненный коэффициент фильтрации покровного слоя всего рассматриваемого района.

Методика нахождения K, A_1 и A_2 иллюстрируется следующим примером.

Для наглядности выделяется полоса, простирающаяся с юга на север, от БЧК до Атбашинского канала, охватывающая водосбор коллектора К-12 (Сокулукский район). Расходы в коллекторе К-12 замеряются по гидропостам I и 6, расположенным соответственно у БЧК и Атбашинского канала (рис. I, табл. I). На рассматриваемой полосе выделяются районы, внутри которых толщина покровного слоя и величина Z - постоянны; всего выделено девять районов (табл. 2) .

Величину $\bar{A}$, в каждом районе целесообразно вычислять, согласно работе* по следующей формуле :

$$A_1 = \frac{2\pi\ell_1}{\ell_n \frac{8m_1}{\pi d}} \quad (4)$$

где ℓ_i — длина лога в i -ом районе ;

Таблица I

Расходы по гидростам (данные БУОС ММВХ КиргССР) л/с

Гидро- пост	1974 г.					1975 г.				
	месяц					месяц				
	I	IX	X	XI	ХП	I	IX	X	XI	ХП
I	252	130	156	160	106	70	125	155	147	141
8	661	820	1288	1203	838	1191	340	386	625	662

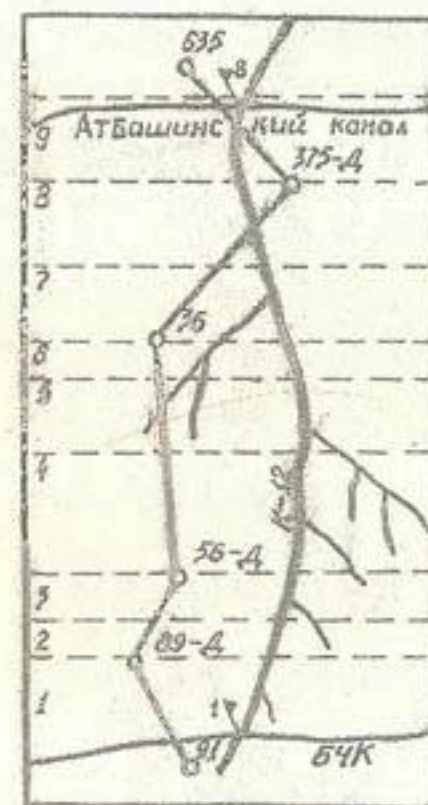


Рис.1. Схема участка: - - - границы и номера районов ;
 —○— 56-Д-створ и номер скважин ;
 П — гидропост и его номер

Таблица 2

Толщина покровного слоя и параметра Z в выделенных районах, м

Параметр	Р а й о н								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
m_8	19	20	20	51	51	51	34	34	26
Z	4-5	3	2	2	3	4	4	>10	>10

 m_{8i} - толщина покровного слоя в i -ом районе ; d_i - приведенный диаметр коллектора К-12 ;

$$d_i = \eta (\delta_i + 0,5\delta_2), \quad (5)$$

 δ_1, δ_2 - указаны на рис.2 ; η - находится по таблице В.М.Шестакова (1965)*

A_i вычисляется по той же формуле, что и A_1 , только вместо приведенного диаметра коллектора надо брать приведенный диаметр искусственных дрен.

Формула (4) применима при условии $\delta_2 < 0,5m_8$, которое хорошо выполняется в рассматриваемом случае (по данным БУОС, ширина по дну коллектора К-12 составляет 2м, минимальная толщина покровного слоя - 19 м).

Средняя глубина дренажа в Сокулукском районе - 2,5 м ; глубина коллектора К-12 составляет 10 м.

Для определения K использованы наблюдения за дренажным стоком по гидропостам I и 8 (рис. 1) в период отсутствия поверхностных сбросов (поздняя осень, зима).

 K находится из уравнения

$$\sum_{i=1}^n KA_n(\delta_i - Z_i) + \sum_{i=1}^n KA_n(\delta_2 - Z_i) = Q_{\text{конт}} - Q_{\text{отст}}, \quad (6)$$

где Z_i - глубина пьезометрической поверхности (от поверхности земли) в i -ом районе ;

* Шестаков В.М. Теоретические основы оценки подпора, подтопления и дренажа. МГУ, 1965, стр. 106.

A_n, A_{n1} - значения, которые принимают параметры A_1 и A_2 в i -ом районе ;

$Q_{\text{конт}}, Q_{\text{отст}}$ - расходы по гидропостам 8 и I .

Ввиду отсутствия наблюдений за пьезометрическими уровнями первого водоносного горизонта, возникли трудности при задании величины Z_i . В районе I (зона выклинивания) имеются режимные скважины, но они не вскрывают покровного слоя. Поэтому расчеты выполнены для предельно возможных значений пьезометрического уровня в районе I .

В зоне транзита (районы 2-9) напоры в первом водоносном горизонте приняты равными уровням грунтовых вод (табл.2).

Для определения K отлажена АЛЮЛ-программа для ЭММ-222, позволяющая производить расчеты для любого количества районов при наличии в каждом районе не более 4-х различных по параметрам δ_i и ξ типов горизонтального дренажа. Для расчетов по указанной АЛЮЛ-программе нужны следующие данные :

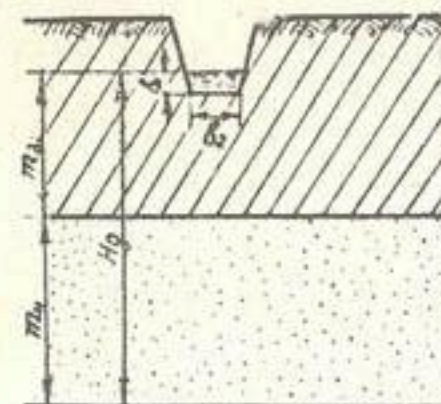
N - количество подобластов рассматриваемого участка ;

$\xi [1:N, 1:4]$ - двумерный массив, состоящий из длин логов и дрен различных видов в каждом районе (всего $4N$ чисел) ;

$NI [1:N]$ - количество логов и дрен в каждом районе ;

$m_8 [1:N]$ - мощности покровного слоя в районах ;

$Z [1:N]$ - глубина до пьезометрической поверхности в каждом районе ;

Рис.2. Схема к расчету величин A_1 и A_2

- $\{ [I:4] \}$ - глубина дрен (логов) каждой группы ;
 $d [I:4]$ - приведенный диаметр дрен (логов) каждой группы ;
 $Q_{\text{вг}}$ - приток в главную дрену (лог) рассматриваемого участка КДС ;
 $Q_{\text{ос}}$ - отток из главной дрены (лога) .

Время трансляции и счета по указанной программе (для случая девяти районов и двух групп дрен) составляет 10-13 мин.

Выполненные расчеты показали, что параметр K находится в пределах $(0,22 \div 0,27)$ м/сут. Полученные значения K вполне согласуются с результатами предыдущих работ.

Применение предложенной методики учета выклинивания в дренах и лога, в зависимости от пьезометрического напора, позволит менее грубо схематизировать моделируемую территорию, в частности, территорию Чуйской впадины.

К ВОПРОСУ ПРИВЕДЕНИИ МНОГОСЛОЙНОЙ ВОДОНОСНОЙ ТОЛЩИ К ДВУСЛОЙНОМУ ВОДОНОСНОМУ ПЛАСТУ

Р.Г. Литвак

Рассмотрим многослойный пласт (рис.), состоящий из хорошо проницаемых слоев и слабопроницаемых прослоек; уровень грунтовых вод находится в покровном слое. Для мелиоративных целей важно знать напор в самом верхнем хорошо проницаемом слое, поэтому в некоторых случаях для мелиоративных расчетов полезна замена всей слоистой толщи под покровным слоем единым водонесным горизонтом, напор в котором был бы равен напору в верхнем хорошо проницаемом слое. Ниже будут даны обоснованные рекомендации по выбору фильтрационных параметров приведенного водонесного горизонта.

Фильтрационный поток в многослойной водонесной толще при неучете упругих запасов слабопроницаемых прослоек приближенно описывается системой уравнений:

$$\left. \begin{aligned}
 \phi_i \frac{\partial H_i}{\partial t} &= K_i m_i \Delta H_i + \frac{\lambda_i}{\mu_i} (H_i - H_{i-1}) + W(x, y, t, H_i) \\
 \phi_i \frac{\partial H_i}{\partial t} &= K_i m_i \Delta H_i + \frac{\lambda_i}{\mu_i} (H_i - H_{i-1}) + \frac{\lambda_{i+1}}{\mu_{i+1}} (H_{i+1} - H_i) \\
 &\vdots \\
 \phi_n \frac{\partial H_n}{\partial t} &= K_n m_n \Delta H_n + \frac{\lambda_{n-1}}{\mu_{n-1}} (H_{n-1} - H_n)
 \end{aligned} \right\} (1)$$

где Δ - оператор Лапласа ;

ϕ_i - упругая емкость i -го водонесного горизонта ;

K_i, λ_i - коэффициенты фильтрации i -го водонесного горизонта и i -ой слабопроницаемой прослойки ;

m_i, μ_i - мощности i -го водонесного горизонта и i -ой прослойки ;

$W(x, y, H, t)$ - влагообмен между первым хорошо проницаемым слоем и покровным слоем.

Пусть фильтрация воды в приведенном водонесном горизонте описывается уравнением :

$$\frac{\partial}{\partial t} \mu^* H = \Delta (T^* H) + W(x, y, H, t), \quad (2)$$

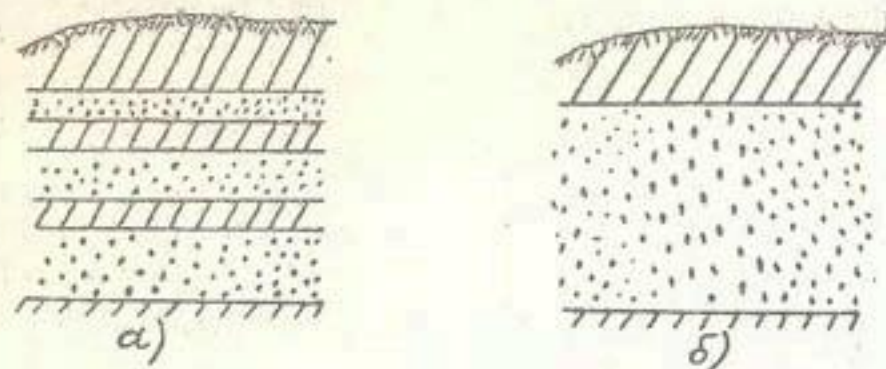


Рис. Вертикальные разрезы водонесных горизонтов:
 а) многослойный водонесный горизонт;
 б) двухслойный водонесный горизонт

где μ^* и T^* - некоторые параметры, в общем случае зависящие от параметров и напоров первоначальной водоносной толщи.

Если $H_1^*, H_2^*, \dots, H_n^*$ - решение системы (1), то μ^* и T^* надо подобрать такими образом, чтобы H_i^* было решением уравнения (2).

Докажем следующее утверждение.

$$\mu^* = \frac{\sum_{i=1}^n \delta_i H_i^*}{H_1^*}, \quad T^* = \frac{\sum_{i=1}^n K_i m_i H_i^*}{H_1^*}, \quad (3)$$

то H_i^* будет решением уравнения (2).

Доказательство.

Подставим в систему (1) её решение и складывая полученные тождества, получим

$$\frac{\partial}{\partial t} \left(\sum_{i=1}^n \delta_i H_i^* \right) = \Delta \left(\sum_{i=1}^n K_i m_i H_i^* \right) + W, \quad (4)$$

откуда следует

$$\frac{\partial}{\partial t} \left(\frac{\sum_{i=1}^n \delta_i H_i^*}{H_1^*} \right) H_1^* = \Delta \left[\left(\frac{\sum_{i=1}^n K_i m_i H_i^*}{H_1^*} \right) H_1^* \right] + W, \quad (5)$$

$$\frac{\partial}{\partial t} \mu^* H_1^* = \Delta T^* H_1^* + W. \quad (6)$$

Подстановка в уравнение (2) величины H_i^* обратила его в тождество.

Утверждение доказано.

Использование формул (3) затруднено из-за незнания решения системы (1). Эту трудность можно преодолеть, изучив зависимость параметров μ^* и T^* от решения системы (1) на тестовых задачах.

Вышеописанное приведение многослойной водоносной толщи под покровным слоем к одному водоносному горизонту возможно только в случае линейной зависимости параметров μ^* и T^* от величин $H_1^*, \dots, H_n^*$.

При численном решении плановых задач фильтрации подземных вод наибольшей трудностью представляет нахождение уровня воды на стенке скважины по её донуту.

В работах [1,2] методом сеток экспериментально установлено, что при аппроксимации скважины узловой точкой приближенное решение в этой точке соответствует уровню воды не на стенке действительной скважины, а на стенке некоторой фиктивной скважины с радиусом, равным

$$R_\phi \approx 0,2h, \quad (1)$$

где h - шаг сетки. Это теоретически обосновано в [3,4].

Здесь приводятся результаты экспериментов по проверке зависимости (1) вариационно-разностным методом [5].

Пусть рассматривается движение грунтовых вод в однородной среде, описываемое уравнением Буссинеска [6]:

$$\mu \frac{\partial H}{\partial t} - \frac{\partial}{\partial x} \left[K(H-b) \frac{\partial H}{\partial x} \right] - \frac{\partial}{\partial y} \left[K(H-b) \frac{\partial H}{\partial y} \right] = S(x,y,t), \quad (2)$$

$$(x,y) \in \Pi, \quad t > 0,$$

где $H(x,y,t)$ - утв;

$b(x,y)$ - отметка водоупора;

$K(x,y)$ - коэффициент фильтрации;

$\mu(x,y)$ - коэффициент свободной водоотдачи;

$S(x,y,t)$ - функция вертикального водообмена;

Π - область фильтрации.

Решение задачи (2) производится вариационно-разностным методом [5], при этом условия на скважинах аппроксимируются криволинейными интегралами, взятыми по контурам скважин. При этом значения искомого функции в узле со скважиной за уровень воды на контуре фиктивной скважины и считая его граничным условием первого рода, решается задача определения уровня воды на

стенке действительной скважины и в её окрестности. Задача сводится к интегрированию одномерного уравнения

$$\mu \frac{\partial H}{\partial t} - \frac{1}{2} \frac{\partial}{\partial z} \left[2K(H-b) \frac{\partial H}{\partial z} \right] = S(z,t), \quad z_c \leq z \leq R_\phi \quad (3)$$

с краевыми условиями

$$H(R_\phi, t) = \tilde{H}, \quad 2\pi z K(H-b) \frac{\partial H}{\partial z} \Big|_{z=z_c} = -Q, \quad (4)$$

где $\tilde{H}$ - решение задачи (2) в рассматриваемом узле;

z_c - радиус скважины; Q - её дебит.

Для иллюстрации приведенной методики решена задача о неустановившемся притоке грунтовых вод к центральной совершенной скважине, работающей с постоянным дебитом Q в однородной пористой среде, круговой в плане (радиус R_K). В области $z_c \leq x^2 + y^2 \leq R_K^2$ интегрируется уравнение (2) с постоянным граничным условием $H(x, y, t) = 250$ м, $x^2 + y^2 = R_K^2$, при следующих параметрах: $H(x, y, 0) = 250$ м; $K = 5$ м/сут; $\mu = 0,05$; $R_K = 2500$ м; $Q = 4000$ м/сут; $S = 0$ м/сут; $z_c = 0,1$ м; $\Delta t = 3$ сут.

Прежде всего следует выяснить достоверность результатов, получаемых при решении задачи (3)-(4) с тем, чтобы можно было сравнивать с ними результаты двумерной задачи.

В таблице I показаны понижения УГВ на разных расстояниях от скважины через определенные промежутки времени. В числителях дробей записаны понижения, вычисленные по формуле Боултона [6]:

$$S = \frac{Q}{2\pi K h_l} V(\bar{z}, \bar{t}), \quad (5)$$

где S - понижение УГВ;

$h_l = 250$ м (глубина воды до начала откачки);

$\bar{z} = z/h_l$;

$\bar{t} = Kt/(\mu h_l)$;

- функция $V(\bar{z}, \bar{t})$ табулирована Боултоном;

- в знаменателях - понижения, полученные путем решения задачи (3)-(4) с вышеприведенными параметрами.

Таблица I

Понижения УГВ в прискважинной зоне

Время, сут	Расстояние от скважины, м					
	50	100	150	200	250	375
2,5	0,38	0,13	0,10	0,07	0,04	0,02
	0,25	0,10	0,04	0,02	0,01	0,00
12,5	0,94	0,60	0,42	0,30	0,23	0,11
	0,89	0,56	0,39	0,27	0,19	0,08
62,5	1,42	1,07	0,86	0,72	0,61	0,42
	1,41	1,06	0,86	0,72	0,61	0,42

Из таблицы I видно, что численное решение задачи (3)-(4) очень мало отличается от аналитического решения, а при $t > 60$ сут совпадает с ним.

При решении задачи (2) использована методика, изложенная в [2]. Если разностные аналоги дифференциальных операторов второго порядка обозначить через $\Lambda_x^{(6)}$ и $\Lambda_y^{(6)}$, то последовательность его решения представляется в виде

$$\Lambda_x^{(6)} \rightarrow \Lambda_y^{(6)}. \quad (6)$$

где $6 (0 < \theta < 1)$ - вес схемы.

Как показали эксперименты, при решении задач фильтрации под влиянием откачек из скважин большой точностью обладают симметризованные схемы вида

$$0,5\Lambda_x^{(6)} \rightarrow 0,5\Lambda_y^{(6)} \rightarrow 0,5\Lambda_y^{(6)} \rightarrow 0,5\Lambda_x^{(6)}. \quad (7)$$

Дебиты скважин при этом следует брать равными $Q_x = 0$; $Q_y = 0,5Q$.

В таблице 2 показаны понижения УГВ на стенке скважины, полученные тремя разными способами: уравнением (2) по различным схемам (строки 1-3), уравнением (3) (строка 4) и по формуле [6] в виде

$$S = \frac{q}{2\pi K h_{cp}} \ln \frac{R}{r_c} \quad (8)$$

где $R = 1,5 \sqrt{at}$ — радиус влияния скважины, $a = Kh_{cp}/\mu$;
 h_{cp} — некоторая средняя мощность водоносного пласта в течение всего периода откачки.

В работе [6] рекомендуется брать $h_{cp} \approx (0,7-0,8)h_i$.
 В таблице 2 приведены расчеты для случаев $h_{cp} = 0,8$, $h_i = 200$ м и $h_{cp} = h_i = 250$ м.

Таблица 2
Понижения УГВ на стенке скважины, м

Варианты расчета			Время, сут							
номер урав- нения	параметры		3	30	60	90	120	150	180	
	b	h_{cp}								
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
(6)	1,0	-	2,81	7,84	8,92	9,63	10,04	10,42	10,73	
(2)	0,5	-	1,74	3,40	3,84	4,10	4,28	4,41	4,50	
(7)	1,0	-	2,01	4,09	4,59	4,88	5,07	5,21	5,25	
(3)	-	-	2,64	4,47	4,59	4,71	4,79	4,85	4,90	
	-	250	4,24	4,82	5,00	5,10	5,18	5,23	5,28	
(8)	-	200	5,23	5,96	6,18	6,31	6,40	6,47	6,53	

Результаты решения уравнения (2) по схеме (7) при $b = 1,0$ и формулы (8) при $h_{cp} = h_i$ для $t \geq 30$ сут отличаются не более, чем на 8% от результатов уравнения (3), принимаемых теперь за точные решения. Но уравнение (3) и формула (8) могут быть использованы для определения уровня воды на скважине лишь в осесимметричных течениях. Поэтому при исследовании плановых потоков подземных вод для этой цели применяются двумерные уравнения в сочетании с зависимостью (1).

ВЫВОДЫ

В двумерных задачах фильтрации уровень воды на стенке скважины можно находить путем решения уравнения (2) вариационно-

-разностным методом по схеме (7) с весом $b = 1,0$.

Предлагаемая методика может быть применена и в случае слоистых пластов.

Результаты экспериментов показывают, что в случае притока воды к скважинам в пластах, имеющих большие мощность и площадь распространения, значение параметра h_{cp} в формуле (8) целесообразно брать равным начальной глубине h_i .

ЛИТЕРАТУРА

1. Вахитов Г.Г. Эффективные способы решения задач разработки нефтеводоносных пластов методом конечных разностей. М., Гостоптехиздат, 1963.
2. Абултайев Ф.Б. и др. Методы математического моделирования гидрогеологических процессов. М., "Недра", 1972.
3. Андреев В.Б., Криквина С.А. О функции источника сеточного оператора Лапласа. Журнал вычислительной математики и математической физики, 1972, 12, № 2, с. 364-373.
4. Андреев В.Б., Криквина С.А. Аппроксимация задачи о совершенной скважине. В сб.: "Исследование по теории разностных схем для эллиптических и параболических уравнений", М., МГУ, 1973.
5. Джамбеков Ч., Мурзакуматов М.У. Вариационно-разностный метод решения задач подземной фильтрации. М., ВНИИГ, 1974, № 182-74. Деп.
6. Бочевер Ф.М. и др. Основы гидрогеологических расчетов. М., "Недра", 1969.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ФИЛЬТРАЦИИ ПОЧВОГРУНТОВ БЕЗ ПОСТРОЕНИЯ ЛИНИЙ РАВНЫХ НАПОРОВ

Л.К.Госсу

В работе [1] показано, что коэффициент фильтрации почвогрунтов может быть определен без построения полной гидродинамической сетки, ограничиваясь лишь построением линий равных на-

торов. Это позволило, основываясь на предложенной нами методике построения линий равных напоров, определять коэффициент фильтрации почвогрунтов с достаточной для практики точностью по данным притока воды к дрене и показаниям пьезометров и скважин, устанавливаемых вблизи дрен.

Базарукс на проведенных исследованиях, ниже дается метод определения коэффициента фильтрации почвогрунтов без построения линий равных напоров. Основной предпосылкой при этом служит допущение, что линии равного напора, ближайшие к дрене, имеют вид дуги концентрических окружностей, axes, по крайней мере, приближаются к ним.

За математическую модель принимается выражение (1)

$$K = \frac{q \Omega}{\varphi \Delta h} \quad (1)$$

где K - коэффициент фильтрации почвогрунтов, м/сут;

q - приток воды к дрене, м³/сут на 1 м;

Δh - падение напора между смежными эквипотенциалами, м;

Ω - площадь, заключенная между смежными эквипотенциалами, определяемая с помощью планиметра, м²;

φ - длина средней линии, измеряемая курвиметром, м.

При этом рекомендовалось линии равного напора строить на основе зависимости

$$R_{\Delta h} = \left(\frac{R_0 + R}{R_0 - R} \right)^{\frac{\Delta h}{h_0}} R_0 \quad (2)$$

где $R_{\Delta h}$ - расстояние от оси дрены до линии равного напора;

Δh - падение напора на расстоянии $R_{\Delta h}$;

R_0 - радиус дрены;

для открытых дрен $R_0 = \frac{0.5b + h_0}{2}$, (3)

b - ширина дрены по дну;

h_0 - наполнение воды в дрене;

для закрытых дрен $R_0 = R_{\text{тр}} + t$ (4)

$R_{\text{тр}}$ - радиус дренажной трубы;

t - толщина дренажной обсыпки;

$\frac{R_0 + R}{R_0 - R}$ - параметр, определяемый по зависимости (2), но при подстановке фактических показаний пьезометров или скважин и расстояний их фильтров до оси дрены.

Взяв за основу принятое допущение, величины Ω и φ представим в виде

$$\Omega = \frac{\pi \varphi}{360} (R_1^2 - R_0^2) \quad (5)$$

$$\varphi = \frac{\pi \varphi}{360} (R_1 + R_0) \quad (6)$$

и, следовательно,

$$\frac{\Omega}{\varphi} = \frac{360}{\pi \varphi} \left(\frac{R_1 - R_0}{R_1 + R_0} \right) \quad (7)$$

где R_0 - радиус дрены;

R_1 - радиус до ближайшей линии равного напора (эквипотенциала);

φ - центральный угол;

$$\varphi = 180 + 2\beta \quad (8)$$

где $\tan \beta = \frac{\Delta h}{R_1 - R_0}$ (9)

Δh - падение напора между эквипотенциалами, расположенными на расстоянии R_1 и R_0 .

Подставляя выражение (7) в формулу (1), будем иметь

$$K = \frac{q 360}{\pi \varphi \Delta h} \left(\frac{R_1 - R_0}{R_1 + R_0} \right) \quad (10)$$

Методика расчета сводится к следующему. Определяют:

- 1) радиус дрены R_0 по зависимости (3) или (4);
- 2) радиус R_1 по зависимости (2) при соответствующем падении напора Δh ;
- 3) угол β с учетом зависимости (9);
- 4) угол φ по зависимости (8);
- 5) коэффициент фильтрации почвогрунтов по зависимости (10), имея данные по притоку воды в дрене.

Пример. Воспользуемся примером, приведенным в работе [1] по определению коэффициента фильтрации почвогрунтов по линиям равного напора вблизи дрены Д-29-2-3 на 15 сентября 1964 г.

Дано: $q = 0.54$ м³/сут на 1 м; $K = 2.63$ м/сут (среднее значение по четырем поясам (табл.3 работа [1]); $R_0 = 0.3645$ м; $\Delta h = 0.025$ м; R_1 - взято из графика 4 табл.2 работы [1].
Расчеты сведены в таблицу.

Таблица

Расчет коэффициента фильтрации почвогрунтов
без построения линий равного напора

Номера хвостов, пъезо- метров	$R_0 = 0,3645 \text{ м}; \Delta h = 0,025 \text{ м}; Q = 0,54 \text{ м}^3/\text{сут на 1 м}$						
	R_1 , м	$R_1 + R_0$, м	$R_1 - R_0$, м	$tq\beta$	β°	φ°	K , м/сут
4' а	0,577	0,9316	0,2025	0,1234	7,08	194,16	2,77
б	0,577	0,9415	0,2125	0,1176	6,70	193,40	2,88
в	0,575	0,9395	0,2105	0,1188	6,80	193,60	2,86
г	0,565	0,9295	0,2005	0,1242	7,08	194,16	2,74
5' а	0,548	0,9125	0,1635	0,1362	7,80	195,60	2,55
б' а	0,590	0,9545	0,2255	0,1109	6,30	192,60	3,04
о	0,575	0,9395	0,2105	0,1188	6,80	193,60	2,86
з	0,576	0,9405	0,2115	0,1182	6,78	193,56	2,87
г	0,565	0,9295	0,2005	0,1242	7,08	194,16	2,74

Как видно из таблицы, значение K_ϕ составило по отдельным
пъезометрам и скважинам 2,55 – 3,04 м/сут, среднее арифметичес-
кое $\bar{K} = 2,81 \text{ м/сут}$, среднее квадратическое отклонение $\sigma_K = 0,135 \text{ м/сут}$

Приним за эталон значения коэффициента фильтрации почво-
грунтов, определенные с помощью построений линий равных напо-
ров, узнаем насколько вероятно значение K_ϕ , рассчитанное по
рассмотренной нами методике. Вероятность его определяется по
зависимости [2]:

$$P = \Phi^* \left(\frac{K'' - \bar{K}}{\sigma_K} \right) - \Phi^* \left(\frac{K' - \bar{K}}{\sigma_K} \right) \quad (II)$$

где K'' и K' – соответственно верхняя и нижняя границы эталон-
ного диапазона ($K' = 2,15 \text{ м/сут}$ и $K'' = 3,0 \text{ м/сут}$,
табл.4 работы [1]);

$\bar{K}$ – средняя арифметическая ($\bar{K} = 2,81 \text{ м/сут}$);

σ_K – среднее квадратическое значение ($\sigma_K = 0,135 \text{ м/сут}$).

Подставляя соответствующие значения, находим:

$$P = \Phi^*(1,41) - \Phi^*(-1,89) = 0,9207 - 0,0000 = 0,9207,$$

где Φ^* – интеграл вероятности (приложение к табл.1 [2]).

Следовательно, вероятность совпадения с эталонным образцом
достаточно высокая, и предлагаемый метод определения K_ϕ без
построения линий равных напоров можно рекомендовать к исполь-
зованию при мелиоративных исследованиях.

ВЫВОДЫ И ПРЕДЛОЖЕНИЯ

1. Предлагаемый метод определения K_ϕ может найти приме-
нение в качестве экспресс-метода при мелиоративных изысканиях,
когда требуется надежно, быстро и экономично определить дрена-
рующую способность почвогрунтов.

2. Для удешевления работ без ущерба их качеству достаточ-
но иметь лишь один пъезометр или скважину возле дрена, чтобы
определить коэффициент фильтрации почвогрунтов при известном
притоке воды в дрена.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гуссу Л.К. К вопросу определения коэффициента фильтрации
почвогрунтов по гидродинамическим сеткам. В сб.: "Материалы к
республиканской научной конференции по вопросам мелиорации и
водного хозяйства", часть 1, Фрунзе, ИТО СХ КиргССР, 1968,
с.127-136.

2. Денциель В.С. Теория вероятностей. М., "Наука", 1969, с.576.

РАСЧЕТ ОСНОВНЫХ ПАРАМЕТРОВ И ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ ПРЕВЕНТИВНОГО ВЕРТИКАЛЬНОГО ДРЕНИАЖА (Фуйская впадина)

М.А.Сабитов

Многочисленные примеры из практики орошаемого земледелия
в нашей стране и за рубежом свидетельствуют о том, что несо-
вершенное строительство и эксплуатация оросительных систем на-
редко приводят к постепенному заболачиванию, а в условиях
аридного климата – к засолению орошаемых земель.

В результате существующей практики орошения уровень грун-

товых вод во многих районах нашей страны и за рубежом за сравнительно короткое время (10-20 лет) поднялся с глубины 15-25 м до дневной поверхности (средняя скорость подъема 1 м/год). Такое положение сохранится и в перспективе, ибо полностью предотвратить фильтрационные потери, повышающие уровень грунтовых вод на орошаемых территориях, не удастся. Последнее связано не только с недостатками в строительстве и эксплуатации оросительных систем, но и с тем, что проектируемые КИД ирригационных систем не превышают 0,70-0,75 (достижение более высоких КИД связано с большими капитальными вложениями).

Поэтому на орошаемых землях необходим дренаж, который в последние годы проектируется одновременно с оросительной сетью. В нашей стране для дренирования поднимающихся в условиях орошения грунтовых вод (преимущественно при их близком залегании) применяется в основном закрытый горизонтальный дренаж, который целесообразно закладывать еще в сухой грунт, что и практикуется в некоторых районах Средней Азии (Голодная степь и др.). Между тем в условиях предполагаемого подъема уровня грунтовых вод с целью предотвращения заболачивания земель могут применяться откачки подземных вод с большей глубины их залегания с подачей откачиваемой воды в оросительную сеть.

Это широко используется за рубежом. Известно, например, что в Индии [1] поверхностный сток для орошения используется в строго определенных пределах, соответствующих глубине залегания грунтовых вод территории, а недостаток оросительной воды покрывается за счет откачки подземных вод.

"Бесспорно положительное влияние вертикального дренажа на предотвращение подъема грунтовых вод там, где они лежат глубоко и где они могут быть использованы для полива" — указывается в работе [2] В.А.Ковды и далее конкретизируется, что "наиболее целесообразно было бы применение вертикального дренажа, где грунтовые воды в настоящее время лежат на глубине 15-20 м и глубже. Такие территории имеются в Голодной степи, в Каршинской степи и на других объектах потенциального земледелия".

Однако превентивные откачки не только эффективное средство

во борьбе с заболачиванием и засолением орошаемых земель. Предуспреждающий подъем, а следовательно, и непроизводительное испарение грунтовых вод, они способствуют также сохранению обычно ограниченных ресурсов подземных вод. Наконец, использование откачиваемых подземных вод на орошение (которые в основном пресные или слабоминерализованные) позволяет высвободить часть поверхностного стока для использования на другие земли.

Таким образом, широко используемые за рубежом в условиях орошаемого земледелия превентивные откачки подземных вод должны привлечь большое внимание проектировщиков в условиях развернутого водохозяйственного и мелиоративного строительства, осуществляемого в нашей стране.

Ниже предлагается методика и расчет мощности основных параметров и технико-экономических показателей превентивного вертикального дренажа, обеспечивающего стабильное состояние уровня грунтовых вод в условиях орошения применительно к гидрогеологическим условиям Индской межгорной впадины.

В общем случае суммарный приток к участку в условиях превентивных откачек (он же расход откачек) ΣQ состоит из притока сверху по контурирующим горизонтам $Q_{\text{с}}$, притока снизу через условно водоупорные горизонты $Q_{\text{н}}$, притока инфильтрующихся осадков $Q_{\text{о}}$ и притока инфильтрующихся оросительных вод $Q_{\text{и}}$ (при глубине уровня грунтовых вод выше критической). Следует учитывать и величину испарения грунтовых вод, принимаемую со знаком минус; в условиях превентивных откачек учитывать приток из осушаемого грунта, очевидно, нет необходимости, так как предполагается, что уровень грунтовых вод должен оставаться постоянным, т.е.

$$\Sigma Q = Q_{\text{с}} + Q_{\text{н}} + Q_{\text{о}} + Q_{\text{и}} \quad (1)$$

Таким образом, чтобы нейтрализовать влияние инфильтрационного питания на уровень грунтовых вод, необходимо откачивать расход в несколько раз больший, чем поступает при орошении.

При прочих равных условиях подъем уровня грунтовых вод на массиве под влиянием орошения происходит тогда, когда дренаж отсутствует или когда при его наличии размеры инфильтрацион-

ного питания грунтовых вод (за счет оросительного стока) Q'_b больше суммарного дренажного стока (расхода откачки), идущего на инфильтрацию оросительной воды Q_b , т.е. $Q'_b > Q_b$ (2)

Соответственно при $Q'_b = Q_b$ (3)

влияние орошения на существующий уровень грунтовых вод не сказывается, а при $Q'_b < Q_b$ (4)

происходит снижение уровня грунтовых вод под влиянием дренажирования орошаемой территории.

При решении задачи недопущения заболачивания территории следует руководствоваться зависимостью (3), которую, обозначая $Q'_b = n Q_{бр}$ и $Q_b = m \Sigma Q$, можно записать как

$$n Q_{бр} = m \Sigma Q, \quad (5)$$

$$\text{откуда} \quad \Sigma Q = \frac{n}{m} Q_{бр}, \quad (5')$$

где $Q_{бр}$ — расход оросительной воды брутто на заданной площади за вегетационный период; ΣQ — указанный выше расход откачки, обеспечивающий стабильное состояние уровня грунтовых вод в условиях орошения той же площади; n, m — инфильтрационное питание грунтовых вод в условиях орошения рассматриваемой площади, выраженное соответственно в долях от оросительного расхода брутто $Q_{бр}$ и от суммарного расхода откачки ΣQ .

В общем случае $\frac{n}{m} < 1$ (обычно $\frac{n}{m} = 0,4 - 0,8$) и $\Sigma Q < Q_{бр}$; в частном случае может быть $\frac{n}{m} = 1$ и тогда $\Sigma Q = Q_{бр}$. В рассматриваемых условиях не может быть $\frac{n}{m} > 1$, ибо тогда $\Sigma Q > Q_{бр}$, т.е. для стабилизации уровня грунтовых вод в условиях орошения следует откачивать воды больше, чем поступает сверху; это предполагает дополнительный источник питания грунтовых вод, создающийся, например, за счет напористости подземных вод, и противоречит исходным предпосылкам, ибо рассматривается задача стабилизации с помощью откачек свободно поднимающегося в условиях орошения уровня грунтовых вод.

Проанализируем рекомендации индийской практики по предотвращению подъема уровня грунтовых вод с точки зрения приведенных зависимостей (табл. I).

К анализу соотношений использования поверхностного подземного стока в зависимости от глубины залегания уровня грунтовых вод, применяемых в индийской практике

Показатели	Уровень залегания грунтовых вод, м			
	менее 3,0-4,5	от 3,0-4,5 до 7,5	7,6-12,0	более 12,0
Допустимое покрытие потребности в воде за счет поверхностного стока $Q_{бр}$	0	0,25 $Q_{бр}$	0,40 $Q_{бр}$	0,75 $Q_{бр}$
Часть поверхностного стока, пополняющего грунтовые воды Q'_b	0	$n \cdot 0,25 Q_{бр}$	$n \cdot 0,40 Q_{бр}$	$n \cdot 0,75 Q_{бр}$
Покрывание потребности в воде за счет подземного стока ΣQ	ΣQ	0,75 ΣQ	0,60 ΣQ	0,25 ΣQ
Часть расхода откачки, падающая на инфильтрацию с поверхности Q_b	$m \Sigma Q$	$m \cdot 0,75 \Sigma Q$	$m \cdot 0,60 \Sigma Q$	$m \cdot 0,25 \Sigma Q$
$Q'_b : Q_b$	0	0,33	0,67	3,0

* Цифры строки 5 получены, исходя из зависимости (5).

В соответствии с данными табл. I при глубине грунтовых вод до 12 м откачивается воды больше, чем поступает с поверхности, что должно привести к понижению существующего уровня грунтовых вод ($Q'_b < Q_b$), а при глубине уровня грунтовых вод более 12 м — откачивается меньше, чем поступает сверху и, следовательно, уровень грунтовых вод должен повышаться ($Q'_b > Q_b$). Таким образом обеспечивается стабилизация уровня грунтовых вод в условиях орошения примерно на глубине 12 м, что, вероятно, оправдано, так как позволяет в условиях затяжных сезонных дождей, имеющих место в равнинной части Индии, создать в почвогрунтах определенную резервную емкость. Выполненный анализ подтверждает вывод о том, что в условиях орошения уровень грунтовых вод можно поддерживать на любой заданной глубине. Для этого несо-

ходимо, чтобы при глубине, на которой должен поддерживаться постоянный уровень, соблюдалось условие (3) или в соответствии с табл. I условие $Q'_p: Q_p = I$, что одно и то же.

Рассчитаем основные параметры и технико-экономические показатели превентивного вертикального дренажа. Результаты выполненных расчетов сведены в табл. 2; при этом $\frac{P}{m} = 0,60$, $M_{sp} = 5000; 7000; 9000 \text{ м}^3/\text{га}$ [3], либо $\frac{P}{m} = 0,43; 0,60; 0,70$; при $M_{sp} = 7000 \text{ м}^3/\text{га}$.

Ниже даны пояснения по каждой строке табл. 2

1. Расходы оросительной воды Q_{sp} рассчитаны при продолжительности вегетационного периода (длительности откачек) $t = 6 \text{ мес.}$

2. Расход откачки, равный притоку к участку, ΣQ определен по зависимости (5') при принятых выше исходных данных.

3-7. Параметры приняты, исходя из гидрогеологических условий равнинной части впадины, для мощности разреза (глубины скважины) $z = 50 \text{ м}$ [3].

8. Число скважин на дренируемой площади $N = \Sigma Q: Q_c$

9. Площадь, обслуживаемая скважиной, $F_o = F: N$

10. Расстояние между скважинами определены как двойной радиус круга площадью F_o , $z = 112,8 \sqrt{F_o}$.

11. Указанная глубина грунтовых вод, как и параметры строк 3-7, характеризует северо-западную часть Чуйской впадины.

12. Понижения в скважинах определены по формуле неустановившегося движения для неограниченного в плане пласта, что вполне справедливо при продолжительности откачек в году $t = 6 \text{ мес.}$

13. То же, что и в п. 12, но с учетом взаимодействия с 6-ю соседними скважинами, расположенными в шахматном порядке.

14. Капвложения в скважины глубиной $z = 50 \text{ м}$ определены со всеми сопутствующими сооружениями.

15. Приведенные затраты определены по общепринятой методике с учетом срока окупаемости капвложений $T = 10 \text{ лет}$, стоимости обслуживания скважины $C_o = 1000 \text{ руб}$ и стоимости электроэнергии $b = 0,01 \text{ руб/квт.ч}$.

Таблица 2

Основные гидрогеологические и технико-экономические параметры скважин превентивного вертикального дренажа в условиях орошаемого земледелия (Чуйская впадина)

Расчетные параметры	Обозначения	Ед. изм.	Оросительная норма, $M_{sp} \text{ м}^3/\text{га}$		
			5000	7000	9000
Расход оросительной воды на площади $F = 1000 \text{ га}$	Q_{sp}	л/с	321	450	579
Приток к массиву или расход откачки	Q	л/с	192	270	347
Водопроницаемость пласта	Km	м/сут	250	250	250
Коэффициент водоотдачи	μ	—	0,15	0,15	0,15
Коэффициент пьезопроводности	α	м/сут	1670	1670	1670
Дебит скважины	Q_c	л/с	27	27	27
Диаметры бурения и фильтровой колонны	d_s/d_ϕ	м	0,6/0,3	0,6/0,3	0,6/0,3
Число скважин на дренируемой площади 1000 га	N	шт.	7,1	10,1	12,9
Площадь, обслуживаемая скважиной	F_o	га	141	100	77
Расстояние между скважинами	z	м	1340	1130	990
Глубина залегания УГВ	$h_{ст}$	м	4	4	4
Понижение уровня воды в скважине	S_o	м	12,2	12,2	12,2
То же при взаимодействии скважин	S	м	13,0	13,7	14,3
Капвложения на скважину	K	тыс руб	43	43	43
Приведенные затраты на скважине	$\bar{z}$	тыс руб	10,35	10,35	10,35
Удельные капвложения (без учета оросительного эффекта)	$\bar{K}$	руб/га	305	430	560
Удельные приведенные затраты (без учета оросительного эффекта)	$\bar{z}$	руб/га	73,5	103,5	134,5
Приведенные затраты на 1 м ³ откачиваемой воды	δ	коп/м ³	1,85	1,85	1,85
Площадь, орошаемая скважиной	$F_{ор}$	га	84	60	46

Эксплуатационные затраты (определяемые без учета срока окупаемости капложений) в 1,70-1,75 раза ниже указанных приведенных затрат.

16 и 17. Удельные капложения и удельные приведенные затраты на превентивный дренаж с учетом оросительного эффекта откачек (строка 19) должны быть примерно в полтора раза ниже.

17 и 18. Удельные эксплуатационные затраты на 1 га площади и на 1 м³ воды, (определяемые без учета срока окупаемости капложений) должны быть в 1,70-1,75 раза ниже указанных удельных приведенных затрат.

19. Площади, орошаемые скважиной, определены исходя из гидромодулей, соответствующих принятым оросительным нормам (строка 1).

ВЫВОДЫ

1. В соответствии с приведенными зависимостями (1), (3) и (5') и выполненными расчетами при прочих равных условиях расход откачек, способствующих стабилизации уровня грунтовых вод в условиях орошения заданной площади, пропорционален расходу на орошение (оросительной норме), причем коэффициентом пропорциональности является отношение $\frac{D}{m}$.

2. При оросительной норме $M_{ор} = 5000$; 7000 и 9000 м³/га и отношении $\frac{D}{m} = 0,60$ (или при $M_{ор} = 7000$ м³/га и $\frac{D}{m} = 0,43$; 0,60 и 0,77) расход откачек, стабилизирующих уровень грунтовых вод, при орошения площади 1000 га составляет соответственно $\Sigma Q = 192$; 270 и 347 л/с; число скважин на указанной площади при этом соответственно равно $N = 7,1$; 10,0 и 12,9; площадь дренирования каждой скважиной $F_0 = 141$; 100; 77 га при расстояниях между ними $\gamma = 1340$; 1130; 990 м (дебит скважин $Q_c = 27$ л/с).

3. Определенные без учета оросительного эффекта (в указанных выше случаях скважиной можно оросить соответственно 84, 60 и 46 га) удельные капложения и приведенные затраты составляют соответственно $\bar{K} = 305$; 430 и 560 руб/га и $\bar{J} = 73,5$; 103,5 и 134,5 руб/га; (удельные эксплуатационные затраты $\bar{J} = 42,6$; 60,0 и 76,0 руб/га); приведенная стои-

мость откачиваемой воды во всех случаях одинакова и равна $\bar{\delta} = 1,85$ коп/м³, эксплуатационная $\bar{\delta} = 1,07$ коп/м³.

ЛИТЕРАТУРА

1. Материалы VI международного конгресса по ирригации и дренажу. Нью-Дели, 1966.
2. Ковда В.А. Уроки и опыт оросительных мелиораций. Гидрогеологические исследования для орошаемого земледелия (международный семинар). Т.1, Ташкент, 1969.

СОСТАВЛЯЮЩИЕ СКОРОСТИ ФИЛЬТРАЦИИ ПРИ ПРОМЫВКАХ, СПОСОБЫ ИХ ОПРЕДЕЛЕНИЯ И СРАВНИТЕЛЬНАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРОМЫВОК В РАЗЛИЧНЫЕ ПЕРИОДЫ ГОДА

И.К.Дунов

1. Составляющие скорости фильтрации

В работах [1,2] показано, что при промывках засоленных земель объем воды, участвующий в выносе солей, выражается в виде:

$$Q_s = Q_c + q_s, \quad (1)$$

$$Q_c = q_a + (Q_{ac} + Q_{uc})K_{ут} + q_g, \quad (2)$$

где Q_c - промывная норма нетто;
 q_a и Q_{ac} - объемы воды для заполнения свободной пористости почвогрунтов ниже расчетного слоя и при подъеме грунтовых вод на соседних территориях;
 Q_{uc} - объем воды, испарившейся с прилегающих территорий за счет подъема грунтовых вод;
 q_g - дренажный сток;
 q_s - водоотдача почвогрунтов;

$K_{ум}$ - коэффициент условной потери площади, зависящий от размеров промываемого участка.

Скорость фильтрации определяется по зависимости

$$V = \frac{Q}{t} \quad (3)$$

где t - продолжительность промывок, сут.

2. Способы определения

1) Q_a и Q_{ac} - составляющие скорости фильтрации за счет подъема уровня грунтовых вод определяются по выражению

$$Q_a = Q_{ac} = \frac{hP}{t} \quad (4)$$

где h - высота подъема УГВ, м;

P - свободная пористость в долях единицы;

t - продолжительность промывок, сут.

Исследованиями промывок засоленных земель в колхозе

им. Ильича Калининского района на фоне постоянного дренажа с применением временного горизонтального установлено, что на осевших междуречьях и прилегающих с других сторон площадях происходит подъем грунтовых вод до 1,0 м от исходного и более (рис.1). Если принять подъем УГВ в пределах 0,5-1,0 м, тогда при исходной свободной пористости 25% Q_{ac} 1250-2500 м³/га.

2) $K_{ум}$ определяется по выражениям, приведенным в работе [1].

Изменение $K_{ум}$ в зависимости от размеров промываемой площади при минимальных и максимальных значениях действующих факторов (рис.2), т.е. при подъеме УГВ на половине междуречья (г-ч-г) - кривая 1) и на всем соседнем междуречье (г-ч-г-г) - кривая 2) показывает, что в первом случае при изменении площади промывки от 5 до 400 га $K_{ум}$ изменяется от 2,6 до 0,48, а во втором случае - от 6,8 до 0,96. Характер кривых говорит о том, что резкое изменение $K_{ум}$ имеет место при небольших площадях промывки (менее 50-100 га), а при увеличении - незначительно. Отсюда следует, что, чем меньше участок промывки, тем больше (по отношению к количеству поданной воды на промывку) относительной

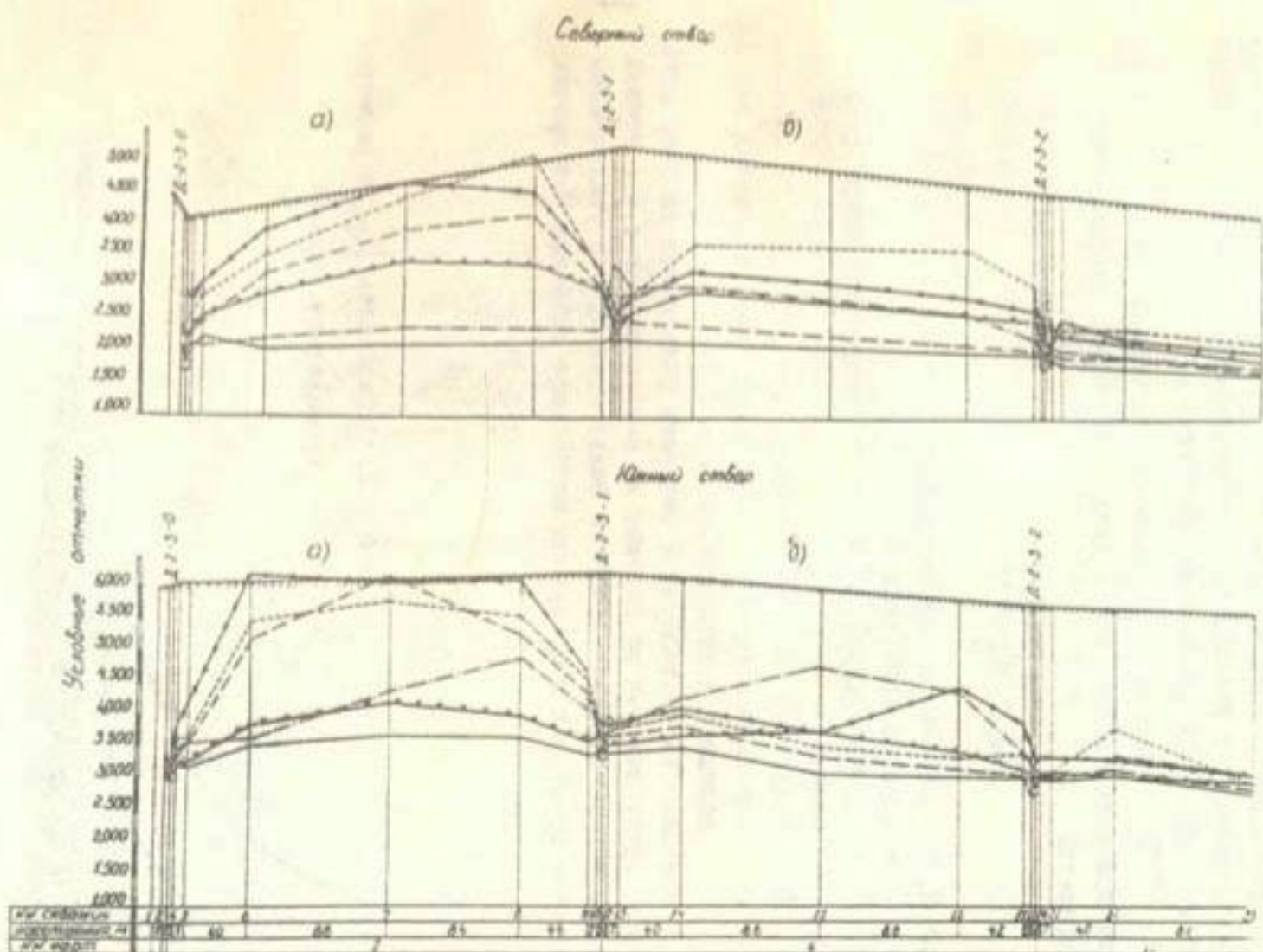


Рис.1. Динамика УГВ при промывках в колхозе им. Ильича осенью 1970 г.: а) промываемое поле; б) непромываемое поле

(~~примышки~~, вода уйдет на подъем и испарение грунтовых вод на прилегающих площадях, а, следовательно, и вынос солей к поверхности произойдет на площади в 2,6-6,8 раз большей площади промывки (с учетом, что на прилегающих площадях нет подъема грунтовых вод за счет их орошения).

3) $Q_{ис}$ - составляющая скорости фильтрации за счет испарения при подъеме УГВ на соседних территориях определяется по выражению:

$$Q_{ис} = \frac{U_0 (1 - \frac{Z}{Z_0})^n}{t} \quad (5)$$

где U_0 - испаряемость по Н.Н.Иванову, мм;

Z - глубина грунтовых вод;

Z_0 - глубина грунтовых вод, при которой испарение равно нулю;

t - продолжительность промывок, сут;

n - показатель степени для условий Чуйской впадины, по данным М.И.Каплинского ($n = 1,5$).

Зависимость составляющей скорости фильтрации за счет испарения грунтовых вод от глубины их залегания (рис.3) показывает, что увеличение скоростей фильтрации идет с увеличением подъема грунтовых вод, причем наибольшие значения при прочих

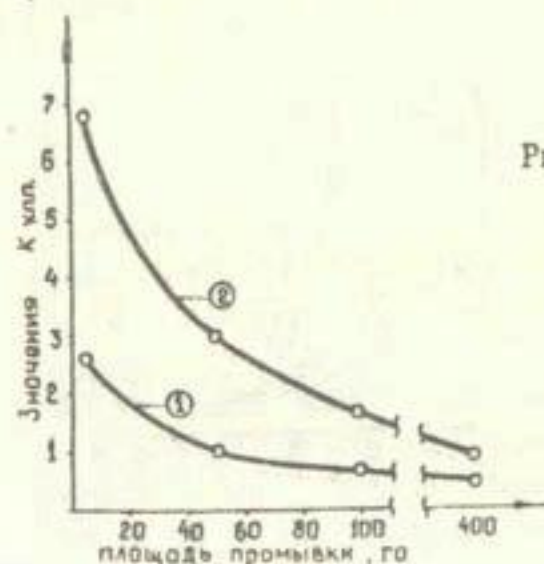


Рис.2. Зависимость $K_{упп}$ от размеров промываемой площади

равных условиях отмечаются в летний период (кривая 2), наименьшие - весной (кривая 1).

4) Q_q - составляющая скорости фильтрации за счет работы дренажа (постоянного и временного) определяется по выражению:

$$Q_q = a \left(\frac{K_1 h_1}{B_1} + \frac{K_2 h_2}{B_2} \right) \quad (6)$$

где K_1, h_1, B_1 - коэффициент фильтрации, действующий напор и расстояние между дренами для постоянного и K_2, h_2, B_2 - для временного дренажа.

Рассмотрим значения составляющих и общую скорость фильтрации на примере.

На намечаемом к промывке массиву грунтовые воды залегают на глубине 2,0 м. Коэффициент фильтрации почвогрунтов в пределах активной зоны действия дренажа составляет $K = 0,5$ м/сут, предельная полевая влагоемкость $W = 3500$ м³/га, свободная пористость $P = 0,15$.

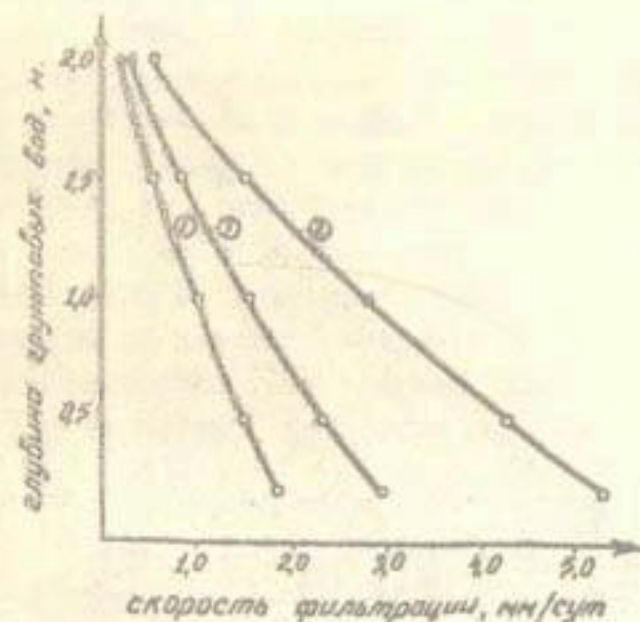


Рис.3. Зависимость составляющей скорости фильтрации промывной воды за счет испарения грунтовых вод от глубины их залегания

Промывки намечается провести на площади 100 га в двух междуренных в осенний период с I/IX по I5/XI (кривая 3) за 75 суток на фоне постоянного систематического горизонтального дренажа глубиной 3,5 м и $B_1 = 300$ м с применением мелкого временного глубиной 0,8-1,0 м и $B_2 = 50$ м. Расчеты показывают следующее.

Составляющая скорости фильтрации за счет подъема грунтовых вод на промываемой площади на 1 м при заданных исходных данных согласно уравнению (4) $Q_{гв} = 2$ мм/сут.

Составляющая скорости фильтрации за счет подъема грунтовых вод на соседних территориях на высоту 0,5 м по всей длине междуренья из уравнения (4) составит $Q_{ас} = 0,93$ мм/сут и с учетом $K_{упв} = 1,7$ (рис.2) $Q_{ас} \cdot K_{упв} = 1,59$ мм/сут.

Составляющая скорости фильтрации за счет испарения при подъеме УГВ на соседних территориях на 0,5 м., т.е. при глубине 2,0 - 1,5 м в осенний период (рис.3) $Q_{ис} = 0,83$ мм/сут и с учетом $K_{упв} = 1,7$ $Q_{ис} = 1,41$ мм/сут.

Составляющая скорости фильтрации за счет действия постоянного и временного дренажа из формулы (6) равна $= 7,25$ мм/сут. Общая скорость фильтрации:

$$V = 2,00 + 1,59 + 1,41 + 7,25 = 12,25 \text{ мм/сут.}$$

Таким образом, если бы не было учета всех факторов, влияющих на скорость фильтрации при промывках, то за счет действия дренажа она была бы в 1,7 раза меньше общей скорости. Промывные нормы зависят от скорости фильтрации, и без учета действующих факторов они были бы завышены, так как из вышеуказанной зависимости следует, что основные и значительные изменения промывных норм происходят при скоростях фильтрации < 10 мм/сут.

3. Сравнительная эффективность промывок в различные периоды года

В литературе по вопросам промывок засоленных земель рекомендуется проводить промывки преимущественно осенью, так как в этот достаточно теплый период имеют место наименьшие пьезометрические напоры, незначительное испарение, свободная оросительная вода. Однако количественная характеристика сравнитель-

ной эффективности промывок засоленных земель в те или иные периоды года не приводилась.

Эффективность промывок засоленных земель оценивается по количеству воды, необходимой для рассоления почвогрунтов на единицу засоленности.

Промывная норма при одном и том же исходном засолении зависит от действия многих факторов, в частности от скорости фильтрации, фильтрационной способности почвогрунтов, дренарованности промываемой площади и её размеров, периода промывок. В работе [1] эти факторы учитываются. По рекомендуемым методам и зависимостям произведены расчеты промывных норм при промывках на различных площадях, в различные периоды времени при различных скоростях фильтрации и различной высоте подъема УГВ на соседних площадях.

Зависимость промывных норм при $S_n = 2\%$ по Σ т.с. от площади промывок в различные периоды времени (кривая I - март-апрель; кривая 2 - май-август; кривая 3 - сентябрь-ноябрь) (рис. 4) показывает:

- при скорости фильтрации $V = 5$ мм/сут (кривые I и I') и подъеме УГВ на 0,5 м в половине соседнего междуренья происходит увеличение промывных норм от 15-20 до 30-50 % при измене-

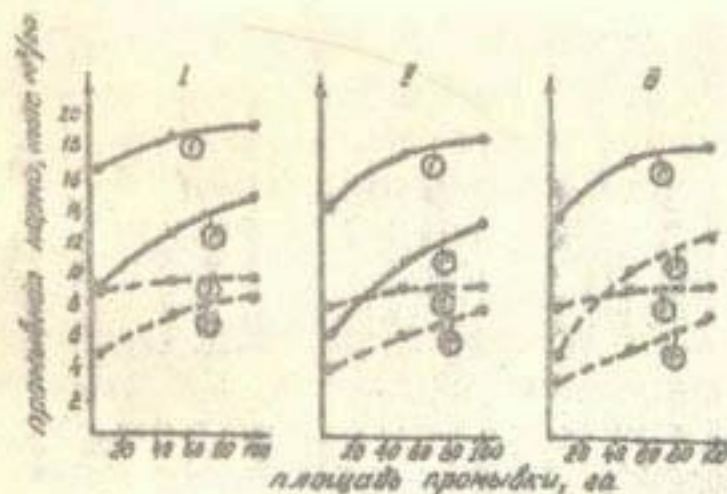


Рис.4. Зависимость промывной нормы от площади, времени и скорости фильтрации промывной воды

нии площади промывок от 5 до 100 га и более ; при той же скорости фильтрации и том же изменении площади промывок, но при подъеме УГВ на 1,0 м по всему соседнему междуренью имеет место увеличение промывных норм от 60-125 до 200-400 % ;

- при скорости фильтрации $V = 23$ мм/сут (кривые 2 и 2') и подъеме УГВ на 0,5 м в половине соседнего междуренья происходит увеличение промывных норм от 10 до 25 % ; при подъеме УГВ на 1,0 м по всему соседнему междуренью промывные нормы увеличиваются от 70-100 до 120-185% при изменении площади промывки от 5 до 100 га и более.

Из изложенного следует, что увеличение промывных норм при изменении площади промывок от 5 до 100 га и более при малых скоростях фильтрации значительно, чем при высоких .

ВЫВОДЫ

Учет составляющих скорости фильтрации при промывках позволяет более обоснованно подходить к определению промывных норм.

Наибольшая эффективность промывок при любых размерах промываемых площадей отмечается осенью. Уменьшение эффективности идет от осени к весне.

Разница в промывных нормах при промывках весной и осенью увеличивается с уменьшением площади и скорости фильтрации.

Составляющая скорости фильтрации за счет подъема грунтовых вод на промываемой площади на 1 м при заданных исходных данных согласно уравнению (4) $Q_a = 2$ мм/сут .

ЛИТЕРАТУРА

1. Методические рекомендации по расчету и технико-экономическому обоснованию промывок засоленных земель в условиях напорных вод Чуйской впадины. Фрунзе, ММИВХ КиргССР, ВНИИКАМС, 1976, с.49 (подготовлены И.К.Духновым, Б.К.Харитоновым) .
2. Духнов И.К. К вопросу об учете размеров промываемой площади при установлении эффективности промывок засоленных земель. В об.: "Вопросы водного хозяйства", вып. 38 (мелиорация) , Фрунзе, ВНИО "Союзводоавтоматика", 1977 .

О ПАРАМЕТРАХ СОЛЕОТДАЧИ ПОЧВОГРУНТОВ И ИХ ЗАВИСИМОСТИ ОТ ДЕЙСТВУЮЩИХ ФАКТОРОВ

И.К.Духнов

В работе [1] рассмотрена одна из схем рассоления почвогрунтов и получено уравнение для определения промывной нормы, а в работе [2] показана зависимость параметров солеотдачи Ω и Ω' от скорости фильтрации.

Для случая, когда концентрация почвенного раствора устанавливается по запасу влаги в расчетном слое, равном предельной полевой влагоемкости, получено [2] уравнение

$$N = \frac{W(1 - \frac{S_s}{S_0})^{\Omega'}}{\Omega'} \quad , \quad (I)$$

где N - промывная норма ; W - предельная полевая влагоемкость ; S_s и S_0 - исходное и допустимое содержание солей ; Ω' и Ω - параметры солеотдачи.

Анализ этого уравнения показал, что при соответствующих значениях параметров Ω' и Ω данные, получаемые по нему, довольно хорошо сходятся с данными, получаемыми по уравнению С.Ф.Аверьянова с применением коэффициента конвективной диффузии.

Значения параметров Ω' и Ω зависят от характера почвогрунтов, их засоленности и солеотдачи, а также от скорости фильтрации промывной воды, в свою очередь, зависящей от многих факторов, как-то : фильтрационной способности почвогрунтов, дренарованности территории (естественной и искусственной) , площади промывок, периода их выполнения и т.д. Эти параметры могут быть установлены полевыми исследованиями и расчетом по уравнению (I)^{*}.

* Следует отметить, что при установлении концентрации почвенного раствора по запасу влаги в расчетном слое, равном полной влагоемкости (что может иметь место при непрерывных длительных промывках), значения параметров Ω' и Ω в уравнении (I) будут иными.

Результаты выполненных полевых исследований и анализ многочисленных литературных данных, в том числе и приведенных в работе В.Р.Волобуева [3], позволили установить ориентировочные значения этих параметров.

$$\text{Так, при } n' = 0,5 \quad \alpha' = \frac{V + 0,006}{0,068}, \quad (2)$$

где V — скорость фильтрации, м/сут.

Подставляя значения n' и α' в формулу (1) получим

$$N = W \left[\frac{0,136 (1 - \sqrt{\frac{1}{\alpha'}})}{V + 0,006} \right] \quad (3)$$

Следует подчеркнуть, что так как значения параметров α' и n' нами установлены ориентировочно (определять их необходимо в конкретных полевых условиях), промывные нормы по формулам (1) и (3) будут с отклонениями до 10-20%.

Зависимость промывной нормы от исходного засоления при различных скоростях фильтрации (рис.1) показывает:

а) изменение промывной нормы при увеличении исходного засоления идет по плавной кривой и не противоречит существующим данным, рекомендуемым инструкциями;

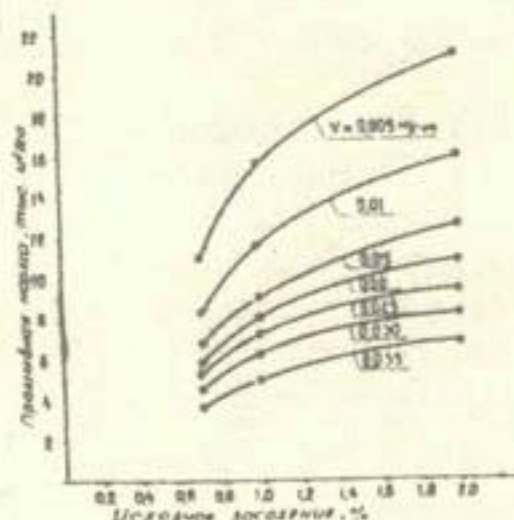


Рис. Зависимость промывной нормы от исходного засоления при различных скоростях фильтрации промывной воды

б) увеличение скорости фильтрации способствует уменьшению норм при одном и том же исходном засолении.

Скорость отвода воды дренажом может быть установлена по ряду зависимостей, рекомендованных к использованию в соответствующих условиях.

Эти данные показывают, что, регулируя скорость фильтрации за счет усиления дренажированности промываемых земель с помощью временного дренажа, можно изменять промывные нормы. Оптимальные промывные нормы могут быть установлены технико-экономическим сравнением показателей.

Анализ данных для условий Чуйской впадины показал, что скорость отвода воды дренажом находится в основном в пределах 1-30 мм/сут. Следует отметить, что скорость отвода воды не всегда может являться показателем скорости фильтрации промывной воды, так как последняя зависит и от размеров промываемых площадей. Анализ этих материалов дан отдельно.

ВЫВОДЫ

Установленные ориентировочные значения параметров солеотдачи позволили получить довольно простую формулу (3) для расчета промывных норм.

Непосредственное определение этих параметров в формуле (1) позволяет рассчитать промывные нормы практически для любых условий, в которых намечаются промывки, и выбрать оптимальный вариант.

ЛИТЕРАТУРА

1. Духнов И.К. Об одном методе определения промывной нормы. В сб.: "Вопросы водного хозяйства", вып.36 (мелиорация), Фрунзе, "Киргизстан", 1976, с.102-105.
2. Методические рекомендации по расчету и технико-экономическому обоснованию промывок засоленных земель в головных напорных вод Чуйской впадины (подготовлены И.К.Духновым, Б.К.Харитоновым). ММНХ КиргССР, ВНИИКАМС, Фрунзе, 1976, с.49.
3. Волобуев В.Р. Расчет промывки засоленных почв. М., "Колос", 1975, с.70.

К РАСЧЕТУ ВРЕМЕННОГО ДРЕНАЖА ПРИ КОРЕННЫХ ПРОМЫВКАХ ЗАСОЛЕННЫХ ЗЕМЕЛЬ В УСЛОВИЯХ НАПОРНЫХ ВОД ЧУЙСКОЙ ВПАДИНЫ

И.К.Дупнов

Под коренными промывками засоленных земель понимаются промывки с выносом солей за пределы промываемых массивов. Это достигается путем выполнения промывок на фоне любого из постоянных дренажей с применением временного горизонтального.

Параметры дренажа должны быть рассчитаны таким образом, чтобы при наименьших приведенных затратах обеспечивался равномерный (или близкий к нему) по площади и профилю вынос солей из промываемой территории. Решение этого вопроса основывается на детальном изучении работы дренажа (постоянного и временного) при орошении и промывках засоленных земель. Схемы движения инфильтрационной и грунтовой воды при различных сочетаниях дренажа (рис. I) показывают, что при промывках на фоне только постоянного разреженного дренажа с междурядьями

250-450 м основное количество воды поступает в нижележащие горизонты, и дренаж отводит воду лишь с небольшой узкой полосой под дном дрен ; при применении временного дренажа основное количество инфильтрационной и грунтовой воды (а следовательно и солей) в верхней 2-3 - метровой толще поступает во временный дренаж.

Исследованиями установлено, что в условиях Чуйской впадины соли распространяются в верхнем 2-2,5 - метровом слое. Глубина " активной " зоны действия дренажа - порядка двойной и тройной глубины дрен. Исходя из этого, для выноса солей из этой толщи закладывать дрены глубже 1,0 м нецелесообразно. Так как в дрены вода поступает в основном снизу неширокой полосой, то влияние временной дрены может распространиться в радиусе 7-12 м. Отсюда следует, что расстояния между временными дренажами, с точки зрения выноса солей, не должны превышать 15-25 м.

Для определения расстояния между временными дренажами в конкретных условиях при промывках засоленных земель с условием

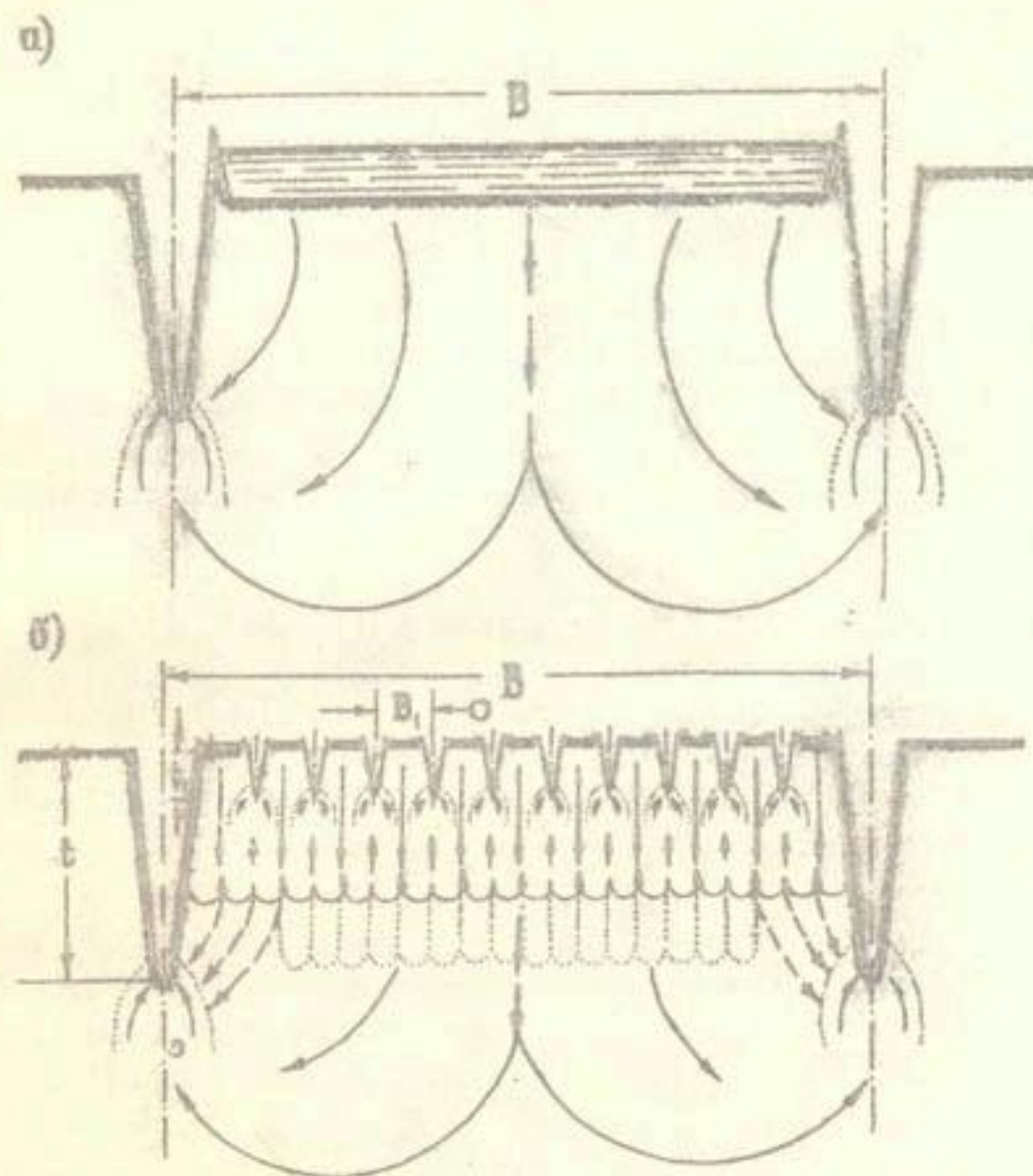


Рис. I. Схема движения грунтовых вод при промывках на фоне:
а) постоянного горизонтального дренажа ;
б) постоянного горизонтального дренажа в сочетании с мелким временным

выноса солей за пределы промываемых массивов воспользуемся следующими зависимостями :

$$Q = 2K \left[\omega_{cp} i_{воск} + \frac{2(h^2 - h_o^2)}{B} \right] \quad (1)$$

$$Q = K(ah \pm \delta) \quad (2)$$

где Q - приток воды в дрена;
 K - коэффициент фильтрации;
 $i_{воск}$ - гидравлический уклон восходящего потока под дном дрена, $i_{воск} = \frac{H}{\ell}$ (3);
 a и δ - параметры, имеющие для конкретных условий свои значения; ω_{cp} , h , h_o , H , ℓ , B показаны на рис.2.

Пренебрегая вторыми членами в скобках с погрешностью не превышающей 5-20%, и приравняв правые части уравнений (1) и (2), определяем ω_{cp} .

$$2K\omega_{cp}i_{воск} = aKh \quad (3)$$

откуда с учетом (3)

$$\omega_{cp} = \frac{ah\ell}{2H} \quad (4)$$

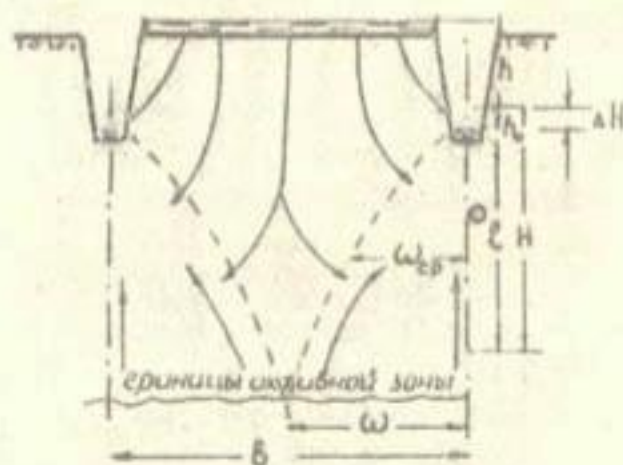


Рис.2. Расчетная схема временного дренажа при корневых промывках

Значение H определяется по выражению:

$$H = ch \pm d \quad (5)$$

где $C = 0,241$; $d = -0,011$.

Пренебрегая свободным членом уравнения (5) и подставляя значение H из (5) в (4), получим:

$$\omega_{cp} = \frac{a\ell}{2C} \quad (6)$$

На границе активной зоны действия временного дренажа $\omega = 2\omega_{cp}$, тогда расстояние между временными дренами

$$\delta = 2\omega = 4\omega_{cp} \text{ или } \delta = \frac{4a\ell}{C} \quad (7)$$

При $a = 0,458$ (для северо-западной части Чуйской впадины) $\ell = 3,7$ м, $C = 0,241$, расстояние между временными дренами составит $\delta = 14$ м, при $a = 0,715$ (для центральной части впадины) и тех же исходных данных $\delta = 22$ м. Глубина временных дрен может быть определена из зависимости

$$t = \frac{H_c}{n} \quad (8)$$

где t - глубина дрен, H_c - мощность засоленного слоя почвогрунтов, n - параметр кратности между глубинами активной зоны действия дренажа и самих дрен. При $H_c = 2,0$ м, $n = 2,5$ получаем по (8) $t = 0,8$ м.

ВЫВОД

Параметры временного дренажа при корневых промывках рекомендуется рассчитывать по рассмотренной методике для условий напорных вод Чуйской впадины и аналогичных ей.

О ЗНАЧЕНИИ НЕКОТОРЫХ ПАРАМЕТРОВ ПРИ ПРОМЫВКАХ
СУЛЬФАТНО ЗАСОЛЕННЫХ СЕРОЗЕМНО-ЛУГОВЫХ
ПОЧВ СЕВЕРНОЙ КИРГИЗИИ

И.К.Духнов, Б.К.Харитонов

Многообразие почвенно-климатических факторов, влияющих на растворение и вымыв солей из почвы при промывках, обусловили появление большого количества эмпирических формул для расчета промывных норм, основанных на том, что поршневое вытеснение раствора солей из почвы пресной водой происходит после насыщения почвы до предельно-полевой влагоемкости.

Однако эмпирические коэффициенты, входящие в эти формулы, помимо трудностей их определения, не всегда позволяют учесть сложность физико-химического процесса передвижения солей и влаги в почвогрунтах, а также особенности гидрогеологических условий и параметры дренажа.

Наиболее полно учитывают указанные факторы в вымыве солей при промывках эмпирические формулы В.Р.Волобуева [1] и П.С.Панина [2], и теоретическая зависимость С.Ф.Аверьянова [3], которые в настоящее время рекомендованы для практического пользования [4].

В формуле В.Р.Волобуева промывная норма зависит от степени засоления, химического состава солей и механического состава почв. Эта зависимость получена на основе обширных экспериментальных данных при изучении процессов рассоления почв на фоне дренажа или в лизиметрах, и степень дренирования в ней отражена через параметр α [5], характеризующий солеотдачу. Чем интенсивнее дренированность, тем меньше параметр α и выше солеотдача почв.

Теоретическая зависимость С.Ф.Аверьянова [4], выведенная им на основе решения уравнения конвективной диффузии с использованием законов физико-химической гидродинамики, позволяет более определенно учитывать параметры дренажа через скорость отвода промывных вод и продолжительность промывок.

В условиях Северной Киргизии изучением промывок на фоне

постоянного горизонтального дренажа занимались Н.К.Баженков, И.К.Духнов с сотрудниками, В.Г.Паслер и В.И.Демченко.

В статье рассмотрен вопрос определения параметров α и D^* по зависимостям В.Р.Волобуева и С.Ф.Аверьянова с использованием результатов промывок в Чуйской впадине на фоне постоянного горизонтального дренажа с применением временного на опитных участках в колхозах "Победа" Каялининского и "Коминтера" Мооковского районов [7,8].

Обеспеченность участков внутренним оттоком и поверхностным стоком слабая. Грунтовые воды с минерализацией от 1,04 до 23,8 г/л (в среднем 7-8 г/л) - запорные и находятся на глубине 2,5-3,0 м от поверхности земли. Тип засоления почвогрунтов - сульфатный.

На опитном участке в колхозе "Победа" сероземно-луговая почва в верхнем метре по механическому составу - среднесуглинистая, с глубины 3 м подстиается средними, легкими суглинками с линзами супесей; в колхозе "Коминтера" в верхнем метре - тяжелосуглинистая, с глубины 3 м подстиается тяжелыми суглинками и глинами с включением луговой извести. Учитывая, что в профиле почв с глубины 40 см и до 150-200 см встречаются гипсовые слои, параметр α к формуле В.Р.Волобуева рассчитан по зависимости САНИИРИ [9]:

$$\alpha = \frac{\sum_{i=1}^n l_i \frac{S_n}{S_0} \cdot N_i}{10000 \sum_{i=1}^n (l_i \frac{S_n}{S_0})}, \quad (1)$$

где N - промывная норма; α - параметр, характеризующий солеотдачу по В.Р.Волобуеву, S_n и S_0 - исходное и допустимое содержание солей в почве, %; n - число промывок.

Расчеты показывают, что для среднесуглинистых почв $\alpha = 1,40$ и тяжелосуглинистых $\alpha = 1,70$.

Полное опреснение в метровом слое почвы сульфатного типа засоления наступает при содержании токсичных солей в количестве 0,15 % [10]. В условиях Чуйской долины промывку таких почв ведут до содержания 0,3% токсичных солей, т.е. полного опреснения почвы не наступает и потому расчет промывных норм выполнен по зависимости, приведенной в инструкции [4].

Порядок расчета параметра переноса солей D^* и параметра S показан в работах [4,6]. В таблице I приведены результаты промывки в колхозе "Коминтерн" за период октябрь-декабрь 1969 года.

Скорость отвода промывных вод дренажом в период проведения промывок для северо-западной (в колхозе "Победа") и центральной (в колхозе "Коминтерн") частей Чуйской впадины рассчитана по формулам Л.К.Госсу и А.С.Эзафович [11] (табл.2). Как видно, средняя расчетная скорость воды, отводимой постоянными и временными дренажами в период промывок на участке в колхозе "Коминтерн", равна 11 мм/сут, а фактическая 11-14 мм/сут. При $V = 11$ мм/сут, $D^* = 0,045$ м²/сут и $m = 0,35$ параметр Пекле $Pe = \frac{V \ell}{D^* m} = \frac{0,045 \cdot 1}{0,045 \cdot 0,35} = 0,70$.

Таблица I

Расчет параметра переноса солей D^* по результатам промывок в колхозе "Коминтерн" при $\ell = 1$ м; $t = 66$ сут; $m = 0,35$

Токичные соли, %		$\bar{C} = \frac{S_n}{S_k}$	$N_{\text{факт}}$ м	$V = \frac{N}{t}$ м/сут	$S = \frac{N}{\ell m}$	Pe [6]	$D^* = \frac{V \ell}{m Pe}$ м ² /сут
S_n	S_k						
0,818	0,281	0,34	0,91	0,014	2,60	0,65	0,061
0,694	0,265	0,38	0,91	0,014	2,60	0,46	0,089
1,002	0,297	0,30	0,91	0,014	2,60	0,85	0,047
0,901	0,198	0,22	0,74	0,011	2,11	2,30	0,014
0,711	0,298	0,42	0,74	0,011	2,11	0,55	0,057
0,581	0,266	0,46	0,74	0,011	2,11	0,36	0,087
1,024	0,201	0,20	0,81	0,012	2,31	2,20	0,015
0,999	0,248	0,25	0,61	0,012	2,31	1,80	0,019
0,967	0,205	0,21	0,81	0,012	2,31	2,10	0,016

Примечания. 1. В графах 1 и 2 показано среднее содержание солей в 9-ти чеках по точкам солевой съемки, отобранных конвертом (в почвенных образцах по каждой из 5-ти точек в конверте химические анализы выполнены раздельно). 2. Так как минерализация промывной воды незначительна (<0,3%), последняя при расчете $\bar{C}$ не учитывалась.

По полученному $Pe = 0,70$ и $\bar{C}$ из табл. I по графику $\bar{C} = \zeta(Pe, S)$ [6] находим безразмерный параметр S и рассчитываем промывные нормы, как это рекомендовано [4].

Таблица 2

Скорость отвода промывных вод дренажом при промывках

Участок и расчетная формула (колхоз)	Вид дренажа	Исходные данные					Q (или V), мм/сут		
		B , м	t , м	h_0 , м	$h = t \cdot h_0$, м	K , м/сут	мин.	макс.	средняя
"Победа"	пост.	450	3,5	0,2	3,7	0,74-0,97	3	3,5	3
$q = (0,458h - 0,051) \frac{K}{B}$	врем.	50	1,75	0,2	1,95	0,70-1,69	12	28	20
							$\Sigma = 23$		
"Коминтерн"	пост.	300	0,0	0,2	3,2	0,08-0,5	1	4	2,5
$q = (0,715h - 0,069) \frac{K}{B}$	врем.	25	0,8	0,2	1,0	0,08-0,5	3	16	9
							$\Sigma = 11,5$		

Промывные нормы, рассчитанные для среднесуглинистых серо-земно-луговых почв (колхоз "Победа") при $\alpha = 1,40$, $D^* = 0,045$ м²/сут, $V = 23$ мм/сут, имеют отклонения от фактических в основном в пределах 20,2-26,9%, для тяжелосуглинистых (колхоз "Коминтерн"), при $\alpha = 1,70$, $V = 11$ мм/сут, - в основном 36,9-40,0%. Однако сравнение дисперсий (отклонений), вычисленных по формуле [12]

$$D = \frac{N_{\text{факт}} - N_{\text{расч}}}{n-1}, \quad (2)$$

где D - дисперсия промывной нормы; $N_{\text{факт}}, N_{\text{расч}}$ - фактическая и расчетная промывные нормы, м; n - число случаев по критерию F Р.А.Фишера на 5% уровне значимости при $n-1$ показывает, что между ними имеются несущественные различия, так как $F_{\text{факт}} < F_{\text{расч}}$. По результатам дисперсионного анализа, расчеты промывных норм по зависимостям В.Р.Волобуева и С.Ф.Аве-

равенств с полученными параметрами α , D , V является приемлемым для условий Чуйской долины и могут быть рекомендованы для практического применения.

ВЫВОДЫ

1. Расчет промывных норм для средне- и тяжелоуглефицированных сероземно-луговых почв сульфатного типа засоления Северного Киргизии рекомендуется производить:

- по эмпирической формуле В.Р. Волобуева с использованием уточненных для Чуйской долины коэффициентов засоленности α ; - по теоретической зависимости С.Ф. Аверьянова с применением для этих же условий параметром переноса солей D .

2. Результаты исследований позволяют установить различие в промывных нормах при разных скоростях фильтрации. Эти данные могут быть использованы для установления зависимости промывных норм от скорости фильтрации.

ЛИТЕРАТУРА

1. Волобуев В.Р. О промывных нормах при мелнировании засоленных земель. "Гидротехника и мелиорация", 1959, № 12.
2. Панин П.С. Процессы засоленности в промываемых гольцах почв. Новосибирск, "Наука", 1968.
3. Аверьянов С.Ф. Некоторые вопросы предупреждения засоления орошаемых земель и меры борьбы с ним в Евразийской части СССР. В кн.: "Орошаемое земледелие в европейской части СССР", М., "Колос", 1970, с. 90-101.
4. Инструкции по проектированию оросительных систем. Ч. III. Дренаж на орошаемых землях, ВСН-П-74, М., Мелик СССР, 1975, с. 275.
5. Волобуев В.Р. Расчет промывки засоленных почв, М., "Колос", 1975, с. 70.
6. Посюбие по расчету горизонтального дренажа при освоении земель в рисовом севообороте. М., "Колос", 1972, с. 72.
7. Харитонов Б.К. Некоторые итоги промывки засоленных земель на фоне закрытого горизонтального дренажа с применением временного в условиях Чуйской долины. В сб.: "Вопросы вод-

- ного хозяйства", вып. 13, Фрунзе, "Кыргызстан", 1970, с. 26-40.
8. Лукин И.К., Саипа Г.М., Харитонов Б.К. Промывка засоленных земель сульфатного типа с повышенным содержанием гипса в северо-западной части Чуйской долины. В сб.: "Вопросы водного хозяйства", вып. 29, Фрунзе, "Кыргызстан", 1974, с. 50-73.
9. Якубов К., Белоусов О.М., Икономов Д.А. О величине промывных норм в условиях химически засоленных почв. Труды САНИИГи (мелиорация земель), вып. 132, Ташкент, 1971.
10. Безливанч Н.И., Панкова Е.И. Методические указания по учету засоленных почв. М., Гипроводхоз, 1968, с. 92.
11. Лукин И.К., Госсю Л.К. Величине водохозяйственных мероприятий на расчетные величине дренажного модуля и междурядных расстояний. В сб.: "Вопросы водного хозяйства", вып. 29, Фрунзе, "Кыргызстан", 1974, с. 20-32.
12. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта. М., "Колос", 1973, с. 336.

ВЕЛИЧИНА СКОРОСТИ ФИЛЬТРАЦИИ НА ПРОМЫВНЫЕ НОРМЫ (НА ПРИМЕРЕ ОПЫТНЫХ ПРОМЫВОК В ЧУЙСКОЙ ДОЛИНЕ)

Л.К. Госсю

В Чуйской долине, начиная с 1966 г. и по настоящее время, накоплен некоторый опыт по изучению эффективности промывки с учетом работы дренажа в условиях напорных вод. За этот период наши исследования такие вопросы, как:

- проектирование и технология промывки с применением временного дренажа [1, 2];
- соотношение между глубиной дрена и междурядий при промывке засоленных земель [3];
- эффективность раскисления почвогрунтов в зависимости от параметров дренажа [4, 5, 7];

- гидродинамическая картина работы временного дренажа, динамика колебаний уровней грунтовых вод и пьезометрических напоров, динамика дренажного модуля [6].

В статье предусматривается установить количественную зависимость между промывными нормами и скоростью фильтрации на основе экспериментальных данных, полученных на опытных участках, с выявлением репрезентативности этих участков по условиям промывки. В теоретическом отношении это, в частности, дано в работе С.Ф.Аверьянова [8], а в работах [9,10] применительно к условиям Чуйской долины показано изменение промывной нормы в зависимости от создаваемой скорости фильтрации при прочих равных условиях. Например, расчетами в работе [9] показано, что при рассолении почвогрунтов при $S_n = 1\%$ по ΣTC до $S_0 = 0,3\%$ промывная норма составит 6,5 тыс. м³/га при скорости фильтрации около 3 см/сут и с уменьшением скорости фильтрации до 1 см/сут промывная норма увеличивается и составит 8,4 тыс. м³/га.

С целью установления репрезентативности опытных участков дается сравнение их по ряду признаков. К признакам участков по условиям до промывок отнесены: коэффициент фильтрации почвогрунтов, пористость почвогрунтов, содержание валового гипса, засоленность почвогрунтов; минерализация грунтовых вод, минерализация дренажных вод, глубина залегания грунтовых вод, степень дренированности почвогрунтов; расчетная скорость фильтрации.

Для каждого признака определялись статистические характеристики (пределы изменения признака, среднее арифметическое значение $\bar{X}$, среднее квадратическое отклонение σ_x , число точек n). Исследованиями, в частности, в работах [11,12,13], установлено, что большинство из перечисленных признаков подчиняется закону нормального распределения. Это позволяет вероятность совпадения одноименных признаков, определять по зависимости, приведенной в работе [14].

Участки промывки, которые сравниваются между собой, расположены на периферии подзоны слабого выклинивания и неглубокого залегания грунтовых вод. За эталон принят участок "Северный" в колхозе "Победа" Калининского района. Сравнение признаков (табл. I) показало следующее:

- вероятность совпадения по коэффициенту фильтрации почвогрунтов в слое 0-300 см довольно высокая и составляет 0,85-0,92;

Характеристика ошпных участков засоленных земель до и после
промывок на фоне временного дренажа*

Таблица I

Показатели (признаки)	Ед. изм	Колхоз "Победа", 1966-1967 гг.						Колхоз			"Коминтерн" по рядам чеков, 1969г.						Колхоз им.Ильича, 1971 г.			Совхоз "Чалдовар", 1969 г.					
		Этапон "Северный"			Южный - 2			УИ- 3			ХИ- 4			ХИХ - 5			3 полоса - 6			на фоне вертикаль- ного дренажа - 7					
		пределы	$\bar{X}$	σ_x	пределы	$\bar{X}$	σ_x	пределы	$\bar{X}$	σ_x	пределы	$\bar{X}$	σ_x	пределы	$\bar{X}$	σ_x	пределы	$\bar{X}$	σ_x	пределы	$\bar{X}$	σ_x			
До промывок																									
K_e , 0-300 см	%/см	0,2-2,8	1,1	0,6	0,2-2,8	1,1	0,6	0,1-1,1	0,5	0,3	0,1-1,1	0,5	0,3	0,1-1,1	0,5	0,3	0,3-2,7	1,1	0,8	0,8-2,1	1,4	0,5			
Пористость, 0-100 см	%	44,5-57,7	50,6	3,8	44,5-57,7	50,6	3,8	42,3-53,3	49,6	4,4	42,3-53,3	49,6	4,4	42,3-53,3	49,6	4,4	40,5-49,1	44,3	4,8	43,3-54,1	49,7	4,0			
Гипс, 0-100 см	%	0,3-22,0	5,1	9,4	0,3-22,0	5,1	9,4	2,9-30,7	13,4	11,3	2,9-30,7	13,4	11,3	2,9-30,7	13,4	11,3	0,0-0,5	0,1	0,1	0,5-30,4	12,1	15,6			
S_H , 0-100 см	%	0,0-0,6	0,3	0,2	0,2-0,7	0,5	0,1	0,4-1,1	0,8	0,2	0,1-0,9	0,7	0,2	0,6-1,2	1,0	0,1	0,3-1,8	0,8	0,5	0,4-1,0	0,6	0,2			
Минерализации грунт.вод	г/л	3,2-23,8	7,8	6,3	2,8-23,0	9,0	7,3	5,5-12,7	9,0	2,7	2,6-19,9	9,4	4,9	1,0-8,0	4,2	2,1	1,9-19,4	6,4	6,2	6,6-28,4	14,5	8,8			
Минерализации дрен.вод	г/л	2,0-2,2	2,1	0,2	2,1-2,3	2,2	0,1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-			
УГВ	м	2,1-3,6	2,7	0,4	1,2-2,5	-	-	2,1-2,7	2,3	0,1	2,2-2,7	2,4	0,1	2,3-2,5	2,4	0,0	3,0-3,5	3,3	0,2	2,0-3,4	2,9	0,4			
Дренажность, $\frac{B}{L}$		$\frac{50}{1,75} = 28,56$			$\frac{25}{0,8} = 31,3$						$\frac{25}{0,8} = 31,3$			$\frac{25}{0,8} = 31,3$			$\frac{50}{1} + \text{верт.дрен-наж}$								
После промывок																									
Промывная норма нетто	г/м ²	3,3-4,1	3,7	-	3,9-4,8	4,3	-	-	4,4	-	-	4,3	-	-	4,6	-	5,0-5,2	5,1	-	3,0-4,0	3,5	-			
Скорость фильтрации**	см/сут	-	2,0	-	-	1,8	-	-	1,9	-	-	1,9	-	-	1,9	-	-	1,9	-	-	1,1	-			
S_H , 0 - 100 см	%	0,0-0,2	0,1	0,1	0,1-0,3	0,2	0,1	0,2-0,5	0,4	0,1	0,2-0,7	0,3	0,1	0,2-0,6	0,3	0,1	0,1-0,7	0,3	0,4	0,1-0,5	0,2	0,1			
Минерализации грунт.вод	г/л	3,5-26,3	9,9	-	2,7-21,8	5,8	6,0	5,0-27,6	13,0	12,7	6,1-22,0	11,7	6,8	5,6-20,9	12,6	7,4	2,5-35,1	11,1	12,2	3,9-13,7	9,6	3,2			
Минерализация воды	г/л	3,3-11,3	7,1	2,3	3,4-9,4	5,5	1,5	6,6-19,9	10,5	2,5	6,5-17,0	10,7	3,1	10,9-25,7	20,4	4,4	-	-	-	10,1-20,2	14,6	4,4			
Расчетные формулы	г/см ²	$q = (0,458h - 0,051) \cdot \frac{K}{B}$												$q = (0,715h + 0,069) \cdot \frac{K}{B}$						$q = (0,458h - 0,051) \cdot \frac{K}{B}$					

Примечания. * Исходные данные для статобработки взяты из работ [7, 15, 16].

** Скорость фильтрации учитывалась суммарно по взаимодействию дрен постоянных и временных, за исключением участка в совхозе "Чалдовар", где действовал вертикальный дренаж и его роль не выяснена.
Все данные приведены с точностью до первого знака после запятой.

– пористость почвогрунтов в слое 0–100 см для всех участков очень близка между собой, за исключением участка в колхозе им.Ильича при $P_i = 0,48$;

– содержание валового гипса в слое 0–100 см наиболее резко отличается по участку в колхозе им.Ильича при $P_i = 0,14$;

– засоленность почвогрунтов по сумме токсичных солей в слое 0–100 см неодинакова, при этом высокая вероятность совпадения имеет место в колхозе "Победа "(Южный)" $P_i = 0,73$ и самая низкая – по IУ и XIX рядам чеков в колхозе "Коминтерн" $P_i = 0,11 - 0,25$;

– минерализация грунтовых вод наиболее близка по XI ряду чеков в колхозе "Коминтерн" с $P_i = 0,97$ и более отличается по полосе 3 в колхозе им.Ильича $P_i = 0,59$;

– минерализация дренажных вод в постоянных дренах представлена по трем участкам; резкого различия не наблюдается;

– глубина залегания грунтовых вод на начало промывок везде одинакова; вероятность совпадения приближается к I ;

– степень дренированности почвогрунтов на участках промывки, определяемая отношением расстояния между дренами к глубине их залегания, составляет 28,56 – 31,3 ; следует обратить внимание, что на полосе 3 в колхозе им.Ильича тоже были нарезаны временные дренаы глубиной 0,7–0,9 м с расстоянием 25 м, затем на них были устроены перемычки и хотя дренаы работали, но сток не был обеспечен ;

– расчетная скорость фильтрации, определяемая по формулам, приведенным в табл.1, в зависимости от параметров дренажа и коэффициента фильтрации почвогрунтов составляет 1,18 – 2,09 см/сут (при среднеарифметическом значении $\bar{K}_ф$) .

Сравнение участков по условиям до промывок показывает, что они имеют различия. Однако при выделении главных признаков [II] , к которым относятся, в первую очередь, коэффициент фильтрации почвогрунтов, дренированность и скорость фильтрации , участки можно считать достаточно репрезентативными.

После проведения промывок существенно изменились засоленность почвогрунтов, минерализация грунтовых и дренажных вод. При этом для большинства участков минерализация грунтовых вод

до промывок и дренажных вод вод временных дренах оказалась очень близка между собой, исключение составили участки "Линий" в колхозе " Победа" и XIX ряд чеков в колхозе " Коминтерн" (табл. I). Скорости фильтрации для большинства опытных участков существенно не отличаются друг от друга, за исключением участка в совхозе " Чалдовар", где не выяснена роль вертикального дренажа. Поэтому возможно определение параметра α к формуле В.Р.Волобуева на основании представленных опытных данных (табл. 2) .

Таблица 2

Определение параметра α к формуле В.Р.Волобуева по опытным данным в зависимости от скорости фильтрации

Но- мер учас- тков	Засоление, % ΣTC			V, см/сут	N, м	$\lg \frac{S_n}{S_k}$	$\alpha = \frac{N}{\lg \frac{S_n}{S_k}}$	$N = 1,223 \lg \frac{S_n}{S_k}$	$\frac{N_{факт}}{N_{форм}}$
	S_n	S_k	$\frac{S_n}{S_k}$						
1	0,370	0,152	2,43	2,09	0,3724	0,386	0,965	0,472	0,79
2	0,519	0,236	2,20	1,82	0,4360	0,342	1,275	0,418	1,05
3	0,829	0,402	2,06	1,93	0,4440	0,314	1,415	0,384	1,16
4	0,736	0,377	1,96	1,93	0,4340	0,292	1,485	0,357	1,21
5	0,998	0,366	2,97	1,93	0,4630	0,473	0,980	0,577	0,80
6	0,831	0,313	2,66	1,97	0,5150	0,424	1,220	0,518	0,99
7	0,629	0,260	2,42	1,18*	0,3547	0,384	0,925*	-	-
Среднее				1,945			1,223		

* При определении средних значений V и α этот участок не учитывался.

Как видно из табл. 2, в среднем для опытных участков получено $V = 1,945$ см/сут и $\alpha = 1,223$.

Сопоставление фактических промывных норм с расчетными по формуле В.Р.Волобуева при $\alpha = 1,223$ показало, что расхождение составило 1-21% (см. табл. 2, последняя графа) . Это вполне достаточно для практики и является определенным уточнением к табл. 6 работы [17] .

ВЫВОДЫ И ПРЕДЛОЖЕНИЯ

Установлено значение параметра α к формуле В.Р.Волобуева во взаимосвязи со скоростью фильтрации промывной воды для почв сульфатного засоления.

Необходимы дальнейшие исследования по выявлению зависимости показателя солеотдачи α от скорости фильтрации.

ЛИТЕРАТУРА

1. Рекомендации по проектированию и технологии промывок на фоне горизонтального дренажа с применением временного в условиях Чуйской впадины. ММИВХ КиргССР, КирНИИВХ, Фрунзе, 1969, с. 33 .
2. Дуинов И.К. Некоторые вопросы проектирования и выполнения промывок с применением временного дренажа. В сб.: "Вопросы водного хозяйства" (Промывки, дренаж), вып. 13, Фрунзе, "Киргизстан", 1970, с. 3-25 .
3. Дуинов И.К. О соотношениях между глубинами дрен и междурений при промывках засоленных земель. В сб.: "Вопросы водного хозяйства" (Мелиорация), вып. 24, Фрунзе, "Киргизстан", 1972, с. 42-46 .
4. Дуинов И.К., Харитонов Б.К. О промывках засоленных почв сульфатного типа в Чуйской долине. В сб.: "Вопросы водного хозяйства" (Мелиорация и водный баланс орошаемых земель), вып. 19, Фрунзе, "Киргизстан", 1972, с. 4-13 .
5. Харитонов Б.К. Некоторые итоги промывок засоленных земель на фоне закрытого горизонтального дренажа с применением временного в условиях Чуйской долины. В сб.: "Вопросы водного хозяйства" (Промывки, дренаж), вып. 13, Фрунзе, "Киргизстан", 1970, с. 26-40 .
6. Дуинов И.К., Госсу Л.К., Харитонов Б.К. О работе временного дренажа при промывках засоленных земель Чуйской долины. В сб.: "Вопросы водного хозяйства" (Мелиорация и водный баланс орошаемых земель), вып. 19, Фрунзе, "Киргизстан", 1972, с. 14-21 .
7. Дуинов И.К., Саипа Г.М., Харитонов Б.К. Промывки засоленных

земель сульфатного типа с повышенным содержанием гипса в северо-западной части Чуйской впадины. В сб.: "Вопросы водного хозяйства" (Мелиорация), вып. 29, Фрунзе, "Кыргызстан", 1974, с. 50-73.

8. Аверьянов С.Ф. Некоторые вопросы предупреждения засоления орошаемых земель и меры борьбы с ним в европейской части СССР. В кн.: "Орошаемое земледелие в европейской части СССР", "Колос", М., 1965, с. 90-101.
9. Госсу Л.К., Харитонов Б.К. К вопросу интенсификации промывок. В сб.: "Вопросы водного хозяйства" (Мелиорация), вып. 36, Фрунзе, "Кыргызстан", 1976, с. 106-110.
10. Методические рекомендации по расчету и технико-экономическому обоснованию промывок засоленных земель в условиях напорных вод Чуйской впадины. ММИВХ КиргССР, Фрунзе, ВНИИКАМС, 1976, с. 49.
11. Шабанов В.В., Рудаченко Е.П. Типизация объектов сельскохозяйственных мелиораций. "Вестник сельскохозяйственной науки", 1971, № 1, с. 87-90.
12. Айдаров И.П., Симонов В.М., Башкашвили Г.Ш. Методика обоснования расчетных запасов в почвогрунтах при проектировании промывок засоленных земель. В сб.: "Вопросы гидромелиорации в Грузии", вып. 2, М., 1974, с. 7-17.
13. Госсу Л.К., Дукинова Е.А., Сироха В.П. Оценка динамики засоленности почвогрунтов, глубины залегания и минерализации грунтовых вод методом статистического анализа. В сб.: "Вопросы водного хозяйства" (Мелиорация), вып. 38, Фрунзе, ВНИО "Совхозавтоматика", 1977, с. 149-156.
14. Вентцель Е.С. Теория вероятностей, М., "Наука", 1969, с. 576.
15. Исследование методов рассоления почвогрунтов в Чуйской долине (опреснительный режим орошения культур-освоителей, рассоление через посевы риса, промывка напуском по полосам, промывка на фоне временного дренажа) по объекту реконструкция коллекторно-дренажной сети в колхозе им. Энгельса Московского района. (Отчет, промежуточный этап), рук. темы и ответ. исполнитель Шеслер Е.Г., Фрунзе, ВНИИКАМС, 1975.

16. Исследование методов рассоления почвогрунтов в Чуйской долине по объекту "Реконструкция коллекторно-дренажной сети в колхозе "Красный Октябрь" Московского района". (Отчет по теме 03-Д-4). Рук. темы и ответ. исполнитель Шеслер Е.Г., инв. № 1002, Фрунзе, ВНИИКАМС, 1972.
17. Инструкция по проектированию оросительных систем. Часть УШ. Дренаж на орошаемых землях. ВСН-П-8-74 М., ММИВХ СССР, 1975, с. 274.

ДИНАМИКА ВОДНОГО БАЛАНСА ОЗЕРА ИССЫК-КУЛЬ ПРИ СОВРЕМЕННОМ СОСТОЯНИИ ОРОШЕНИЯ И НА ПЕРСПЕКТИВУ

М.И. Каплинский, М.И. Косухина

Внимание, уделяемое озеру Иссык-Куль, объясняется тем, что Иссык-Кульская область является одним из важнейших орошаемых районов республики и в то же время, согласно решениям XXV съезда КПСС, должна быть превращена во всесоюзную здравницу.

Выполненные нами исследования позволили определить динамику водного баланса, баланса подземных вод, их динамические ресурсы и возможности использования на различных этапах развития орошения, дать прогноз водного баланса озера и колебаний его уровня [1-6]. Особенность этих работ в том, что в соответствии с разработанной методикой в них водный баланс самого озера увязывался с водным балансом бассейна в целом и зон формирования и рассеивания поверхностного стока.

При этом каждая статья этих балансов определялась различными способами, с установлением предельно возможных максимальных и минимальных размеров ее на различные этапы развития орошения в среднегодовом разрезе, а для современного состояния орошения - в среднегодовом и даже месячном разрезе (за отдельные годы). Это требовало выполнения многочисленных трудоемких работ по обработке и анализу материалов служб

эксплуатации Минводхоза Киргизской ССР, УГМС, гидрогеологической службы, опытных станций, а также проектных организаций и опубликованных материалов [9-11].

Данная статья освещает, в основном, динамику водного баланса озера за 1946-1965 гг. С внесением некоторых уточнений используется один из вариантов расчетов, выполненных в работах [5,6].

Для расчетов использовано уравнение водного баланса озера [14], приспособленное для реальных условий Иссык-Куля [7].

Для среднееголетних условий принято

$$\Delta h = \Pi_{\text{поф}} + \Pi_{\text{пог}} + A - И, \quad (1)$$

где Δh - разность в уровнях воды в озере на конец h_k и начало h_n расчетного периода $\Delta h = h_k - h_n$; при этом изменением площади акватории озера за расчетный период пренебрегаем;

$\Pi_{\text{поф}}$ - поверхностный приток в озеро по всем водотокам;

$\Pi_{\text{пог}}$ - подземный приток в озеро;

A - атмосферные осадки;

$И$ - испарение с водной поверхности озера.

При определенных допущениях [7] уравнение (1) приводится к виду:

$$\Delta h = Q_p + A - И - Q_2 \cdot \eta_c, \quad (2)$$

где Q_p - поверхностный приток из зоны формирования в зону рассеивания стока (включая и подрусловый приток);

Q_2 - головной водозабор из рек;

η_c - КПД сети системы.

При определении $\Pi_{\text{пог}}$, как обычно, принималось, что соответственно $\Delta W = 0$ и $\Delta W_{\text{зр}} = \mu \cdot \Delta h_{\text{зр}} = 0$. Действительно, среднее значение по имевшейся сети скважин изменения уровня грунтовых вод за 1946-1965 гг. $\Delta h_{\text{зр}} = -75$ мм (т.е. произошла сработка подземных вод), что при площади зоны рассеивания 434720 га и коэффициенте водоотдачи $\mu = 0,25$ дает увеличение $\Pi_{\text{пог}}$ всего на 2,58 м³/с или на $\Delta h_{\text{зр}} = 13,2$ мм (1 мм при площади акватории озера 6206 км соответствует 0,197 м³/с) это лежит в пределах точности расчетов.

В табл. I даны значения $\Delta h_{\text{зр}}$ по годам. Распространение данных такого ограниченного числа скважин на всю площадь весьма условно. Это дает лишь представление о возможных ошибках, вносимых в расчет водного баланса за годовой период (с I/I по 31/XII) при допущении $\Delta h_{\text{зр}} = 0$. При $\Delta h_{\text{зр}} > 0$, т.е. при увеличении запасов подземных вод в зоне рассеивания приток в озеро уменьшается на такую же величину.

Максимальное положительное значение $\Delta h_{\text{зр}} = 610$ мм - 21,04 м³/с (1948 г.), а отрицательное 620 мм - 21,4 м³/с (1955 г.) или в переводе на площадь акватории озера - 106,5 мм и + 108,8 мм (табл. I).

Как видно, величина $\Delta h_{\text{зр}}$ мала по сравнению с суммой приходных или расходных статей баланса, но она имеет такой же порядок, что и водный баланс (ежегодное изменение уровней) самого озера. Правда, величина $\mu = 0,25$ для всей зоны рассеивания сильно завышена, но из приведенных данных видно, что в принципе для годовых балансов учет $\Delta h_{\text{зр}}$ необходим.

Учитывая недостаточность и приближенность имеющихся данных, расчет водного баланса озера за годовой период в табл. 2 дан также при $\Delta h_{\text{зр}} = 0$. Очевидно, что при учете $\Delta h_{\text{зр}}$ соответственно изменятся $\Pi_{\text{пог}}$ и невязка баланса.

Расчеты сделаны в двух вариантах. В первом, согласно [14,26], испарение определено по формуле ГТИ, а во втором по формуле

Н.Н.Иванова (для сравнения). Анализируя данные табл. 2, надо отметить следующее.

I. $\Pi_{\text{пог}}$ в годовом разрезе определена только за 1960-1965 гг. За 1946-1959 гг. ввиду отсутствия необходимых данных за каждый год $\Pi_{\text{пог}}$ принята одинаковой, равной среднееголетней величине, определенной по балансу грунтовых вод при принятых в работе [8] допущениях.

Определение среднееголетней величины $\Pi_{\text{пог}}$ по балансу грунтовых вод на различные этапы развития орошения показало малую его изменчивость. Так, если на уровень 1946-1959 гг. ($F_{\text{ор}} = 123500$ га, $\eta = 0,272$) $\Pi_{\text{пог}} = 62,3$ м³/с, то на перспективу ($F_{\text{ор}} = 257000$ га, $\eta = 0,535$) - 56,0 м³/с [22,23], где η - КПД системы (сеть + поле), равный произведению КПД техники полива на КПД сети системы.

Таблица I

Годовые изменения уровней грунтовых вод $\Delta h_{гп}$ и их притока в озеро $\Delta h'_{гп}$

Год	Количество скважин, шт.	$\Delta h_{гп}$, мм	$\Delta W_{гп}$, м ³ /с	$\Delta h'_{гп}$, мм
1948	5	610	21,0	- 106,5
1949	7	- 70	- 2,4	12,2
1950	8	- 40	- 1,4	7,2
1951	9	- 50	- 1,7	8,6
1952	9	60	2,1	- 10,5
1953	8	-170	- 5,9	30,2
1954	8	200	6,9	- 35,1
1955	9	-620	-21,4	108,8
1956	9	300	10,4	- 52,9
1957	9	-260	- 9,0	45,8
1958	11	140	4,8	- 24,4
1959	12	-320	-11,0	56,0
1960	17	180	6,2	31,5
1961	16	-350	-12,1	61,8
1962	15	160	5,5	- 28,0
1963	14	30	1,0	- 5,1
1964	13	-130	- 4,5	23,0
1965	13	-180	- 6,2	31,6
Среднее многолет.		-30	- 1,0	5,0

Примечание. $\Delta h'_{гп} > 0$ означает соответствующее увеличение, $\Delta h'_{гп} < 0$ — уменьшение притока подземных вод в озеро.

Объясняется это тем, что при определенных соотношениях КИД и орошаемых площадей уменьшение питания подземных вод за счет потерь в сети на полях компенсируется увеличением фильтра-

ционных потерь в руслах рек. В общем виде это показано в работе [24] и подтверждено расчетами, выполненными за 1946–1965 гг. по зависимости

$$P_{пог} = Q_2(1 - \eta_c) + \Phi_p \quad (3)$$

вытекающей из допущений, принятых в работе [7] в уравнения (2), и дающей максимальный верхний предел $P_{пог}$ (без учета $\Delta h'_{гп}$). При этом

$$P_{поб} = Q_p - Q_2 - \Phi, \quad (4)$$

дает нижний предел поступлений поверхностных вод в озеро. Отметим, что по зависимости (3) $P_{пог} = 58,30 - 76,30$ м³/с при средней величине за 1946–1965 гг. 66,13 м³/с (340 мм). Как видим, разница получается в пределах 28% при отклонении от среднего на 13–15%; ясно, что учет $\Delta h'_{гп}$ заметно снизит колебания $P_{пог}$. $P_{поб}$ по (4) соответственно колеблется в пределах 28,72 – 50,78 м³/с при средней величине 38,53 м³/с (196 мм), некоторое отличие от данных табл. 2 объясняется характером допущений, принятых нами в [7].

Основная доля $P_{пог}$ падает на фильтрационные потери в руслах рек Φ_p . Величина их колеблется от 36,5 до 57,2 м³/с (в среднем 49,03 м³/с), что составляет 75% $P_{пог}$. Отсюда вытекает важность исследований по уточнению этого элемента баланса подземных вод. В то же время точность определения суммарного притока в озеро ($P_{поб} + P_{пог}$) сравнительно достаточна, колебания его лежат в пределах 91–118 м³/с и составляют около 2/3 от суммы приходных статей баланса. Это соответствует колебаниям речного стока за этот период 99–126 м³/с (коэффициент вариации 0,09).

По данным Киргизгипроводхоза [25], величина среднегодового речного стока Q_p получается несколько выше (118,2 м³/с) в основном за счет учета подруслового притока – 4,15 м³/с.

В наших расчетах [7] фигурирует и вариант (без учета подруслового притока) $Q_p = 120,5$ м³/с (610 мм). Разница получается за счет методики учета стока с неопослованных водосборов.

Водный баланс озера Иссык-Куль за 1946-1965 гг. при $\Delta h_p = 0$

Годы	В а р и а н т ы п о										Иванову (2)		Расходы, м/с	
	I (I)													
	П _{под}	А	П _{под}	Σ _{дожд}	U	Δh	Σ _{росы}	Н _{близк}	U	Σ _{росы}	Н	Q ₉	Q ₁	
I	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	
1946	190,0	161,5	303,0	654,5	723,6	-120,0	603,6	50,9	844,7	724,7	-70,2	113,23	25	
1947	29,1	24,7	46,2	100	119,9	-19,9	100	7,8	116,6	100	-10,7	100	22,1	
1948	192,5	227,0	303,0	722,5	675,8	-100	575,8	146,7	871,5	771,5	-49,0	99,69	25,0	
1949	26,7	31,5	41,8	100	117,4	17,4	100	20,3	112,9	100	-6,8	100	25,1	
1950	96,5	102,6	303,0	502,1	652,7	-32,0	332,7	169,4	856,8	538,8	-36,7	105,17	39,9	
1951	19,2	20,6	60,2	100	196,2	96,2	100	33,8	159,4	100	-7,3	100	37,9	
1952	97,0	260,0	303,0	660,0	615,9	20	635,9	24,1	742,8	762,8	-102,8	106,21	40,39	
1953	14,7	39,3	46,0	100	96,9	3,1	100	3,7	97,4	100	-15,5	100	38,0	
1954	229,5	218,4	303,0	750,9	704,5	-50	654,5	96,4	868,9	818,9	-68	120,16	22,11	
1955	30,5	29,1	40,4	100	107,6	7,6	100	12,8	106,1	100	-9,0	100	18,4	
1956	172,9	259,6	303,0	735,5	667,3	-30	657,3	78,2	824,4	794,4	-58,9	106,7	25,72	
1957	23,5	35,3	41,2	100	104,6	4,6	100	10,6	103,8	100	-8,0	100	24,1	
1958	218,3	234,1	303,0	755,4	707,3	-50	657,3	98,1	853,7	803,7	-48,3	123,33	26,09	
1959	28,9	31,0	40,1	100	107,6	7,6	100	13,0	106,2	100	-6,4	100	21,2	
1960	238,8	257,2	303,0	799,0	647,8	-10,0	637,8	161,2	833,6	623,6	-24,6	118,05	19,11	
1961	29,9	32,2	37,9	100	101,6	1,6	100	20,2	101,2	100	-3,1	100	16,2	

Продолжение таблицы 2

I	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
1954	167,7	294,6	303,0	765,3	688,6	-10	678,6	86,7	789,2	779,2	-13,9	105,72	26,09
1955	21,9	38,5	39,6	100	101,5	1,5	100	11,4	101,3	100	-1,8	100	24,7
1956	223,9	256,9	303,0	783,8	724,3	-20	704,3	79,5	879,4	859,4	-75,6	113,38	19,42
1957	28,6	32,8	38,6	100	102,8	2,8	100	10,2	102,3	100	-9,7	100	17,1
1958	288,3	325,2	303,0	916,5	679,0	180	859,0	57,5	867,7	1047,7	-131,2	133,06	17,66
1959	31,5	35,5	33,0	100	79,1	20,9	100	6,3	82,8	100	-14,3	100	13,3
1960	192,1	239,8	303,0	734,9	718,3	20,0	738,3	-3,4	818,2	838,2	-103,3	105,11	21,05
1961	26,1	32,6	41,3	100	97,3	2,7	100	-0,5	97,6	100	-14,1	100	20,0
1962	247,4	301,3	303,0	851,7	764,3	70	834,3	17,4	867,4	937,4	-85,7	112,45	14,26
1963	29,1	35,3	35,6	100	91,6	8,4	100	20,4	92,5	100	-10,1	100	12,7
1964	236,5	284,6	303,0	824,1	754,4	70,0	824,4	-0,3	888,0	958,0	-133,9	126,35	24,11
1965	28,7	34,6	36,7	100	91,5	8,5	100	-0,03	92,7	100	-16,3	100	19,1
1966	219,61	271,7	334,7	826,01	812,2	-90	722,2	103,8	897,0	807,0	19,01	116,8	23,3
1967	26,5	32,8	40,7	100	112,5	12,5	100	12,6	111,2	100	2,3	100	19,6
1968	172,36	263,3	318,5	754,16	812,7	-60	752,7	1,5	971,1	911,1	-156,94	112,2	28,94
1969	22,9	34,9	42,2	100	108,0	8,0	100	0,2	106,6	100	-20,8	100	25,8
1970	170,94	242,3	316,8	730,04	812,4	120,0	692,4	37,6	920,3	800,3	-70,26	111,0	26,51
1971	23,4	33,2	43,4	100	117,3	17,3	100	5,2	115,0	100	-9,6	100	25,7
1972	168,2	264,6	323,3	756,1	770,9	-50	720,9	35,2	940,0	890,0	-133,9	112,5	28,89
1973	22,3	35,0	42,7	100	106,9	6,9	100	4,6	105,6	100	-17,7	100	25,7
1974	187,76	277,6	347,1	812,46	756,1	0	756,1	56,4	809,2	809,2	3,26	119,7	30,07
1975	23,1	34,2	42,7	100	100	-	100	7,0	100	100	0,4	100	25,1

I	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
147,57	253,4	305,1	706,07	727,7	-70	657,7	48,4	914,9	844,9	-138,3	106,7	30,70	
1965	20,9	35,9	43,2	100	110,6	10,6	100,0	6,9	108,3	100	-19,6	100	28,8
Средн.	199,40	244,10	303,0	746,5	695,0	-250	670,0	76,5	845,0	818,0	-71,5	113,4	25,0
1946-	26,8	32,7	40,5	100	103,8	-3,8	100	10,2	103,4	100	9,6	100	28,8
1959	177,74	262,15	324,25	764,14	782,0	-6,5	717	47,14	908,75	843,70	-79,6	11348	28,57
1960-	23,3	34,4	42,3	100	109	-9,0	100	6,2	108	100	10,4	100	24,1
1965	192,89	249,78	309,38	752,05	721,8	-37,0	684,79	67,26	863,04	826,25	-74,0	11341	25,87
1946-	25,6	33,2	41,2	100	105,5	-5,5	100	8,9	104,5	100	-9,9	100	22,8

Примечание. 1 Для граф 2-14 верхний строка - в мм, нижний - в %.

2 В графах навязка в % дана к сумме приходных статей баланса.

3 Q_0 за 1948 г. принят по приближенным расчетам, так как данные УОС ($Q_0 = 57 \text{ мм}$) сомнительные.

2. Примерно 1/3 поступлений приходится на осадки (с колебанием по годам от 20 до 39%). Исправления на осадки не вносились, так как само распределение величины осадков по береговым станциям и дождемерным постам на акваторию озера вносит определенную неточность. По данным [25], поправка на осадки изменится по станциям от 7,2% ("Красный Октябрь") до 23,4% (ст. "Рибачье"); в среднем за 1946-1972 гг. 14,7% и расчетная величина осадков за этот период принята 294,5 мм. Коэффициент вариации для осадков по нашим расчетам 0,169.

3. Испарение с водной поверхности озера меняется от 615 до 812 мм (при среднем 722 мм по ГТИ) и от 742 до 940 мм (среднее за 1946-1965 гг. 863 мм по Иванову). Коэффициент вариации 0,07-0,08. На расчетную величину испарения (как и других элементов баланса [5]) влияет не только точность формулы, но и точность исходных данных к ним. Разница между средними значениями по ГТИ и Иванову составляет 20%.

4. Невязка баланса при определении испарения по вариантам составляет: по ГТИ в среднем всего 8,9% от суммы приходных статей, а по Иванову - 9,9%.

При этом по I-му варианту только один год из двенадцати невязка составляет 34%, три года на уровне - 20, шесть лет - 10-13, пять лет 5-8 и пять лет меньше 5%.

По 2-му варианту невязка получается с отрицательным знаком - один год 20,8%, четыре года - 15-20%, два года - около 10%, семь лет - 5-10, три года - меньше 5 и один год - с положительным знаком 0,4%. Учитывая, что приходные статьи баланса по расчетам несколько занижены, можно считать, что 2-й вариант дает лучший результат. Это говорит о том, что величина невязки лежит в пределах точности определения отдельных элементов баланса, в частности, такого важного, как испарение. Приближенный учет $\Delta h_{\text{гр}}$ не вносит существенных изменений (за исключением 1948, 1955 и 1956 гг.), хотя и дает некоторое уменьшение невязки.

Для сравнения укажем, что в работе [7] даны следующие пределы колебаний среднесезонных размеров элементов водного баланса озера по уравнению (2):

$$\begin{aligned} Q_p &= 113 - 120,5 \text{ м}^3/\text{с} & (575 - 610 \text{ мм}) ; \\ \Delta &= 48,6 - 56,7 & \text{"} - \text{"} (248 - 239 \text{ мм}) ; \\ И &= 155 - 170 & \text{"} - \text{"} (787 - 864 \text{ мм}) . \end{aligned}$$

5. Некоторые авторы [12 и др.], анализируя режим колебания уровней воды в озере, считают, что он не связан с хозяйственной деятельностью и, в частности, с развитием орошения. Но такой вывод получается только потому, что все годы водозабор на орошение не превосходил $40 \text{ м}^3/\text{с}$ или 38% от суммарного (по опосредованным и непосредственным расходам рек (табл. 2), т.е. в среднем за 1946-1965 гг. $25,9 \text{ м}^3/\text{с}$ (22,8% от Q_p). При этом средний КПД системы (сеть + поле) находится на уровне 0,26, а КПД сети 0,32-0,34.

Таким образом, безвозвратное изъятие стока составило в среднем всего $6-9 \text{ м}^3/\text{с}$ (не больше 5-8% от Q_p). Иная картина получится при расширении орошаемых площадей. Как показано в работе [22], среднепогодная структура водного баланса при осуществлении водохозяйственных мер, намечавшихся на уровень 1980 г., сложится следующим образом (приводим один уязвимый вариант в мм):

$\Pi_{\text{пов}}$	- 133,1	$И$	- 789,6
Δ	- 249,8	Δh	- 159,3
$\Pi_{\text{поп}}$	- 247,4		
Итого:	630,3		630,3

Таким образом, среднепогодное снижение уровня за год получается порядка 160 мм.

6. Несмотря на то, что среднепогодная невязка баланса (табл. 2) незначительна, она сопоставима со средней величиной изменения уровня озера Δh . Это говорит о том, что без постановки комплексных балансовых исследований по определению элементов водного баланса на самом озере (определение Δ и $И$ по акватории озера) и в зоне рассеивания ($\Pi_{\text{пов}}$, $\Pi_{\text{поп}}$, а также $И_{\text{суши}}$), нельзя обеспечить достаточно точный прогноз режима колебаний уровня озера балансовыми и гидрологическими (вероятностными) способами. В конечном итоге, точность прог-

ноза определяется точностью исходных данных. В то же время это полностью оправдывает подход, принятый в работе [7], где на основании уравнения (2) выделено самостоятельное влияние водохозяйственных мер (член $Q_p \cdot \eta_c$) независимо от влияния естественных факторов. При этом величина снижения уровня соответствует безвозвратному изъятию стока на испарение.

При безвозвратном изъятии на орошение расхода $Q_{\text{нито}} = Q_p \cdot \eta_c = 30 \text{ м}^3/\text{с}$ среднегодовое снижение уровня составит 150 мм (только под влиянием орошения, независимо от изменения уровня под влиянием естественных факторов). В работе [7] показано, что в условиях Иссык-Кульской котловины изъятие стока на орошение можно считать безвозвратным, если испаряющаяся влага полностью уходит за пределы её воздушного бассейна, т.е. развитие орошения существенно не влияет на осадки и испарение. Отсюда следует необходимость изучения как влагообмена в воздушном бассейне, так и влияния развития орошения на осадки и испарение. При этом, если полученная величина снижения уровня под влиянием развития орошения завышена даже в 2-3 раза, вопрос о мерах по стабилизации уровня озера, учитывая его уникальное значение, остается весьма актуальным.

ЛИТЕРАТУРА

1. Возможности использования подземных вод Киргизии на орошение и другие нужды. Краткий отчет. М.И.Каплинский, Т.А.Воеводина, М.А.Ерошенко и др. ВНИИКАМС, Фрунзе, 1963.
2. Каплинский М.И., Ерошенко М.А. Основные направления хозяйственного использования вод района (Киргизской ССР). Раздел 7 к гл. XIV, вып. I. Справочники по водным ресурсам СССР. ВНИИКАМС, Фрунзе, 1965.
3. Возможности использования подземных вод Киргизии на орошение и другие нужды. Заключительный отчет. Раздел II, ч. II. М.И.Каплинский, А.С.Зюванов, ВНИИКАМС, Фрунзе, 1968.
4. Каплинский М.И., Тимченко Л.С. Возможности использования подземных вод Киргизии на орошение и другие нужды. Закл. отчет. Раздел II б, ч. II, Фрунзе, 1969.

5. Каплинский М.И., Тимченко Л.С. Водный баланс озера Иссык-Куль, ИНИКАМС, Фрунзе, 1969 .
6. Каплинский М.И., Тимченко Л.С., Косухина М.И. Прогноз изменений уровней воды в озере Иссык-Куль под влиянием водохозяйственных мероприятий, ИНИКАМС, 1971 .
7. Каплинский М.И. О влиянии водохозяйственных мероприятий на изменение уровня озера Иссык-Куль. Сб. "Вопросы водного хозяйства", вып.29.Фрунзе, "Киргизстан", 1974 .
8. Каплинский М.И., Тимченко Л.С. Водный баланс озера Иссык-Куль за многолетний период. Сб.трудов САГНИИПМИ, вып.50 (131), 1977 (в печати) .
9. Генеральная схема комплексного использования водных ресурсов Киргизии. Киргизгипроводхоз,Фрунзе, 1965 .
10. Проект (схема) районной планировки Иссык-Кульской котловины Киргизской ССР, т.П,Ш. Гл.инженерМергэйтис В.В.,гип Мокшенко А.Н., Киргизгипроводхоз,Фрунзе, 1965 .
11. Рамазан М.С. Некоторые особенности гидрологического режима и гидротехнической классификации рек Киргизии. Фрунзе, "Илим", 1960 .
12. Хейфец М.И. Анализ колебания озера Иссык-Куль в XX веке. Материалы по физической географии Иссык-Кульской котловины. Работы Тянь-Шаньской физико-географической станции. Вып.УП,Фрунзе, "Илим", 1967 .
13. Рязанцева З.А. и др. Климат Киргизской ССР, Фрунзе, 1965 .
14. Руководство по обработке и подготовке к печати материалов наблюдений на озерах и водохранилищах. Л.,Гидрометеиздат, 1957 .
15. Матвеев В.П. Гидрологические и гидрохимические исследования на Иссык-Куле в 1928 г. Труды киргизской комплексной экспедиции, вып.2, М.-Л., АН КиргССР, 1950 .
16. Озеро Иссык-Куль. Под ред. д-ра техн.наук И.В.Молчанова, Л.,Гидрометеиздат, 1946 .
17. Цигельная И.Д. Водный баланс озера Иссык-Куль. В сб.: "Материалы гляциологических исследований", вып.2. АН КиргССР, Фрунзе, 1960 .

18. Берг Л.С. Гидрологические исследования на Иссык-Куле. Изв.ИТИ, № 28, 1930 .
19. Берг Л.С. По озерам Сибири и Средней Азии. М., 1955 .
20. Большаков М.Н. О регулировании водного баланса и уровня озера Иссык-Куль. АН КиргССР, Фрунзе, "Илим", 1969 .
21. Кузнецов-Игамский Н.И. Бассейн озера Иссык-Куль как географическое целое. М., 1971 .
22. Каплинский М.И. Водный баланс орошаемых районов Киргизии. Труды Всесоюзного гидрологического съезда.Т.1У,2.,1976.
23. Каплинский М.И. Комплексное использование поверхностных и подземных вод межгорных впадин Киргизии. Труды ИКИД, Л., 1975 .
24. Каплинский М.И. Определение изменения динамических ресурсов подземных вод при проведении водохозяйственных мероприятий. Экспресс-информация ЦЕНТИ, серия I, вып.5, М., 1975 .
25. Сухоплов Т.А., Якиманский Ю.С. Пояснительная записка о результатах промежуточных водобалансовых расчетов по озеру Иссык-Куль (современное состояние). Киргизгипроводхоз, Фрунзе, 1974 .
26. Указания по расчету испарения с поверхности водоемов. Гидрометеиздат, Л., 1969 .

1. Каплинский М.И. Рациональные методы регулирования мелиоративного режима в условиях Чуйской впадины	3
2. Каплинский М.И. Основные показатели к технико-экономическому обоснованию побассейновых схем комплексного использования и охраны водных ресурсов	12
3. Тарасова А.А. К составлению гидро модели для двумерной в плане и однородной по вертикали области фильтрации	26
4. Каплинский М.И., Хан Т.Н. Влияние осреднения питания грунтовых вод на точность расчетов	36
5. Мурзакматов М.У., Тарасова А.А. К расчету притока (оттока) грунтовых вод по замеру УГВ в одной точке	47
6. Литвак Р.Г. Моделирование выклинивания в дренах и логов на ЭЦВМ (на примере центральной части Чуйской впадины)	53
7. Литвак Р.Г. К вопросу приведения многослойной водоносной толщи к двуслойному водоносному пласту	58
8. Мурзакматов М.У. К вопросу определения уровня воды на стенке скважины	61
9. Гессу Л.К. Определение коэффициента фильтрации почвогрунтов без построения линий равных напоров	65
10. Сабитов М.А. Расчет, основные параметры и технико-экономические показатели превентивного вертикального дренажа (Чуйская впадина)	69
11. Дукунов И.К. Составляющие скорости фильтрации при промывках, способы их определения и сравнительная эффективность промывок в различные периоды года	77
12. Дукунов И.К. О параметрах солеотдачи почвогрунтов и их зависимость от действующих факторов	85
13. Дукунов И.К. К расчету временного дренажа при коренных промывках засоленных земель в условиях напорных вод Чуйской впадины	88
14. Дукунов И.К., Харитонов Б.К. О значениях некоторых параметров при промывках сульфатно-засоленных сероземно-луговых почв Северной Киргизии	92

15. Гессу Л.К. Влияние скорости фильтрации на промывные нормы (на примере опытных промывок в Чуйской впадине)	97
16. Каплинский М.И., Косухина М.И. Динамика водного баланса озера Иссык-Куль при современном состоянии орошения и на перспективу	103
17. Рефераты	119

626.81/86(575.2)

Рациональные методы регулирования мелиоративного режима в условиях Чуйской впадины. Каплинский М.И. В сб.: "Вопросы водного хозяйства" (Мелиорация земель), вып.44, Фрунзе, ВНПО "Союзавтоматика", 1977, стр. 3-12

На основании анализа и обобщения материалов научных и проектных организаций применительно к основным зонам Чуйской впадины рекомендован комплекс мер по обеспечению рационального мелиоративного режима. Показана высокая экономическая эффективность всемерной интенсификации орошаемого земледелия на основе совершенных методов агротехники, орошения и эксплуатации.

Табл.2. Библ.16.

628.192:626.87

Основные показатели к технико-экономическому обоснованию побассейновых схем комплексного использования и охраны водных ресурсов. Каплинский М.И. В сб.: "Вопросы водного хозяйства" (Мелиорация земель), вып.44, Фрунзе, ВНПО "Союзавтоматика", 1977, стр. 12-26

Показаны основные задачи побассейновых схем, приведена система показателей для сравнительной оценки эффективности проектных решений, раскрывается содержание системного подхода. Даны зависимости, отражающие влияние коэффициента полезного действия системы на динамические ресурсы подземных вод, размер возвратных вод и дренажного стока. Приведены упрощенные зависимости для нормирования расчетного водопотребления и оросительных норм в зависимости от плановой урожайности.

Табл.3. Библ.5.

681.3:51.001.57] 551.49

К составлению гидромоделей для двухмерной в плане и однородной по вертикали области фильтрации. Тарасова А.А. В сб.: "Вопросы водного хозяйства" (Мелиорация земель), вып.44, Фрун-

зе, ВНПО "Союзводавтоматика", 1977, стр. 26-36 .

Приведены рекуррентные формулы для определения водопроводимости с проверкой для конкретных задач. Расчет по ним можно проводить вручную и с помощью ЭВМ. Для проверки формул приведены результаты определения водопроводимости для тестовой задачи.

Табл.3. Илл.2. Библ.1.

551.49

Влияние осреднения питания грунтовых вод на точность расчетов. Каплинский М.И., Хан Т.Н. В сб.: "Вопросы водного хозяйства" (Мелиорация земель), вып.44, Фрунзе, ВНПО "Союзводавтоматика", 1977, стр. 36-47

Приводятся результаты исследований по вопросу осреднения различных схем питания и его влияния на изменение уровней грунтовых вод на примере типового створа в условиях предгорной зоны Чуйской впадины. Приведены критерии, которые могут быть приняты для оценки точности осреднения. Показано, что осреднение питания во времени и по площади для ряда задач обеспечивает требуемую точность.

Табл. 4. Илл. 3. Библ.18.

551.49

К расчету притока (оттока) грунтовых вод по замеру УГВ в одной точке. Мурзакуматов М.У., Тарасова А.А. В сб.: "Вопросы водного хозяйства" (Мелиорация земель), вып.44, Фрунзе, ВНПО "Союзводавтоматика", 1977, стр. 47-53

Предлагается методика определения притока или оттока грунтовых вод по замеру УГВ в одной точке в одномерном случае. Составленный алгоритм и программа проверены на конкретной задаче. Отклонения в уровнях и расходах не превышают 10%.

Табл.2. Библ.7.

532.546(575.2)

Моделирование выклинивания в дрены и лога на ЭЦВМ (на примере центральной части Чуйской впадины). Литвак Р.Г. В сб.: "Вопросы водного хозяйства" (Мелиорация земель), вып.44, Фрунзе, ВНПО "Союзавтоматика", 1977, стр. 53-58

Предлагается методика учета выклинивания в дренаж и лога при моделировании фильтрационных потоков на больших территориях. Величина выклинивания предполагается зависимой от пьезометрического напора, размеров дрен, фильтрационных свойств покровного слоя и его толщины.

Табл.2. Илл.2. Библ.1.

532.546

К вопросу приведения многослойной водоносной толщи к двуслойному водоносному пласту. Литвак Р.Г. В сб.: "Вопросы водного хозяйства" (Мелиорация земель), вып.44, Фрунзе, ВНПО "Союзавтоматика", 1977, стр. 58-61

Предлагается методика приведения водоносной толщи под покровным слоем к одному водоносному горизонту. Приведение осуществляется так, чтобы напоры в приведенном и первом напорном горизонте были равны.

Илл.1

532.546.013.2

К вопросу определения уровня воды на стенке скважины. Мурзакматов М.У. В сб.: "Вопросы водного хозяйства" (Мелиорация земель), вып. 44, Фрунзе, ВНПО "Союзавтоматика", 1977, стр. 61-65

Выясняется возможность аппроксимации скважины уловой точкой в вариационно-разностном методе.

Табл.2. Библ.6.

Определение коэффициента фильтрации почвогрунтов без построения линий равных напоров. Госсу Л.К. В сб.: "Вопросы водного хозяйства" (Мелиорация земель), вып.44, Фрунзе, ВНПО "Союзавтоматика", 1977, стр.65-69

Предлагается метод определения коэффициента фильтрации почвогрунтов без построения линий равных напоров. Дана математическая модель к его определению. Доказана возможность применения этого метода при изысканиях для мелиоративных целей.

Табл.1. Библ.2.

626.862.4:631.62(575.2)

Расчет, основные параметры и технико-экономические показатели превентивного вертикального дренажа (Чуйская впадина КиргССР). Сабитов М.А. В сб.: "Вопросы водного хозяйства" (Мелиорация земель), вып.44, Фрунзе, ВНПО "Союзавтоматика", 1977, стр. 69-77

Дается методика расчета объема откачки основных параметров и технико-экономических показателей превентивного вертикального дренажа в условиях Чуйской впадины Киргизской ССР.

Табл.2. Библ.2.

532.546

Составляющие скорости фильтрации при промывках, способы их определения и сравнительная эффективность промывок в различные периоды года. Дуюнов И.К. В сб.: "Вопросы водного хозяйства" (Мелиорация земель), вып.44, Фрунзе, ВНПО "Союзавтоматика", 1977, стр.77-84

На основе анализа факторов, влияющих на эффективность промывок засоленных земель, даны составляющие скорости фильтрации, способы и зависимости для их определения, количественная характеристика сравнительной эффективности промывок в различные периоды года. Это позволит более обоснованно определять промывные нормы.

Илл.4. Библ.2.

631.413.3

О параметрах солеотдачи почвогрунтов и их зависимость от действующих факторов. Дуюнов И.К. В сб.: "Вопросы водного хозяйства" (Мелиорация земель), вып.44, ВНПО "Союзавтоматика", 1977, стр. 85-87

Даны ориентировочные значения параметров солеотдачи к расчетной формуле, полученной на основе одной из схем рассоления земель для случая, когда концентрация почвенного раствора устанавливается по запасу влаги в расчетном слое, равном ППВ, что позволяет определить промывные нормы в зависимости от скорости фильтрации.

Илл.1. Библ.3.

626.86(575.2)

К расчету временного дренажа при коренных промывках засоленных земель в условиях напорных вод Чуйской впадины. Дуюнов И.К. В сб.: "Вопросы водного хозяйства" (Мелиорация земель), вып.44, Фрунзе, ВНПО "Союзавтоматика", 1977, стр.88-91

На основе анализа различных схем промывок засоленных земель, гидродинамической картины работы дренажа (постоянного и временного), зависимостей дебита дрен от действующих факторов, профилей засоленности почвогрунтов рекомендована методика и даны зависимости для определения параметров временного дренажа при коренных промывках засоленных земель в условиях напорных вод Чуйской впадины.

Илл.2.

631.674.3/675.3(575.2)

О значениях некоторых параметров при промывках сульфатно-засоленных сероземно-луговых почв Северной Киргизии. Дуюнов И.К., Харитонов Б.К. В сб.: "Вопросы водного хозяйства" (Мелиорация земель), вып.44, Фрунзе, ВНПО "Союзавтоматика", 1977, стр. 92

Даны значения параметров α и D^* по зависимостям В.Р.Волобуева и С.Ф.Аверьянова на опытных участках колхозов "Победа" Калининского района и "Коминтерн" Московского района на фоне постоянного и временного дренажей.

Табл.2. Библ.12.

532.546(575.2)

Влияние скорости фильтрации на промывные нормы (на примере опытных промывок в Чуйской впадине). Госсу Л.К. В сб.: "Вопросы водного хозяйства" (Мелиорация земель), вып.44, Фрунзе, ВНПО "Союзавтоматика", 1977, стр. 97-103

На примере 7 опытных участков, где проводились промывки засоленных земель на фоне постоянного и временного дренажей, показана эффективность промывок за счет создания большей скорости фильтрации. Определено, что при скорости фильтрации $V = 1,945$ см/сут параметр α к формуле В.Р.Волобуева составляет 1,223 для почв сульфатного засоления.

Табл.2. Библ.17.

631.5

Динамика водного баланса озера Иссык-Куль при современном состоянии орошения и на перспективу. Каплинский М.И., Косухина М.И. В сб.: "Вопросы водного хозяйства" (Мелиорация земель), вып.44, Фрунзе, ВНПО "Союзавтоматика", 1977, стр. 103-115

На основе анализа балансовых расчетов, выполненных по разработанной М.И.Каплинским методике, даны пределы колебаний элемента водного баланса озера Иссык-Куль за 1946-65 гг. и на перспективу. Показано, что за расчетный период, когда безвозвратное изъятие стока на орошение составляло до 8% от стока рек, обнаружить его влияние на колебания уровней озера при современной точности балансовых расчетов невозможно. В перспективе, когда оно дойдет до 25%, увеличение интенсивности падения уровня воды в озере неизбежно, что требует разработки мер по его стабилизации.

Табл.2. Библ.26.

ВОПРОСЫ ВОДНОГО ХОЗЯЙСТВА
(Мелиорация земель)

Выпуск 44

Редактор Гурович Ф.С.
Технический редактор Бек Е.П.
Корректор Городницкая А.М.

Подписано к печати 19.XII.1977 г. Объем 8,25 печ.л.+6 вкл.
Уч.-изд.л. 7,1 Д 05234 Бумага 60x84 1/16
Цена 42 коп Тираж 500 Заказ 2317

Кантская городская типография