

06
КК-143

МИНИСТЕРСТВО НЕЛКОРАШИ И ВОДНОГО ХОЗЯЙСТВА КСР

ТРУДЫ
КАЗАХСКОГО
НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОГО
ИНСТИТУТА
ВОДНОГО ХОЗЯЙСТВА

ТОМ V

КАИНАР

Министерство мелиорации и водного хозяйства СССР

06
КК-143

Т Р У Д Ы
КАЗАХСКОГО
НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОГО
ИНСТИТУТА
ВОДНОГО ХОЗЯЙСТВА

Том V

ИЗДАТЕЛЬСТВО „КАЙНАР“
Алма-Ата 1970

06 + 081.6(06)

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:

З. Т. Беркалиев (главный редактор), *Ф. Н. Ким* (зам. главного редактора), *В. М. Петрунин*, *Г. В. Воропаев*, *И. М. Николаева*, *Н. В. Данильченко*, *В. Ф. Носенко*.

198862
Республиканская научная
сельскохозяйственная
БИБЛИОТЕКА

В пятом томе публикуются результаты научно-исследовательских работ, выполненных в последние годы сотрудниками Казахского научно-исследовательского института водного хозяйства (КазНИИВХ).

В книге содержатся ценные практические рекомендации по режимам орошения сельскохозяйственных культур, прогрессивным способам и технике полива, рациональному использованию водоземельных ресурсов для регулярного, лиманного и оазисного орошения. Некоторые статьи посвящены вопросам сельскохозяйственного водоснабжения и обводнения пастбищ, а также мелиорации засоленных земель.

Научные рекомендации, приведенные в этом томе, могут быть использованы в практике ведения орошаемого земледелия, проектирования и эксплуатации водохозяйственных сооружений.

Отзывы и замечания просим направлять по адресу: г. Джамбул, ул. Садовая, 6, КазНИИВХ.

З. Т. БЕРҚАЛИЕВ

**I. ОРОШЕНИЕ
И ТЕХНИКА ПОЛИВА**

МИНИСТЕРСТВО МЕЛИОРАЦИИ И ВОДНОГО ХОЗЯЙСТВА СССР
ТРУДЫ
КАЗАХСКОГО НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОГО ИНСТИТУТА
ВОДНОГО ХОЗЯЙСТВА

Том V

1969

В. Ф. НОСЕНКО, кандидат технических наук,
Р. А. ҚВАН, кандидат сельскохозяйственных наук

**ВЛИЯНИЕ ПРИЕМОВ ПОЛИВА СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ
КУЛЬТУР НА ВЕЛИЧИНУ ОРОСИТЕЛЬНЫХ
И ПОЛИВНЫХ НОРМ**

УДК 631.67

**НЕСООТВЕТСТВИЕ РЕКОМЕНДОВАННЫХ И ФАКТИЧЕСКИХ
ПОЛИВНЫХ РЕЖИМОВ**

Известно, что на урожай сельскохозяйственных культур влияет целый ряд факторов, в том числе плодородие почвы, уровень агротехнических мероприятий и др. В условиях орошаемого земледелия при прочих равных условиях урожайность в решающей степени зависит от поливов, их качества, сроков проведения в комплексе с другими агроприемами. Величину урожая сельскохозяйственных культур в зависимости от водного фактора предопределяет в основном поливной режим. Способы и техника полива должны соответствовать характеру культуры и давать возможность в течение всего вегетационного периода осуществлять поливы по заданным нормам при равномерном увлажнении почв. Правильное применение разработанных приемов полива позволяет добиться более полного приближения фактических поливных режимов к рекомендованным.

Сельскохозяйственной науке и практике известно несколько методов установления поливного режима сельскохозяйственных культур; можно выделить три основные: обобщение опыта передовиков; специальные полевые опыты; физические методы с использованием метеорологических данных.

Самым распространенным и достоверным способом обоснования рационального режима орошения сельскохозяйственных культур является метод полевого опыта, когда оптимальные показатели поливного режима устанавливаются путем изучения и сравнения различных вариантов. При этом наилучшим режимом орошения считается тот, который позволяет получить высокий урожай. Здесь можно выделить в основном три вида опытов: изучение заранее намеченных схем полива в различные периоды вегетации; изучение вариантов с различным уровнем увлажнения корнеобитаемого слоя почвы (по дефициту влаги в почве); изучение и установление кри-

тических величин физиологических показателей и морфологических признаков.

В последние годы получили распространение физические методы установления суммарного водопотребления сельскохозяйственных культур с последующими расчетами норм орошения, сроков и числа поливов. К ним следует отнести методы теплового баланса, градиентных наблюдений, турбулентной диффузии, дефицита испаряемости, лизиметрические и др.

Показатели поливного режима, установленные опытным путем на делянках и лизиметрах или рассчитанные по данным метеорологических наблюдений, зачастую не выдерживают необходимой производственной проверки на крупных массивах при различной поливной технике.

В практике орошения сложились явно недопустимые условия, когда плановые и фактические поливные режимы существенно разнятся между собой. Расхождение между рекомендованными и фактическими режимами орошения сельскохозяйственных культур обусловлено, с одной стороны, низкой культурой орошаемого земледелия и, с другой — несовершенством и неполнотой существующих рекомендаций по режимам орошения.

Действительно, оптимальные поливные режимы устанавливаются, как правило, на мелких делянках и не учитывают особенностей осуществления поливного режима при различных способах и технике полива на производственных массивах, а именно неизбежные потери воды, при поливах. По этому поводу Н. Т. Локтаев [2] отмечает, что «теория расчета режима орошения ограничена, если можно так выразиться, почвенно-агрономической стадией, не учитывает дополнительных факторов, определяющих фактический размер водопотребления на полях в производственных условиях (уклон, длина борозды, изменение водопроницаемости почв во времени) и применяемой техники орошения. Эти факторы сильно влияют на размер поливных норм и продолжительность межполивных периодов».

В зоне хлопководства фактические поливные нормы хлопчатника, по данным ряда авторов [2, 3], на 25—30% и даже 80—100% превышают рекомендованные. Отмечается несоответствие фактических и рекомендованных режимов орошения и в зоне свекловодства. В ряде передовых свеклосеющих хозяйств Казахстана и Киргизии [4, 6, 7] поливы осуществляются нормами, значительно большими, чем рекомендованные. Организационно-хозяйственные соображения вынуждают в некоторых колхозах и совхозах применять хозяйственно целесообразный поливной режим с завышенными поливными нормами (на 20—25% против рекомендованных) и уменьшенным числом поливов (на 1—2 полива).

В последние годы, основываясь на производственных данных, ряд крупных проектных институтов страны («Средазгипроводхло-

пок», «Средазгипроводхоз» и др.) начали применять в расчетах по плановому водопользованию и по проектированию оросительных систем повышенные поливные нормы и увеличенный гидромодуль.

Задача состоит в том, чтобы максимально приблизить разрабатываемые и фактические поливные и оросительные нормы с учетом объективно действующих факторов (неизбежные потери воды при осуществлении поливов в производственных условиях, неравномерное распределение поливных и оросительных норм на поливной площади) при современном уровне техники орошения. Это возможно при комплексной разработке взаимосвязанных показателей режима орошения и техники полива, а также при условии повсеместного осуществления поливов по заданным нормам на основе разработанных рекомендаций по величине элементов техники полива, установленных для характерных осредненных природно-хозяйственных условий отдельных орошаемых районов.

Проведение комплексных исследований с тем, чтобы установить показатели режима орошения и техники его осуществления, позволит исключить разноречивость в рекомендациях и создаст предпосылки для научно обоснованного планирования водопользования. Если же режим орошения устанавливается опытным путем на небольших участках или с помощью расчетов, то его показатели в обязательном порядке должны уточняться при производственной проверке на больших площадях с учетом существующей и перспективной техники поливов.

РАЦИОНАЛЬНАЯ ТЕХНИКА ПОЛИВА — ОСНОВА ПРИБЛИЖЕНИЯ ФАКТИЧЕСКИХ РЕЖИМОВ К РЕКОМЕНДОВАННЫМ

При дождевании величина элементов техники полива существенно влияет на равномерность увлажнения почвы и величину потерь воды на испарение во время полива. Интенсивность дождя является одним из важнейших показателей техники полива дождеванием. Чем больше интенсивность дождя, тем быстрее можно провести полив заданной поливной нормой. Однако увеличивать интенсивность дождя можно только до некоторого предела, который устанавливается требованием соответствия интенсивности дождя водопроницаемости почвы. Нарушение этого требования ведет к появлению луж и стоков с орошаемого участка, к неравномерному распределению воды на поле; все это снижает качество полива и отрицательно сказывается на полезном использовании оросительной воды.

Интенсивность дождя зависит главным образом от площади захвата дождем и расхода воды и определяется по формулам:

$$\text{при позиционном дождевании } i_{\text{ср}} = \frac{60 Q}{F};$$

$$\text{при прерывистом дождевании } i_{\text{ср}} = \frac{60 Q}{F'};$$

где Q — расход воды, л/сек.;

F — площадь захвата дождем в плане при позиционном дождевании, m^2 ;

F' — площадь бьефа (при дождевании в движении) или площадь круга (при дождевании вращающимися аппаратами), m^2 .

Вся поданная на поле в виде дождя вода должна впитаться в почву в месте ее выпадения. В противном случае почва увлажняется неравномерно. Пределом продолжительности дождевания принято считать момент стока воды с орошаемого поля. Небольшие лужицы, образующиеся до этого момента, оказывают слабое влияние на равномерность увлажнения почвы. Чем меньше интенсивность дождя, тем большую поливную норму можно внести за один прием. Однако при этом значительно возрастает продолжительность полива. Для предварительных расчетов интенсивности дождя, обеспечивающей сохранение структуры почвы, следует пользоваться для различных почв данными А. Н. Костякова, Моленаара, Грея и других исследователей (табл. 1).

Таблица 1

Допустимая интенсивность дождя, мм/мин

Механический состав почв	Рекомендации		
	Костякова	Моленаара	Грея
Тяжелые	0,1—0,2	0,125—0,165	0,084—0,21
Средние	0,2—0,3	0,21—0,31	0,21—0,32
Легкие	0,5—0,8	0,31—0,41	0,32—0,64

С интенсивностью дождевания связан и такой показатель полива, как глубина промачивания почвы. При прочих равных условиях меньшая интенсивность дождя ведет к большему промачиванию почвы. Небольшая глубина промачивания почв, достигаемая агрегатами ДДА-100М и установками КДУ-55М на почвах средней и низкой водопроницаемости, обусловлена сравнительно высокой интенсивностью их дождя. Глубина промачивания почвы уменьшается от полива к поливу и даже при поливных нормах $500-600 m^3/га$ не превышает $30-35 см$, а на повышенных отметках — $10-15 см$. Уменьшение глубины промачивания почвы, в свою очередь, существенно сказывается на увеличении потерь воды на испарение с поверхности почвы в первые дни после полива, достигающее обычно 30% объема воды, внесенной в почву при поливе.

Величина элементов техники полива (интенсивность дождя, крупность дождевых капель и др.) существенно влияет на величину потерь воды в воздухе во время полива. Опытами Казахского науч-

но-исследовательского института водного хозяйства установлено, что величина потерь воды при дождевании достигает 10—15%.

Таким образом, для решения вопроса о применимости дождевания в данных конкретных условиях и величине поливных и оросительных норм необходимо провести изучение элементов техники полива дождеванием с установлением глубины промачивания почв, времени до образования луж, потерь воды во время полива и в первые дни после полива. В большинстве же случаев внедрению дождевания в практику орошения в хозяйствах Казахстана не предшествует такое изучение, а это порождает многочисленные неудачи с использованием дождевальных машин и установок. Большой вред при этом наносит укоренившееся мнение о **значительной** экономии воды при дождевании по сравнению с качественным поверхностным поливом. При дождевании уменьшаются **только** потери на сброс и глубинную фильтрацию, потребные же оросительные нормы без учета этих потерь при дождевании должны быть даже выше, чем при поверхностных поливах ввиду необходимости расходования влаги при дождевании на создание микроклимата. По данным Казахского НИИ водного хозяйства, суммарное испарение при дождевании в летние месяцы на 15—20% выше, чем при поверхностном поливе.

Рекомендации по рациональной величине элементов техники бороздкового полива устанавливаются для отдельных орошаемых районов с учетом специфики природно-хозяйственных условий.

Таблица 2

Рекомендации по технике бороздкового полива в предгорьях Казахстана

Почвы	Уклоны дна борозды	Длина поливных борозд	Поливная струя, л/сек		
			постоянная	переменная	
				первоначальная	изменяющаяся
Сильной водопроницаемости (черноземы, каштановые, легкосуглинистые сероземы, легкосуглинистые и супесчаные)	0,001	80	0,7	0,7	0,7
	0,003	120	0,8	0,8	0,8
	0,006	100	0,5	0,6	0,4
	0,01	80	0,3	0,4	0,2
	0,03	60	0,1	0,2	0,1
	0,001	150	0,7	0,8	0,4
Средней водопроницаемости (каштановые, среднесуглинистые сероземы, луговые и сероземы, легкосуглинистые)	0,003	250	1,0	1,2	0,6
	0,006	200	0,6	0,8	0,4
	0,01	100	0,3	0,4	0,2
	0,03	80	0,1	0,2	0,1
	0,001	200	0,7	0,8	0,3
	0,003	300	1,0	1,2	0,4
Слабой водопроницаемости (сероземы тяжелосуглинистые, каштановые со цементированными карбонатными горизонтами)	0,006	250	0,6	0,7	0,3
	0,01	150	0,3	0,4	0,2
	0,03	100	0,1	0,2	0,1

Большинство из них выражают зависимость оптимальных (на основании опытов) величин элементов техники полива от водопроницаемости почв и уклонов дна борозд (табл. 2).

Рекомендации по величине элементов техники полива, в том числе и предложенные выше, разработаны для целых орошаемых районов. В них не учитываются сугубо местные условия, свойственные каждому полю того или иного хозяйства. Для их уточнения необходимо проводить так называемые пробные поливы на каждом участке.

Пробные, совмещенные с производственными, поливы позволяют проверить рекомендуемую величину элементов техники полива и добиться наибольшего приближения фактических поливных норм к расчетным. Проводить такие поливы могут агрономы и гидротехники хозяйств, а также сами поливальщики.

Оборудование для проведения пробных поливов очень простое: два металлических щитка для перекрытия борозд, один или три треугольных водослива, рулетки, ведра, мерный сосуд, часы или секундомер. Как показал опыт, с помощью этого оборудования можно осуществлять пробные поливы без особых затрат рабочего времени и с необходимой точностью.

Пробные поливы проводят с целью установления:

- а) водопроницаемости почв и необходимой продолжительности стояния воды на отрезке борозды при внесении заданной поливной нормы;
- б) оптимальной величины постоянной и переменной поливной струи;
- в) продолжительности полива заданной поливной нормой при известных значениях длины борозд и величины поливной струи;
- г) рациональной длины поливной борозды.

На практике очень большое значение имеет определение времени, в течение которого необходимо поддерживать воду в борозде для внесения в почву заданной поливной нормы. Задача может быть решена при проведении специального опыта на полуметровом или метровом отрезке борозды. Для этого на поливном участке выбирается типичный отрезок борозды, который отгораживается щитками. Расчетный объем воды, приходящийся на отрезок борозды, может быть легко подсчитан по формуле:

$$V = \frac{mb l_1}{10000},$$

- где V — расчетный объем, m^3 ;
 b — ширина междурядья, m ;
 l_1 — длина отрезка борозды, m ;
 m — поливная норма, $m^3/га$.

Необходимая продолжительность полива определяется временем впитывания расчетного объема воды при заданном наполнении борозды.

Проведя несколько пробных поливов на одном участке, можно установить, в какой зависимости находится величина необходимой продолжительности стояния воды от величины поливных норм. Эту же зависимость можно получить, проведя и один опыт, надо только фиксировать время внесения каждой порции воды. Проведение такого усложненного опыта значительно облегчается при использовании сосуда Мариотта, который автоматически поддерживает постоянный уровень и учитывает объем влитой в борозду воды во времени.

Средняя скорость впитывания в почву K_1 за первый час полива, а следовательно, и категория почв по водопроницаемости также устанавливается при проведении этого опыта. Необходимо только дополнительно замерить смоченную поверхность борозды x .

$$K_1 = \frac{V_1}{l_1 x},$$

где K_1 — средняя скорость впитывания воды в почву за первый час полива по бороздам, м/час;

V_1 — объем воды, впитавшейся в борозду за первый час, м³;

x — смоченный периметр борозды, м.

Величина поливной струи может быть найдена по величине времени добегаия воды до конца борозды и по заданной поливной норме. Опыт показывает, что наиболее удобно пользоваться поливной струей, норма добегаия которой составляет определенную n часть от расчетной и поливной нормы. В этом случае величина поливной струи может быть определена из условия:

$$q_0 = \frac{nmlb}{t_{\text{доб}}},$$

где q_0 — величина поливной струи, м³/час;

l — длина борозды, м;

$t_{\text{доб}}$ — продолжительность добегаия струи до конца борозды, час;

n — коэффициент, принимаемый равным 0,7—0,9;

m — поливная норма, м.

Для опытного определения величины поливной струи следует выбрать на поле 3—4 поливных борозды и отрегулировать водосливом подачу в них воды разными поливными струями, близкими к рекомендованным. По мере добегаия каждой струи до конца борозды следует фиксировать продолжительность и, пользуясь приведенным соотношением, подбирать оптимальную величину поливной струи. Поливая такой струей, можно добиться равномерного по длине борозды увлажнения почвы, не допуская при этом значительного сброса воды.

Опыт после добегаия струй до конца борозд можно продолжить и учесть величину сброса воды в конце борозды при осуществ-

лении полива по заданной поливной норме. Если сброс воды достигает значительных размеров, то полив следует проводить переменной поливной струей.

Благодаря пробным поливам можно осуществлять и выбор измененной поливной струи. Для этого надо с помощью водослива измерить установившийся сброс воды в конце борозды спустя 1,0—1,5 часа. Величина измененной струи $q_{из}$ устанавливается как разность между первоначальной струей q_0 и струей установившегося сброса воды q_c :

$$q_{из} = q_0 - q_c.$$

Предлагаемый способ установления величины измененной струи при поливе переменной струей позволяет резко уменьшить сброс воды при равномерном увлажнении почвы по длине борозды.

Пробные поливы для установления оптимальной величины поливной струи следует проводить 2—3 раза за вегетационный период и лучше всего — во время подготовки участка к производственному поливу или в первый день полива.

Продолжительность полива заданной поливной нормой при известных значениях длины борозды и величины поливной струи устанавливается при проведении опыта на одной или нескольких бороздах, оборудованных водомерными приспособлениями. Полив одной борозды или группы осуществляется заданной поливной струей. При добегании струи до конца борозд фиксируется продолжительность и подсчитываются норма добегания m_d и норма доувлажнения как разница между заданной поливной нормой и нормой добегания. Продолжая полив и учитывая через небольшие интервалы времени сброс воды в конце борозды, устанавливают продолжительность дополнительной подачи и продолжительность всего полива заданной поливной нормой:

$$T = \frac{mlb - q_{сб}t_{сб}}{q_0},$$

$$T_1 = t_{доб} + \frac{mlb - q_0t_{доб} - q_{сб}t_{сб}}{q_{из}},$$

где T — продолжительность полива постоянной поливной струей, час.;

T_1 — продолжительность полива переменной поливной струей, час.;

$t_{сб}$ — продолжительность сброса воды, час.;

$q_{сб}$ — расход сброса воды, средний за время $t_{сб}$, час.;

m — поливная норма, м.

Пробные поливы для определения продолжительности поливов следует проводить 2—3 раза в год для первого и последующих поливов.

Рациональная длина поливных борозд также может быть установлена с помощью пробных поливов. Так как длина поливных борозд, как правило, не изменяется за вегетационный период, то и устанавливаться она может один раз за сезон. Опыт рекомендуется проводить в следующей последовательности.

Пользуясь имеющимися рекомендациями по рациональной и предельной величине элементов техники полива и принимая во внимание конкретные условия поливного участка, выбирают несколько возможных длин поливных борозд. Затем на поле подготавливают три группы борозд различной длины и для каждой из длин устанавливают оптимальную струю с помощью пробного полива, описанного выше. В каждой из выделенных групп борозд полив продолжается только оптимальной поливной струей по одной борозде. Полив по бороздам различной длины осуществляют заданной поливной нормой. Продолжительность полива каждой из борозд определяют отдельно с помощью пробного полива. В конце полива проводят сравнение вариантов и выбор рациональной длины борозд. При прочих равных условиях предпочтение следует отдать варианту с наибольшей длиной поливной борозды, минимальной продолжительностью полива и добегаания, минимальным сбросом воды, отсутствием размыва почвы и перелива воды через гребень борозд и, наконец, равномерным увлажнением почвы по всей длине поливной борозды.

УВЕЛИЧЕНИЕ РАСЧЕТНЫХ ПОЛИВНЫХ НОРМ НА ВЕЛИЧИНУ ПОТЕРЬ ВОДЫ ЗА ВРЕМЯ ПЕРЕРАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЕЕ В РАСЧЕТНОМ СЛОЕ ПОЧВЫ

Величина поливных норм зависит от водно-физических свойств почвогрунтов и глубины распространения корневой системы растений. Величину поливной нормы для конкретных условий рассчитывают по известной формуле А. Н. Костякова [1]:

$$m = 100\gamma H(\beta_n - \beta_0),$$

где m — поливная норма, $m^3/га$;

γ — объемный вес почвы, $т/м^3$;

β_n — предельная полевая влагоемкость, % от веса сухой почвы;

β_0 — предполивная влажность почвы, % от веса сухой почвы.

Однако в условиях производства, осуществляя полив расчетной поливной нормой, невозможно увлажнить почву на расчетную глубину, так как за время перераспределения влаги в почве часть ее расходуется на испарение и транспирацию. Особенно это имеет

место при поливах малыми поливными нормами. Так, глубина увлажнения почв при дождевании нормами 400—600 м³/га в летние термически напряженные периоды не превышает 15—25 см. Потери при этом сразу же после проведения полива достигают 100—150 м³/га в сутки, то есть составляют 1/4 часть заданной поливной нормы. При поливе по бороздам эта величина несколько меньше и составляет 15—20% за двое суток после полива. Поэтому для увлажнения почвы на заданную глубину расчетная величина поливной нормы должна быть увеличена. Величина поправок может быть установлена по данным таблицы 3, при составлении которой использовались рекомендации В. И. Алексеева и Н. В. Данильченко [5].

Таблица 3

Поправочные коэффициенты к расчетным поливным нормам при различных способах полива

Способы полива	Почвы	Время проведения полива		
		весной	летом	осенью
По бороздам	Легкие	1,05—1,10	1,10—1,20	1,05—1,10
	Средние	1,10—1,20	1,20—1,25	1,15—1,20
	Тяжелые	1,15—1,25	1,25—1,30	1,20—1,25
Дождеванием	Легкие	1,10—1,20	1,20—1,30	1,15—1,25
	Средние	1,15—1,25	1,25—1,35	1,25—1,30
	Тяжелые	1,25—1,30	1,30—1,40	1,25—1,35

УВЕЛИЧЕНИЕ ПОЛИВНЫХ И ОРОСИТЕЛЬНЫХ НОРМ ИЗ-ЗА НЕРАВНОМЕРНОГО УВЛАЖНЕНИЯ ОРОШАЕМОЙ ПЛОЩАДИ

Способы и техника полива призваны обеспечить нужный водный режим на всем поливном участке, то есть обеспечить равномерность увлажнения почвы по длине и ширине поливного участка. В зависимости от сочетаний элементов техники полива можно добиться различного качества полива.

Одним из основных качественных показателей полива является степень равномерности увлажнения почвы, выражаемая обычно коэффициентом неравномерности увлажнения почвы.

Этот коэффициент представляет собой отношение фактических поливных норм в концевой и головной частях поливного участка. Опытами установлено, что величина коэффициента неравномерности увлажнения почвы, а вместе с тем фактическое распределение поливных и оросительных норм на участках, зависят от способа и сочетания элементов техники полива. Так, при поливе сахарной свеклы напуском наблюдалась значительная неравномерность увлажнения почв на опытном участке. Разница в увлажнении поч-

вы на переувлажненных и недополитых участках после проведения полива составляла 400—520 м/га, то есть 40—50% от средней по участку поливной нормы. На части площади в понижениях имело место значительное переувлажнение почвы и сахарная свекла вымокла, а на повышенных участках почва недоувлажнялась, что в конечном счете привело к снижению урожая сахарной свеклы, составившего в среднем 408 ц/га (табл. 4).

Таблица 4

Урожай корней сахарной свеклы на контрольных делянках участка полива напуском (1962 г.)

Учетные делянки	Площадь, га	Урожайность корней, ц/га	Отклонение от среднего	
			в ц/га	в %
I	0,5	422	+ 14	3,5
II*	0,4	332	— 76	18,5
III*	0,3	216	—194	47,5
IV	0,7	542	+134	33,0
V	0,9	403	— 5	1,2
VI**	0,3	263	—145	35,5
VII**	0,4	334	— 74	18,0
VIII	0,5	471	+ 63	15,5

Примечание. * — участки с микропонижением, ** — участки с микроповышением.

При поливе по бороздам равномерность увлажнения почвы значительно выше, чем при поливе напуском. Однако и здесь имеет место недоувлажнение части площади поливного участка (в конце поливных борозд и микроповышениях) и переувлажнение (в головной части поливных борозд и микропонижениях). Разница в увлажнении головной и концевой частей борозд составляет за один полив 100—150 м³/га, за вегетацию — 500—600 м³/га.

Таблица 5

Распределение фактических поливных норм по длине поливных борозд

Поливная струя, л/сек	Длина борозды, м	Уклон	Поливная норма, м ³ /га		Величина неравномерности, м ³ /га Δ	Коэффициент неравномерности η
			в начале борозды	в конце борозды		
0,1	60	0,005	600	508	92	0,85
0,3	75	0,01	600	483	117	0,80
0,3	160	0,015	1100	937	163	0,85
0,7	75	0,01	600	303	297	0,50
0,7	160	0,01	900	612	288	0,68
0,7	300	0,01	800	445	355	0,55
0,7/0,3	160	0,01	1000	884	116	0,88

198862

Установлено, что равномерность увлажнения почвы при поливе по бороздам существенно зависит от величины элементов техники полива и тщательности распределения воды в поливные борозды. При поливе без сброса постоянной струей коэффициент неравномерности увлажнения в среднем колеблется от 0,1 до 0,5, при поливе со сбросом постоянной струей — от 0,6 до 0,8, а при поливе переменной струей — от 0,7 до 0,9 (табл. 5).

Различное увлажнение почв по длине борозды предопределяет и различную урожайность сельскохозяйственных культур. В качестве примера в таблице 6 приведены данные о величине урожая корней сахарной свеклы в начале, конце и в середине борозд на опытном участке.

Таблица 6

Размер струи, л/сек	Длина борозд, м	Урожай корней, ц/га			
		в начале борозды	в середине борозды	в конце борозды	в среднем
0,1	60	618	582	510	570
0,3	60	545	483	464	554
0,7	60	547	561	556	497
0,3	100	694	679	632	635
0,5	100	603	593	572	589
0,7	100	545	457	432	478

Из таблицы 6 видно, что урожайность корней сахарной свеклы уменьшается в конце поливной борозды на 2—15% по сравнению с урожайностью в голове борозды. Наибольшая разница в урожаях в начале и конце борозды имела место при неравномерном распределении поливных, а следовательно, и оросительных норм по длине борозд, что наглядно иллюстрируется графиком (рис. 1).

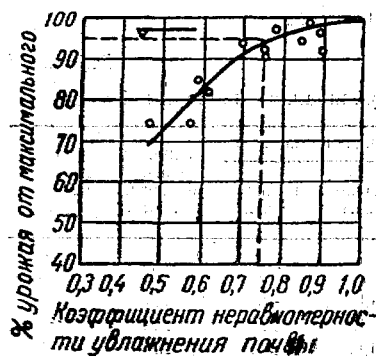


Рис. 1. Влияние неравномерности увлажнения на величину урожая сахарной свеклы.

С целью установления возможного допуска по величине неравномерности увлажнения борозды авторами проводились наблюдения за урожайностью пропашных культур в головной и концевой частях поливных борозд. Установлено, что чем менее равномерно по длине борозд поливалась делянка, тем ниже была урожайность сельскохозяйственных культур (табл. 7).

Обработка материала позволила установить величину коэффициента

Таблица 7

Зависимость урожайности сельскохозяйственных культур от равномерности увлажнения почвы

Культуры	Длина борозды, м	Величина струи, л/сек	Фактическая оросительная норма, м ³ /га		Фактическая урожайность, ц/га	
			начало борозды	конец борозды	начало борозды	конец борозды
Капуста	140	0,3	6800	5500	270	234
Помидоры	100	0,2	6200	5380	208	201
Табак	140	0,2	6500	6000	31,0	30,8
Сахарная свекла	130	0,3	5980	5700	641	604
Кенаф	190	0,5	2240	1850	84,6	84,5
Сахарная свекла	120	0,4	7400	6200	660	568

допустимой неравномерности увлажнения почвы по длине борозд, при котором не наблюдается ощутимого (более 3—4%) снижения урожайности сельскохозяйственных культур: помидоры — 0,71, капуста — 0,71, табак — 0,75, кукуруза — 0,73, сахарная свекла — 0,75.

Для практических расчетов с достаточной степенью точности коэффициент допустимой неравномерности увлажнения почвы по всем пропашным культурам может быть принят 0,75.

Ввиду невозможности (при существующей технике распределения воды в поливные борозды) строгого дозирования поливных струй, а также одновременной подачи воды во все поливные борозды имеет место неравномерность увлажнения почвы не только по длине борозд, но и поперек их. Коэффициент неравномерности увлажнения почвы по площади всего участка, как показывают данные наших опытов и ряда других авторов, колеблется в пределах от 0,5 до 0,75 за каждый полив. За весь вегетационный период коэффициент неравномерности увлажнения почвы участка составляет 0,6—0,7, то есть несколько больше, чем за один полив, так как неувлажненные и переувлажненные участки при каждом из поливов не совпадают.

При поливе дождеванием равномерность увлажнения почв по площади участка, как правило, бывает выше, чем при поверхностных поливах. Но и при поливе дождеванием происходит неравномерное распределение поливных и оросительных норм на площади поливного участка. Так, при поливе установкой КДУ-55М из-за ветра со средней скоростью 2—4 м/сек резко снизилась равномерность распределения дождя по полю (рис. 2).

При использовании агрегата ДДА-100 М поливные и оросительные нормы неравномерно распределялись по длине крыльев консольной формы из-за различной интенсивности дождя в дефлекторных насадках агрегата. Интенсивность дождя из наиболее удаленных от насоса насадок уменьшилась на 5—10% от средней

величины. Проведенный учет урожайности на контрольных делянках, расположенных поперек направления движения агрегата, позволил установить, что максимальная разница в урожае составила 108 ц/га, или 10% от среднего.

Таким образом, осуществление поливов заданной поливной нормой на больших производственных массивах возможно при определенной равномерности увлажнения почвы. Коэффициент неравномерности увлажнения почвы поливного участка в зависимости от

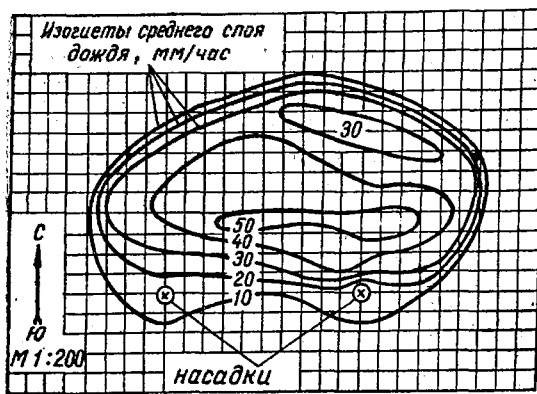


Рис. 2. Характер распределения слоя дождя в плане установки КДУ-55М (ветер северный, $V=4,3$ м/сек).

природно-хозяйственных условий, способов и техники полива изменяется в широких пределах. По данным опытов, за допустимую величину коэффициента неравномерности увлажнения почвы поливного участка η при качественном поливе сахарной свеклы по бороздам можно принять 0,7, а при качественном дождевании — 0,75.

Если исходить из объективно существующего факта неравно-

мерного увлажнения почвы и, следовательно, неравномерного распределения поливных и оросительных норм на политой площади, то логично предположить, что рекомендованная или заданная поливная норма должна быть равна средневзвешенной по площади фактической поливной норме, то есть

$$m_{з. ср. вз} = \frac{m_з \omega_з + (m_з - \Delta) \omega_н + (m_з + \Delta) \omega_п}{\omega_з + \omega_н + \omega_п},$$

где $m_з$ — заданная поливная норма, $м^3/га$;

$m_з - \Delta$ — средняя фактическая поливная норма на переувлажненных участках, $м^3/га$;

$m_з + \Delta$ — средняя фактическая поливная норма на недоувлажненных участках, $м^3/га$;

$\omega_з$ — часть площади участка нормального увлажнения, га;

$\omega_н$ — часть площади участка, недоувлажненная, га;

$\omega_п$ — часть площади участка, переувлажненная, га;

$\pm \Delta$ — средняя величина отклонения от заданной поливной нормы, $м^3/га$.

Аналогично:

$$M_{з. ср. вз} = \frac{M_3 \omega_3 + (M_3 - \Delta n) \omega_n + (M_3 + \Delta n) \omega_n}{\omega_3 + \omega_n + \omega_n}$$

где $M_{з. ср. вз}$ — заданная оросительная норма, $м^3/га$;
 n — число поливов.

Средняя величина отклонения от заданной поливной нормы при существующей технике полива колеблется от 50 до 200 $м^3/га$, то есть от 5 до 25% заданной поливной нормы. Допустимая величина отклонения от заданной поливной нормы при известном коэффициенте неравномерности увлажнения определяется из соотношения

$$\pm \Delta = \frac{m(1-\eta)}{1+\eta}$$

и составляет при качественном поливе по бороздам не более $1/6$ и дождевании — не более $1/7$ заданной поливной нормы. За весь вегетационный период абсолютная величина отклонений от заданной оросительной нормы определяется из тех же соображений.

При соблюдении равенства $(M_3 - \Delta n) \omega_n = (M_3 + \Delta n) \omega_n$ заданная оросительная норма равна фактической, средневзвешанной по площади участка. Однако при этом имеет место значительный недобор урожая с площади участка, так как некоторое его увеличение на переувлажненной (относительно рациональной поливной нормы) части участка не компенсируется значительным недобором на недоувлажненной площади, то есть

$$Y_3 \omega_3 \neq Y_n \omega_n + Y_n \omega_n$$

где Y_3, Y_n и Y_n — урожай соответственно с нормально увлажненного, недоувлажненного и переувлажненного участков.

Для получения с производственного участка среднего урожая свеклы, равному урожаю, полученному с опытной делянки, величину оросительной нормы необходимо не только увеличить в зависимости от коэффициента неравномерности увлажнения почвы на 5—15%. В этом можно убедиться, рас-

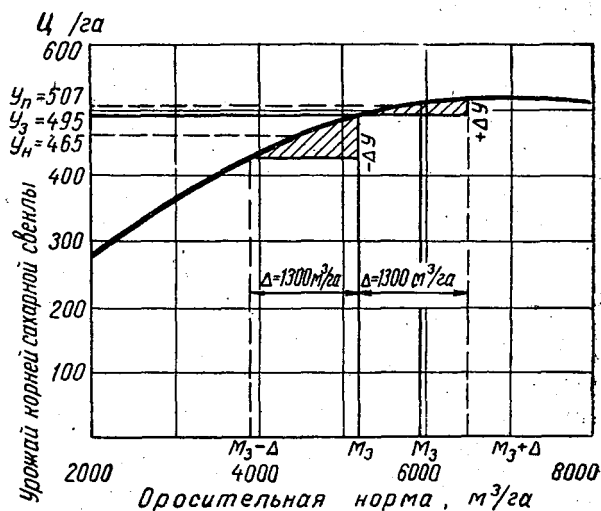


Рис. 3. Зависимость урожая сахарной свеклы от величины оросительной нормы (опыт 1959 г.).

смотрев график (рис. 3), выражающий опытную зависимость урожая сахарной свеклы от величины фактической оросительной нормы.

Из графика следует, что при оросительной норме $5200 \text{ м}^3/\text{га}$ урожайность на опытной делянке составляет $495 \text{ ц}/\text{га}$. Равномерно распределяя заданную оросительную норму на производственном участке с коэффициентом неравномерности увлажнения 0,6, на недоувлажненном участке можно получить корней $465 \text{ ц}/\text{га}$, на переувлажненном — 507, а в среднем с участка — $486 \text{ ц}/\text{га}$, или 9 ц недобора урожая с каждого гектара. Для получения с производственного участка урожая, равного $495 \text{ ц}/\text{га}$, необходимо увеличить оросительную норму примерно до $5950 \text{ м}^3/\text{га}$, то есть на $750 \text{ м}^3/\text{га}$ против заданной, или на 14,4%.

УЧЕТ ПОТЕРЬ ВОДЫ В ПРОЦЕССЕ ПОЛИВА ПРИ НОРМИРОВАНИИ ОРОШЕНИЯ

Как уже отмечалось выше, при проведении поливов имеют место потери воды на сброс, испарение и глубинную фильтрацию. Величина этих потерь зависит от условий проведения полива (степень спланированности поверхности поля, водопроницаемость почвы и др.) и применяемой техники орошения. Неучет потерь воды в процессе полива ведет к снижению фактической оросительной нормы и в конечном счете — к недобору урожая.

В Казахском НИИ водного хозяйства при участии авторов этой статьи изучалось изменение величины потерь воды во всех звеньях оросительной сети и в том числе на полях хозяйств крупнейшей в Казахстане инженерной Георгиевской оросительной системы.

Величина сброса воды при поливе плантаций сахарной свеклы в хозяйствах оросительной системы достигла значительной величины — 30—60 % от водоподачи. Величина неиспользуемого сброса в зависимости от расположения поливной делянки, применяемой техники полива, спланированности поля, квалификации поливальщика и других причин изменялась в пределах от 5 до 40 % от водоподачи.

Анализ водопотребления на площади поливных участков позволил установить, что только 10—15% — реже 30—40% сбросной с поливных делянок воды полезно расходуется при поливе нижерасположенных поливных делянок. Остальная часть воды сбрасывается в конце поливного участка и частично распределяется в микропонижениях, переувлажняя почву и нанося только вред.

В хозяйствах Георгиевской оросительной системы значительны и потери воды во временной оросительной сети. Характерно то, что поливной ток при постоянной подаче воды в голове поливного участка существенно изменялся за счет потерь воды на фильтрацию из временной оросительной сети. Следует, однако, иметь в виду, что

значительная часть профильтровавшейся из временной сети воды полезно потребляется сельскохозяйственными растениями, расположенными в зоне растекания воды. Исследования изменения величины полезной фильтрации из временной сети ряда авторов, а также расчеты, выполненные по формуле П. Я. Полубаяриновой-Кочиной, показывают, что для практических расчетов величину полезной фильтрации можно принять равной 60% от общих фильтрационных потерь во временной оросительной сети.

Полученные результаты (табл. 8) позволили сделать вывод, что в хозяйствах Георгиевской оросительной системы потери воды в процессе проведения полива (главным образом, потери на сбросе) в среднем составляют 25—30% от вододачи.

Таблица 8

Потери воды на поливных участках хозяйств Георгиевской оросительной системы

Хозяйства	Потери воды за июнь, июль и август				
	всего с поливных участков		в том числе из временной сети		
	в млн. м ³	в % от вододачи	в млн. м ³	в % от вододачи	к.п.д. поля
Колхозы:					
«Путь Ленина»	1,880	29,3	0,192	3,1	0,71
«Талапты»	1,689	30,8	0,153	2,8	0,69
«Джана-Турмыс»	1,088	30,1	0,071	2,0	0,70
Имени Розы Люксембург	2,397	28,6	0,190	2,4	0,72
Лубсовхоз	3,476	20,3	0,427	2,5	0,80
Курдайский зерносовхоз	2,610	29,7	0,249	2,8	0,70

Примечание. В таблице учтены только невозвратимые потери воды на сброс в конце поливных участков и на глубинную фильтрацию из временной оросительной сети (40% от общих фильтрационных потерь).

В наиболее благоприятных условиях на тщательно спланированных площадях при применении поливной арматуры и низкой водопроницаемости почв потери воды снижаются до 15—20% от вододачи. В таблице 9 приведены результаты качественных поливов на показательных участках хозяйств системы.

Интересно сравнить эти результаты с данными других авторов. Большинство из них [2, 3, 4] отмечает, что для получения нужной равномерности в увлажнении почвы сброс воды от 10 до 20%, а по некоторым данным от 20 до 40% необходим. Мнения ряда авторов относительно фактического использования воды, сброшенной с поливной делянки, существенно расходятся.

Потери воды на испарение в процессе полива меньше по вели-

Таблица 9

Сброс воды и коэффициент неравномерности увлажнения на показательных участках хозяйств Георгиевской оросительной системы

Хозяйства	Номера поливов	Величина поливной струи, л/сек	% сброса воды от поданного объема на поле	Коэффициент неравномерности увлажнения
Лубсовхоз	1	0,56	27,2	0,87
	2	0,42	33,0	0,89
	3	0,30	29,0	0,73
Колхоз «Джана-Турмыс»	1	0,40	14,9	0,73
	2	0,28	19,0	0,76
Колхоз «Путь Ленина»	1	0,46	25,7	0,87
	2	0,38	31,0	0,80
	3	0,30	40,0	0,67

чине, чем потери на сброс. Однако и они достигают значительных размеров, особенно при дождевании (10—15% от водоподачи — по данным Казахского НИИ водного хозяйства).

Возможны, а в ряде случаев и неизбежны, определенные потери воды на глубинную фильтрацию на поле и из временной оросительной сети, а также сброс воды, вызванный организационными неполадками.

Таким образом, наравне с работами по улучшению использования воды на поливном участке необходимо при планировании водопользования производить учет потерь воды в процессе полива и несколько увеличивать планируемые оросительные и поливные нормы. При существующей технике орошения в хозяйствах юга Казахстана с учетом некоторого совершенствования ее в ближайшие годы неизбежны потери воды при проведении поливов на больших производственных массивах, составляющие по своей величине 15—25% от водоподачи. На эту величину и надо увеличивать плановую оросительную норму. В противном случае будут иметь место недоувлажнение почвы и недобор урожая.

**ВЕЛИЧИНА КОЭФФИЦИЕНТОВ ПОЛЕЗНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ
ОРОСИТЕЛЬНОЙ НОРМЫ ДЛЯ ЗОНЫ ОРОШАЕМОГО
СВЕКЛОСЕЯНИЯ КАЗАХСТАНА**

Данные наших исследований и других авторов по величине потерь воды в процессе полива и величине потребного увеличения оросительной нормы при неравномерном распределении ее по площади участка позволяют подойти к установлению коэффициентов полезного использования оросительной нормы.

$$M_{бр} = \frac{M_{нет}}{K_1 K_2}$$

- где $M_{бр}$ — оросительная норма брутто, $m^3/га$;
 $M_{нет}$ — оросительная норма нетто, $m^3/га$;
 K_1 — поправочный коэффициент, учитывающий неравномерность распределения оросительной нормы по площади участка;
 K_2 — поправочный коэффициент, учитывающий величину потерь воды на участке в процессе полива.

Нами установлены в первом приближении величины поправочных коэффициентов к оросительной норме сахарной свеклы для конкретных объектов исследований. Величина поправочного коэффициента, учитывающего неравномерность распределения оросительной нормы по площади поля, изменяется в сравнительно небольших пределах от 1,00 до 0,85. Диапазон изменения величины поправочного коэффициента установлен на основании приведенной в работе опытной зависимости урожая свеклы от коэффициента неравномерности увлажнения почвы участка.

Величина поправочного коэффициента, учитывающего потери воды, в процессе полива изменяется от 1,0 до 0,7. Эти величины

Таблица 10

Ориентировочная величина поправочных коэффициентов полезного использования оросительной нормы для учета неравномерного распределения ее по площади участка K_1 и потерь воды в процессе полива K_2

Условия проведения поливов	Полив по бороздам из временной сети				Полив по бороздам с применением передвижных поливных трубопроводов		Полив дождевальными машинами из временной оросительной сети		Полив дождеванием из сети закрытых трубопроводов	
	без применения поливной аппаратуры		с применением поливной аппаратуры		K_1	K_2	K_1	K_2	K_1	K_2
	K_1	K_2	K_1	K_2						
Хорошие (участок тщательно спланирован, уклоны оптимальные, водопроницаемость почв низкая или средняя, достаточное количество квалифицированных поливальщиков и др.)	0,90	0,80	0,95	0,85	0,95	0,90	0,95	0,85	0,97	0,90
Средние (участок спланирован, уклоны средние, водопроницаемость почв средняя и др.)	0,87	0,75	0,90	0,80	0,93	0,85	0,93	0,80	0,95	0,87
Сложные (участок недостаточно спланирован, уклоны большие или очень малые, водопроницаемость почв высокая; ощущается недостаток в кадрах поливальщиков и др.)	0,85	0,70	0,85	0,75	0,90	0,80	0,90	0,75	0,93	0,85

устанавливаются расчетным путем с использованием фактического материала по величине потерь воды в процессе полива.

Величина поправочных коэффициентов зависит в основном от условий проведения полива и применяемой техники орошения. Чем лучше условия для проведения полива и совершенней техника орошения, тем выше величина коэффициентов. В таблице 10, составленной нами на основании опытных данных и специальных расчетов, приведены ориентировочные величины поправочных коэффициентов, которые могут быть использованы для установления оросительной нормы брутто при отсутствии опытных и расчетных данных о равномерности увлажнения почвы и величины потерь воды на орошаемом участке в процессе полива.

При введении в практику расчетов водопользования поправочных коэффициентов к оросительным нормам нетто, которые учитывают потери воды в процессе полива и неравномерности увлажнения почв по площади участка, будет обеспечено возможно большее приближение фактических и рекомендуемых режимов орошения сельскохозяйственных культур, что, в свою очередь, позволит поднять продуктивность орошаемых земель республики.

ЛИТЕРАТУРА

1. Костяков А. Н. Основы мелиорации, изд. 6, М., 1961.
2. Лактаев Н. Т. Проект методических указаний для проведения полевых опытов по изучению техники бороздкового полива, камеральной обработке результатов и обоснование этих указаний. Ташкент. Изд-во «Наука», 1965.
3. Кривовяз С. М. Техника орошения (зона хлопкосеяния). Доклад, представленный на соискание ученой степени доктора с.-х. наук по совокупности опубликованных работ. Ташкент, 1966.
4. Жарова К. А. Техника полива по бороздам на больших уклонах Чуйской долины. Фрунзе, 1961.
5. Справочник гидротехника. Под общей редакцией В. И. Алексеева. Алма-Ата. Изд-во «Кайнар», 1966.
6. Носенко В. Ф. Рекомендации по величине элементов техники бороздкового полива пропашных культур в предгорьях. Алма-Ата. Изд-во «Кайнар», 1964.
7. Кван Р. А. Разработка рационального режима орошения сахарной свеклы и способов его осуществления (для юго-восточных районов Казахстана). Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата с.-х. наук, ВНИИГиМ, М., 1967.

А. П. ПОПЫКИН, инженер

**К МЕТОДИКЕ ВНУТРИХОЗЯЙСТВЕННОГО
РАЙОНИРОВАНИЯ ОРОШАЕМЫХ ЗЕМЕЛЬ ПО РЕЖИМУ
ОРОШЕНИЯ И ТЕХНИКЕ ПОЛИВА**

УДК 631.43 (575)

Рациональная система ведения сельскохозяйственного производства неразрывно связана со знанием механических, физических и химических свойств почв. В настоящее время проводятся большие работы по составлению почвенных и агрохимических карт колхозов и совхозов, позволяющих обоснованно подходить к подбору и размещению сельскохозяйственных культур и внесению удобрений в соответствии с конкретными почвенными условиями каждого поля.

Однако в засушливой зоне, где орошение является одним из основных звеньев, определяющих успех производства сельскохозяйственных продуктов, поливной режим и техника полива сельскохозяйственных культур нередко назначаются без учета конкретных почвенно-мелиоративных, гидрогеологических и геоморфологических условий каждого поливного участка, что приводит к снижению продуктивности орошаемых земель, а нередко и к ухудшению их мелиоративного состояния.

Вот почему установление режима орошения и выбор техники полива сельскохозяйственных культур должны быть обоснованы экспериментальными исследованиями, отраженными на крупномасштабных картах. Таким образом, решение этой задачи связано с внутрихозяйственным районированием орошаемых земель по поливному режиму и технике полива.

В 1964—1966 гг. автором под руководством кандидата сельскохозяйственных наук Алексева В. И. были проведены работы по внутрихозяйственному районированию орошаемых земель ряда хозяйств Алма-Атинской и Джамбулской областей, расположенных в различных природно-хозяйственных зонах.

Полевыми экспериментами и расчетами установлены:

1. Изменчивость водно-физических свойств почв и ее показатели.

2. Принципы внутрихозяйственного районирования орошаемых земель по поливному режиму и технике полива и составления соответствующих карт.

3. Правила пользования картами при определении показателей режима орошения и размеров элементов техники полива.

Осуществление внутрихозяйственного районирования орошаемых земель в значительной степени зависит от того, насколько качественно проведены работы по установлению показателей водных и физических свойств почв и обоснованно назначена повторность при их изучении.

Назначение необходимой повторности зависит от разницы между средними данной выборочной и генеральной совокупностями. Экспериментальными исследованиями установлено, что характер статистического распределения показателей водно-физических свойств почв соответствует нормальному распределению. При таком распределении степень вероятности разницы устанавливается по теореме Чебышева — Ляпунова, которая определяет соотношение между коэффициентом вариации, степенью точности и количеством повторностей при различной вероятности:

$$n = \left(\frac{t_p}{\varepsilon} C_v \right)^2, \quad (1)$$

где n — количество повторений;

t_p — нормированное отклонение, которое определяется принятой доверительной вероятностью P ;

при $P=95\%$ $t_p = 1,96$;

при $P=99\%$ $t_p = 2,58$;

при $P=99,9\%$ $t_p = 3,30$;

ε — степень точности результатов;

C_v — коэффициент вариации.

Из формулы видно, что число параллельных определений, необходимых для получения достоверных средних, находится в зависимости от степени варьирования изучаемого параметра и той точности, с которой необходимо получить среднее, а также от принятой доверительной вероятности.

Для внутрихозяйственного районирования орошаемых земель по поливному режиму и технике полива доверительную вероятность можно принять равной 99%, а степень точности результатов — 10%, так как существующие методы определения водно-физических свойств почв обеспечивают получение данных с точностью примерно 10%. Тогда формула (1) примет вид:

$$n = \left(\frac{2,58}{10} C_v \right)^2 = 0,067 C_v^2. \quad (1a)$$

Следовательно, для того, чтобы установить необходимое число параллельных определений при изучении свойства почвы, необходимо знать коэффициент его вариации в естественных условиях.

Для определения коэффициентов вариации были подвергнуты статистической обработке данные объемных весов, полевой предельной влагоемкости и водопроницаемости светло-каштановых и темно-каштановых почв и сероземов предгорных районов юго-востока Казахстана, полученные автором в результате опытов в полевых условиях (табл. 1, 2, 3).

Таблица 1

Вариационно-статистические показатели водопроницаемости различных почв

Метод	Средняя скорость впитывания, мм/мин					Показатель степени в формуле А. Н. Костякова				
	n	M ± m	± σ	C _v %	ε%	n	M ± m	± σ	C _v %	ε%
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11

Серозем суглинистый

Заливка площадок	20	8,48 ± 0,83	3,70	43,6	9,8	20	0,44 ± 0,03	0,15	32,9	7,6
Короткие отрезки борозд	20	9,61 ± 1,07	4,79	49,8	11,1	20	0,39 ± 0,04	0,16	41,2	2,9

Серозем тяжелосуглинистый

Заливка площадок	20	4,68 ± 0,37	1,66	35,6	7,9	20	0,20 ± 0,02	0,09	45,7	10,0
Короткие отрезки борозд	20	5,55 ± 0,59	2,64	47,6	10,6	20	0,17 ± 0,02	0,08	48,2	11,8

Светло-каштановые суглинки

Заливка площадок	20	9,05 ± 0,82	3,68	38,8	8,7	20	0,46 ± 0,03	0,13	29,2	6,5
Короткие отрезки борозд	20	11,51 ± 1,12	5,0	43,5	9,7	20	0,51 ± 0,04	0,16	30,6	7,9

Светло-каштановые тяжелые суглинки

Заливка площадок	20	3,71 ± 0,31	1,37	36,9	8,4	20	0,25 ± 0,02	0,08	33,7	7,5
Короткие отрезки борозд	20	5,03 ± 0,41	1,83	36,4	8,2	20	0,22 ± 0,02	0,08	34,8	8,2

Темно-каштановые суглинки

Заливка площадок	20	10,73 ± 1,23	5,5	51,3	11,5	20	0,37 ± 0,04	0,17	45,3	10,8
Короткие отрезки борозд	20	12,03 ± 1,68	7,5	62,5	14,0	20	0,41 ± 0,04	0,18	43,8	9,8

Продолжение табл. 1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
<i>Темно-каштановые тяжелые суглинки</i>										
Заливка площадок	20	4,99 ± 0,53	2,39	47,9	10,7	20	0,32 ± 0,03	0,13	40,3	9,1
Короткие отрезки борозд	20	2,97 ± 0,35	1,58	53,1	11,9	20	0,33 ± 0,03	0,13	37,9	9,1

Для вычисления вариационно-статистических показателей водопроницаемости почв, приведенных в таблице 1, были использованы результаты полевых определений, которые для каждой почвенной разности осуществлялись на сравнительно небольшой площади (около 1000 м²). Из таблицы 1 видно, что водопроницаемость почв даже на сравнительно малых площадках с идентичными почвенным и растительным покровами и одинаковой влажностью почвы колеблется очень сильно. Так, например, коэффициенты вариации скорости впитывания воды в почву изменяются от 35,6 до 62,5%, а показатели степени в формуле А. Н. Костякова — от 29,2 до 48,2%.

Для получения достоверных средних значений водопроницаемости почв при такой степени варьирования необходимо принимать 85–250-кратную повторность опыта, что практически неосуществимо. Обратное решение позволяет найти степень точности опыта при практически возможном количестве повторностей. При массовых определениях практически возможной является 5-кратная повторность, при которой обеспечивается только 40–70%-ная точность. Ясно, что результаты исследований, полученные с такой точностью, дают довольно приближенное представление о водопроницаемости почв и не могут быть положены в основу внутрихозяйственного районирования орошаемых земель по технике полива.

Достаточно точное представление о водопроницаемости почв дает учет поливной воды при пробных поливах, когда замеряется величина средней по борозде или полосе скорости впитывания воды в почву. Кроме того, пробные поливы позволяют уточнить величину элементов техники полива и добиться наибольшего приближения фактических поливных норм к расчетным.

Для установления вариационно-статистических показателей объемного веса различных почв его определение производилось с 15–25-кратной повторностью из каждого 10 см слоя. Полученные данные были подвергнуты математической обработке (табл. 2).

Данные, приведенные в таблице 2, показывают, что объемный вес верхнего 30 см слоя (пахотного) характеризуется наибольшей изменчивостью (коэффициент вариации достигает 7%). Это объясняется наличием трещин, червоточин, неравномерным распределением корней. Менее изменчив объемный вес подпахотного слоя. Однако для карбонатных почв и почв с различными включениями

Таблица 2

Вариационно-статистические показатели объемного веса различных почв

Почвы	Горизонт, см	$M \pm m$	$\pm \sigma$	C_v %	v %
Серозем тяжелосуглинистый (в подпахотном слое имелись включения гальки и песка)	0—10	$1,35 \pm 0,02$	0,07	5,2	1,5
	10—20	$1,32 \pm 0,02$	0,06	4,6	1,5
	20—30	$1,43 \pm 0,03$	0,10	7,0	2,1
	30—40	$1,38 \pm 0,02$	0,06	4,4	1,5
	40—50	$1,36 \pm 0,01$	0,05	3,7	0,7
	50—60	$1,38 \pm 0,02$	0,06	4,4	1,5
	60—70	$1,39 \pm 0,01$	0,05	3,6	0,7
	70—80	$1,39 \pm 0,01$	0,05	3,6	0,7
	80—90	$1,39 \pm 0,01$	0,05	3,6	0,7
	90—100	$1,38 \pm 0,01$	0,05	3,6	0,7
Светло-каштановая суглинистая почва	0—10	$1,13 \pm 0,01$	0,03	2,7	0,9
	10—20	$1,21 \pm 0,01$	0,03	2,5	0,8
	20—30	$1,25 \pm 0,02$	0,08	6,4	1,6
	30—40	$1,36 \pm 0,02$	0,06	4,4	1,5
	40—50	$1,33 \pm 0,01$	0,04	3,0	0,8
	50—60	$1,31 \pm 0,01$	0,04	3,1	0,8
	60—70	$1,30 \pm 0,01$	0,03	2,3	0,8
	70—80	$1,30 \pm 0,01$	0,03	2,3	0,8
	80—90	$1,32 \pm 0,01$	0,02	1,5	0,7
	90—100	$1,32 \pm 0,01$	0,02	1,5	0,7
Темно-каштановая карбонатная тяжелосуглинистая почва	0—10	$1,34 \pm 0,02$	0,09	6,7	1,5
	10—20	$1,45 \pm 0,02$	0,10	6,9	1,4
	20—30	$1,41 \pm 0,01$	0,07	5,0	0,7
	30—40	$1,38 \pm 0,01$	0,06	4,4	0,7
	40—50	$1,36 \pm 0,01$	0,06	4,4	0,7
	50—60	$1,42 \pm 0,01$	0,04	2,8	0,7
	60—70	$1,39 \pm 0,01$	0,05	3,6	0,7
	70—80	$1,38 \pm 0,01$	0,04	2,9	0,7
	80—90	$1,41 \pm 0,01$	0,04	2,8	0,7
	90—100	$1,39 \pm 0,01$	0,05	3,6	0,7

коэффициент вариации объемного веса этого слоя возрастает, что объясняется неравномерным распределением карбонатов и включений по почвенной толще.

Обработка данных таблицы 2 по формуле (1а) показывает, что при определении объемного веса пахотного слоя повторность должна быть четырехкратной, а для подпахотных горизонтов — двух-трехкратной.

Полевая предельная влагоемкость почвы определялась методом заливаемых площадок с последующим отбором проб на влажность. Установившаяся влажность почвы принималась за полевую предельную влагоемкость.

Вариационно-статистические показатели полевой предельной влагоемкости устанавливались обработкой данных, полученных с

15-кратной повторностью из каждого слоя почвы на относительно небольшой площади не свыше 1000 м² (табл. 3).

Таблица 3

Вариационно-статистические показатели полевой предельной влагоемкости различных почв

Почвы	Горизонт, см	$M \pm m$	$\pm \sigma$	C_v %	ϵ %
Серозем тяжелосуглинистый	0-20	24,4±0,3	1,32	5,4	1,4
	20-40	22,6±0,2	0,81	3,6	0,9
	40-60	22,0±0,2	0,64	2,9	0,9
	60-80	22,1±0,2	0,78	3,5	0,9
	80-100	22,6±0,3	1,02	4,5	1,3
Темно-каштановая карбонатная тяжелосуглинистая почва	0-20	23,2±0,3	1,15	5,0	1,3
	20-40	24,4±0,3	1,24	5,1	1,3
	40-60	24,2±0,2	0,83	3,4	0,9
	60-80	23,8±0,3	1,06	4,5	1,2
	80-100	24,4±0,2	0,95	3,9	1,0
Светло-каштановая суглинистая почва	0-10	26,6±0,5	1,77	6,8	1,7
	10-20	24,8±0,2	0,83	3,4	0,9
	20-30	24,8±0,3	1,02	4,1	1,1
	30-40	28,5±0,3	1,05	3,7	1,0
	40-50	29,6±0,2	0,87	2,9	0,8
	50-60	30,0±0,5	1,85	6,3	1,6
	60-70	28,3±0,4	1,54	5,4	1,4
	70-80	27,5±0,2	0,92	3,4	0,9
	80-90	27,7±0,2	0,68	2,5	0,7
	90-100	26,9±0,3	1,05	3,9	1,0

Анализ приведенных в таблице 3 данных показывает, что варьирование полевой предельной влагоемкости по всему почвенному профилю сравнительно одинаково, тем более, что в некоторых случаях коэффициенты вариации полевой предельной влагоемкости глубоких слоев почвы приближаются к коэффициентам вариации верхних слоев. Очевидно, полевую предельную влагоемкость и объемный вес почвы имеет смысл определять только на ту глубину, которая будет увлажняться при поливах.

Н. В. Данильченко предлагает назначать глубину увлажнения почвы при поливе равной глубине активного влагообмена, что позволяет экономно использовать оросительную воду при полном удовлетворении потребности растений в воде. Им же установлено, что если поливами и осадками в почве поддерживаются оптимальные влагозапасы, то есть если влажность почвы не опускается ниже оптимальной границы предполивной влажности, то зона активного влагообмена на суглинистых почвах предгорий Казахстана не распространяется за пределы метрового слоя.

На основании этого можно сделать вывод, что полевую предельную влагоемкость и объемный вес почвы при внутрихозяйственном районировании орошаемых земель предгорий Казахстана достаточно определять только для верхнего метрового слоя. Следует отметить, что этот вывод справедлив только для вегетационных поливов. Для промывных и влагозарядковых поливов свойства почвы должны определяться на всю глубину промачивания, которая, как правило, больше одного метра.

Обработка методами математической статистики данных по полевой предельной влагоемкости различных почв предгорной зоны Казахстана позволила установить соотношение между средней полевой предельной влагоемкостью метрового слоя и слоя почвы любой мощности при условии, что почвы не имеют резких различий в вертикальном направлении по механическому составу и грунтовые воды залегают глубоко (табл. 4).

Таблица 4

Отношение полевой предельной влагоемкости слоя почвы к ППВ метрового слоя

Вариационно-статистические показатели	Слой почвы, см							
	0-20	0-30	0-40	0-50	0-60	0-70	0-80	0-90
Средние значения	1,03	1,03	1,03	1,03	1,02	1,02	1,01	1,01
Средние квадратичные отклонения	0,108	0,085	0,067	0,049	0,037	0,025	0,019	0,010
Средние квадратичные отклонения средних значений	0,024	0,019	0,015	0,011	0,008	0,006	0,004	0,002
Доверительные интервалы средних значений при вероятности 0,95	0,98-1,08	0,99-1,07	1,00-1,06	1,01-1,05	1,00-1,04	1,01-1,03	1,00-1,02	1,006-1,014

Из таблицы 4 видно, что показатели полевой предельной влагоемкости метрового слоя почвы, выраженные в процентах от объема, достаточно хорошо совпадают со средним значением предельной полевой влагоемкости слоя почвы любой мощности. Максимальные отклонения при этом не превышают 5%.

Внутрихозяйственное районирование орошаемых земель по режиму орошения и технике полива должно производиться на основе комплексного учета климатических, геоморфологических, гидрогеологических и почвенных факторов.

Климатические факторы оказывают определяющее влияние на режим орошения сельскохозяйственных культур и менее значительное влияние на выбор техники полива, ограничивая в основном применение дождевания.

Геоморфологические факторы, то есть степень спланированности рельефа и величина уклонов, главным образом влияют на выбор техники полива и размеры ее элементов.

Гидрогеологические факторы (глубина залегания, режим и минерализация грунтовых вод) воздействуют и на режим орошения сельскохозяйственных культур и на выбор техники полива. При близком залегании пресных грунтовых вод количество поливов может быть сокращено, а проведение их дождеванием может оказаться эффективным. При близком залегании минерализованных грунтовых вод необходим промывной поливной режим и поливы осуществляются поверхностными способами.

Почвенные факторы — характер почвенного покрова, скорость впитывания воды в почву, водоудерживающая способность, мощность мелкоземистого слоя, наличие засоленных горизонтов и глубина их залегания, степень и характер засоления почв — оказывают влияние как на выбор техники полива и размеры ее элементов, так и на режим орошения сельскохозяйственных культур.

При внутрихозяйственном районировании орошаемых земель по режиму орошения и технике полива в первую очередь выделяются на территории хозяйства области с одинаковыми климатическими условиями.

Затем на основании комплексного учета геоморфологических и гидрогеологических факторов, а также почвенного покрова, характера и степени засоления почв выделяются почвенно-мелиоративные районы, внутри которых с учетом водопроницаемости почв и их водоудерживающей способности выделяются контуры с идентичными режимами орошения, техникой полива и размерами ее элементов. Точность установления границ таких контуров зависит от количества размещаемых в каждом почвенно-мелиоративном районе пунктов, в которых определяются водопроницаемость и водоудерживающая способность почв. Количество пунктов, которые необходимо заложить в каждом районе, можно определить, задаваясь уровнем доверительной вероятности и допустимой ошибкой, по зависимости (1). Для расчета нужно знать коэффициент вариации водоудерживающей способности почв почвенно-мелиоративного района. Установить приблизительные значения этих коэффициентов можно опытным путем.

Нами в одном почвенно-мелиоративном районе площадью около 1000 га (в Алма-Атинском табаксовхозе) было заложено 25 пунктов для изучения водоудерживающей способности метрового слоя почвы и 125 пунктов для изучения водопроницаемости почвы. Условия опыта таковы: почва светло-каштановая, среднесуглинистая, грунтовые воды залегают на глубине 20—25 м, мощность мелкоземистого слоя — свыше 5 м, растительный покров различен. Полученные результаты были статистически обработаны. Установлено, что в названных условиях вариационно-статистические показатели соответствующих свойств почвы равны (табл. 5).

Предполагая, что коэффициенты вариации свойств почвы на

Таблица 5

Зависимость вариационно-статистических показателей от свойств почвы

Свойства почвы	Показатели				
	M	$\pm m$	$\pm \sigma$	$C_v \%$	$\varepsilon \%$
Водоудерживающая способность метрового слоя почвы, % объема	29,6	0,49	2,43	8,2	1,66
Скорость впитывания воды в почву (метод заливаемых площадок), мм/мин.	8,13	0,65	7,29	89,6	8,0

1000 га однородного почвенного покрова равны приведенным в таблице 5, и, принимая для целей внутрихозяйственного районирования доверительную вероятность равной 99% и допустимую ошибку 10%, вычисляем количество пунктов для 1000 га одного почвенно-мелиоративного района.

1. Определение водоудерживающей способности почвы:

$$n = 0,067 (8,2)^2 \approx 5 \text{ пунктов.}$$

2. Определение водопроницаемости почвы:

$$n = 0,067 (89,6)^2 \approx 535 \text{ пунктов.}$$

Ясно, что обеспечить такую повторность при определении водопроницаемости почв методом заливаемых площадок практически невозможно. Поэтому наиболее целесообразно осуществлять это при проведении пробных поливов, которые дают также возможность уточнить размеры элементов техники полива в соответствии с величинами оптимальных поливных норм в данных условиях.

В качестве примера внутрихозяйственного районирования по режиму орошения, технике полива и размерам ее элементов приводим схему районирования орошаемых земель совхоза «Георгиевский» Курдайского района Джамбулской области (рис. 1).

Анализ природных факторов (климатических, геоморфологических, гидрогеологических, почвенных) показал, что на землях этой территории нужно выделить три контура, каждый из которых характеризуется идентичными поливными режимами, техникой полива и размерами ее элементов. Затем для каждого контура можно назначить соответствующий способ полива, определить размер поливных элементов и показатели поливного режима.

Так, в нашем примере во всех контурах, за исключением второго, следует применять поверхностное орошение. Во втором контуре, который характеризуется высокой водопроницаемостью почв и их малой мощностью, целесообразно дождевание, а так как по-

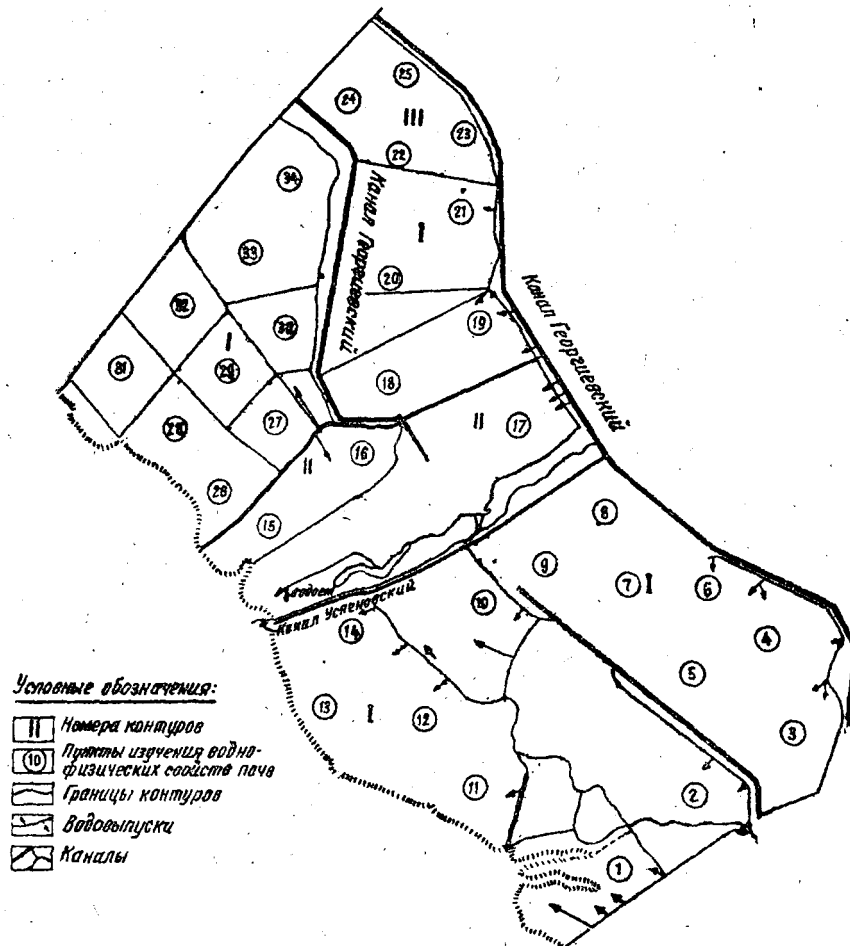


Рис. 1. Схема районирования орошаемых земель совхоза «Георгиевский» по режиму орошения, технике полива и размерам ее элементов.

верхность полей в этом контуре сравнительно выровнена и имеет уклоны в пределах 0,004—0,006, то в этих условиях рекомендуется применять агрегат ДДА-100М.

Размеры поливных элементов устанавливаем, используя существующие рекомендации по величине элементов техники полива и результаты пробных поливов.

Величина поливных норм в контуре определяется по формуле:

$$m = 100h (\beta_{\text{п}} - \beta_0) K, \quad (2)$$

где m — поливная норма, $м^3/га$;
 h — глубина увлажнения, $м$;
 β_p — полевая предельная влагоемкость почв контура, % от объема;
 β_0 — влажность почвы перед поливом, % от объема;
 K — поправочный коэффициент, учитывающий потери воды за время полива и перераспределения ее по увлажняемому слою.

Сроки полива устанавливаются в соответствии с конкретными погодно-климатическими условиями данного года и водным режимом почв. В настоящее время одним из наиболее надежных и точных является способ назначения сроков полива по влажности почвы.

Многочисленными исследованиями установлено, что нижний предел оптимальной влажности почвы соответствует влажности разрыва капилляров и составляет: на почвах легкого механического состава — 60—65% от предельной полевой влагоемкости; среднего механического состава — 65—75%; на тяжелых — 75—80%; на песчаных — 50—55% от предельной полевой влагоемкости.

Результаты расчетов по определению поливных норм, установлению способа полива и размеров его элементов сводятся в таблицу, которая прилагается к схеме внутрихозяйственного районирования (в частности, результаты опыта приведены в табл. 6).

Таблица 6

Результаты расчетов по внутрихозяйственному районированию

Показатели		Контуры		
		I	II	III
Поливные нормы ($м^3/га$) при увлажнении слоя мощностью:	0,4 м	450	350	400
	0,6 м	700	500	600
	0,8 м	950	—	800
	1,0 м	1200	—	1000
Полив по бороздам	Длина борозды, м	200	Полив дождеванием	80
	Поливная струя, л/сек	0,6		0,3
Полив по полосам	Длина полосы, м	400	ДДА-100М	100
	Удельная поливная струя, л/сек	7,5		3,0

Пользоваться схемой внутрихозяйственного районирования по режимам орошения, технике полива и размерам ее элементов для установления оптимальной поливной нормы, способа полива и размеров поливных элементов в соответствии с конкретными почвенно-

мелиоративными, геоморфологическими и гидрогеологическими условиями необходимо в таком порядке:

по схеме устанавливается местоположение интересующего нас поливного участка и определяется номер контура, к которому он относится;

назначается глубина увлажнения почвы;

для соответствующего контура по таблице устанавливается способ полива и размеры его элементов и определяется величина поливной нормы.

ВЫВОДЫ

1. Качество полива в основном определяется соответствием режимов орошения, техники полива и размеров ее элементов конкретным климатическим, геоморфологическим, почвенным и гидрогеологическим условиям.

2. Внутрихозяйственное районирование орошаемых земель дает возможность обоснованно назначать способы полива, выбирать элементы техники полива, а также определять величину поливной нормы в соответствии с конкретными условиями каждого поливного участка.

3. Контурные с идентичными режимами орошения, техникой полива и размерами ее элементов должны выделяться на основании комплексного учета климатических, гидрогеологических, геоморфологических и почвенных факторов территории хозяйства.

4. В ходе работ по внутрихозяйственному районированию орошаемых земель, по поливному режиму, технике полива и размерам ее элементов автором установлены вариационно-статистические показатели водно-физических свойств почв предгорных районов юго-востока Казахстана. Используя эти показатели, можно определить необходимое количество повторностей или установить точность определения при изучении водно-физических свойств почв.

5. При внутрихозяйственном районировании орошаемых земель водопроницаемость почв наиболее целесообразно определять при проведении пробных поливов, одновременно уточняя размеры элементов техники полива.

6. Водоудерживающую способность почв, однородных по вертикальному профилю, можно выражать через полевую предельную влагоемкость метрового слоя, используя эту величину при подсчете поливных норм.

7. Итогом работы по внутрихозяйственному районированию является схема орошаемых земель хозяйства с нанесением границ контуров с идентичными режимами орошения, техникой полива и размерами ее элементов. На этой же схеме приводится сводная таблица, в которой даются результаты расчетов по определению поливных норм, установлению способа полива и размеров его элементов для каждого контура.

ЛИТЕРАТУРА

1. Алексеев В. И., Гершунов Э. В., Попыкин А. П. Иригационные карты поливных земель, их содержание и методика составления. «Вестник с.-х. науки», Алма-Ата, 1965, № 9.
2. Важенин И. Г. Применение метода вариационной статистики в почвенно-агрохимических исследованиях. «Почвоведение», 1963, № 2.
3. Данильченко Н. В. К расчету поливных норм при орошении с.-х. культур. «Вестник с.-х. науки», Алма-Ата, 1965, № 4.
4. Лопатин В. Я. Приемы усовершенствования поверхностных поливов, обеспечивающие высокую производительность труда поливальщиков. Автореферат. Алма-Ата, 1965.
5. Носенко В. Ф. Рекомендации по величине элементов техники бороздкового полива пропашных культур в предгорьях Казахстана. Алма-Ата, 1965.
6. Роде А. А. Методы изучения водного режима почв. Изд. АН СССР, 1960.
7. Урбах В. Ю. Биометрические методы. Изд. «Наука», 1964.

А. В. ОГРЫЗКОВ, инженер

**ВОДНЫЙ, ТЕПЛОВОЙ И МИКРОБИОЛОГИЧЕСКИЙ РЕЖИМ
ПОЧВЫ ПРИ РАННИХ ПОЛИВАХ САХАРНОЙ СВЕКЛЫ
ПО БОРОЗДАМ, НАРЕЗАННЫМ ОДНОВРЕМЕННО С СЕВОМ**

УДК 631.43 : 633.63

Климатические условия юга Казахстана довольно сложные (малая величина осенне-зимних осадков, высокие температуры и низкая влажность воздуха, наличие суховея в весенний период). Для успешного возделывания здесь сельскохозяйственных культур и, в частности, свеклы в хозяйствах Чуйского, Курдайского районов Джамбулской и Каратальского района Талды-Курганской области необходимы ранние поливы. Такой вывод сделан в результате опытов, проведенных в названных районах КазНИИВХом [1].

Существует проблема: каким образом проводить ранние поливы?

Поливы напуском приводят к образованию почвенной корки и гибели еще не окрепших ростков сахарной свеклы. Не дают значительного эффекта и ранние поливы дождеванием — повреждаются неокрепшие ростки сахарной свеклы дождевыми каплями и образуется почвенная корка в непосредственной близости от них. Целесообразно ранние поливы проводить по бороздам без замочки их гребней. Нарезка же борозд в ранний период затруднена из-за отсутствия четко выраженных всходов. Но даже если они и есть, нарезка борозд в ранний период приводит к засыпке 30—50% всего количества ростков. На практике или вообще не нарезают борозды или делают их мелкими, что отрицательно сказывается на качестве поливов по бороздам. В этом одна из причин слабого внедрения бороздковых поливов и в особенности ранних.

Мы предлагаем проводить ранние поливы по бороздам, нарезанным одновременно с севом. Для этого сотрудниками института сконструировано и изготовлено приспособление для нарезки поливных борозд, навешиваемое на рамы сеялок ССН-6А и СТСП-6. Для проведения поливов дождевальным агрегатом ДДА-100М переоборудован в поливную машину.

Ранние поливы по бороздам, нарезанным одновременно с севом, изучались в ряде хозяйств Курдайского и Чуйского районов Джамбулской области. В 1964—1965 гг. на полях свеклосовхоза «Новотроицкий» Чуйского района Джамбулской области был заложен полевой опыт на производственном участке площадью 42 га. Опыт заложен по зяби, с предшественником сахарной свеклой, после двукратного малования участка. Почвы опытного участка по своему механическому составу средние суглинки с объемным весом 1,22 и предельной полевой влагоемкостью 22% от веса сухой почвы. Варианты опыта закладывались в четырехкратной повторности на двух ярусах одного участка.

Опыт проводился в такой последовательности:

вариант 1 — сев сахарной свеклы с одновременной нарезкой поливных борозд и проведение одного раннего полива;

вариант 2 — сев сахарной свеклы с одновременной нарезкой поливных борозд и проведение двух ранних поливов;

контроль — сев сахарной свеклы обычным способом и проведение первого полива в сроки, принятые в хозяйстве.

Проводились наблюдения за динамикой влажности корнеобитаемого и метрового слоев почвы, температурой почвы на глубине заделки семян, процессом нитрификации почвы, фенологией, приростом массы и др. Результаты опыта оказались положительными.

Водный режим почвы является основной характеристикой, определяющей необходимость проведения ранних и последующих вегетационных поливов. Вообще необходимость проведения поливов устанавливается на основе анализа запасов влаги в расчетном слое, как правило, в метровом. В соответствии с ранее разработанной методикой в наших исследованиях устанавливалась и анализировалась влажность в метровой толще послойно через каждые 10 см, а также на глубине заделки семян и в слое распространения основного корня сахарной свеклы.

В 1965 г. на опытном участке проведено следующее количество поливов: 1 вариант — 9 поливов оросительной нормой с учетом двухдневного испарения 7502 м³/га и без учета двухдневного испарения — 6680 м³/га; 2 вариант — 10 поливов с оросительной нормой соответственно 8098 и 7170 м³/га; контроль — 8 поливов — 6876 и 6340 м³/га (табл. 1); первые ранние поливы во всех вариантах сделаны поливными нормами 460—570 м³/га. Последующие вегетационные поливы осуществлялись поливными нормами 790—1030 м³/га.

Анализ влажности метрового слоя почвы показал, что этот показатель перед поливами колебался в пределах 70—80% от предельной полевой влагоемкости и после поливов достигал 100—105% (рис. 1—4).

В результате наблюдений за влажностью в корнеобитаемом слое, фенологией и глубиной распространения основного корня са-

Таблица 1

Динамика водного режима почвы свекловичной плантации в 1965 г.

Номера поливов	Влажность почвы в % от веса и запас воды в м ³ /га					
	вариант 1		вариант 2		контроль	
	до полива	после полива	до полива	после полива	до полива	после полива
Посев сахарной свеклы	18,6 2290		18,6 2290		18,6 2290	
1 полив			18,85 2220	21,84 2690		
2 полив	18,15 2240	22,87 2840	17,83 2190	22,79 2700		
3 полив	18,97 2510	23,45 2880	19,62 2410	23,85 2930	18,39 2260	22,18 2720
4 полив	16,2 1990	20,56 2580	15,28 1880	21,53 2680	15,37 1890	21,17 2600
5 полив	14,63 1820	22,33 2750	15,37 1890	22,64 2780	16,42 2020	22,37 2750
6 полив	15,3 1880	22,4 2760	15,0 1840	22,2 2730	14,31 1760	22,30 2740
7 полив	14,6 1790	21,52 2650	15,6 1920	21,48 2680	14,7 1800	21,8 2680
8 полив	15,76 1940	21,75 2700	15,82 1950	22,0 2700	15,01 1840	21,58 2680
9 полив	15,8 1940	22,1 2700	16,0 1980	22,25 2730	14,75 1930	22,2 2760
Оросительная норма за вегетационный период	6680		7170		6340	

Примечание. Оросительные нормы даны с учетом двухдневного испарения до взятия проб на влажность. В числителе — влажность метрового слоя почвы (в % от веса сухой почвы), в знаменателе — запас влаги (в м³/га).

харной свеклы был построен совмещенный график (рис. 2). Из него видно, что ранние поливы на участках 1 и 2 вариантов опыта способствовали более быстрому росту и развитию сахарной свеклы, чем на контрольном участке. Так, свекла на участках 1 и 2 вариантов обогнала по фазам развития свеклу на контрольном поле соответственно на 2—7 дней. Глубина распространения основного корня на первых двух вариантах по сравнению с контрольным за период с 6 апреля по 14 мая 1965 г. оказалась на 6—8 см больше.

В результате послойного установления влажности через каждые 10 см, а также на глубине заделки семян и в слое распространения основного корня сахарной свеклы методом интерполяции были по-

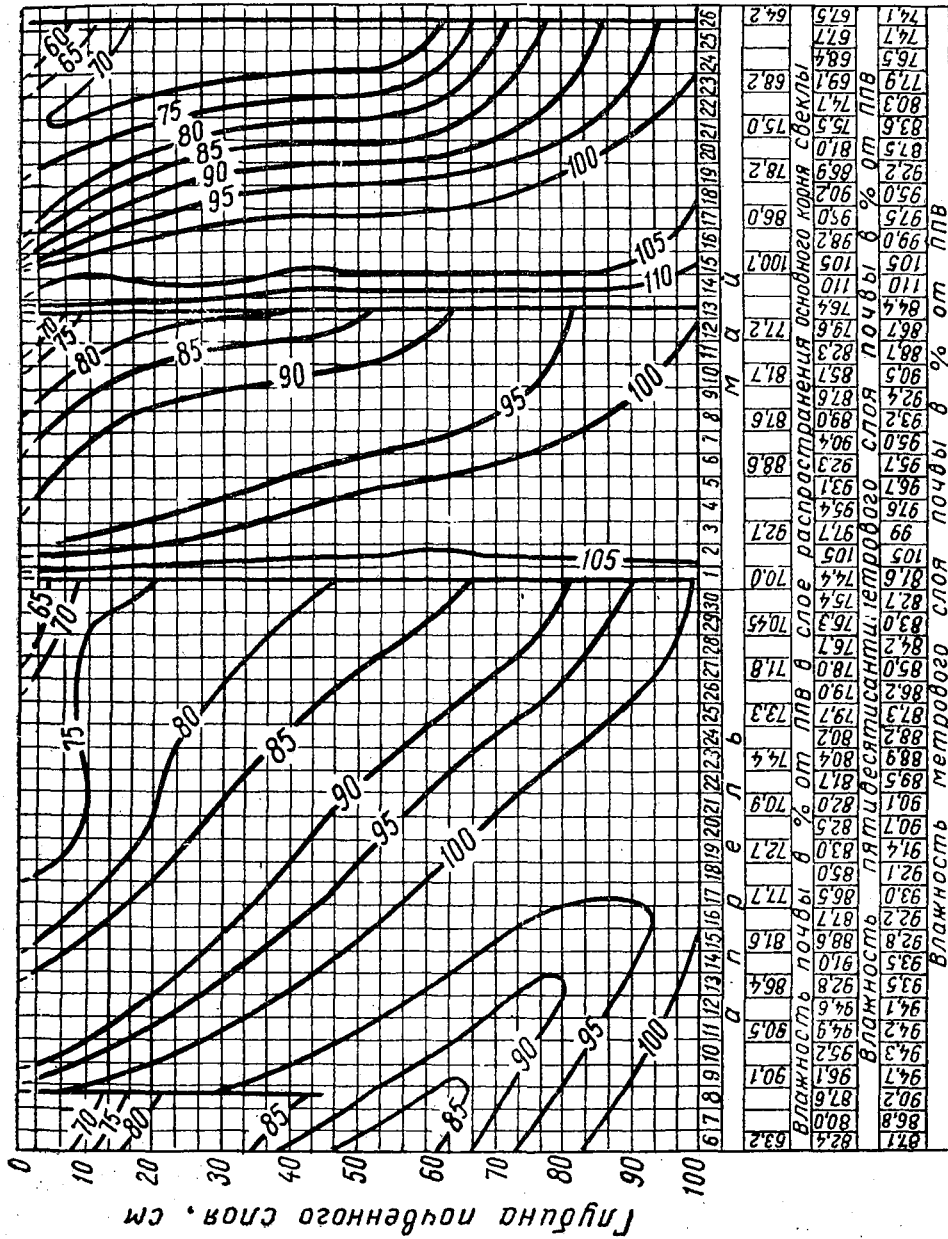


Рис. 1. Динамика влажности почвы на 1-ом варианте опыта в начале вегетационного периода 1965 г.

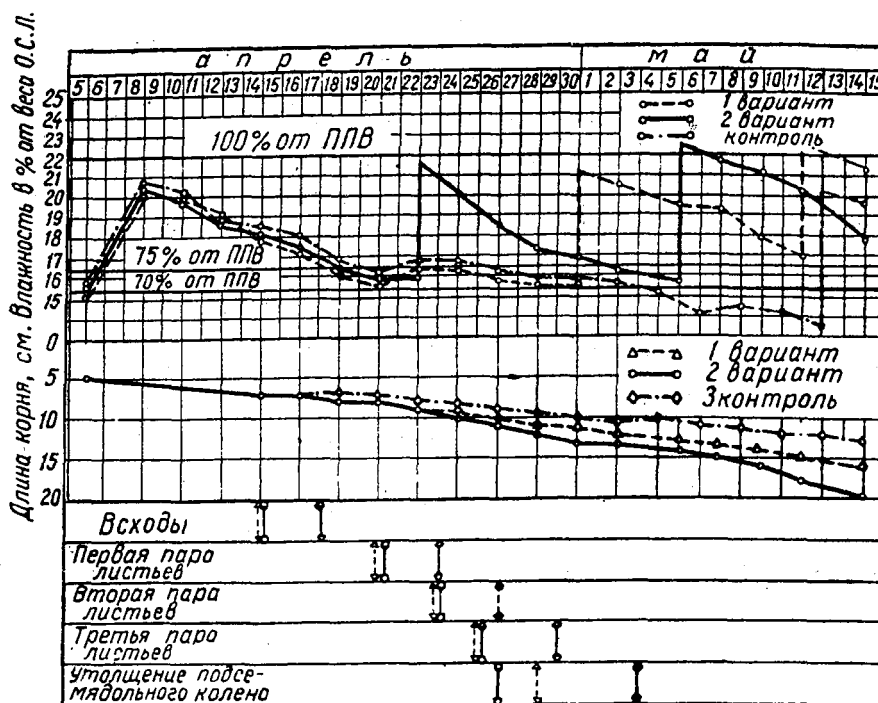


Рис. 2. Совмещенный график влажности в корнеобитаемом слое, длины основного корня и фаз развития сахарной свеклы на опытном поле КазНИИВХ в 1965 г.

строены графики (рис. 1, 3, 4) динамики влажности по всем вариантам опыта. Графики дают полную картину влажности на любой глубине в слое 1 м.

Влажность на вариантах опыта колебалась в следующих пределах: 1 вариант — в метровом слое — 74,1—100% от предельно полевой влажности; в 50-сантиметровом слое — 67,7—100%; в слое распространения основного корня — 64,2—100,7%; в 50-сантиметровом слое — 73,6—100%; в слое распространения основного корня — 72—100%; на контроле в метровом слое — 69,7—100%; в 50-сантиметровом слое — 61,2—100%; в слое распространения основного корня — 60,1—92% от предельной полевой влагоемкости.

Из графика видно: несмотря на то, что дожди, прошедшие в первой декаде апреля, увлажнили почву на значительную глубину, к началу первых поливов влажность в корнеобитаемом слое почвы оказалась: 1 вариант — 70%, 2 вариант — 72,7%, а контроль — 61,9% от предельной полевой влагоемкости.

Вышеприведенные данные показывают, что поливы на участках

1 и 2 вариантов опыта, проведенные на 13—20 дней раньше, чем на контрольном, позволили держать нижний предел влажности корнеобитаемого слоя на уровне 70% от предельной полевой влагоемкости, тогда как на контрольном участке он составил 61,9%, что на 8,1% ниже допустимого предела влажности почвы.

Благодаря анализу графика можно установить: слой активного влагообмена, где происходит перераспределение влаги от полива к поливу, для почв участка составляет примерно 60—70 см для первых поливов и 80—100 см — для последующих, то есть принятый расчетный слой в 1 м является достаточным для установления влажности почвы.

Тепловой режим почвы существенно изменяется при севе сахарной свеклы с одновременной нарезкой поливных борозд. Так, за счет гребневания поверхности почвы увеличивается площадь нагрева ее. Наблюдения за температурой почвы на глубине заделки семян в период их прорастания показали, что среднесуточная температура в гребне борозды оказалась на 2,1° выше, чем температура на ровной поверхности (контроль). Средняя температура гребневой поверхности почвы была на 1°—1,8°С выше, чем температура на ровной поверхности (рис. 1, 3, 5). В связи с этим семена на участках 1 и 2 вариантов проросли и дали всходы на 3—5 дней раньше, чем на контрольном.

П. И. Колосков в работе по агроклиматическому районированию Казахстана [4] указывает, что росту и развитию сахарной свеклы благоприятствует температура почвы до 25°С, дальнейшее же ее повышение действует на рост и развитие сахарной свеклы отрицательно.

Сев сахарной свеклы с одновременной нарезкой поливных борозд позволяет выдерживать оптимальный тепловой режим почвы. В начальный период роста и развития растений сахарной свеклы температура в гребнях борозд опытных участков 1 и 2 вариантов держится выше, чем на контрольном, что происходит за счет увеличения поверхности нагрева от солнца при гребневании почвы и благодаря более интенсивному проникновению теплого воздуха в гребни борозд, чем в ровную поверхность почвы при обычном севе. В дальнейшем, когда температура воздуха начинает сильно повышаться (более 30°С), температура почвы на опытных участках сева с одновременной нарезкой поливных борозд может быть снижена по сравнению с температурой контрольного поля за счет проведения ранних поливов, которые на этом участке в данный период проводить еще нельзя из-за сложности нарезки поливных борозд.

Микробиологический режим почвы при посеве сахарной свеклы с одновременной нарезкой поливных борозд и последующим проведением ранних поливов устанавливался на основании наблюдений за накоплением нитратов в почве. Нитраты, являющиеся источни-

ком азотного питания растений, представлены в почве солями азотной кислоты. Они образуются в результате биохимических процессов и являются продуктом жизнедеятельности нитрофицирующих бактерий, которые окисляют аммиак в азотистую, а затем в азотную кислоту.

Количество нитратов определялось в гребне и борозде на опытных участках (1 и 2 варианты) и на ровной поверхности (контроль) на глубине пахотного слоя. Благоприятные физические условия в почве на гребнях способствуют активной деятельности микробов. Уже в первые дни после посева сахарной свеклы в почве на гребнях по всей глубине пахотного слоя (0—30 см) происходило интенсивное накопление нитратов, тогда как на ровной поверхности этот процесс был мало выражен. Преимущество в накоплении нитратов на гребнях по сравнению с гладкой поверхностью было на протяжении всего периода наблюдений (табл. 2).

Таблица 2

Результаты наблюдений за процессом нитрификации на опытном поле КазНИИВХ в Новотроицком свеклосовхозе

Дата взятия проб	Среднее содержание (в мг) на 1 кг почвы				контроль (ровная поверх- ность)
	1 вариант		2 вариант		
	гребень борозды	дно борозды	гребень борозды	дно борозды	
7/IV-1965 г.	4,6	0,4-	5,10	4,7	4,4
12/IV-1965 г.	4,11	3,22	5,10	4,97	4,39
17/IV-1965 г.	4,33	3,55	5,26	4,68	4,36
22/IV-1965 г.	6,25	5,21	8,33	6,49	3,81
27/IV-1965 г.	7,07	6,27	6,14	5,01	2,05
5/V-1965 г.	9,79	9,27	14,09	2,45	10,01
10/V-1965 г.	8,92	7,36	8,98	7,18	6,16
15/V-1965 г.	8,13	6,11	11,15	7,60	10,06
20/V-1965 г.	13,20	5,49	13,61	10,11	11,22
Среднее с 7/IV по 20/V	7,4	5,21	8,64	5,9	6,27

Результаты исследований позволяют сделать вывод, что водно-воздушный, тепловой и микробиологический режимы почвы при проведении ранних поливов по бороздам, нарезанным одновременно с севом сахарной свеклы, оказались лучшими, за счет чего прибавка урожая в различные годы составила: в 1960 г. — 75—95 ц/га, в 1961 г. — 45—60, в 1964 — 145—155 и в 1965 (неблагоприятном по климатическим условиям году) — 80—130 ц/га.

Предлагаемый прием позволяет осуществлять гибкое регулирование водно-воздушного, теплового и связанного с ними микробиологического режимов почвы и поэтому в высокой степени удовлетворяет всем требованиям сельскохозяйственного производства.

ЛИТЕРАТУРА

1. Носенко В. Ф., Кван Р. А., Лопатин В. Я. Исследования по механизации поливных работ и усовершенствованию техники полива сельскохозяйственных культур в Казахстане. Научный отчет за 1963 год, ч. II. Фонды КазНИИВХ, г. Джамбул.
2. Носенко В. Ф., Огрызков А. В. Разработка перспективной технологии применения двухконсольных дождевальных и поливных агрегатов на поливе сахарной свеклы в условиях юга Казахстана. Научный отчет за 1966 г. Фонды КазНИИВХ, г. Джамбул.
3. Носенко В. Ф., Огрызков А. В. Внедрение ранних бороздковых поливов сахарной свеклы поливной машиной в степной зоне свеклосеяния КазССР. Научный отчет за 1966 год. Фонды КазНИИВХ, г. Джамбул.
4. Колосков П. И. Агроклиматическое районирование Казахстана. Изд. АН СССР, М.-Л., 1947.

МИНИСТЕРСТВО МЕЛИОРАЦИИ И ВОДНОГО ХОЗЯЙСТВА СССР
ТРУДЫ
КАЗАХСКОГО НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОГО ИНСТИТУТА
ВОДНОГО ХОЗЯЙСТВА

Том V

1969

Н. С. ГОРЮНОВ, кандидат технических наук,
Л. Ф. ПЕСТОВ и И. М. ЗАГРАНИЧНАЯ, научные сотрудники

**ВЛИЯНИЕ ОРОШЕНИЯ НА СОДЕРЖАНИЕ
МИКРОЭЛЕМЕНТОВ В ЗАСОЛЕННОЙ ПОЧВЕ**

УДК 631.6 : 631.411.6 : 577.170.49

Известно, что растения под влиянием микроэлементов повышают свою солеустойчивость и у них снижается (в определенные периоды) некоторая потребность в воде [1, 2, 3 и др.]. Отсюда — тот или иной режим орошения может усиливать вынос или увеличивать содержание микроэлементов в корнеобитаемом слое почвы, то есть вызывать нарушение взаимосвязи факторов жизни растений.

В литературе мало сведений о динамике микроэлементов в почве под влиянием конкретного режима орошения. Этот вопрос представляет особый интерес на засоленных орошаемых почвах, где, соблюдая определенный режим орошения растений, можно повысить до некоторой степени их солеустойчивость, поддерживая в оптимуме (или концентрируя) необходимые микроэлементы.

Исходя из этих соображений, авторами проведено изучение динамики микроэлементов в почве под культурой хлопчатника при рекомендованном режиме орошения.

Объект исследований расположен в зоне орошения Арысь-Туркестанского канала, которая в ближайшие годы превратится в один из основных районов хлопководства. Исследования производились на опытном участке в хлопкосовхозе № 1, расположенном в междуречье Бугунь — Чаян, где интенсивно проявляются при орошении процессы засоления и осолонцовывания.

Климат района очень сухой и жаркий. Среднегодовое количество осадков равно 178 мм; выпадают преимущественно зимой и весной. Среднегодовая относительная влажность воздуха равняется 53%, которая в летний период понижается до 23—30%. Преобладают ветры со скоростью 4,5 м/сек. Почвенный покров орошаемой зоны канала представлен в основном светлыми сероземами пустынного типа. Режим грунтовых вод на изучаемой территории в сезонном разрезе имеет ирригационно-климатический характер, а

в многолетнем — устойчиво неблагоприятный, с преобладанием режима засоления.

Почвы опытного участка по механическому составу являются тяжелыми пылеватыми суглинками с низкой водоудерживающей способностью; коэффициент фильтрации колеблется от 0,3 до 0,5 м/сутки. Объемный вес равен 1,32 в слое 0—10 см и 1,54 — в слое 0,10—1,2 м. Предельная полевая влагоемкость метрового слоя почвогрунта составляет 20,1% от сухого веса. Грунтовые воды — средnezасоленные, их минерализация составляет 10—12 г/л по плотному остатку. Уровень грунтовых вод находится на глубине 1,8—2,2 м. Почвы участка имеют хлоридно-сульфатный тип засоления, которое резко увеличивается с глубины 80 см (рис. 1).

На опытном поле в течение 5 лет возделывали хлопчатник сорта 4727. В течение вегетации эта культура получила четыре полива общей оросительной нормой 5500 м³/га. Поливали по удлиненным бороздам. Минеральные удобрения вносили в виде подкормок: 4 ц/га аммиачной селитры и 1 ц/га суперфосфата.

Содержание микроэлементов устанавливали методом количественного спектрального анализа в физико-химической лаборатории института по указаниям, содержащимся в работах Т. Н. Боровик-Романовой [6], Н. Г. Зырина, А. И. Обухова и Г. Л. Белицина [7], А. А. Кветкиной и З. И. Шлавицкой [8]. Образцы в поле по слоям почвы брали по общепринятым правилам. В лаборатории их сушили, озоляли и анализировали с использованием спектрографа модели ИСП-28 при дуговом режиме 18 а, а образцы растений — при дуговом режиме 10 а. Основа к эталонам была подобрана согласно составу исследуемых почв.

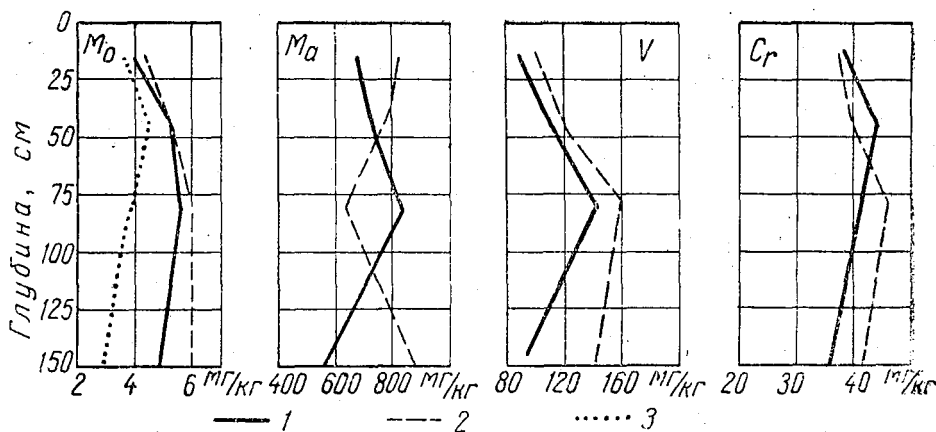


Рис. 1. Динамика валового содержания молибдена (Mo), марганца (Mn), ванадия (V) и хрома (Cr) под действием вегетационных поливов в почвогрунтах хлопкового поля:

1 — перед поливом (I—VI); 2 — после поливов (I—IX); 3 — частицы менее 0,001 мм.

4*

Результаты исследований представлены на рисунке 1 и в таблицах 1 и 2. Анализируя эти данные, видим, что пределы количественных изменений микроэлементов в пахотном слое следующие: *Mo* — 4,0—6,0; *Mn* — 670—870; *V* — 88—160; *Cr* — 36—46 и *Pb* — 23—27 *мг/кг*. Заметно нарастание концентрации некоторых микроэлементов (марганец, молибден и ванадий) в пахотном слое к концу вегетационного периода. Особенно резко увеличивается содержание марганца в верхнем слое. По нашим данным, в верхнем слое 0—20 *см* почвы сосредоточивается до 80,9% корней, а в слое 0—50 *см* располагается 92,6% корневой массы [9]. Для свинца и хрома характерна тенденция некоторого уменьшения в верхнем слое и увеличения в глубоких слоях почвы (60—120 *см*), что говорит о выносе этих микроэлементов фильтрующейся поливной водой.

В сероземах содержание марганца, по данным ряда авторов [10, 11], варьирует от 300 до 3000 *мг/кг*, и с глубиной его содержание убывает. Воднорастворимого марганца в образцах было обнаружено 0,001—0,002%. Поэтому все изменения, происходящие с данным микроэлементом, можно отнести за счет обменного марганца, имеющегося в почве и тканях хлопчатника в достаточном количестве.

Увеличение в верхнем слое содержания марганца и молибдена в нашем примере можно оценить как положительное явление, способствующее повышению солеустойчивости. Такой вывод можно сделать на основании многочисленных теоретических и практических работ ряда советских и иностранных ученых [1, 3, 4], а также Н. С. Петина и Ю. Г. Молотовского [10], Г. С. Матухина [11] и др. По данным А. Н. Гюльяхмедова [12], микроэлементы повышают солеустойчивость растений только на слабо- и среднесоленых поч-

Таблица 1

Содержание микроэлементов в почвогрунтах опытного участка

№ разреза	Слой почвы, <i>см</i>	Валовое содержание микроэлементов (воздушно-сухой почвы, <i>мг/кг</i>)			
		<i>Mo</i>	<i>Mn</i>	<i>V</i>	<i>Cr</i>
<i>Перед поливами — 1 июня</i>					
II	0—30	4,0	670	88	39
	30—60	5,3	730	110	44
	60—100	5,6	830	140	41
	100—120	5,0	560	89	36
<i>После поливов — 1 сентября</i>					
III	0—30	4,4	820	100	38
	30—60	5,3	770	120	40
	60—100	6,0	630	160	46
	100—120	6,0	870	140	42

Таблица 2

Содержание микроэлементов в растениях хлопчатника в конце вегетации (1 сентября)

Органы растения	Валовое содержание микроэлементов (воздушно-сухой массы, мг/кг)						
	Mo	Mn	Al	Pb	Cr	Fe	Cu
Стебель	1,0	Нет	800	Нет	Нет	140	1,4
Листья	4,0	420	800	Нет	Нет	500	7,0
Семена	1,5	140	91	Нет	Нет	100	9,0
Волокно	0,2	Нет	45	Нет	Нет	30	2,1
Итого в надземной части	6,7	560	1736	—	—	770	19,5
Корень с глубиной, см:							
10—20	4,5	73	Много	16	11	Много	3,0
20—30	2,6	33	„	20	20	„	2,1
30—70	3,0	160	„	1,5	114	„	6,0
Итого в подземной части	10,1	266	Много	37,5	145	Много	11,1

вах. Наши результаты относятся к данному случаю (рис. 2). Имеется много литературных данных о том, что некоторые микроэлементы обезвреживают токсическое действие других ионов, то есть они задерживают поступление в клетки вредных ионов [1, 4].

Накопление в корнеобитаемом слое марганца и молибдена способствует уменьшению расхода воды в жаркое время дня и ускорению роста растений, что достаточно точно доказали М. Я. Школьник [4], А. Х. Таги-Заде [13] и другие исследователи. Они объясняют это способностью молибдена «увеличивать содержание связанной воды, сохранять на более высоком уровне содержание белков и аскорбиновой кислоты и улучшать синтез и передвижение углеводов из листьев в органы плодоношения». В нашем опыте это подтверждается косвенно данными таблицы 2. На участке

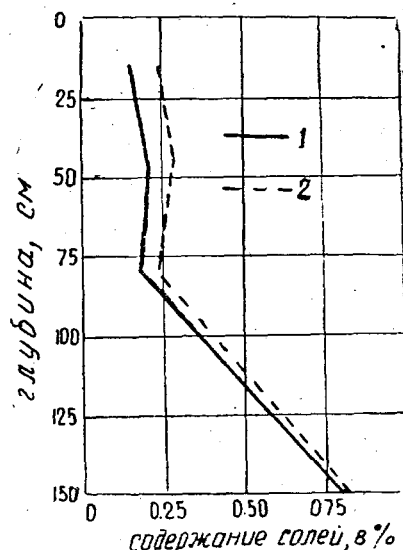


Рис. 2. Содержание легкорастворимых солей в почве:

1 — до поливов; 2 — после поливов.

было собрано 30 ц/га хлопка-сырца, 90% которого было сдано первым сортом.

После уборки урожая корни, стебли и листья хлопчатника остаются на поле и в почве. Они являются одним из источников, питающих пахотный слой необходимыми элементами. Поэтому нами наряду с почвами было определено валовое содержание микроэлементов в зрелых растениях хлопчатника в момент уборки (табл. 2).

Приведенные данные являются средними для ряда растений опытного участка. Аккумуляция микроэлементов растениями хлопчатника была следующей. Для молибдена: листья — 24%, стебли — 6%, семена — 9%, волокно — 1% и корни — до 60%. Алюминий присутствует в стенках коробочек. Здесь же концентрируется и железо, а медь — в семенах. Как видно, основным источником, пополняющим корнеобитаемый слой почвы микроэлементами, является корневая система растений. Причем она обладает избирательной способностью к полезным и ценным элементам.

Большое содержание алюминия и железа в надземной части хлопчатника, особенно в листьях, говорит о приспособленности растений к засолению. По мнению М. Я. Школьника и других авторов [1, 2, 3, 4], алюминий способствует увеличению содержания связанной воды в листьях, а свободный — уменьшению [2]. Это, в свою очередь, повышает накопление углеводов и активизирует их передвижение в стебли, и как результат — повышается солеустойчивость и уменьшается транспирационная способность в дневные часы, а значит, и лишний расход воды. Кроме того, высокое содержание алюминия и других микроэлементов в листьях нормализует энергетический обмен в растениях, которые становятся более приспособленными к высоким температурам.

Микроэлементы в почве могут перемещаться как в ионной форме, так и в составе фильтрующихся и капиллярных вод. Поэтому при близком залегании грунтовых вод за счет капиллярного поднятия может происходить миграция микроэлементов. В нашем опыте грунтовые воды имеют среднюю минерализацию 10—12 г/л и залегают близко к поверхности — 1,8—2,2 м.

В заключение можно сделать такие выводы. Режим орошения хлопчатника с оросительной нормой 5500 м³/га, с четырьмя поливами по удлиненным бороздам в междуречье Бугунь — Чаян создает нормальные условия для усвоения и перераспределения полезных микроэлементов в корнеобитаемом слое почвы и органах растения. Содержание в них марганца, молибдена и алюминия оптимизируется, что способствует увеличению солеустойчивости и приспособленности растения к высоким температурам, снижая потребность в воде. Все это подтверждает высокую способность растений к саморегулированию своих функций, оптимизируя совокупное действие внешних факторов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Школьник М. Я. Микроэлементы и солеустойчивость растений. Сб. «Физиология устойчивости растений». Изд. АН СССР, М., 1960.
2. Школьник М. Я., Боженко В. П., Маевская А. Н. Влияние алюминия, кобальта и молибдена на физиолого-биохимические процессы, определяющие засухоустойчивость растений. Сб. «Физиология устойчивости растений». Изд. АН СССР, М., 1960.
3. Школьник М. Я., Макарова Н. А. Влияние микроэлементов на физиологические процессы, определяющие засухоустойчивость растений. Сб. «Биологические основы орошаемого земледелия». Изд. АН СССР, М., 1957.
4. Школьник М. Я. Значение микроэлементов в жизни растений и земледелия Советского Союза. Изд. АН СССР, М., 1963.
5. Горюнов Н. С., Пестов Л. Ф. Улучшение мелиоративного состояния орошаемых земель в зоне АТК. «Вестник с.-х. науки», Алма-Ата, 1965, № 6.
6. Боровик-Романова Т. Ф. Спектрально-аналитическое определение щелочных и щелочноземельных элементов. Изд. АН СССР, М., 1956.
7. Зырин Н. Г., Обухов А. И. и Белицин Г. Д. Указание к определению валового содержания микроэлементов в почвах спектральным методом. Изд. МГУ, М., 1962.
8. Кветкина А. А., Шлавицкая З. И. Спектральный метод определения микроэлементов в почве и золе растений. «Вестник с.-х. науки», Алма-Ата, № 3, 1963.
9. Горюнов Н. С., Пестов Л. Ф. Проблемы орошения хлопчатника в зоне АТК. «Хлопководство», 1965, № 1.
10. Потинюв Н. С., Молотковский Ю. Г. К вопросу о физиологической сущности жароустойчивости некоторых культурных растений. «Физиология растений», 3, вып. 5, 1956.
11. Матухин Г. С. Микроэлементы и повышение солеустойчивости культурных растений. Тезисы докл. 2-й межвуз. конф. Изд. ЛГУ, 1963.
12. Гюльбахмедов А. Н. Микроэлементы в почвах зоны хлопководства АзССР и эффективность их применения под хлопчатник. Изд. АН АзССР, Баку, 1961.
13. Таги-Заде А. Х. Значение микроэлементов в питании хлопчатника. Автореферат докт. дисс. БИН АН СССР, Л., 1957.

МИНИСТЕРСТВО МЕЛИОРАЦИИ И ВОДНОГО ХОЗЯЙСТВА СССР
ТРУДЫ
КАЗАХСКОГО НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОГО ИНСТИТУТА
ВОДНОГО ХОЗЯЙСТВА

Том V

1969

Л. Ф. ПЕСТОВ, научный сотрудник

**ВОДНО-СОЛЕВОЙ БАЛАНС МЕЖДУРЕЧЬЯ БУГУНЬ — ЧАЯН
В ЗОНЕ АРЫСЬ-ТУРКЕСТАНСКОГО КАНАЛА**

УДК 631.6 : 631.411.6

Вследствие нарушения водно-солевого режима почвы часть орошаемых земель в Казахстане засоляется и заболачивается, отчего продуктивность их снижается или они выпадают из сельскохозяйственного оборота. В настоящее время из общего ирригационного фонда республики 1,2 млн. га почти одна треть в той или иной степени засолены или заболочены. В тяжелом мелиоративном состоянии находятся такие инженерные системы, как Каратальская в Алма-Атинской области, Шаульдерская и Арысь-Туркестанская в Чимкентской; требуют мелиорации орошаемые земли Чилийского, Кзыл-Ординского и Казалинского массивов в Кзыл-Ординской области общей площадью около 180 тыс. га.

Мелиоративно-гидрогеологические условия орошаемых массивов всецело зависят от характера и направленности гидрогеологического процесса, то есть от характера питания, стока, рассеивания подземных вод, их количественных и качественных изменений во взаимодействии с горными породами, атмосферой, гидросферой, почвенным покровом и биосферой (Крылов, 1959).

Направленное регулирование процесса различными методами составляет основную задачу гидротехнических и сельскохозяйственных мелиораций.

Водно-солевой баланс является количественной характеристикой гидрогеологического процесса, протекающего на массиве, и изучение его служит основой для обоснования тех или иных мероприятий, направленных на повышение плодородия орошаемых почв. Особенно нужен водно-солевой баланс при прогнозе судьбы крупных орошаемых массивов (Морозов, 1954). Эту важность подчеркивали многие гидрогеологи-мелиораторы: О. К. Ланге, М. А. Шмидт, М. И. Крылов, Н. А. Кенесарин и др.

Развитие засоления орошаемых земель на междуречье Бугунь — Чаян в зоне Арысь-Туркестанского канала связано главным образом с поднятием уровня минерализованных грунтовых вод на такую глубину (критическую) от поверхности, которая допускает подъем этих вод капиллярным путем в поверхностный слой почвы. Этот подъем является не только результатом неблагоприятных гидрогеологических условий массива, но и неправильного орошения, то есть без учета того конкретного водно-солевого баланса, какой сложился при данных почвенных, климатических, гидрогеологических и организационно-хозяйственных условиях. Неправильное сочетание этих моментов обуславливает систематическое превышение прихода грунтовых вод, поступающих на междуречье, над их расходом. В результате происходит накопление и быстрый подъем минерализованных грунтовых вод и связанное с этими явлениями засоление почв.

Поэтому знание количественной характеристики водно-солевого баланса и его изменений в связи с орошением является основным требованием при проектировании орошения и эксплуатации орошаемых земель в зоне Арысь-Туркестанского канала.

Расчет водного баланса произведен по общему уравнению С. Ф. Аверьянова:

$$\Delta W = П - Р, \quad (1)$$

где ΔW — суммарное изменение запасов воды в границах междуречья, млн. m^3 ;

$П$ — приходные статьи баланса, млн. m^3 ;

$Р$ — расходные статьи баланса, млн. m^3 .

В свою очередь

$$П = В + А + П_{\phi} + П; \quad (2)$$

где $В$ — водозабор, млн. m^3 ;

$А$ — атмосферные осадки, млн. m^3 ;

$П_{\phi}$ — приток фильтрационных вод из р. Чаян и Туркестанского магистрального канала, млн. m^3 ;

$П$ — подземный приток, млн. m^3 .

$$Р = (И + Т) + С + О, \quad (3)$$

где $(И + Т)$ — испарение и транспирация культурными и дикими растениями (эвапотранспирация), млн. m^3 ;

$С$ — суммарные сбросы за пределы междуречья по коллекторно-сбросной сети, млн. m^3 ;

$О$ — подземный сток, млн. m^3 .

Тогда общее уравнение водного баланса для массива междуречья Бугунь — Чаян будет:

$$\Delta W = В + А + П_{\phi} - (И + Т) - С \pm (П + О). \quad (4)$$

В приходной части водного баланса не учитывается конденсационная влага ввиду ее незначительности.

СУЩЕСТВУЮЩИЙ ВОДНЫЙ БАЛАНС

Водный баланс рассматривается в целом для междуречья, так как коэффициент земельного использования не превышает 0,14, а орошаемые земли расположены на массиве отдельными небольшими участками площадью 50—200 га.

Элементы водного баланса определены для вегетационного (IV—IX) и невегетационного (X—III) периодов, а также в целом для всего года (с IV-1965 по III-1966 г.). Все элементы водного баланса найдены экспериментальным или расчетным путем, кроме величины подземного притока за вычетом оттока, которая определена из уравнения по разности.

Подача оросительной воды на междуречье производилась из Туркестанского магистрального канала через распределители первого порядка и учитывалась путем ежедневных замеров расхода воды в голове каждого распределителя. Атмосферные осадки измерялись дождемером Третьякова на метеостанции «Бугунь», расположенной непосредственно на массиве междуречья. Влажность почвогрунта зоны аэрации определялась по указанным периодам на 25 характерных площадках термостатным методом. Запасы влаги подсчитывались по формуле:

$$W = 100\gamma_{об}H\beta\omega, \quad (5)$$

где $\gamma_{об}$ — объемный вес, $т/м^3$;

H — средняя мощность зоны аэрации, $м$;

β — содержание влаги в почвогрунте, %;

ω — площадь со средней мощностью зоны аэрации H , $га$.

По мощности зоны аэрации H массив был разбит на отдельные участки, на которых закладывались площадки для определения влажности.

Средневзвешенная глубина залегания уровня грунтовых вод (или средневзвешенная мощность зоны аэрации) определялась по указанным участкам по формуле:

$$H_{ср. вз} = \frac{H_1\omega_1 + H_2\omega_2 + \dots + H_n\omega_n}{\sum_1^n \omega}, \quad (6)$$

где H_1 — определенная глубина залегания уровня грунтовых вод (в $м$) для определенного участка площадью ω_1 (в $га$).

Фильтрационные потери воды из Туркестанского магистрального канала и р. Чаян определены путем регулярных инструменталь-

ных замеров при поступлении указанных водотоков на массив и при их выходе с массива. При этом установлено, что к. п. д. Туркестанского магистрального канала на участке междуречья Бугунь — Чаян (20,2 км) при расходах 25—35 м³/сек составляет 95,8%.

Дренажный сток на массиве междуречья осуществляется постоянной коллекторно-дренажной сетью, р. Бугунь, двумя скважинами вертикального дренажа периодического действия и одной глубокой скважиной для водоснабжения населения. Существующая коллекторно-дренажная сеть по главному коллектору № 1 сбрасывает дренажные воды в р. Бугунь. Сама р. Бугунь на протяжении междуречья оказывает дренирующее действие, так как отметки дна русла реки находятся ниже поверхности земли на 5—7 м при глубине воды в русле не более 1,0 м. Учет дренирующего действия реки и всех скважин производился путем регулярных замеров воды. Замеры в р. Бугунь осуществлялись при поступлении ее на массив и при выходе с массива.

Испарение с почвы и транспирация различными сельскохозяйственными культурами и дикой растительностью принято по аналогии с Голодной степью [1].

Суммарный расход влаги с целины при залегании уровня грунтовых вод 4 м и глубже определен в полевых условиях методом водного баланса.

Суммарное изменение запасов воды может быть найдено еще и по зависимости:

$$\Delta W = \Delta W_{\text{п}} + \Delta W_{\text{гр.}} = (U_{\text{к}} W_{\text{к}} - U_{\text{н}} W_{\text{н}}) + \delta(U_{\text{к}} - U_{\text{н}}), \quad (7)$$

- где $\Delta W_{\text{п}}$ — изменение запасов почвенных вод от поверхности земли до поверхности грунтовых вод, млн. м³;
 $\Delta W_{\text{гр.}}$ — изменение грунтовых вод, млн. м³;
 $W_{\text{к}}, W_{\text{н}}$ — конечная и начальная объемные влажности (средние) зоны аэрации, %;
 $U_{\text{к}}, U_{\text{н}}$ — глубина залегания уровня грунтовых вод от поверхности земли в конце и начале рассматриваемого периода, м.

Значение коэффициента водоотдачи δ определялось по формуле:

$$\delta = W_{\text{п}} - W_{\text{пр.}} \quad (8)$$

где $W_{\text{п}}, W_{\text{пр.}}$ — соответственно полная и предельная полевая влагоемкости почвогрунтов в долях единицы.

Определенная по формуле (8) величина δ в среднем для массива равна 0,12.

Подставляя полученные выше указанными способами численные значения элементов водного баланса в формулы (1, 2, 3, 7) и решая полное уравнение водного баланса, получим величину при-

Таблица 1
Существующий водный баланс междуречья Бугунь — Чаян

Периоды	Приход, млн. м ³				Расход, млн. м ³					Δ W, млн. м ³			
	водозабор	осадки	приток филь-трационных вод		приток минус отток подземных вод	Итого	(И + Т)	дренажный сток					
			из ТМК	из р. Чаян				коллекторно-дренажная сеть	р. Бугунь		скважины верт-кального дренажа водоотсаскивания		
Апрель — сентябрь 1965 г.	28,85	11,00	15,23	1,24	19,16	75,48	83,75	3,32	4,28	1,44	—	92,79	-17,31
Октябрь 1965 г. — март 1966 г.	10,23	62,00	6,42	0,90	—	79,55	25,60	3,52	4,03	0,76	29,53	63,44	+16,11
Апрель 1965 г. — март 1966 г.	39,08	73,00	21,65	2,14	19,16	155,03	109,35	6,84	8,31	2,20	29,53	156,23	-1,20

ток минус отток подземных вод (П—О). Результаты всех вычислений приведены в обобщающей таблице 1.

Анализируя существующий водный баланс междуречья Бугунь — Чаян можно отметить следующее.

При существующем коэффициенте земельного использования 0,10—0,15 в вегетационный период (IV—IX) расходные статьи водного баланса превышают приходные на 17,31 млн. м³. При этом основной расходной статьёй является суммарное испарение (90%), а приходной — водозабор (38%), приток подземных вод (25%) и потери из Туркестанского магистрального канала (20%). В не вегетационный период, наоборот, приходные статьи водного баланса больше расходных на 16,11 млн. м³. Основной приходной статьёй являются атмосферные осадки (78%), а расходной — суммарное испарение (41%) и подземный отток (47%). В целом за год расходные статьи водного баланса незначительно превышают приходные (1,2 млн. м³). Основными приходными статьями являются атмосферные осадки (47%) и водозабор на орошение (25%), расходными — суммарное испарение (70%) и подземный отток (18%).

Это обстоятельство объясняется незначительным коэффициентом земельного использования. Если рассматривать отдельные орошаемые участки, то водный баланс на них всегда имеет положительное значение, то есть приходные статьи преобладают над расходными, в результате чего на этих участках и наблюдается ежегодный подъем уровня грунтовых вод.

БУДУЩИЙ (ПРОЕКТНЫЙ) ВОДНЫЙ БАЛАНС

Расчет будущего (проектного) водного баланса составлен для наихудших условий. Площадь орошения принята по проекту на конец освоения массива — 35 тыс. га. Кроме того, учитывается площадь орошаемых земель 2000 га, подлежащая ежегодной капитальной промывке нормой 10 000 м³/га.

	Хлопчатник	Люцер-на	Кукуру-за	Бахчи, овощи	Сады и вино-градни-ки	Целя-на	Итого
Площадь, тыс. га.	8,30	5,25	0,37	0,50	0,58	20,00	35,00

При расчетах оросительная норма для хлопчатника и промывная норма приняты по данным КазНИИВХ (2), оросительные нормы остальных сельскохозяйственных культур — по данным НИТУ проектирования оросительных систем «Гипроводхоз», 1965 г. По проекту к. п. д. системы составляет 0,68 и близок к тому, который имеется в натуре.

Суммарное испарение с хлопкового поля определено экспериментальным путем на специальном балансовом участке и составляет 12 600 м³/га в год при урожайности 30—35 ц/га и при глубине залегания уровня грунтовых вод 2,0—2,5 м от поверхности земли. Эвапотранспирация остальных сельскохозяйственных культур за вегетационный период (IV—IX) определена расчетным путем с учетом их плановой урожайности и коэффициентов водопотребления урожая (3). За невегетационный период (X—III) испарение с почвы принято по данным КазНИИВХ (1800 м³/га); суммарные сбросы по коллекторно-дренажной сети и р. Бугунь — 11,1% от приходных статей, исходя из существующего баланса. Сбросы из глубоких скважин и приток за вычетом оттока подземных вод приняты по существующему водному балансу, атмосферные осадки — среднемноголетние по метеостанции «Туркестан».

Результаты всех расчетов по будущему (проектному) водному балансу междуречья Бугунь — Чаян сведены в таблицу 2.

Таблица 2

Будущий (проектный) водный баланс междуречья за год

Элементы водного баланса	Баланс, млн. м ³	
	приход	расход
Водоподача на орошение	205,23	—
Атмосферные осадки	62,30	—
Фильтрация Туркестанского магистрального канала и р. Чаян	39,10	—
Всего	306,63	
Испарение плюс транспирация	—	220,04
Дренажный сток по коллекторам, р. Бугунь, скважинам вертикального дренажа	—	36,20
Отток минус приток подземных вод	—	10,37
Всего	—	266,61

Сальдо водного баланса для всего массива междуречья составляет +40,02 млн. м³ в год. Основной приходной статьей является водоподача на орошение (67%), а расходной — суммарное испарение (83%). Увеличение расходных статей водного баланса возможно только за счет дренажного стока.

ПРОГНОЗ РЕЖИМА УРОВНЯ ГРУНТОВЫХ ВОД

Изменение уровня грунтовых вод за год на массиве может быть определено по зависимости:

$$\Delta H = \frac{\Delta W}{3}, \quad (9)$$

где ΔH — величина изменения уровня грунтовых вод за год, м;
 ΔW — сальдо водного баланса за год, м;
 δ — средний для массива коэффициент водоотдачи.

Итак:

$$\Delta H = \frac{0,114}{0,12} = 0,95 \text{ м в год.}$$

Таким образом, при полном освоении орошаемых земель на междуречье Бугунь — Чайя уровень грунтовых вод будет повышаться на 0,95 м в год, а на орошаемых полях эта величина — еще больше. Очевидно, что без искусственного отвода излишних грунтовых вод мелиоративное состояние массива будет с каждым годом ухудшаться.

СУЩЕСТВУЮЩИЙ СОЛЕВОЙ БАЛАНС

Соли на междуречье Бугунь — Чайя в почвах и грунтовых водах распределены очень неравномерно по площади и глубине. Это вызвано неравномерностью испарения и транспирации, различными условиями просачивания атмосферных осадков и оросительных вод, выборочного орошения с многократным перемещением с одних площадей на другие, многообразным влиянием литологии, рельефа и т. д. Различная выраженность этих условий и динамичность их приводят к типичной для орошаемых массивов неоднородности в проявлении процессов засоления и рассоления. Это находит свое отражение в комплексности почвенного покрова, в большой разнице количественного и качественного состава грунтовых вод.

Для освещения динамики и общей направленности процессов засоления рассчитан солевой баланс междуречья.

Как известно, вода является главной причиной подвижности химических соединений. Поэтому, зная изменение водного баланса определенного участка суши и минерализацию циркулирующей воды, можно рассчитать и баланс солей.

На массив междуречья соли поступают с атмосферными осадками, ирригационной водой, поверхностным и подземным стоком, уходят в основном с подземным и дренажным стоком. Рассмотрим каждую статью прихода и расхода солей на массиве.

Приход солей с атмосферными осадками. Так как атмосфера земли в низких и средних широтах загрязнена мелкими пылинками, частицами солей, попавшими в воздух за счет эоловой деятельности, то выпадающие атмосферные осадки растворяют их и минерализуются еще в небе.

В исследуемом районе химический состав атмосферных осадков, по данным КазНИИВХ, составляет в среднем 0,05 г/л. Общий приход солей на массив за этот счет равен:

$$P_A = \frac{AC}{1000}, \quad (10)$$

где P_A — общий приход солей из атмосферы, тыс. т;
 A — объем атмосферных осадков, m^3 ;
 C — минерализация атмосферных осадков, $кг/m^3$.

Тогда:

$$P_A = \frac{73\,000\,000 \cdot 0,05}{1000} = 3,65 \text{ тыс. т.}$$

Химический состав оросительной воды, подаваемой на массив из Бугуньского водохранилища через Туркестанский магистральный канал, а также воды р. Чаян в различные периоды времени изучался КазНИИВХ и приведен в таблице 3.

Следовательно, с оросительной водой и фильтрационными водами из ТМК и р. Чаян на массив поступает солей:

$$P_{B+\Phi} = \frac{(B + \Phi_{\text{ТМК}}) \cdot C_{\text{ТМК}} + \Phi_{\text{ч}} C_{\text{ч}}}{1000},$$

где $P_{B+\Phi}$ — общий приход солей с поливной водой и фильтрационными водами из ТМК и р. Чаян, тыс. т;

B — объем воды, поданной на орошение, m^3 ;

$\Phi_{\text{ТМК}}$ — объем фильтрационных вод из ТМК, m^3 ;

$\Phi_{\text{ч}}$ — то же, из р. Чаян, m ;

$C_{\text{ТМК}}$ — минерализация воды в ТМК, $кг/m^3$;

$C_{\text{ч}}$ — то же, в р. Чаян, $кг/m^3$;

$$P_{B+\Phi} = \frac{(39\,080\,000 + 21\,650\,000) \cdot 0,397 + 2\,140\,000 \cdot 0,474}{1000} = 25,12 \text{ тыс. т.}$$

Таким образом, общий приход солей на массив составляет 36,07 тыс. т.

Таблица 3

Химический состав поверхностных и дренажных вод в среднем за 1965 г.

на междуречье $\left(\frac{2}{\text{мг-экв}} - 1 \text{ л}\right)$

Источник	Сухой остаток, г/л	Щелочность		Cl'	SO ₄ '	Ca''	Mg'	Na' + K' по разности
		CO ₃ '	HCO ₃ '					
ТМК на ПК-8	0,397	0,018	0,203	0,021	0,122	0,043	0,029	0,048
		0,6	3,33	0,59	2,54	2,15	2,42	2,11
Р. Чаян	0,479	—	0,159	0,021	0,211	0,031	0,028	0,085
		—	2,60	0,60	4,40	1,57	2,35	3,68
Р. Бугунь (нижний створ)	1,475	0,018	0,246	0,255	0,575	0,083	0,089	0,222
		0,63	4,04	4,60	11,93	4,15	7,52	9,45
Скважина вертикального дренажа	1,867	0,011	0,555	0,173	0,836	0,157	0,140	0,239
		0,36	3,65	4,95	17,43	7,87	7,37	11,39
Устье К-1	5,770	0,035	0,236	1,401	2,269	0,561	0,253	1,240
		0,81	3,88	35,31	47,32	15,96	18,28	50,95

Убыль солей с массива происходит за счет подземного оттока, по коллектору № 1 (К-1), р. Бугунь и скважин вертикального дренажа:

$$\text{за счет подземного оттока} \quad \frac{10\,370\,000 \cdot 1,867}{1000} = 19,40 \text{ тыс. т.};$$

$$\text{по коллектору № 1} \quad \frac{6\,840\,000 \cdot 5,770}{1000} = 39,40 \text{ тыс. т.};$$

$$\text{за счет дренирования р. Бугунь} \quad \frac{8\,310\,000 \cdot 1,475}{10\,000} = 12,20 \text{ тыс. т.};$$

$$\text{из скважин вертикального дренажа} \quad \frac{2\,200\,000 \cdot 1,867}{1000} = 4,10 \text{ тыс. т.}$$

Всего расходных статей 75,10 тыс. т.

Сравнивая приходные и расходные статьи солевого баланса, видим, что он имеет отрицательное значение — 39,03 тыс. т, то есть с массива уносится в год лишь 1,1 т солей с каждого гектара, что составляет менее 0,1% от запасов солей, находящихся в зоне аэрации.

СОЛЕВОЙ БАЛАНС МЕЖДУРЕЧЬЯ ПОСЛЕ ЕГО ПОЛНОГО ОСВОЕНИЯ

Минерализация воды в приходной и расходной частях принята без изменений из существующего солевого баланса, расчеты сведены в таблицу 4.

Таблица 4

Расчет солевого баланса

Статьи	Баланс, тыс. т	
	приход	расход
Атмосферные осадки	9,35	
Водоподача	81,65	
Фильтрация из ТМК и р. Чаян	17,10	
Итого	108,10	
Дренажный сток по К-1 р. Бугунь	—	115,5
Из скважин	—	4,10
Подземный отток	—	19,40
Итого	—	139,00

Сравнивая приходные и расходные части баланса, видим, что сальдо солевого баланса отрицательно — 30,9 тыс. т, или менее 0,88 т/га в год. С учетом значительного исходного засоления верхнего 4-метрового слоя почвогрунтов (порядка 500 т/га) для его рассоления при указанном балансе потребуется более 500 лет.

Следовательно, для форсированного опреснения почвогрунтов необходима постройка дренажа, так как основной расходной статьей солевого баланса является и может быть в основном дренажный сток.

Учитывая, что основное скопление солей в почвогрунтах находится в верхнем 3—4-метровом слое, то после удаления их путем промывок и дренажа можно предполагать дальнейшее рассоление почвогрунтов в процессе эксплуатации и в целом улучшение мелиоративного состояния данного массива орошения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Технические указания по проектированию горизонтального дренажа засоленных земель. Гипроводхоз, 1963.
2. Научный отчет по теме «Мероприятия по борьбе с засолением орошаемых земель в зоне Арысь-Туркестанского канала» (за 1963—65 гг.), КазНИИВХ, 1966.
3. Нормы и технические условия проектирования оросительных систем. Гипроводхоз, 1965.

И. Н. ХЕ, инженер

АВТОМАТ ДЛЯ ВОЖДЕНИЯ ТРАКТОРНЫХ ДОЖДЕВАЛЬНЫХ АГРЕГАТОВ

УДК 631.347.621.941.234

Длина гона агрегата ДДА-100М зависит от типа почв и колеблется в условиях юга Казахстана от 20 до 250 м. Кратность возвратно-поступательного движения на одном загоне зависит от требуемой поливной нормы и колеблется от 1 до 10. Поэтому такое многократное движение агрегата на определенное расстояние назад

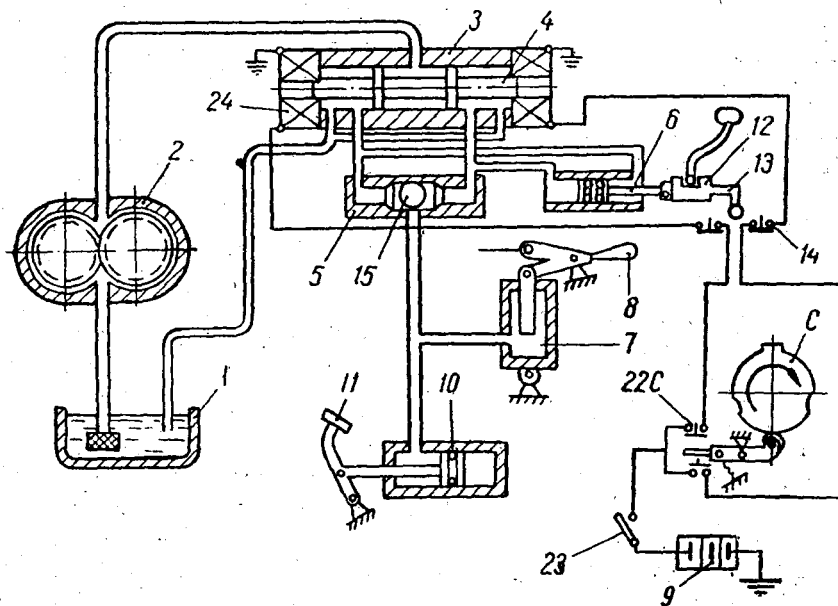


Рис. 1. Электрогидравлическая система автомата вождения тракторных дождевальнх агрегатов.

и вперед с фиксированием числа проходов его (иначе произойдет отклонение от заданной поливной нормы) утомляет тракториста-поливальщика.

Автомат для вождения тракторных дождевальных агрегатов представляет собой электрогидравлическую систему (рис. 1), в которую входят следующие основные узлы: бак с рабочей жидкостью 1, насос 2, золотниковый распределитель 3 с соленоидами 24, гидроцилиндр подачи топлива 7, связанный с рычагом подачи топлива 8, гидроцилиндр муфты сцепления 10, связанный с педалью муфты сцепления трактора 11, переключатель 5, гидроцилиндр 6, связанный с рычагом коробки перемены передач 12, рычаг 13 для переключения кнопки выключателя 14, программное устройство С и аккумуляторная батарея 9.

Программное устройство С (кинематическая схема показана на рис. 2) представляет собой шестеренчатый редуктор, который получает привод от ведущей звездочки трактора через гибкий вал.

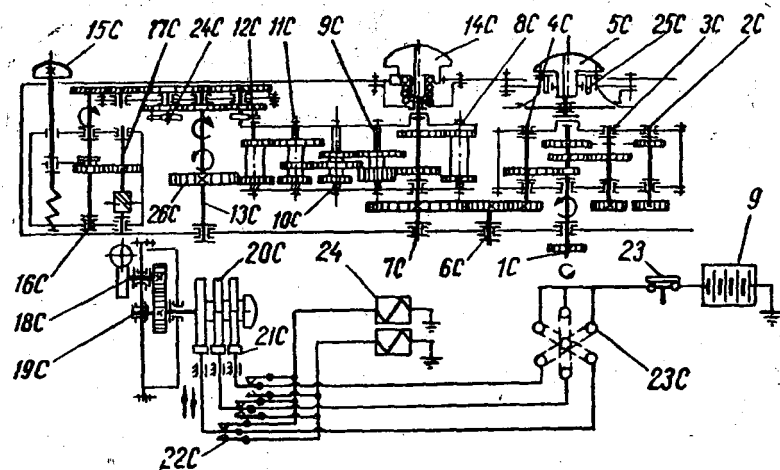


Рис. 2. Кинематическая схема программного устройства.

Вращение приводного вала 1С происходит по часовой стрелке или против (в зависимости от движения трактора вперед или назад). Валы 2С, 3С и 4С имеют одинаковое межцентровое расстояние по отношению к валу 1С и смещены относительно друг друга по окружности на угол 120° . Поворотом ручки 5С, регулятора количества проходов возвратно-поступательного движения агрегата, которая имеет три фиксированных положения, можно вводить поочередно в зацепление нижнюю шестерню вала 2С, 3С и 4С с шестерней вала 6С.

Вал 2С обеспечивает 3-кратное количество проходов по участку, т. е. движение агрегата вперед — назад, вперед — вперед. Вал 3С позволит сделать пять проходов агрегата, то есть движение вперед — назад, вперед — назад, вперед — вперед.

Профилированные диски 20С разбиты на 3, 5 и 7 частей, которые соответственно имеют передаточные отношения 1; 1,65; 2,25. На поверхности диска есть выступы и впадины, которые действуют на кулачки 21С, замыкая контакты 22С, что соответствует движению агрегата вперед или назад. Диск с 3-кратным количеством проходов имеет одну впадину и два выступа, что соответствует один раз движению назад и два раза — движению вперед и т. д. Шестерни вала 7С получают вращение от шестерни вала 6С.

Валы 8С, 9С, 10С, 11С и 12С находятся в постоянном зацеплении между собой и с шестернями вала 7С. С валом 7С они имеют одинаковое межцентровое расстояние и смещены относительно друг друга по окружности на угол 72°. Поворотом ручки 14С, у которой пять фиксированных положений, можно поочередно вводить в зацепление шестерни этих пяти валов с шестерней 26С вала 13С и получить пять различных вариантов расстояний, которые проходит агрегат в одном направлении. При введении в зацепление шестерни вала 8С с шестерней 26С вала 13С получаем расстояние, равное 300 м, вала 9С — 200 м, вала 10С — 100 м, вала 11С — 50 м и вала 12С — 25 м. При установке ручкой 5С трехкратного прохода и ручкой 14С — расстояния, равного 200 м, агрегат пройдет расстояние, равное 800 м. Ручка 15С отключает привод на диски 20С при настройке ручками 14С и 5С.

При вращении профилированных дисков 20С, которые жестко связаны с валом 19С, они своими выступами и впадинами действуют на кулачки 21С, тем самым замыкая контакты 22С. При этом работает та пара контактов, у которой электрическая цепь не разомкнута. Замыкание и размыкание электрической цепи происходит с помощью двухштыревой вилки 25С и пластины, которая имеет 6 отверстий 23С, смещенных относительно друг друга на угол 60° по окружности. Поэтому при замыкании электрической цепи работает только одна пара контактов, а остальные при вращении диска 20С делают холостой ход.

С помощью храпового механизма 24С диски 20С получают вращение только в одном направлении, хотя направление движения трактора меняется. При подаче электрического сигнала программным механизмом С для движения агрегата вперед или назад ток от аккумуляторной батареи 9 (рис. 1) поступает через выключатель 23, контакты 22С, 14 к соленоидам 24. При перемещении штока золотника 4 под действием соленоидов 24 рабочая жидкость от насоса 2 поступает одновременно в гидроцилиндр 6, который связан с валиком переключения скорости трактора, и в переключатель 5, который постоянно направляет рабочую жидкость в гидроцилиндры 7

и 10 независимо от того, какой сработал соленоид. Под действием рабочей жидкости шариковый клапан 15 перемещается вправо или влево, и рабочая жидкость поступает в первую очередь в гидроцилиндр 7, который, действуя на рычаг 8, уменьшает подачу топлива, а потом — в гидроцилиндр 10, который связан с педалью муфты сцепления трактора 11. Как только выключается педаль муфты сцепления трактора, сразу же начинает перемещаться шток гидроцилиндра 6, который связан жестко с валиком переключения скорости трактора 12. При перемещении валика 12 перемещается и рычаг 13, который воздействует на контакты 14, разрывая электрическую цепь, тем самым прекращая подачу рабочей жидкости в гидроцилиндры 7, 10 и 6. Под действием пружин педаль муфты сцепления трактора и рычаг подачи топлива возвращаются в исходное положение. Трактор движется вперед или назад.

Проведенные в 1967 г. полевые испытания выше указанной системы показали, что она работоспособна.

Л. А. КИМ, В. Я. ЛОПАТИН, *научные сотрудники*

ПОДГОТОВКА УЧАСТКОВ К ПОЛИВАМ

УДК 631.31 : 631.117

В условиях юга и юго-востока Казахстана орошение является одним из основных звеньев интенсификации сельскохозяйственного производства. Поэтому полное освоение орошаемых земель и их эффективное использование под посевы является важнейшей задачей сельскохозяйственных и водохозяйственных органов республики.

В настоящее время в Казахстане более 1,2 млн. га водообеспеченных земель с оросительной сетью. Однако фактически осваивается менее 1,0 млн. га. А на освоенных поливных землях необходимого числа поливов не производится, поэтому во многих хозяйствах и совхозах недопустимо низкие урожаи сельскохозяйственных культур, особенно зерновых.

Одной из главных причин неосвоения орошаемых земель поливами в большинстве хозяйств республики является низкая производительность труда при поливах, которая в значительной мере зависит от правильной и доброкачественной подготовки полей.

Без подготовки площадей к поливам поданная на поле вода (в поливные борозды и на полосы) стекает в пониженные места, оставляя в то же время неполитыми повышенные участки. То есть без выравнивания поля, правильной и качественной нарезки поливной и временной оросительной сети и прочих работ перед поливом оросительная вода расходуется непроизводительно, выработка поливальщика уменьшается, почва по длине борозд и полос увлажняется неравномерно. Поспевание же почвы в различные сроки не позволяет своевременно проводить послеполивные обработки, поэтому машины работают непроизводительно.

На значительной площади орошаемых земель поливы сельскохозяйственных культур проводятся поверхностными способами — по бороздам (пропашных культур) и напуском по полосам (влаго-

зарядковые и вегетационные — культур сплошного сева). Поэтому очень важно разработать эффективные мероприятия по подготовке участков к поливам по бороздам и полосам и предусмотреть применение высокопроизводительных орудий для их проведения.

ПЛАНИРОВКА ПОЛИВНЫХ УЧАСТКОВ

Опыт и практика показывают, что для устранения неровностей поверхности поля, препятствующих нормальному проведению поливов сельскохозяйственных культур, необходимо производить планировку трех видов: капитальную, текущую и поверхностное выравнивание.

Капитальная планировка осуществляется один раз на длительный период эксплуатации поливных участков. Объемы планировочных работ при капитальной планировке обычно составляют 400 м³ и более на гектар.

Текущая планировка предназначена для устранения небольших неровностей поля, образующихся в результате устройства и заравнивания временной оросительной сети, поделки поливной сети, эрозии почвы и т. д. Осуществляется она в зависимости от рельефа местности и ведения хозяйства через 2—3 года. Объемы планировочных работ обычно составляют 150—250 м³ на гектар.

Из-за сложности работ капитальную и текущую планировку производят машинами и механизмами специального назначения.

Одним из важнейших приемов подготовки участков к поливам, как показал опыт КазНИИВХ, является ежегодное выравнивание поверхности поля. Специальными исследованиями в хозяйствах Курдайского, Чуйского и Свердловского районов Джамбулской области установлено, что для высококачественного проведения влагозарядковых поливов, сева, вегетационных поливов и междурядных обработок на орошаемых землях, даже подвергавшихся ранее планировке, необходимо выравнивать микрорельеф поля.

Выравнивание поверхности поливных участков наиболее эффективно производить длиннобазовыми планировщиками типа ПТ-4А и П-4, работающими с тракторами С-100 и С-100ГП, и типа П-2,8, работающими с трактором ДТ-54А. Планировщики позволяют добиваться высокого качества работ. Производительность их составляет 0,6—1,0 га за час работы (в один след).

Наиболее простыми орудиями для выравнивания общего фона поливных участков могут служить также различные выравниватели типа тракторных волокуш, которые хорошо работают по уже подготовленному для выравнивания полю. После вспашки сначала разравнивают свальные гребни, развальные борозды и бугры, образуемые на поворотах агрегатов, грейдерами среднего типа или другими специальными орудиями.

Для поверхностного выравнивания поливных участков можно применять сконструированные и изготовленные в КазНИИВХ наиболее простые прицепные орудия — мала-выравниватель и усиленная тракторная волокуша. Орудия прошли испытания в производственных условиях и показали хорошие результаты. Ниже приводится краткая техническая характеристика этих орудий (табл. 1).

Таблица 1
Технико-эксплуатационные показатели выравнивающих орудий

Показатели	Мала-выравниватель	Тракторная волокуша
Конструктивная ширина захвата, м	6,0	5,0
Агрегатируется (трактор)	ДТ-54 А, ДТ-75	ДТ-54 А, ДТ-75
Габариты в рабочем положении, мм:		
длина	4500	4200
ширина	6000	5000
высота	520	300
Вес, кг	430	460
Тяговое сопротивление, кг	850 ÷ 1700	900 ÷ 2000
Стоимость орудия, руб.	80	90
Производительность, га/час	2,0 ÷ 2,4	2,2 ÷ 2,6
Общий коэффициент использования рабочего времени	0,9	0,9
Прямые издержки на 1 га при работе в один след, руб.	1,03	1,12

Основными частями мала-выравнивателя (рис. 1) являются: планировочный деревянный (желательно из материала лиственницы) брус, у которого фронтальная сторона (рабочая поверхность) окована сталью по форме бульдозерного ствола; прицеп, изготовленный из деревянного бруса (возможна замена на швеллер № 10); боковые растяжки и регулировочный винт, которым служит центральная тяга навесной системы трактора КДП-35. Он предназначен для регулирования угла наклона планировочного бруса к поверхности почвы, от которого зависит величина срезки грунта.

Во время работы мала-выравниватель срезает планировочным брусом неровности вспаханной почвы и, перемещая грунт по рабочей поверхности, одновременно засыпает понижения микрорельефа. Причем величина срезки и засыпки достигает 7—9 см за один проход мала. Перед началом работы мала-выравниватель устанавливают под углом 60—65° к оси движения трактора с помощью боковых растяжек. Рабочая ширина захвата мала в зависимости от угла изменяется от 5,2 до 6 м. Вес мала-выравнивателя — около 380 кг, производительность — 2,7—2,8 га/час. Агрегатирование производится тракторами класса 3 т.

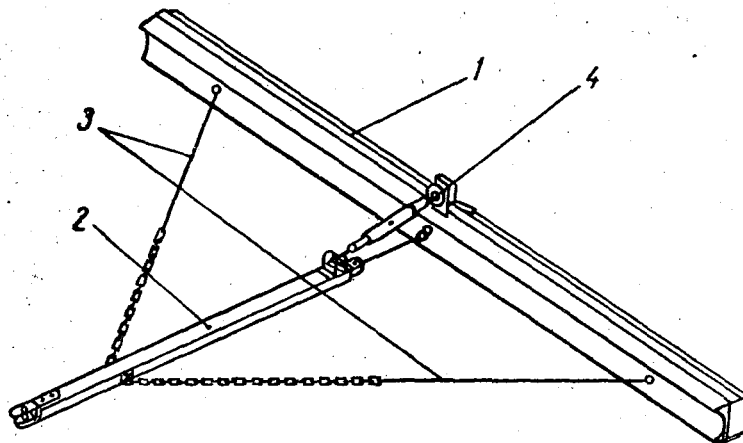


Рис. 1. Мала-выравниватель:

1 — планировочный брус; 2 — прицеп; 3 — боковые растяжки; 4 — регулировочный винт.

Основными узлами тракторной волокуши (рис. 2) являются: четырехугольная деревянная рама; ножи-брусья (расположенные под углом к направлению движения) и направляющие диагональные брусья. Для прочности и жесткости всей конструкции устанавливают вдоль орудия грядили (в количестве 5 штук), выполненные из уголка № 5.

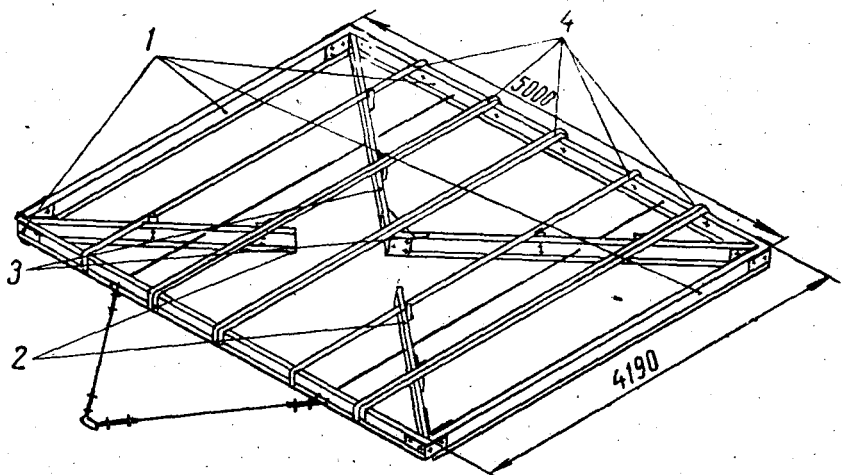


Рис. 2. Тракторная волокуша:

1 — рама; 2 — ножи брусья; 3 — диагональные брусья; 4 — грядили.

В ходе работы волокуша своими ножами-брусками срезает неровности почвы и направляет грунт на направляющие бруска для равномерной засыпки понижений. Величина срезки и засыпки достигает 8—10 см за один проход волокуши. Размер тракторной волокуши — 5,0×4,2 м, вес — 460 кг, производительность — 2,2—2,6 га/час. Агрегатирование тракторной волокуши производится тракторами 3 т.

НАРЕЗКА ПОЛИВНОЙ И ВРЕМЕННОЙ ОРОСИТЕЛЬНОЙ СЕТИ

Для проведения высококачественных поливов еще недостаточно, чтобы поверхность поливного участка была только выровнена. Поданная на выровненную поверхность участка вода стекает по уклону (продольному и поперечному) в более низкие места, то есть равномерно полить невозможно.

Чтобы вода не стекала в более низкие места и чтобы обеспечить равномерное увлажнение почвы, повысить производительность труда поливальщика и облегчить его работу, на участке нужно нарезать поливную сеть. Для полива напуском поверхность поливного участка по направлению основного уклона разбивается земляными водоудерживающими валиками на длинные и узкие участки — поливные полосы, а для полива по бороздам — нарезаются необходимой глубины поливные борозды.

Поливные полосы для проведения влагозарядковых и вегетационных поливов культур сплошного сева нарезаются полосообра-

Таблица 2

Технико-эксплуатационные показатели полосообразователей

Показатели	ПДП-3,6	ПМП-3,6	НП-3,6
Ширина нарезаемых полос, м	3,6	3,6	3,6
Ширина валиков у основания, см	44	46	46
Высота валиков, см	18	18	18
Агрегатируется (трактор)	ДТ-54А, ДТ-75	ДТ-54А, ДТ-75	ДТ-54А, ДТ-75
Габаритные размеры, мм:			
длина	7000	5760	4070
ширина	3900	4050	4000
высота	360	370	300
Вес, кг	360	370	320
Радиус поворота агрегата, м	8,7	6,5	—
Стоимость полосообразователя, руб.	150	115	43
Тяговое сопротивление, кг	1200	1200	—
Общий коэффициент использования рабочего времени	0,85	0,87	0,90
Производительность, га/час	1,50	1,60	1,60
Прямые издержки на 1 га, руб.	1,70	1,65	1,60

зователями или специальными агрегатами, состоящими из выравнивающих орудий, риджера и мал со скошенными рабочими досками (табл. 2). Сконструированные и изготовленные КазНИИВХ орудия для нарезки полевых полос показали хорошие результаты при работе в производственных условиях.

Прицепной деревянный полосообразователь состоит из треугольной деревянной фермы с углом заострения 40° ; продольного бруса, на горизонтальной поверхности которого проложены две полудюймовые газопроводные трубы для соединения выносного цилиндра с гидравликой трактора; двух боковых риджеров; механизма регулирования заглубления полосообразователя; стабилизатора, которым служит дисковый нож плуга П-5-35М; планировочного бруса и выносного гидроцилиндра, с помощью которого осуществляется на разворотах подъем и опускание стабилизатора.

При нарезке полос полосообразователь передним углом врежется в почву на глубину 3—5 см и перемещает грунт вдоль боковых досок к риджерам, где формируется два полувалика. Следующим проходом полосообразователь одним риджером идет по образованному полувалику, а вторым — формирует новый полувалик с выравниванием новой полосы. Ширина нарезанных полос равна 3,6 м, высота водоудерживающих валиков — 12—18 см, ширина у основания — 40—46 см. Производительность полосообразователя — 1,4—1,5 га/час.

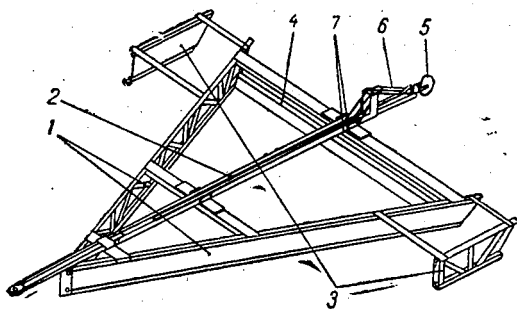


Рис. 3. Прицепной металлический полосообразователь:

1 — ферма; 2 — балка продольная; 3 — риджера; 4 — планировочная балка; 5 — стабилизатор; 6 — гидроцилиндр; 7 — трубы.

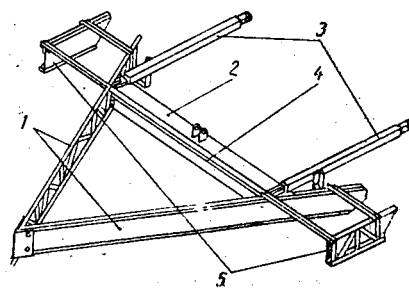


Рис. 4. Навесной полосообразователь:

1 — ферма; 2 — балка поперечная; 3 — балки толкающие; 4 — балка планировочная; 5 — риджера.

Прицепной металлический полосообразователь ПМП-3,6 (рис. 3) состоит из треугольной фермы с углом заострения 50° ; основной продольной балки с прицепом; двух боковых риджеров; планировочной балки; стабилизатора, которым служит дисковый

нож; выносного гидроцилиндра, работающего от гидравлики трактора. Принцип работы ПМП-3,6 такой же, как и деревянного прицепного полосообразователя. Ширина нарезаемых полос (по оси валиков) — 3,6 см; высота валиков — 12—20 см, ширина у основания — 40—46 см. Производительность полосообразователя — 1,6 га в час. Агрегатирование производится тракторами класса 3 т.

Навесной металлический полосообразователь НП-3,6 (рис. 4) имеет следующие части: треугольная ферма (угол заострения 60°) с поперечной (подъемной) балкой; две толкающие балки; планировочная балка и два риджера.

Принцип работы НП-3,6 по нарезке поливных полос такой же, как прицепных полосообразователей. Ширина нарезаемых полос равна 3,6 м, высота водоудерживающих валиков — 16—20 см, ширина у основания — 40—46 см. Производительность НП-3,6 — 1,6 га в час. Навеска полосообразователя производится на тракторы класса 3 т.

Для нарезки поливных полос под влагозарядковые поливы можно применять агрегаты: тракторная волокуша или мала-выравниватель, средний риджер и две малы со скошенными рабочими досками.

Средний риджер (металлический или деревянный) изготавливается с размерами: ширина входной части — 160 см, выхода — 20 см, длина — 200 см и высота боковой поверхности — 25 см. На риджере устроена тяга для сцепки двух мал со скошенными рабочими досками. Назначение риджера — поделка земляных водоудерживающих валиков поливных полос.

Малы со скошенными рабочими досками с размерами в плане 170×160 см изготавливаются из досок толщиной 3 см. Роль мал со скошенными рабочими досками — равномерно разравнивать почву по ширине полосы с ликвидацией приваликовых резервов.

При работе агрегатов ширина выравнивающей и нарезаемой полосы может быть равна 5,5 м (если установлена мала-выравниватель под углом 65° к направлению движения) или 5,0 м (если в агрегате установлена тракторная волокуша). Высота нарезаемых валиков равна 14—20 см, ширина у основания — 30—45 см. Производительность агрегатов — соответственно 2,5—2,6 га/час и 2,4—2,5 га/час.

Нарезка поливных борозд при поливе пропашных культур осуществляется орудиями специального назначения (культиватор-окучник КОН-2,8 на тракторе ДТ-24 или Т-28, навесной культиватор-растениепитатель КРН-4,2 на тракторе МТЗ-2 и т. д. и двенадцатирядная навесная сеялка — культиватор-растениепитатель СКРН-12А), выпускаемыми промышленностью.

Исследованиями КазНИИВХ установлено, что поливные борозды можно нарезать этими орудиями при средних уклонах (0,003—0,007) глубиной до 15 см (междурядье до 50 см) и до 20 см

(междурядье более 60 см) и шириной по верху соответственно 25—30 см и 40—50.

Для подачи воды в поливные борозды полосы необходимо нарезать временную оросительную сеть. По продольной схеме нарезают вначале выводные борозды, а затем временные оросители, а при поперечной — только временные оросители стандартными канавокопателями типа КЗУ-0,3. Временная оросительная сеть для влагозарядковых поливов нарезается крупного поперечного сечения, а для вегетационных — увеличенного, глубиной до 60 см, шириной по верху до 170 см.

ВЫВОДЫ

1. Проведение мероприятий по подготовке площадей к поверхностным поливам является крайне необходимым в орошаемом земледелии Казахстана. Без этого невозможны поливы хорошего качества и с высокой производительностью труда поливальщиков, получение высоких и устойчивых урожаев.

2. Для производства подготовительных работ к поливам сейчас применяются выпускаемые промышленностью орудия: скреперы, бульдозеры, планировщики, канавокопатели и другие. Для выравнивания микрорельефа и нарезки поливных полос могут применяться и предлагаемые КазНИИВХ прицепные и навесные орудия: мала-выравниватель, волокуша, риджеры, малы со скошенными рабочими досками, прицепные и навесные полосообразователи. Эти орудия можно легко изготовить в каждом хозяйстве своими силами, затраты материалов и средств незначительны. В то же время ими можно обеспечить своевременное и качественное проведение работ.

А. М. ШАРКО, В. Н. ОСТРОУШКО, *ст. инженеры*

**СИСТЕМА ЭЛЕКТРОГИДРАВЛИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ
РАБОТОЙ ДОЖДЕВАЛЬНЫХ АППАРАТОВ
НА СТАЦИОНАРНЫХ ДОЖДЕВАЛЬНЫХ СИСТЕМАХ**

УДК 631.347 : 621.398

В связи с тем, что стационарные дождевальные системы находят все большее применение в производстве, вопросам разработки и исследования автоматического управления ими в последнее время уделяется большое внимание и в нашей стране и за рубежом.

Для управления работой стационарных дождевальных систем могут быть применены электрические, электрогидравлические и гидравлические схемы автоматизации. Анализ этих средств показывает, что выбор той или иной системы управления определяется наличием в ней комплекса таких качеств, которые бы в достаточной мере отвечали специфическим условиям ее работы. В частности, конструкции элементов автоматического управления стационарных дождевальных систем должны быть простыми, допускающими возможность технического обслуживания и ремонта в условиях имеющейся производственной базы колхоза или совхоза.

Объектами управления на стационарных дождевальных системах являются дождеватели, рассредоточенные на значительной площади. Непосредственно управление работой дождевальных аппаратов осуществляется задвижками с приводными устройствами, расположенными в специальных колодцах или в грунте на определенной глубине. Как правило, такие места подвержены воздействию переменной влажности. Это обстоятельство отрицательно влияет на надежность и долговечность работы исполнительных механизмов.

Для привода исполнительных механизмов целесообразнее всего использовать транспортируемую по трубопроводам воду в качестве источника энергии (то есть привод исполнительных механизмов должен быть гидравлическим) тем более, что одно из важных преимуществ гидропривода — возможность применения его для автоматизации управления работой стационарной дождевальной систе-

мой. Наличие сети напорных трубопроводов и транспортируемой по ним воды позволяет создать конструкцию, однородную по виду энергоносителя как для исполнительных силовых устройств, так и для устройств управления. И кроме этого, имеется возможность использовать сеть напорных трубопроводов в качестве линий связи центрального диспетчерского пункта системы с устройствами управления приводов задвижек.

К преимуществам гидравлических схем автоматизации управления дождевальных систем относятся также простота изготовления и эксплуатации, достаточная степень надежности и долговечности, экономичность благодаря использованию напорных трубопроводов и транспортируемой по ним воды в качестве линий связи и источника энергии. Команды для срабатывания устройств управления гидравлических приводов задвижек могут быть осуществлены в виде импульсов давления воды в сети напорных трубопроводов. Программа управления в этом случае представляет собой информацию, зафиксированную в виде независимых отдельных команд, распределенных во времени. Программное устройство, на котором в условно закодированной форме зафиксированы все команды, располагается в голове системы и осуществляет выдачу команд путем кратковременных остановок насоса или чередованием открытий и закрытий центральной задвижки системы.

Казахским научно-исследовательским институтом водного хозяйства разработана система гидроавтоматического управления работой стационарных дождевальных систем. Изготовлено устройство для телеуправления задвижками, предназначенное для выбора объекта и включения (в заранее выбранном порядке) определенного дождевального гидранта при получении сигналов в виде импульсов давления, подаваемых по трубопроводам путем открывания центральной задвижки системы.

На рисунке 1 представлена схема устройства для телеуправления задвижками. Устройство включает задвижку 1, выполненную в виде тройника, к отводу 2 которого присоединяется дождевальный аппарат, а к выходу — гидравлический цилиндр 3 со штоком 4 и затвором 5. Задвижка снабжена параллельным отводом 6 для питания гидроцилиндра. Гидравлический шаговый искатель выполнен из последовательно установленных: мембранного привода 7 и клапанов 8 и 9 со штоками 10 и 11, управляющими кулачковым валом 12, который связан зубчатоременной передачей с мембранным приводом и снабжен храповым механизмом 13.

От первого импульса давления воды в системе, образуемого открытием центральной задвижки, кулачковый вал поворачивается на одно деление и, открывая клапан 8, пускает при закрытом клапане 9 воду в гидроцилиндр 3, шток которого открывает затвор 5, отодвигая его влево. При последующем закрытии центральной задвижки шток мембранного привода 7 делает возвратный ход, а со

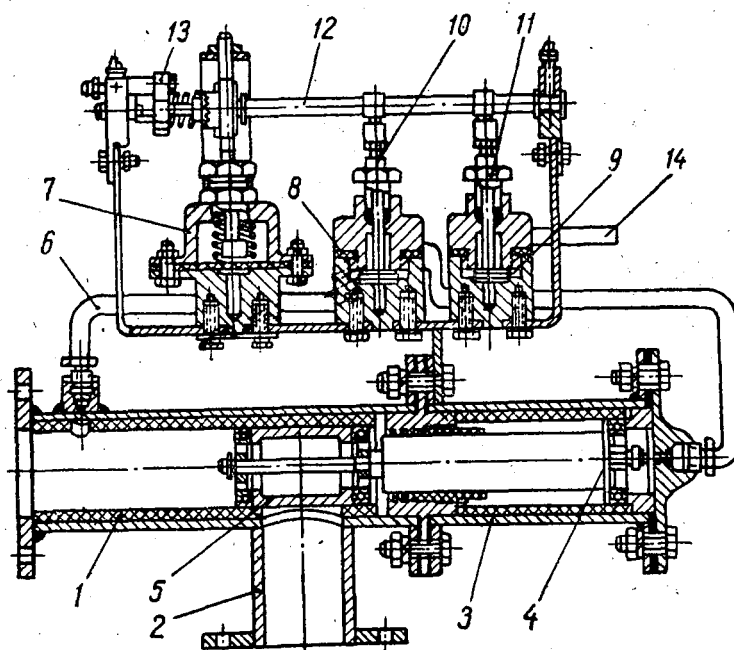


Рис. 1. Устройство для телеуправления задвижками.

вторым импульсом давления кулачковый вал поворачивается еще на одно деление и открывает клапан 9, соединяя гидроцилиндр 3 с атмосферой через сливной патрубок 14. Шток гидроцилиндра 3 при этом делает возвратный ход, закрывая затвор 5. Одновременно включается гидроцилиндр устройства у следующего дождевального аппарата, кулачковый вал которого установлен на соответствующий номер храпового колеса.

ТЕХНИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА УСТРОЙСТВА

Возможное число объектов управления	1—9
Давление перенастройки шагового искателя для выбора нового объекта, атм	3—3,2
Допустимый статический напор при перенастройке шагового искателя в исходное положение, атм	1—1,2
Продолжительность перенастройки, мин.	1—1,5
Давление, необходимое для срабатывания гидропривода задвижки, кг/см ²	3,5
Габариты шагового искателя, мм	300×230×150
Габариты задвижки, мм	450×180×130
Вес шагового искателя, кг	7,5
Вес задвижки, кг	6,5

Для управления работой гидроавтоматики стационарной дождевальной системы с помощью осуществления подачи некоторого числа импульсов напора разработана принципиальная схема диспетчерского пульта, в котором управление гидроавтоматикой производится путем открытия и закрытия центральной задвижки.

В основу разработки принципиальной схемы диспетчерского пульта положены следующие предпосылки, определяющие работу диспетчера:

1. Определение момента начала работы системы путем дистанционного измерения количества влаги в почве.

2. Определение времени работы одного ряда дождевальных гидрантов, достаточного для внесения в почву заданной поливной нормы путем дистанционного измерения количества внесенной в почву влаги.

3. Задание найденной продолжительности работы первого ряда дождевальных гидрантов остальным рядам дождевальных гидрантов и работа их с этой продолжительностью.

4. Кратковременное создание напора в системе для заглубления последнего ряда гидрантов.

Отсчет времени импульса напора и времени паузы напора производится моторными реле времени. Счет числа импульсов производится электромеханическим шаговым искателем.

Работа оператора с диспетчерским пультом разобрана на примере принципиальной схемы пульта управления опытной стационарной автоматической дождевальной системы КазНИИВХ (рис. 2), имеющей для создания импульсов напора центральную задвижку — регулируемый кран ($1/2''$ типа РКМ) с моторным приводом (типа ПР-1). Напор в системе создается спаренными насосами 2 К-9, двигатели которых управляются магнитным пускателем с диспетчерского пульта.

Диспетчерский пульт состоит из измерительной части, схемы управления реверсивным двигателем привода центральной задвижки и схемы программного задатчика для автоматического управления приводом этой задвижки, передающей по сети напорных трубопроводов импульсы напора путем открытия и закрытия ее.

Измерительная часть состоит из регистрирующего прибора дистанционного уровнемера ДИУ-250 и кнопки диспетчерского вызова. Дистанционный уровнемер ДИУ-250 установлен на водном испарителе, который расположен в зоне действия первого ряда дождевальных гидрантов системы и связан с диспетчерским пультом двухпроводной линией. Схема установки датчика на поле показана на рисунке 3.

Схема управления реверсивным приводом центральной задвижки состоит из двух реле Р0 и Р3, в цепи каждого из которых включен нормально замкнутый контакт другого реле для блокировки от одновременного срабатывания. Кнопка «Пуск» (контакты 1П)

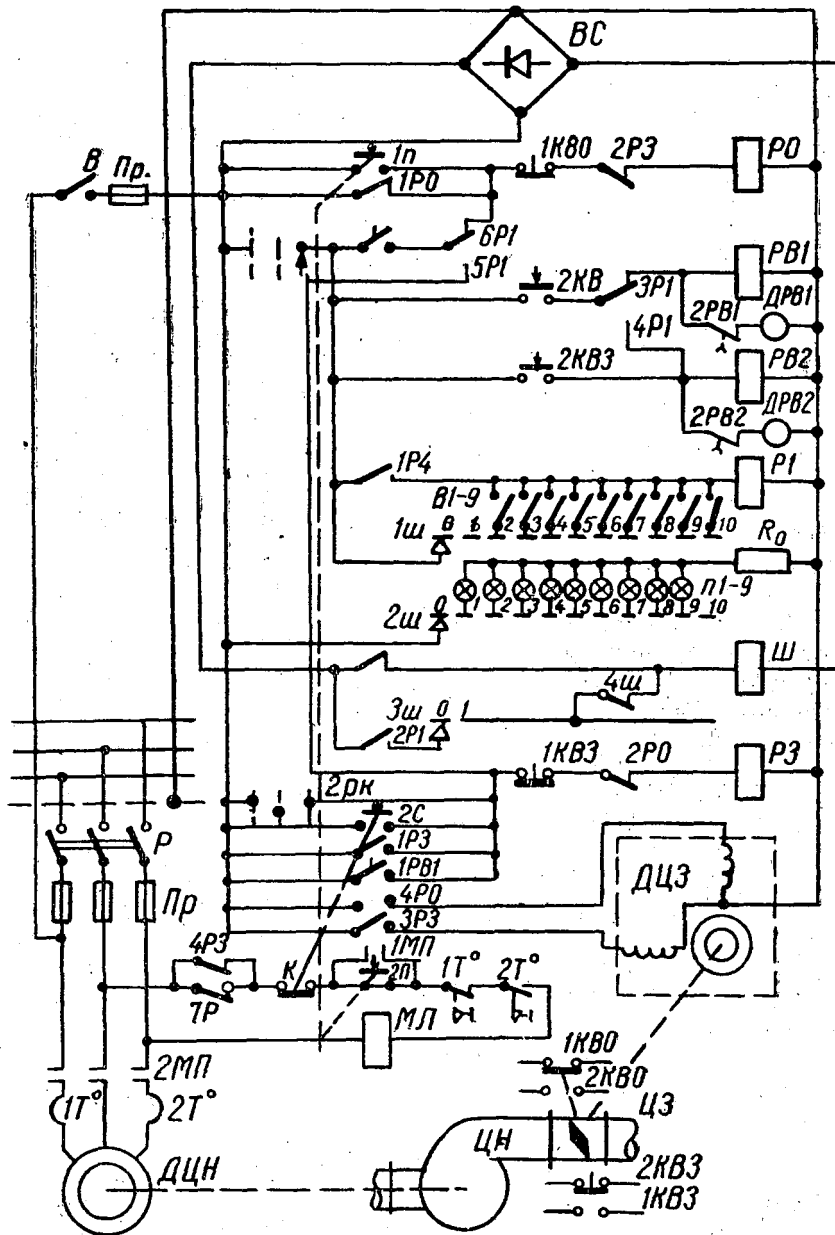


Рис. 2. Принципиальная схема диспетчерского пульта.

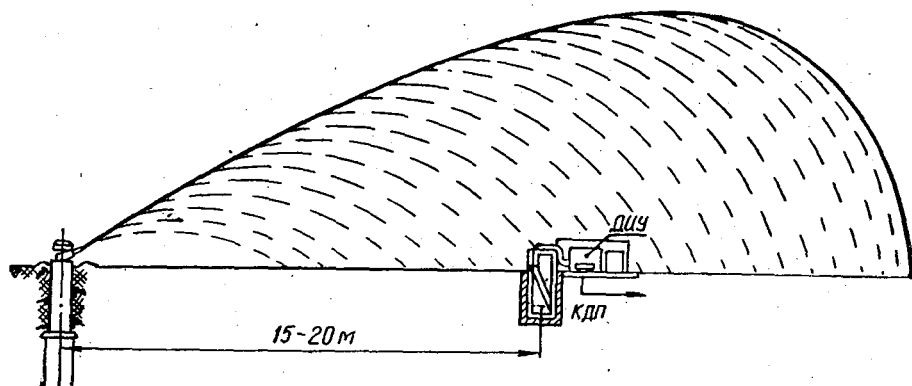


Рис. 3. Схема установки ДИУ-250 на поле.

служит для ручного включения привода задвижки, а также (контакты 2П) двигателя центрального насоса. Схема управления реверсивным приводом центральной задвижки связана через контакты конечных выключений 1КВ0 и 1КВ3 и контакты 4Р0 и 3Р3 реле Р0 и Р3 с приводом центральной задвижки.

Схема программного задатчика центральной задвижки состоит из двух реле времени длительности паузы и импульса напора РВ1 и РВ2, шагового искателя Ш и блокирующего реле Р1 схемы счета работающих рядов дождевальных гидрантов. Схема программного задатчика связана с приводом центральной задвижки через контакты 2КВ0 и 2КВ3 конечных выключателей задвижки.

Через контакты реле времени РВ1 и РВ2 и блокирующего реле Р1 схема программного задатчика связана со схемой управления приводом центральной задвижки.

В исходном положении (см. рис. 2) все дождевальные выдвигаемые гидранты на системе заглублены, центральная задвижка закрыта, центральный насос остановлен. Включен выключатель В питания диспетчерского пульта. Ключ режима работы РК — в положении 1 (режим ручного управления). Замкнут выключатель В9, соответствующий числу дождевальных гидрантов, установленных на напорном трубопроводе младшего порядка.

Периодически (2—3 раза в сутки) включая ДИУ, диспетчер дистанционно измеряет уровень воды в водном испарителе, установленном вблизи первого ряда дождевальных гидрантов.

Момент включения системы в работу определяется диспетчером по минимальному, заранее заданному, показанию регистрирующего прибора ДИУ, что соответствует нижнему пределу влажности почвы.

По получении с прибора ДИУ минимального заданного показания диспетчер нажимает кнопку «Пуск» на пульте управления. При

этом магнитный пускатель МП включает двигатель центрального насоса, и тот создает рабочий напор перед центральной задвижкой системы. Одновременно реле РО включает привод центральной задвижки на открытие. На табло пульта включается сигнальная лампочка Л, указывающая на начало работы первого ряда дождевальных гидрантов.

Все устройства телеуправления ТУ задвижками дождевальных гидрантов получают первый импульс напора, и устройства ТУ задвижками первого ряда дождевальных гидрантов сообщают внутренние полости телескопических гидрантов первого ряда с напорным трубопроводом. Под действием напора воды в напорном трубопроводе дождевальные гидранты первого ряда преодолевают заглубляющее усилие, действующее в межтрубном пространстве телескопического гидранта, и сопротивление почвы и выдвигаются из-под земли. После этого поднимаются крышки, и дождевальные устройства производят полив.

Так как межтрубные пространства всех поливных гидрантов постоянно соединены с напорным трубопроводом и в них постоянно действует заглубляющее усилие (около 500—600 кг), то остальные ряды дождевальных гидрантов остаются в заглубленном положении.

По мере полива часть поливной воды попадает в водный испаритель, установленный в зоне действия первого ряда дождевальных гидрантов. Уровень воды в нем, являющийся некоторой мерой количества воды, внесенной в почву, дистанционно измеряется диспетчером, который периодически включает прибор ДИУ с диспетчерского пульта (1—2 раза в час). По получении некоторого максимального показания, свидетельствующего о внесении в почву заданной поливной нормы, диспетчер вычисляет необходимое время работы одного ряда дождевальных гидрантов, устанавливает найденное значение времени на реле времени длительности импульса напора РВ1, которое имеет пределы уставок 0,5—60 часов, и поворачивает режимный ключ РК в положение 3.

Далее система действует на автоматическом режиме, причем остальные ряды гидрантов работают с одинаковой продолжительностью полива.

По завершении полива последним рядом гидрантов все элементы дождевальной системы (устройства ТУ задвижками дождевальных гидрантов в исходном положении, выдвинные дождевальные гидранты в заглубленном состоянии, центральная задвижка закрыта, центральный насос остановлен) и пульта управления находится в исходном положении. После перевода ключа режима работы РК в положение 1 система снова готова к работе.

Периодически (2—3 раза в сутки) контролируя влажность почвы по показаниям прибора ДИУ, диспетчер определяет момент очередного включения дождевальной системы в работу. При этом

повторяются все вышерассмотренные операции с включением системы, определением времени работы одного ряда дождевальных гидрантов, включением схемы программного управления и возвращением схемы диспетчерского пульта в исходное положение. Рассматриваемая схема диспетчерского пульта работает с маломощным приводом центральной задвижки типа ПР1, причем контакты 4Р0 и 3Р3 включены непосредственно в цепь обмоток реверсивного двигателя. Для управления мощным трехфазным двигателем центральной задвижки большого диаметра контакты 4Р0 и 3Р3 должны быть использованы в цепи контакторов или магнитных пускателей в качестве командных.

МИНИСТЕРСТВО МЕЛИОРАЦИИ И ВОДНОГО ХОЗЯЙСТВА СССР
ТРУДЫ
КАЗАХСКОГО НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОГО ИНСТИТУТА
ВОДНОГО ХОЗЯЙСТВА

Том V

1969

А. Я. РАБИНОВИЧ,
гл. инженер лаборатории механизации и автоматизации полива

**УСТАНОВЛЕНИЕ ВЕЛИЧИН, НЕОБХОДИМЫХ ПАРАМЕТРОВ
ДЛЯ РАСЧЕТА И ВЫБОРА КОНСТРУКТИВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ
ПОДЗЕМНОГО ВЫДВИЖНОГО ГИДРАНТА-ВОДОВЫПУСКА**

УДК 631.347

Сравнительно скромный опыт эксплуатации стационарных дождевальных систем показал, что наибольшее распространение в настоящее время получили надземные гидранты с задвижками «Лудло». Они удовлетворяют некоторым требованиям, предъявляемым сельскохозяйственным производством к гидрантам-водовыпускам, в частности, обеспечивают подачу необходимых расходов воды при расчетном давлении к поливным устройствам в период полива, просты по конструкции и надежны в работе. При их применении нет необходимости в ограждающих устройствах, исключается возможность повреждения растений компактной струей воды при работе дождевального аппарата.

Однако эта система не лишена и существенных недостатков. Выступающие над поверхностью земли гидранты не дают возможности беспрепятственно использовать машинно-тракторный парк для пахоты, обработки и уборки посевов. Вокруг каждого гидранта остается неспаханная площадь до 10 м^2 , а при обработке посевов — полосы шириной 4—5 м, являющиеся рассадниками сорняков [1, 2, 3].

В последнее время стали внедряться в производство подземные невыдвижные гидранты, смонтированные ниже пахотного горизонта в специальных асбестоцементных колодцах. По сравнению с надземными они позволяют проводить беспрепятственно пахоту, междурядную обработку и уборку посевов. Однако есть существенные неудобства в применении подземных гидрантов. Перед поливом требуется разыскать их, откопать и устроить вокруг них воронки диаметром 2—2,5 м. В воронках во время полива скапливается вода, и тем самым создаются трудности для монтажа и демонтажа водоприемной колонки с дождевальным аппаратом. Такой недоста-

ток частично устраняется применением металлических вставок в виде цилиндров, устанавливаемых на колодцах гидрантов. Во вневегетационный период вставка опускается в колодец, а во время поливов поднимается выше поверхности земли. Применение вставок частично устраняет недостатки подземных невыемных гидрантов, однако все же остаются некоторые препятствия для нормальной работы тракторов при междурядной обработке посевов.

В Казахском научно-исследовательском институте водного хозяйства создан ряд конструкций гидрантов-водовыпусков, которые наиболее полно удовлетворяют требованиям сельскохозяйственного производства. В разработанных конструкциях дождевальная аппаратура или запорное устройство размещены в верхней части цилиндрического ствола. При необходимости проведения полива ствол под действием напора воды в системе напорных трубопроводов выдвигается из неподвижного корпуса, который смонтирован ниже пахотного горизонта, и после окончания полива под действием силы веса и постоянно подводимого напора воды опускается в исходное положение.

Для расчета и выбора конструктивных элементов подземного гидранта-водовыпуска необходимо экспериментальным путем установить:

1. Рациональную форму оголовка выдвигаемого ствола подземного гидранта.
2. Усилия, необходимые для выдвижения из почвы ствола гидранта в зависимости от глубины его заложения.
3. Усилия, необходимые для выдвижения из почвы ствола гидранта в зависимости от величины его диаметра.
4. Необходимую высоту подъема ствола над световой поверхностью с целью создания нормальных условий для работы дождевального аппарата, смонтированного в верхней части выдвигаемого ствола гидранта.
5. Размеры и форму воронки, образующейся после опускания выдвигаемого ствола в почву.

Исследования были выполнены на стенде при натуральной величине основных параметров выдвигаемого ствола гидранта без моделирования. Опыты проводились на разных почвах нарушенной структуры в искусственно уплотненном состоянии. При исследованиях влажность почв менялась в широких пределах. Наблюдения за водно-физическими и физико-механическими свойствами почвогрунтов велись по общепринятым методикам.

Схема опытов предусматривала варьирование механического состава почв и их влажности, формы оголовка ствола, диаметра ствола и глубины его заложения. Влажность почв составляла 50%, 80% и 100% от предельной полевой влагоемкости (ППВ). Опыты были проведены на глине, тяжелом и легком суглинках в уплотнен-

ном состоянии. Исследованию подвергались оголовки в виде полного конуса, усеченного конуса и плоского. Конусные оголовки отличались высотой и углом при вершине конуса, который изменялся от 60 до 90°. В опытах использовались три ствола диаметром 12 см, 22 и 33 см. Расстояние от верхней кромки оголовка ствола до световой поверхности (глубина заложения ствола гидранта) было равно 30 см, 40 и 50 см. Всего проведено 75 опытов в трехкратной повторности.

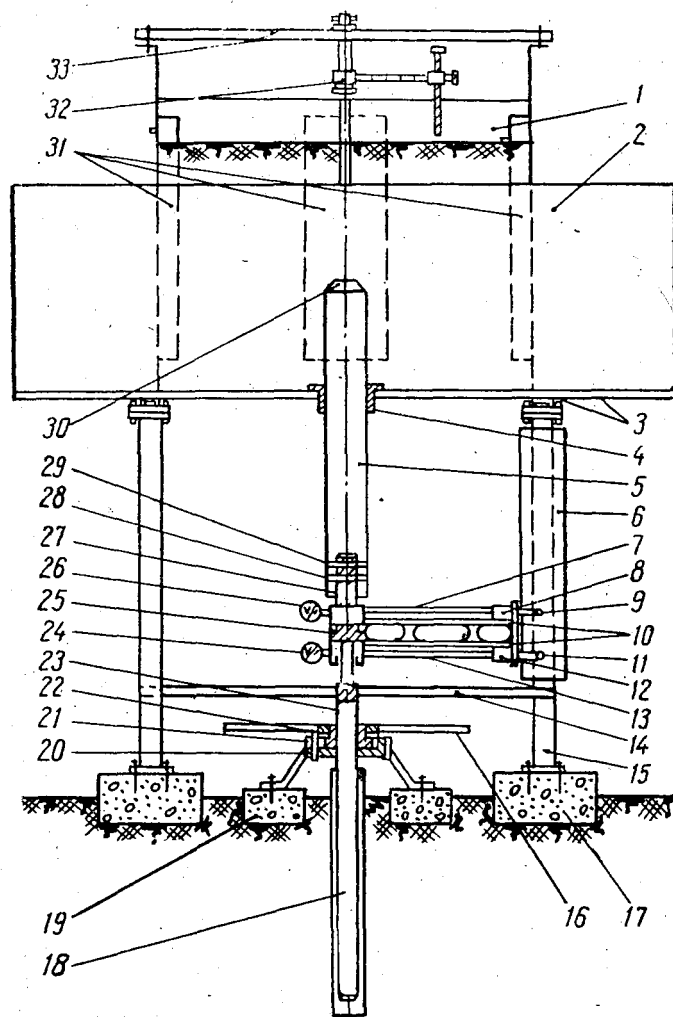


Рис. 1. Схема стенда для исследования движения в почве цилиндрических тел.

Лабораторные исследования проводились на специальном стенде (рис. 1).

В металлический ящик засыпается исследуемый грунт. Засыпка грунта, его увлажнение и уплотнение до необходимых величин производится послойно через 20 см. Металлический ящик выполнен в виде цилиндра, состоит из четырех секций, которые скрепляются между собой болтами, и вмонтирован в дно кузова 2. Кузов служит для хранения почвы, которая выбирается из ящика 1 при изменении вариантов опыта. Дно его выполнено из листовой стали и приварено к швеллерам 3. Кузов установлен на фундаменте 17 при помощи четырех стоек 15. В дно его могут устанавливаться при помощи болтов направляющие стаканы 4 для исследуемого диаметра выдвижного ствола 5.

Усилие, необходимое для подъема и опускания ствола, создается домкратом, состоящим из винта 23 и гайки 22, конец которой выполнен в виде шестигранной головки. От вертикального перемещения гайка фиксируется корпусом 20 и плитой 21, скрепленных между собой при помощи четырех болтов. Корпус 20 при помощи анкерных болтов опирается на фундамент 28. Вращение гайки, а следовательно, и вертикальное перемещение винта осуществляются при помощи рукоятки 16. Для передачи и замера усилий, передаваемых от винта домкрата к стволу, служит гидроцилиндр 25.

Корпус гидроцилиндра штырями 28, 29 крепится к стволу, а винт домкрата сваркой соединен со штоком поршня гидроцилиндра. К корпусу гидроцилиндра при помощи хомутов крепится приборная ферма 10, на которой смонтированы датчики 8 и 12 с самописцами 9, 11 для записи усилия, необходимого при выдвижении и опускании ствола. Датчики сообщаются с полостями гидроцилиндра посредством шлангов высокого давления 7, 13. Для тарировки датчиков и контрольных замеров установлены манометры 24 и 26. Планка 14 прикреплена посредством хомутов к штоку и при вращении домкрата перемещается вдоль швеллеров 15, предотвращая вращение поршня в корпусе гидроцилиндра. Труба 18 предохраняет винт от загрязнения. В металлическом ящике под углом 120° расположены три окна, закрытые выдвижными щитками. Окна 31 служат для отбора образцов почв при проведении необходимых анализов. Замеры геометрических размеров воронки осуществляются специальным приспособлением 33, 32, установленным на стойках ящика 1.

Порядок проведения опытов следующий. В дно металлического ящика устанавливается ствол нужного диаметра и соответствующий ему направляющий стакан. Нижний конец ствола при помощи штырей крепится к корпусу гидроцилиндра. Устанавливается необходимая величина заглубления ствола при помощи домкрата. Предназначенный для испытания грунт послойно увлажняется и утрамбовывается до необходимой влажности и плотности.

После загрузки ящика почвой до необходимого уровня (заданной глубины заложения ствола) его накрывают влажным брезентом и выдерживают в течение 1—2 суток для более равномерного распределения влаги. Перед проведением опыта открывают борта кузова, с окон ящика снимают щитки для взятия образцов почвы на соответствующие анализы.

Весь слой земли, находящийся в ящике, разбивается условно по высоте на три горизонта через 20 см. Механический состав почвы, удельный вес определяются по образцам, взятым с каждого горизонта. Образцы же для определения влажности и объемного веса почвы отбираются с каждого горизонта из соответствующего окна в двукратной повторности. С каждого горизонта отбираются три образца грунта в форме цилиндра диаметром 56 мм и высотой 20 мм при помощи компрессионных гильз для испытаний на сдвиг.

После отбора образцов почвы для проведения соответствующих анализов окна металлического ящика закрываются щитками. Оттарировав все приборы и проверив установку, приступают к проведению опыта. Вращая рукоятку домкрата, создают необходимое усилие для подъема ствола и при помощи датчика и контрольного манометра фиксируют динамику изменения его. Выдвижение ствола осуществляется до тех пор, пока его цилиндрическая часть с оголовком не окажется выше выталкиваемой им почвы и тем самым создадутся нормальные условия для работы дождевального аппарата.

В процессе проведения опытов во время послойной засыпки и трамбовки почвы периодически отбирались образцы для проведения контрольных анализов на влажность и объемный вес. Контрольные анализы показали, что изменение влажности не превышало 3% от первоначального значения, а небольшие изменения объемного веса до 5% свидетельствуют о примерно одинаковом уплотнении почвы при проведении различных вариантов опытов.

Водно-физические и физико-механические показатели грунта (механического состава, удельного веса, влажности и объемного веса) определялись по общепринятым методикам. Исследования проводились на трех почвах нарушенной структуры, механический анализ которых приведен в таблице 1.

Образцы на сдвиг испытывались при помощи прибора П10-С. В связи с тем, что в проводимых опытах изучались компрессионные свойства грунта [4, 5], вертикальная нагрузка осуществлялась ступенями. Величина ступеней нагрузки равнялась 1; 2 и 3 кг/см². За условную стабилизацию деформации принималась величина сжатия, не превышающая 0,01 мм. После условной стабилизации вертикальной деформации образца прикладывалась горизонтальная нагрузка. За сдвигающую принималась нагрузка, при которой показания индикатора отмечали резкое нарастание нестабилизирующейся деформации сдвига (более 2 мм).

Таблица 1

Механический состав исследуемых грунтов

Горизонт	Размеры фракций, мм.						Содержание фракций диаметром меньше 0,01 мм, %	Почвы
	1,0—0,25	0,25—0,05	0,05—0,01	0,01—0,005	0,05—0,001	0,001		
	песок		пыль		глина			
1	4,14	19,54	21,8	16,4	19,08	19,04	54,52	Глина (грунт № 1)
2	4,49	18,19	24,56	13,2	16,2	23,36	52,76	
3	5,56	22,04	21,12	14,8	15,88	20,06	51,28	
1	7,59	11,21	27,56	14,6	19,12	19,97	53,64	Тяжелый суглинок (грунт № 2)
2	6,05	13,19	26,68	15,12	17,44	21,52	51,02	
3	7,66	12,02	25,0	14,28	18,88	20,1	51,06	
1	26,73	40,31	11,52	6,48	6,88	8,08	21,44	Легкий суглинок (грунт № 3)
2	28,29	35,91	13,2	6,04	6,4	10,16	22,6	
3	27,23	44,61	8,08	7,96	5,68	6,44	20,08	

Данные испытания на сдвиг исследуемых грунтов при изменении их влажности представлены в таблице 2.

Таблица 2

Характеристика грунтов

Почвы	Влажность в % от ППВ	Влажность в % от веса	Удельный вес, г/см ³	Объемный вес сухого грунта, г/см ³ γ _{ск}	Объемный вес влажного грунта, г/см ³ γ	Коэффициент трения φ ⁰	Сцепление, кг/см ² С
Глина (грунт № 1)	100	27,3	2,74	1,35—1,38	1,74	12	0,06
	85	23,4	2,74	1,35—1,38	1,69	94,5	0,09
	60	16,5	2,74	1,35—1,38	1,6	17	0,16
Суглинок тяжелый (грунт № 2)	100	25,7	2,72	1,38—1,42	1,75	17,5	0,06
	76	19,4	2,72	1,38—1,42	1,67	19	0,09
	52	13,3	2,72	1,38—1,42	1,59	21	0,12
Суглинок легкий (грунт № 3)	100	21	2,64	1,37—1,40	1,71	22	0,05
	81	17	2,64	1,37—1,40	1,62	24	0,08
	53	11,2	2,64	1,37—1,40	1,55	25	0,1

На величину сцепления оказывают влияние [6] нормальное давление, влажность, дисперсность грунта, плотность сложения, состав цементирующего вещества и характер цементации.

При увеличении нормального давления сопротивление почвы сдвигающим усилиям возрастает. Для грунта № 1 при изменении нормального давления от 1 до 3 кг/см² сопротивление сдвигу возрастает от 0,3—0,45 до 0,8—1,2 кг/см²; для грунта № 2 — соответ-

ственно от 0,4—0,56 до 1—1,4 кг/см²; для грунта № 3 — соответственно от 0,4—0,6 до 1,22—1,44 кг/см².

Коэффициент сцепления и угол внутреннего трения с увеличением влажности уменьшаются. Для грунта № 1 сцепление равно 0,06—0,16 кг/см² и угол внутреннего трения — 12—17°; для грунта № 2 — соответственно 0,06—0,12 кг/см² и 17°30'—31°; для грунта № 3 — соответственно 0,05—0,1 кг/см² и 22—25°.

Рациональную форму оголовка устанавливали со стволом весом 60 кг, диаметром 22 см, при глубине заложения 40 см. Опыты проводились на грунте № 2 (тяжелый суглинок).

Опыты осуществлены в 21 варианте в трехкратной повторности. Влажность почвы соответствовала 25,7%, 19,5% и 13,3% от веса абсолютно сухой почвы. Исследованиям были подвергнуты три оголовка в виде полного конуса с углом при вершине 60°, 75° и 90°, три оголовка в виде усеченного конуса с теми же углами при вершине и плоский оголовок.

При проведении опытов фиксировалась динамика изменения усилия, необходимого для выдвигания из почвы соответствующего оголовка (табл. 3).

Таблица 3

Результаты опыта по вариантам

№ варианта	Форма оголовка	Влажность в % от		Максимальное усилие, необходимое для выдвигания оголовка, кг	
		веса абсолютно сухой почвы	ППВ	с учетом веса ствола	без учета веса ствола
1	Конус 1	25,7	100	380	320
2	Усеченный конус 1	"	"	340	280
3	Конус 2	"	"	360	300
4	Усеченный конус 2	"	"	310	250
5	Конус 3	"	"	330	270
6	Усеченный конус 3	"	"	290	230
7	Плоский	"	"	270	210
8	Конус 1	19,5	76	370	310
9	Усеченный конус 1	"	"	380	320
10	Конус 2	"	"	340	280
11	Усеченный конус 2	"	"	330	270
12	Конус 3	"	"	320	260
13	Усеченный конус 3	"	"	310	250
14	Плоский	"	"	290	230
15	Конус 1	13,3	52	390	330
16	Усеченный конус 1	"	"	380	320
17	Конус 2	"	"	370	310
18	Усеченный конус 2	"	"	360	300
19	Конус 3	"	"	340	280
20	Усеченный конус 3	"	"	330	270
21	Плоский	"	"	320	260

Опытами установлено, что наибольшее усилие — 370—390 кг — необходимо для выдвижения ствола с оголовком в виде полного конуса. Для выдвижения ствола с оголовком в виде усеченного конуса необходимы усилия 340—370 кг. Наименьшие усилия — 270—320 кг — необходимы для выдвижения ствола с плоским оголовком.

Исследования показали, что с уменьшением угла при вершине конуса потребное усилие на подъем ствола увеличивается. Уменьшение угла при вершине конусного оголовка влечет за собой возрастание высоты оголовка и тем самым увеличивает глубину заложения цилиндрической части ствола.

Наименьший столб почвы, который остается на оголовке после выдвижения ствола, имеет место при оголовке в виде полного конуса, причем, чем меньше угол при вершине конуса, тем столб меньше. При выдвижении из почвы ствола с оголовком в виде усеченного конуса выдвигался столб земли диаметром 8—15 см и высотой 10—20 см, а остальная почва осыпалась вокруг выдвинутого ствола. Увеличение угла у вершины конуса при постоянной влажности увеличивает столб почвы, который остается на оголовке после окончания выдвижения. Наибольший объем столба почвы на оголовке диаметром 15—18 см и высотой 20—25 см наблюдался при выдвижении ствола с плоским оголовком. Увеличение влажности почвы до предельной полевой влагоемкости также способствует увеличению столба почвы на оголовках.

Выбор целесообразной формы оголовка следует осуществлять исходя из оценки: величины необходимого усилия для выдвижения ствола с данным оголовком (веса), столба почвы, выдвигаемого оголовком, удобства размещения в нем механизма подъема крышки, а также увеличения глубины заложения подземных гидрантов в зависимости от выбранного типа оголовка.

Оголовки в виде полного конуса, особенно с острым углом у вершины, ввиду необходимости более глубокого заложения гидранта, увеличения усилия выдвижения, а также неудобства размещения в них механизма подъема крышки, на наш взгляд, не найдут применения. Плоские оголовки и в виде усеченного конуса более приемлемы для подземных выдвижных гидрантов. На легких почвах рекомендуется применять плоские оголовки, а на более тяжелых — оголовки в виде усеченного конуса с углом при вершине 50—75°.

Фактическое усилие, необходимое для выдвижения ствола, в зависимости от глубины его заложения определялось со стволом диаметром 22 см, весом 60 кг с плоским оголовком. Исследования проводились на трех почвах: грунт № 1 (глина) при влажности 27,3%, 23,4% и 16,5% от веса сухой почвы; грунт № 2 (тяжелый суглинок) при влажности 27,5%, 19,4% и 13,3% от веса сухой поч-

вы; грунт № 3 (легкий суглинок) при влажности 24%, 17% и 11,2% от веса сухой почвы. Глубина заложения оголовка ствола была 30 см, 40 и 50 см.

При исследованиях фиксировались усилия, необходимые для выдвигания ствола, а также замерялись геометрические размеры воронки.

Результаты исследования сведены в таблицу 4. Изменение величины фактических усилий при выдвигании ствола из грунта тяжелый суглинок показаны на рисунке 2.

Исследования показали, что чем больше глубина заложения оголовка ствола, тем больше усилие, необходимое для преодоления сопротивления почв при его выдвигании. При глубине заложения 30 см усилие соответствует 150—240 кг, при 40 см — 200—280 кг и при 50 см — 280—440 кг.

Во всех опытах усилия, необходимые для выдвигания ствола, достигали своих максимальных значений при перемещении ствола на 4—6 см. Исключения составляли опыты на грунте № 1 с повышенной влажностью. В этих случаях максимальные усилия имели место при перемещении ствола на 15 см, что объясняется, по-видимому, налипанием почвы на поверхность ствола и направляющий стакан.

Как видно из результатов опытов (рис. 3), на грунтах № 3 и № 1 значения максимальных усилий возрастают с уменьшением влажности почвы, а на грунте № 2 — уменьшаются. Исключения составляют варианты опытов на грунте № 1 с высокой влажностью, при которых имело место налипание почвы на ствол и направляющий стакан. Характер изменения максимальных усилий в зависимости от влажности на разных грунтах различен, что объясняется, по-видимому, соотношениями факторов, влияющих на

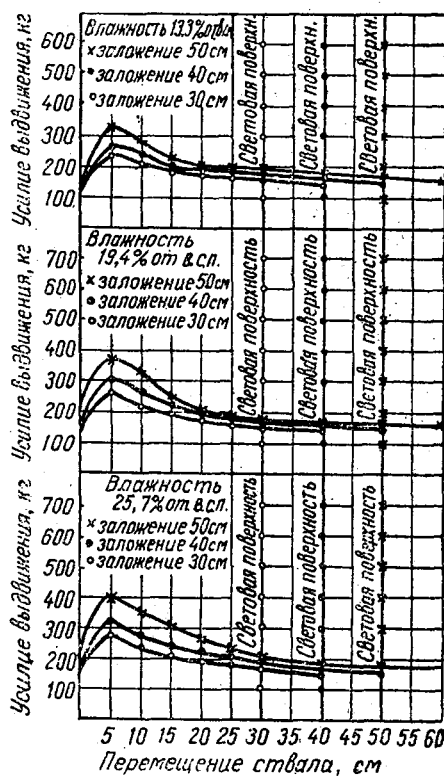


Рис. 2. Изменение величины фактических усилий при выдвигании ствола весом 60 кг диаметром 22 см с плоским оголовком из почвы различной влажности при разных глубинах заложения его (грунт № 2 тяжелый суглинок).

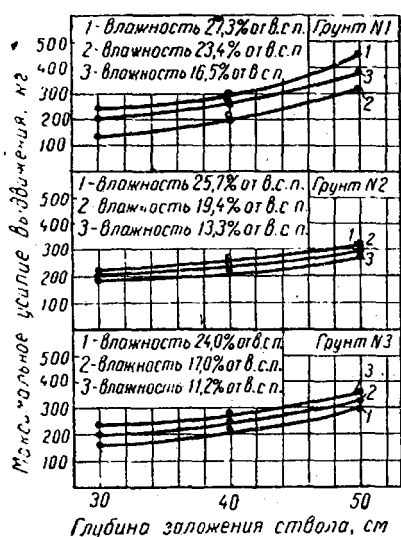


Рис. 3. Зависимость максимального усилия, необходимого для выдвигания ствола диаметром 22 см из почвы при различной влажности и глубине заложения ствола (вес ствола исключен).

глинок) влажностью 24%, 17% и 11,2% от веса сухой почвы.

Оголовок при всех испытаниях был плоский. Фиксировались усилия, необходимые для выдвигания ствола, а также замерялись геометрические размеры воронки.

Результаты исследований сведены в таблицу 5.

Исследования показали, что при глубине заложения 40 см усилия, необходимые для преодоления сопротивления почв, составляют: при стволе с диаметром 12 см — 180—260 кг; при стволе с диаметром 22 см — 200—280 кг; при стволе с диаметром 33 см — 270—350 кг. С увеличением диаметра ствола возрастает усилие, необходимое для преодоления сопротивления почв при его выдвигании.

Во всех вариантах опыта, независимо от величины диаметра, усилия достигали максимальных значений, как и в вариантах предыдущего опыта, при перемещении ствола на 5 см. На глинистом грунте при влажности, близкой к предельной полевой влажности, максимальное усилие наблюдалось при перемещении ствола до 15 см.

Величина максимального усилия зависит от влажности грунта и механического состава. Для более тяжелых почв, у которых

величину усилия и зависящих от влажности почвы. Так, с увеличением влажности уменьшается коэффициент сцепления почвы, но зато возрастает вес выдвигаемого грунта и боковое давление грунта на выдвигаемый столб земли. Определяющее влияние этих факторов на величину усилия в разных грунтах различно.

Определялось фактическое усилие, необходимое для выдвигания ствола в зависимости от разных значений его диаметра. При проведении опытов использовались стволы: диаметром 33 см и весом 100 кг, диаметром 22 см и весом 60 кг, диаметром 12 см и весом 20 кг. Глубина заложения была постоянной и равнялась 40 см. Исследования проводились на трех почвах: грунт № 1 (глина) влажностью 27,3%, 23,4% и 16,5% от веса сухой почвы; грунт № 2 (тяжелый суглинок) влажностью 25,7%, 19,4% и 13,3% от веса сухой почвы; грунт № 3 (легкий су-

Таблица 4

Результаты опыта по вариантам

№ варианта	Глубина заложения оголовка ствола, см	Влажность, % от		Максимальное усилие, необходимое для выдвижения ствола, кг	
		ППВ	веса сухой почвы	с учетом его веса	без учета его веса
<i>Глина</i>					
1	30	100	27,3	300	240
2	40	"	"	340	280
3	50	"	"	510	450
4	30	85	23,4	190	130
5	40	"	"	250	190
6	50	"	"	390	330
7	30	60	16,5	260	200
8	40	"	"	320	260
9	50	"	"	440	380
<i>Суглинок тяжелый</i>					
10	30	100	25,7	290	230
11	40	"	"	320	260
12	50	"	"	380	320
13	30	76	19,4	270	210
14	40	"	"	300	240
15	50	"	"	350	290
16	30	52	13,3	240	180
17	40	"	"	270	210
18	50	"	"	330	270
<i>Суглинок легкий</i>					
19	30	112	24	220	160
20	40	"	"	270	210
21	50	"	"	360	300
22	30	81	17	260	200
23	40	"	"	300	240
24	50	"	"	390	330
25	30	53	11,2	300	240
26	40	"	"	330	270
27	50	"	"	410	350

коэффициент сцепления больший, максимальное усилие, необходимое для выдвижения ствола, также большее. Увеличение влажности почвы уменьшает коэффициент сцепления, но зато увеличивает вес столба грунта, выдвигаемого стволом, и боковое давление почвы на выдвигаемый столб земли.

При длительной паузе между выдвижениями (30—40 дней) в связи с самоуплотнением грунта максимальное усилие для выдвижения ствола из почвы при прочих равных условиях увеличивается на 20—30% по сравнению с усилием, необходимым для выдвижения ствола сразу же после уплотнения почвы.

Таблица 5

Результаты опыта по вариантам

№ варианта	Диаметр ствола гидранта, см	Влажность почвы в % от		Максимальное усилие, необходимое для выдвижения ствола, кг	
		ППВ	веса сухой почвы	с учетом его веса	без учета его веса
<i>Глина</i>					
1	33	100	27,3	440	340
2	22	"	"	340	280
3	12	"	"	280	260
4	33	85	23,4	380	280
5	22	"	"	260	200
6	12	"	"	200	180
7	33	60	16,5	420	320
8	22	"	"	320	260
9	12	"	"	250	230
<i>Суглинок тяжелый</i>					
10	33	100	25,7	460	360
11	22	"	"	330	270
12	12	"	"	250	230
13	33	76	19,4	420	320
14	22	"	"	300	240
15	12	"	"	220	200
16	33	52	13,3	400	300
17	22	"	"	270	210
18	12	"	"	200	180
<i>Суглинок легкий</i>					
19	33	112	24	380	280
20	22	"	"	270	210
21	12	"	"	200	180
22	33	81	17	400	300
23	22	"	"	300	240
24	12	"	"	220	200
25	33	53	11,2	420	320
26	22	"	"	320	260
27	12	"	"	240	220

Необходимая высота выдвижения ствола гидранта над световой поверхностью земли должна быть такой, чтобы исключить возможность попадания почвы через кольцевую щель в верхнюю полость ствола. Кольцевая щель образуется при подъеме крышки ствола между ней и стволом и служит для полива через нее прилежащей площади.

При выдвижении ствола гидранта из почвы в первом приближении можно принять, что он будет выдвигать объем почвы, равный объему цилиндра:

$$V = \frac{\pi d_1^2}{4} h_1, \quad (1-1)$$

где d_1 — диаметр ствола гидранта;

h_1 — глубина заложения ствола гидранта.

Почва, выдвигаемая стволом, будет располагаться вокруг него в виде полого усеченного конуса с диаметром d_1 и d_2 , высотой h_2 и углом φ . Объем цилиндра диаметром d_1 и высотой h_2 при этом составит:

$$V_3 = \frac{\pi d_1^2}{4} h_2.$$

Объем усеченного конуса определится из выражения:

$$V_2 = \frac{\pi h_2}{3} \left[\left(\frac{d_2}{2} \right)^2 + \left(\frac{d_1}{2} \right)^2 + \frac{d_2 d_1}{4} \right]. \quad (1-2)$$

Из соотношения объемов выводим:

$$\frac{\pi d_1^2}{4} h_1 = \frac{\pi h_2}{3} \left(\frac{d_2^2}{4} + \frac{d_1^2}{4} + \frac{d_1 d_2}{4} \right) - \frac{\pi d_1^2}{4} h_2. \quad (1-4)$$

Преобразуя уравнение, получим:

$$\frac{d_1^2 h_1}{2 h_2} = \frac{d_2^2}{6} + \frac{d_1^2}{3} + \frac{d_1 d_2}{6},$$

после подстановки значения $d_2 = d_1 + 2h_2 \operatorname{tg} \varphi$ в уравнение и его решения получим:

$$d_1 \operatorname{tg} \varphi = \frac{h_2}{h_1} \left(h_2 \pm \sqrt{h_2^2 + 1,33 h_1 h_2} \right). \quad (1-6)$$

Задаваясь значениями h_1 и h_2 , нетрудно установить значения $d_1 \operatorname{tg} \varphi$ (в табл. 6).

Таблица 6

Расчет значения $d_1 \operatorname{tg} \varphi$ формулы

$h_2 \backslash h_1$	10	20	30	40	50
20	14,35	52,5	107,5	183	300
30	10,7	36	76	128,6	194
40	8,8	28,7	59	101	152
50	7,5	24,6	50	84,4	126,4
60	6,6	21,3	43,6	72,2	108,2

Расчет значений $d \operatorname{tg} \varphi$ при номинальных значениях компонентов формулы (1—6) сводим в номограмму (рис. 4). Пользуясь номограммой, можно определить необходимую высоту подъема ствола гидранта над световой поверхностью земли. Исходными данными для этого являются угол естественного откоса влажных почв, диаметр выдвигаемого ствола и глубина его заложения.

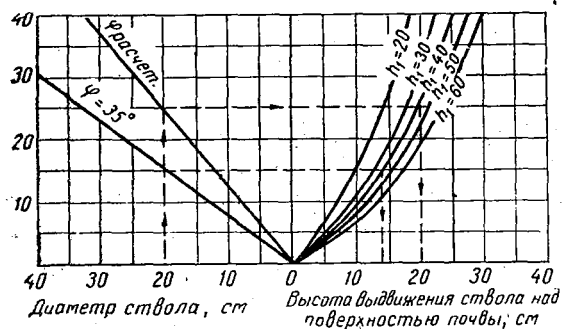


Рис. 4. Номограмма для определения высоты выдвижения ствола над поверхностью земли в зависимости от его диаметра и глубины заложения.

гидранта при подъеме крышки, в приведенные выше расчеты следует вносить поправки. Для этого при определении необходимой высоты выдвижения ствола над поверхностью почвы по номограмме следует пользоваться не углом естественного откоса $\varphi = 35^\circ$, а расчетным углом около 50° , полученным исходя из данных исследований.

Размеры и формы воронки после опускания ствола в исходное положение определялись опытным путем во всех вариантах. Установлено, что воронки максимальной глубины (20—25 см) образуются при увеличенных диаметрах ствола и глубинах их заложения. Максимальный радиус воронки при постоянной глубине заложения ствола гидранта сразу после его опускания в исходное положение составляет: 20 см при диаметре 33 см, 10—16 см — при диаметре 22 см и 7—8 см — при диаметре 12 см. В дальнейшем радиус воронки увеличивается на 15—30% в зависимости от угла естественного откоса почвы.

Максимальный радиус воронки сразу после опускания ствола в исходное положение при постоянном диаметре 22 см очень мало зависит от глубины заложения и составляет примерно 9—16 см. Образованные после заглубления ствола гидранта воронки не окажут существенного препятствия при механизированной обработке посевов. Они частично будут заполняться почвой при междурядных обработках.

ЛИТЕРАТУРА

1. Салахов Ф. С. Гидрант для стационарного дождевания. Бюллетень научной технической информации. АзНИИГиМ, № 2—3, Баку, 1958.
2. Салахов Ф. С. Гусейн-Заде С. Х. Самонапорная система орошения дождеванием. «Колос», М., 1964.
3. Вращающаяся дождевальная головка. Патент США, кл. 239—206 № 3090563, заявлено 27/VIII-1962 г. Опубликовано 21/V-1963 г.
4. Ломтадзе В. Д. Методы лабораторных исследований физико-механических свойств песчаных и глинистых грунтов. М., 1952.
5. Герцаги К. Теория механики грунтов. Гостройиздат, 1961.
6. Рубинштейн А. Л. Грунтоведение, основания и фундаменты. М., 1961.

Различие между фактическими и расчетными значениями необходимой величины подъема ствола над поверхностью почвы вызвано тем, что в действительности выдвигаемая стволом почва располагается вокруг него неравномерно. Чтобы исключить возможность попадания отдельных комков почвы в полость ствола

Л. Ф. ПЕСТОВ, *научный сотрудник,*
А. П. КОЧЕТКОВ, *кандидат с.-х. наук*

РЕЖИМ ОРОШЕНИЯ ХЛОПЧАТНИКА НА ЗАСОЛЕННЫХ ЗЕМЛЯХ АРЫСЬ-ТУРКЕСТАНСКОГО КАНАЛА

УДК 628.81 : 633.51 : 631.411.5

Оптимальный режим орошения является одним из основных агротехнических приемов, способствующих получению высоких и устойчивых урожаев хлопчатника. В литературе имеются многочисленные указания на принципы разработки поливных режимов хлопчатника и их количественных показателей (сроки и нормы поливов, оптимальная предполивная влажность почвы и т. д.) для различных почвенно-климатических условий (Рыжов [1], Еременко [2], Меднис [3], Алпатьев [4], Николаев [5] и др.).

Особенно большое значение установление правильного режима орошения приобретает на засоленных землях. В этих условиях неправильная организация режима орошения способствует подъему уровня минерализованных грунтовых вод и накоплению солей в корнеобитаемом слое почвы и тем самым приводит к выпадению уже освоенных земель из сельскохозяйственного оборота.

Как считает большинство исследователей (Астапов и Спенглер [6], Рыжов [1], Еременко [2], Николаев [5] и др.), на засоленных землях влажность почвы перед поливами должна быть на 5—10% от ППВ выше, чем на аналогичных незасоленных почвах. Этим преследуется цель, во-первых, снизить концентрацию почвенного раствора и, во-вторых, сократить подъем минерализованных грунтовых вод в поверхностные горизонты почвы.

Для зоны Арысь-Туркестанского канала (АТК) имеются рекомендации СоюзНИХИ (А. Нерозин) и Казахского научно-исследовательского института земледелия о режиме орошения хлопчатника, основанные главным образом на рекогносцировочных кратковременных исследованиях, а также использующих аналогию с Ферганской долиной Узбекской ССР. Эти рекомендации сводятся к тому, что на землях зоны АТК, подверженных засолению, в первый и второй периоды вегетации хлопчатника (до цветения и в цве-

тение — плодобразование) поливы нужно проводить небольшими поливными нормами, но чаще поддерживая влажность почвы не ниже 70—75% от ППВ.

Используя указанные рекомендации и опыт передовых бригад данной зоны, КазНИИВХ был предложен режим орошения хлопчатника (при существующей агротехнике его возделывания) по схеме 2—4—1 с оросительной нормой 5500—6000 м³/га и поддержанием влажности корнеобитаемого слоя почвы до периода созревания не ниже 70—75%, а в период созревания — 65% от ППВ.

Учитывая, что прямых исследований по режиму орошения хлопчатника в зоне АТК было явно недостаточно, с 1963 по 1965 г. отделом мелиорации КазНИИВХ такие работы проводились непосредственно в производственных условиях, в передовых бригадах совхоза № 1 Чимкентской области. Такой метод исследований, особенно первоначальных, вполне оправдан. По мнению Б. В. Федорова [7], при установлении правильного режима орошения и водопотребления хлопчатника для каждой конкретной зоны или района наблюдения нужно проводить на участке высокого урожая передовой бригады.

Методика проведения опытов. Опыты проводились на 2-х участках: в 1963 г. — на участке площадью 2,4 га отделения № 3 бригады № 3, в 1964 и 1965 гг. — на участке площадью 7,6 га отделения № 1 бригады № 3. Выбранные участки являются характерными для данной территории АТК по степени засоления почвы, рельефу полей, по механическим и физическим свойствам почвы и уровню залегания грунтовых вод. Хлопчатник возделывался с междурядьями 60 см. В 1963 г. высевался сорт 108-ф, в остальные годы — С-4727. Схема размещения растений была в 1963 и 1964 гг. 60×25×2—3, а в 1965 г. — квадратно-гнездовая — 60×60×3. На участках поддерживался высокий фон агротехники, рекомендованный для условий зоны АТК.

В течение вегетации сделаны следующие наблюдения и учеты: за динамикой влажности почвы и уровнем грунтовых вод, метеорологией, учетом оросительной воды, водно-физическими, механическими и химическими свойствами почвы, фенологией, транспирацией, ростом, развитием, урожайностью хлопчатника и др. Учеты и наблюдения осуществлялись по общепринятым методикам. Поливы хлопчатника на опытных участках и окружающих полях проводились по бороздам.

Метеорологические условия. В таблице 1 приводятся метеоданные за вегетационный период (май — сентябрь) по годам исследований по наблюдениям на метеостанции Бугунь, находящейся на расстоянии около 2 км от опытных участков. В 1963 г. метеонаблюдения проводились непосредственно на опытном участке.

Как показывают данные таблицы 1, среднемесячная температура воздуха за вегетационный период колебалась от 18,0 до 30,1°

Таблица 1

Климатические показатели

№ п.п.	Метеоэлементы	Годы	Месяцы					
			V	VI	VII	VIII	IX	V-IX
1	Температура воздуха, С°	Средне-голетняя	20,8	26,0	28,6	26,9	19,9	24,4
		1963	19,8	27,0	29,8	25,0	19,0	24,1
		1964	19,4	24,7	27,3	26,2	18,8	23,3
		1965	23,7	25,8	30,1	26,6	19,6	25,2
2	Количество осадков, мм	Средне-голетняя	17,0	7,0	2,0	2,0	3,0	31,0
		1963	96,6	3,8	0,1	1,1	—	101,6
		1964	10,2	1,9	—	—	—	12,1
		1965	3,5	12,4	0,6	0,1	0,5	17,1
3	Относительная влажность воздуха, %	Средне-голетняя	43	34	27	26	33	33
		1963	62	38	33	29	35	40
		1964	52	38	37	37	33	39
		1965	33	34	27	26	34	31

относительная влажность — в пределах 26—62%. Годы исследований по климатическим показателям в основные периоды развития хлопчатника довольно близкие как между собой, так и по отношению к среднеголетним. Однако имеются и определенные особенности. Так, 1963 г. характеризуется дождливой весной (96,6 мм осадков в мае) и повышенной относительной влажностью воздуха в течение всего вегетационного периода. В 1965 г. климатические показатели в основном соответствовали среднеголетним, но весенний период был сухим и жарким. 1964 г. характеризуется пониженными среднемесячными температурами (ниже среднеголетних температур в 1964, 1965 гг.) и повышенной относительной влажностью воздуха, несмотря на сравнительно небольшое количество осадков. Эти различия в климатических факторах несомненно сказались на развитии и плодоношении хлопчатника по годам исследований.

Следует отметить, что район исследований подвержен сильной ветровой деятельности, иссушающей почву, особенно в весенние и летние месяцы.

Почвенная характеристика участка. Почвы опытных участков сероземные, по механическому составу представлены средними и тяжелыми суглинками, с низкой водоудерживающей способностью и слабой водопроницаемостью. По определениям 1964—1965 гг., коэффициент водоотдачи составляет 0,10—0,13 и коэффициент фильтрации метрового слоя — 0,1 м/сут. Объемный вес почв метро-

вого слоя на участке 1963 г. равен 1,49 с колебаниями от 1,32 в слое 0—10 см до 1,56 — в слое 80—100 см.

На участке 1964—1965 гг. объемный вес соответственно равен 1,57 с колебаниями в пределах 1,49—1,62, полевая влагоемкость метрового слоя почвы: в 1963 г.— 20% и в 1964—1965 гг.— 20,2%. Грунтовые воды в начале и середине вегетации находились на глубине 2—2,25 м, в конце вегетации (сентябрь) — на глубине 2,5 м и в октябре — 3—3,25 м от поверхности почвы. За вегетационный период минерализация грунтовой воды по плотному остатку колебалась в 1963 г. в пределах 10—24 г/л, в 1964—1965 гг. — в среднем 23 г/л.

По составу почвы опытных участков относятся к хлоридносульфатному типу засоления (табл. 2).

Таблица 2

Содержание солей в почве (в % к весу почвы)

Слой почвы, см	1963 г.			1964—1965 гг.		
	плотный остаток	Cl'	SO ₄ "	плотный остаток	Cl'	SO ₄ "
0—50	0,256	0,012	0,113	0,296	0,037	0,125
50—100	0,798	0,027	0,447	0,113	0,004	0,029
0—100	0,527	0,020	0,280	0,205	0,021	0,087
100—200	1,797	0,223	0,892	0,655	0,008	0,380
0—200	1,162	0,121	0,589	0,425	0,011	0,233

Верхний слой почвы (0—50 см) имел засоление к началу вегетации в 1963 г. 0,256% по плотному остатку, 0,012% — по Cl' и 0,113% — по SO₄" и в 1964 г. — соответственно 0,296%, 0,037% и 0,125%. Засоление резко увеличивается в 1963 г. с глубины 70—80 см. Такое распределение солей к началу вегетационного периода объясняется опресняющим действием влагозарядковых поливов, проведенных в осенне-зимний период 1962—1963 гг. В 1964 г. запасной полив не проводился, и на участке к началу вегетационного периода наибольшее накопление солей наблюдалось в слое 0—50 см.

Результаты опытов. В таблице 3 приведены сроки и нормы полива, а также влажность корнеобитаемого слоя почвы перед поливами по годам исследований.

Влажность почвы определялась термостатно-весовым методом. Образцы почвы буром отбирались послойно через 10 см до глубины 60 см и далее до 1 м через 20 см в трех точках на участке и в трех повторностях — по каждому горизонту.

Как видно из таблицы 3, влажность почвы перед поливами по фазам развития хлопчатника и по годам исследований колебалась в значительных пределах. Число и схемы поливов по годам также

Таблица 3

Фактические показатели производственных режимов по годам

№ полива	1963 г.			1964 г.			1965 г.		
	даты поливов	предполивная влажность почвы, % от ППВ	поливная норма, м ³ /га	даты поливов	предполивная влажность почвы, % от ППВ	поливная норма, м ³ /га	даты поливов	предполивная влажность почвы, % от ППВ	норма полива, м ³ /га
1	2/VI	79	640	2/VI	69	1280	29/V	63	845
2	12/VI	79	360	19/VI	79	765	28/VI	64	1360
3	27/VI	77	480	3/VII	85	730	21/VII	70	1888
4	14/VII	68	890	23/VII	75	1200	20/VIII	70	1370
5	26/VII	81	680	7/VIII	83	970	—	—	—
6	9/VIII	73	760	25/VIII	77	450	—	—	—
7.	20/VIII	76	810	—	—	—	—	—	—
8	29/VIII	68	470	—	—	—	—	—	—
Относительная норма			5090	—	—	5395	—	—	5463
Схема полива	3—5—0	—	—	2—4—0	—	—	2—2—0	—	—

получились совершенно различными. В 1963 г. проведено наибольшее количество поливов малыми нормами [8].

Предполивная влажность почвы по фазам развития распределялась примерно по схеме: до цветения — 75—80% от ППВ и 70—75% (за исключением 5-го полива) — в период цветения.

В 1964 г., за исключением первого полива, проведенного при влажности почвы около 70%, все поливы осуществлялись при высоком уровне влажности почвы, равном 75—85%. Поливные нормы для такого уровня влажности почвы обеспечивали просачивание воды ниже метрового слоя. Такой поливной режим до некоторой степени можно считать опреснительным.

Наиболее неблагоприятные условия увлажнения сложились в 1965 г. В период до цветения поливы здесь проводились при низкой (65%) влажности корнеобитаемого слоя почвы и допускалась подсушка. Всего было проведено 4 полива поливными нормами 1360—1888 м³/га.

В общем можно отметить, что поливы в производственных условиях проводятся при значительных колебаниях влажности почвы. Причем не наблюдается закономерности в распределении поливов и колебании влажности почвы по фазам развития, величинам поливных норм, числу и срокам поливов. В то же время оросительные нормы по годам почти одинаковые, в пределах 5100—5450 м³/га.

Характер увлажнения почвенных горизонтов, а также колебание уровня грунтовых вод в предпосевной период и в период вегетации хлопчатника показаны с помощью изоплет на примере 1965 г. (рис. 1).

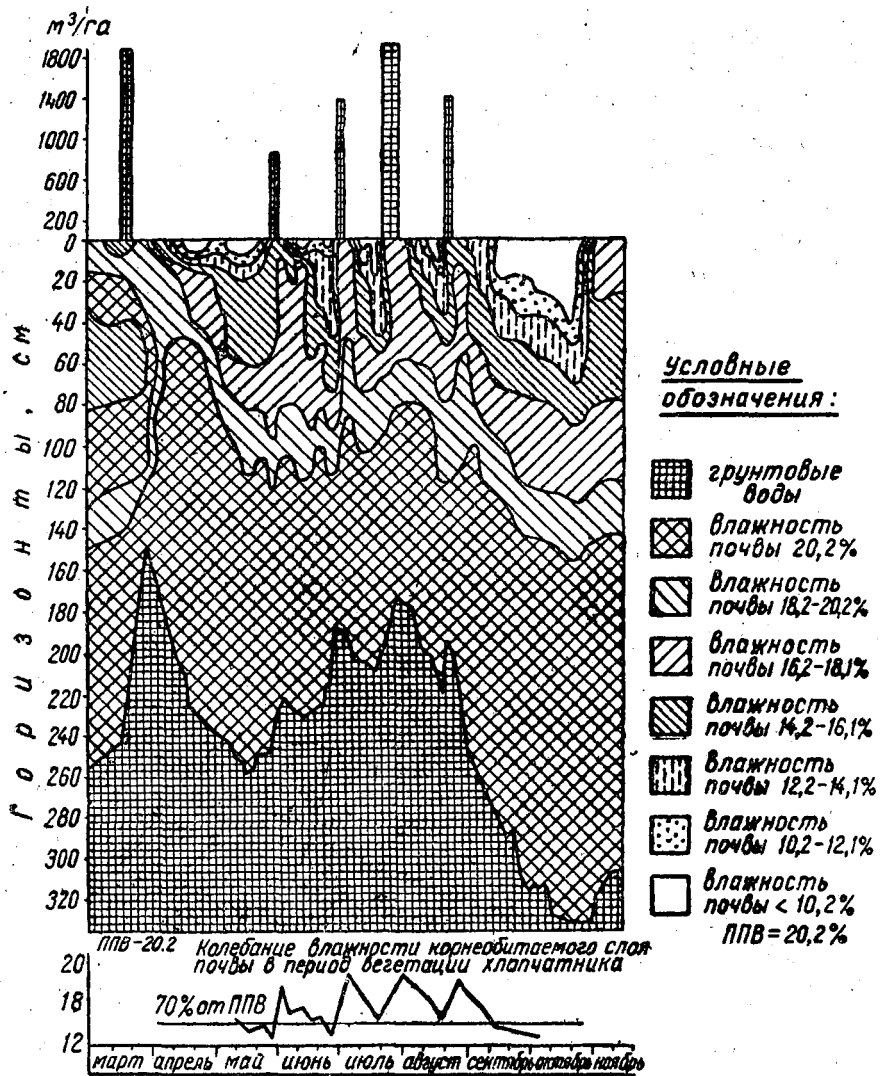


Рис. 1. Изоплеты влажности почвы на балансовом участке в 1965 г.

С помощью изоплет на рисунке 1 отчетливо выражено влияние поливов на увеличение влажности почвы, особенно нижних горизонтов, и на подъем грунтовых вод. Перед каждым поливом наблюдалось иссушение почвы до 12—13% (60—65% от ППВ) на глубину до 40—50 см. Иссушение особенно ярко выражено в конце веге-

тации после прекращения поливов и закрытия оросительной сети. В это время грунтовые воды опустились до 3,25 м, а влажность почвы в слое 0—60 см стала ниже 12%. При залегании грунтовых вод в течение вегетации на глубине 2—2,5 м повышенная влажность почвы (90—100% от ППВ) наблюдалась, начиная с 80 см, с колебаниями от 60 до 95 см перед и после поливов. Ниже этих горизонтов влажность почвы в течение всего периода вегетации была выше предельно-полевой влагоемкости, то есть здесь проходила капиллярная кайма грунтовых вод. Отсюда следует, что в данных условиях расчетный слой почвы для определения предполивной влажности целесообразнее принимать не за 100 см, как практиковалось, а за 70—80 см. Это диктуется тем обстоятельством, что надо избежать ошибки при определении фактической потребности в воде хлопчатника. В слое ниже 80 см влажность почвы всегда выше ППВ, воздуха здесь недостаточно, и корни хлопчатника отмирают [8], то есть слой почвы ниже 80 см не может считаться корнеобитаемым для данных условий (табл. 4).

Таблица 4

Средний вес корней одного растения по горизонтам, г

Годы	Горизонты, см											Итого
	0—10	10—20	20—30	30—40	40—50	50—60	60—70	70—80	80—90	90—100	100—130	
1963 3/XI	13,35	5,07	1,05	0,80	0,78	0,34	0,33	0,30	0,28	0,20	0,20	22,7
1965 2/VIII	8,73	1,23	0,63	0,47	0,40	0,34	0,15	—	—	—	—	11,95

Преобладающая масса корней находится в слое 0—50 см, и лишь отдельные корешки уходят глубже одного метра (1963 г.). В 1965 г. в слое ниже 70 см корней вообще не было. Эти наблюдения подтверждают высказанное выше мнение по поводу расчетной величины активного корнеобитаемого слоя почвы.

Различия в условиях увлажнения и метеорологических факторах обусловили различия в росте, развитии и урожайности хлопчатника по годам исследований.

В таблице 5 приводятся результаты наблюдений за приростом и высотой главного стебля по периодам развития хлопчатника.

Приведенные цифры, которые иллюстрируются в графиках, показывают заметное отличие характера роста хлопчатника в различные годы. Обильные осадки вызвали образование корки в 1963 г., и это привело к замедлению прироста главного стебля в первый период развития хлопчатника. Последующие учащенные поливы, повышенная влажность почвы и сравнительно высокие температу-

Таблица 5

Высота и прирост главного стебля хлопчатника

1963 г.			1964 г.			1965 г.		
дата на- блюдения	высота главного стебля, см	прирост за 1 день, см	дата на- блюдения	высота главного стебля, см	прирост за 1 день, см	дата на- блюдения	высота главного стебля, см	прирост за 1 день, см
4/V	3	—	6/V	3,0	—	11/V	5,0	—
19/VI	12	0,20	30/VI	29,2	0,47	—	—	—
6/VII	24	0,70	11/VII	47,3	1,64	4/VI	15,4	0,43
23/VII	50	1,53	28/VII	58,6	0,66	17/VI	22,1	0,52
28/VIII	73	0,63	12/VIII	63,9	0,35	—	—	—
			10/IX	66,1	0,08	8/VII	51,9	1,44
						3/VIII	70,1	0,70
						12/VIII	70,9	0,09

ры обеспечили резкое увеличение роста. В результате высота растений в этом году была наибольшей.

В 1965 г., несмотря на низкую влажность почвы в начальный период, благоприятные погодные условия (отсутствие дождей и высокая температура) способствовали ускоренному росту хлопчатника. Однако пониженная влажность почвы перед поливами обусловила быстрое прекращение роста главного стебля, который практически закончился к середине июля. И, наконец, в 1964 г., несмотря на повышенную влажность почвы перед поливами в течение всей вегетации, вследствие сравнительно пониженных весенних и летних температур (ниже средне-многолетних) высота главного стебля хлопчатника была наименьшей. Аналогичная картина наблюдается и по накоплению общей сухой надземной массы растений по годам (табл. 6). Здесь тоже отмечается забег с накоплением массы в первые периоды вегетации в 1965 г.

Таблица 6

Динамика накопления сухой массы хлопчатника в 1964—1965 гг.

№ п.п.	1964 г.				1965 г.			
	дата на- блюдения	вес 1 рас- тения, г	вес сухой массы, ц/га	прирост, ц/га	дата на- блюдения	вес 1 рас- тения, г	вес сухой массы, ц/га	прирост, ц/га
1	25/VI	3,25	1,95	—	4/VI	1,17	0,7	—
2	10/VII	16,25	9,75	7,80	17/VI	3,39	2,03	1,33
3	29/VII	58,27	34,96	25,21	26/VI	5,51	3,30	1,27
4	12/VIII	68,7	41,22	16,26	8/VII	31,07	18,64	15,34
5	10/IX	165,3	99,18	57,96	17/VII	33,49	20,09	1,45
6	—	—	—	—	3/VIII	98,20	58,92	38,83
7	—	—	—	—	2/VIII	98,33	58,99	0,07
8	—	—	—	—	26/VIII	133,4	90,4	31,05

Приведенные данные также показывают, что наибольшее накопление сухой массы хлопчатника происходит в период массового цветения — плодообразования.

В полном соответствии с метеорологическими показателями, ростом и накоплением общей сухой массы хлопчатника по годам исследований находится и величина среднесуточной транспирации по периодам вегетации (табл. 7).

Таблица 7

Среднесуточная транспирация хлопчатника по годам

№ п.п.	1963 г.		1964 г.		1965 г.	
	дата наблюдения	транспирация, м ³ /га	дата наблюдения	транспирация, м ³ /га	дата наблюдения	транспирация, м ³ /га
1	4/IV	9,4	—	—	3/VI	6,82
2	—	—	—	—	16/VI	20,04
3	—	—	24/VI	12,44	25/VI	26,32
4	10/VII	28,5	10/VII	49,16	8/VII	61,40
5	23/VII	118,0	29/VII	82,19	16/VII	69,75
6	—	—	—	—	2/VIII	119,95
7	11/VIII	115,0	12/VIII	87,34	11/VIII	136,23
8	10/IX	46,1	10/IX	53,34	26/VIII	94,66

Данные таблицы 7 свидетельствуют о том, что максимальный расход воды хлопчатником на транспирацию происходит в первой декаде августа, то есть в период массового плодообразования. В 1964 г., сравнительно прохладном, с более поздним севом хлопчатника наблюдалась пониженная транспирация.

Полученные в опыте материалы подтверждают, что и в наших условиях наиболее ответственным периодом, когда хлопчатник в наибольшей степени нуждается в воде, является конец июля — начало августа. Это соответствует периоду массового цветения — плодообразования и формирования коробочек.

Проведение дефолиации во все годы сгладило различия в сроках созревания урожая хлопчатника, обусловленные различием в росте и развитии по годам. Весь урожай был собран в основном до морозов. Только в 1963 г. небольшая часть урожая (7%) была собрана в виде курака. Общий урожай (хлопка-сырца) по годам исследований был следующий: в 1963 г. — 26,1 ц/га, 1964 г. — 35,3 ц/га, в 1965 г. — 30,9 ц/га.

Применение правильной агротехники по уходу за посевами хлопчатника, своевременное проведение поливов (при влажности почвы 70—75% в основные фазы вегетации) обеспечивало получение довольно высоких урожаев хлопка-сырца. Нужно отметить, что редкие поливы большими нормами, применявшиеся в 1965 г., несмотря на благоприятные погодные условия этого года и лучшую агротехнику, привели к снижению (около 5 ц/га) урожая хлопка-

сырца. Наиболее высокий урожай получен в 1964 г., когда влажность почвы не опускалась ниже 75% от ППВ, что соответствует указаниям и других исследователей применительно к засоленным почвам. Изучаемые поливные режимы в основном не способствовали дальнейшему рассолению осваиваемых земель, хотя и задерживали процесс реставрации засоления верхних горизонтов почвы. Поэтому необходимо дальнейшее изучение в специальном опыте оптимальных поливных режимов, способствующих прогрессивному уменьшению засоленности почвогрунтов и понижению минерализации грунтовых вод при получении высоких урожаев хлопка-сырца.

ВЫВОДЫ

1. Для получения высокого урожая хлопка-сырца влажность корнеобитаемого слоя почвы надо поддерживать не ниже 70—80% от полевой влагоемкости.

2. На основании материалов исследований глубина активного (корнеобитаемого) слоя почвы для определения предполивной влажности должна быть следующей: до цветения — 50—60 см, в период цветения — плодообразования — 70—80 см и в период созревания — 60—70 см.

3. В названных условиях наиболее рациональное распределение поливов будет по схеме 2—4—1 или 2—4—0, то есть 7—6 поливов за вегетацию с распределением их по периодам: до цветения — 2, в цветение — плодообразование — 4 и в созревание — 1 (0). Межполивные периоды могут быть такими: до цветения — 18—20 дней, в цветение — плодообразование — 13—16 дней и в созревание — один полив, который должен быть закончен в первой декаде сентября. Согласно указанным схемам, поливные нормы рекомендуются следующие: до цветения — 800—900 м³/га, в цветение — плодообразование — 1000—1100 м³/га и в созревание — 600—700 м³/га.

4. Изученные режимы орошения, применяемые в производственных условиях совхоза № 1, обеспечивают получение достаточно высоких урожаев хлопка-сырца (30—35 ц/га). Однако режимы орошения, рекомендованные и применяемые здесь, не исключают возможность вторичного засоления, а после промывки — сезонной реставрации засоления.

5. Для данной зоны необходимо опытным путем установить рациональный режим орошения хлопчатника с учетом мелиоративных мероприятий по борьбе с засолением и дифференцировать затем его по зоне междуречья Бугунь — Чаян.

ЛИТЕРАТУРА

1. Рыжов Н. С. Орошение хлопчатника в Ферганской долине. Ташкент. АН УзССР, 1948.
2. Еременко В. Е. Режим орошения и техника полива хлопчатника. Ташкент. АН УзССР, 1957.

3. Меднис М. Ф. Поливы хлопчатника в зависимости от скороспелости сорта и высота урожая. Ташкент, АН УзССР, 1953.
4. Алпатов А. М. Влагооборот культурных растений. Л. Гидрометиздат, 1954.
5. Николаев А. М. К теории поливных режимов сельскохозяйственных культур. Труды ин-та почвоведения, мелиорации и ирригации АН Таджикской ССР, том X, VIII, 1956.
6. Астапов С. В., Спенглер В. В. Предупреждение и меры борьбы с засолением и заболачиванием орошаемых земель. М., Сельхозгиз, 1956.
7. Федоров Б. В. Агромелиоративное районирование зоны орошения Средней Азии. Ташкент, АН УзССР, 1953.
8. Боллс В. Л. Хлопчатник в Египте. Ташкент, 1937.

Л. Ф. ПЕСТОВ, Ф. Ф. ВЫШПОЛЬСКИЙ, *научные сотрудники*

ОПЫТ ПРОМЫВКИ ЗАСОЛЕННЫХ ЗЕМЕЛЬ В УСЛОВИЯХ АРЫСЬ-ТУРКЕСТАНСКОЙ ОРОСИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ

УДК 626.85 : 581.11

С вводом в действие Арысь-Туркестанского канала и Бугуньского водохранилища в его зоне начали интенсивно проявляться процессы вторичного засоления. К настоящему времени 40% (29 тыс. га) всей предусмотренной к орошению площади засолены и требуют проведения коренных мелиораций. Особенно в тяжелом мелиоративном состоянии находятся земли хлопкосовхоза № 1, расположенные на междуречье Бугунь — Чаян, где уже сейчас вышло из сельскохозяйственного оборота около 8 тыс. га ирригационно подготовленных земель. Рациональное освоение этих земель возможно только при условии удаления из почвы избытка вредных солей путем промывок.

Для детального изучения процессов удаления солей из почв путем промывок в зоне Арысь-Туркестанского канала сотрудники КазНИИВХ в течение 1964—1966 гг. проводили на землях хлопкосовхоза № 1 полевые исследования.

Было испытано 4 промывных нормы: 4500, 8500, 12 000 и 14 000 м³/га на фоне открытого горизонтального дренажа глубиной 3,0 м при расчетной промывной норме около 8000 м³/га (по формуле В. Р. Волобуева).

Почвы опытного участка по механическому составу представлены тяжелыми суглинками, имеющими на глубине 40—70 см уплотненный горизонт. Объемный вес корнеобитаемого слоя почвы колеблется в пределах 1,45—1,55; удельный вес — 2,65—2,75, скважность в среднем равна 45%, коэффициент фильтрации — 0,2—0,3 м/сут. По химическому составу почвы относятся к хлоридно-сульфатному типу засоления с содержанием солей в верхнем метровом слое 1,0—1,5% — по плотному остатку, 0,1—0,2% — по хлориону. Уровень грунтовых вод перед промывкой — на глубине 3 м. Минерализация грунтовых вод — 10—20 г/л. В основу изучения

эффективности различных промывных норм положен принцип качественного и количественного учета изменения солевого состава почвогрунтов.

Изменение солевого состава трехметровой толщи почвогрунтов под влиянием различных промывных норм характеризуется результатами анализов, приведенных в таблице 1. Данные показывают, что при промывной норме $4500 \text{ м}^3/\text{га}$ происходит неполное опреснение первого метра почвогрунтов и увеличение содержания солей во втором и третьем метрах.

Таблица 1

Изменение содержания солей в почвогрунтах под влиянием различных промывных норм, %

Величина промывной нормы, $\text{м}^3/\text{га}$	Время отбора проб	Слой почвогрунта, см						
		0-50	50-100	100-200	200-300	0-100	0-200	0-300
<i>По плотному остатку</i>								
4500	До промывки	0,720	1,128	1,037	0,523	0,924	0,981	0,812
	После промывки	0,225	0,841	1,004	0,636	0,505	0,763	0,716
8500	До промывки	1,114	1,427	1,046	0,513	1,271	1,185	0,886
	После промывки	0,155	0,497	0,953	0,561	0,327	0,657	0,608
12000	До промывки	1,113	1,682	1,597	1,096	1,597	1,457	1,343
	После промывки	0,130	0,457	1,149	1,459	0,253	0,721	0,967
14000	До промывки	0,644	1,167	1,533	1,283	0,926	1,229	1,247
	После промывки	0,152	0,394	0,899	1,424	0,241	0,551	0,828
<i>По хлор-иону</i>								
4500	До промывки	0,126	0,131	0,090	0,068	0,137	0,109	0,104
	После промывки	0,012	0,011	0,077	0,103	0,011	0,044	0,062
8500	До промывки	0,214	0,128	0,120	0,068	0,169	0,133	0,110
	После промывки	0,011	0,031	0,055	0,064	0,016	0,036	0,066
12000	До промывки	0,063	0,153	0,216	0,147	0,108	0,161	0,157
	После промывки	0,009	0,012	0,033	0,140	0,010	0,021	0,067
14000	До промывки	0,028	0,094	0,136	0,140	0,060	0,097	0,111
	После промывки	0,011	0,009	0,026	0,084	0,005	0,078	0,040

При промывке данной нормой произошли качественные изменения в солевом составе: соли хлора вымываются на большую глубину (до 1,5 м), чем остальные (до 1 м).

Опреснение почвогрунтов до допустимых пределов произошло на глубину 0,50 м по плотному остатку и на 0,80 м — по хлор-иону. Если рассматривать солевой баланс трехметровой толщи, то содер-

жание солей здесь от испытанной нормы уменьшилось всего на 0,058% по плотному остатку и на 0,038% — по хлор-иону, то есть осталось почти без изменения.

Под влиянием промывок нормой до 5000 м³/га происходит в основном перераспределение солей по почвенному профилю в пределах трехметрового слоя. При промывной норме 8500 м³/га, как показывают данные химических анализов (табл. 1), вынос солей из почвогрунтов происходит до глубины 1,5 м. Опреснение почвогрунтов до допускаемых пределов произошло по плотному остатку до 0,80 м и по хлор-иону — до 1 м.

Из данных таблицы 1 видно, что солевой баланс в трехметровой толще почвогрунтов при промывной норме 8500 м³/га изменился на такую величину (с 0,886% до 0,608% по плотному остатку и с 0,110% до 0,066% по хлор-иону), которая не может ликвидировать процессы сезонной реставрации засоления. Кроме этого, происходит увеличение содержания общей щелочности.

При промывной норме 12 000 м³/га наблюдается вынос солей в почвогрунтах до глубины 2 м как по плотному остатку, так и по хлор-иону. Некоторое накопление солей (общего содержания) отмечается ниже 2 м (в третьем и четвертом), а хлор-иона — с глубины 2,5—3,0 м.

До допустимых пределов опреснение произошло: по плотному остатку — на 0,9—1,0 м и хлор-иону — до 1,5 м. Общее содержание солей в верхнем метровом слое почвы уменьшилось на 1,344% по плотному остатку и на 0,098% по хлор-иону. Запас солей в трехметровой толще почвогрунтов уменьшился на 0,376% по плотному остатку и на 0,09% по хлор-иону.

Увеличение промывной нормы до 14 000 м³/га усилило процесс выноса и перераспределения солей в трехметровом слое почвогрунтов (см. табл. 1). Данные химических анализов показывают, что опреснение почвогрунтов происходит до глубины 2,2—2,3 м по плотному остатку и на всю трехметровую толщу по хлор-иону. Но опреснение почв до допустимых пределов произошло по плотному остатку на глубину 1,0—1,2 м и по хлор-иону — на 1,5 м.

Увеличение содержания солей отмечается в третьем и четвертом метрах по плотному остатку и лишь в четвертом метре — по хлор-иону. Общее содержание солей в трехметровой толще уменьшается на 0,419% по плотному остатку и на 0,071% по хлор-иону. Помимо хорошего опреснения верхнего метра почвогрунтов, происходит и сильное изменение в соотношении вредных солей и солей кальция. В трехметровой толще на долю буферных солей приходится около 70%. При этом с увеличением промывной нормы наблюдается тенденция к уменьшению содержания общей щелочности в почве.

При анализе эффективности испытанных промывных норм установлено, что опреснение по всему метровому профилю почвогрунтов произошло до допустимых пределов (0,4% по плотному остатку)

при промывной норме $12\,000\text{ м}^3/\text{га}$, вместо $8\,000\text{ м}^3/\text{га}$, полученной расчетным путем по формулам В. Р. Волобуева и В. М. Легостаева (ТУ по проектированию горизонтального дренажа засоленных земель. Гипроводхоз, 1964).

Для достижения равномерного опреснения почвогрунтов большое значение имеет система подготовки поля к промывке, которая включает в себя следующие виды работ: планировку, глубокую отвальную вспашку, нарезку временных оросителей, продольных, поперечных и защитных валиков.

Планировка является обязательным мероприятием в условиях неудовлетворительного мезо- и микрорельефа. Она выполняется в два приема. Первая (капитальная) производится до промывки на основе проекта планировки, составленного по плану масштаба $1:1\,000$ — $1:2\,000$. Требования к ее выполнению изложены в соответствующих технических условиях. Вторая планировка (допланировка) производится после проведения промывки. Необходимость ее вызывается нарушением ранее достигнутой спланированности поля не только от нарезки продольных и поперечных валиков, но также и за счет просадочных явлений под влиянием промывки. Допланировка производится в следующей последовательности. Вначале валики убираются бульдозером и разравниваются грейдером, затем после созревания почвы производится вспашка и выравнивание поверхности поля при помощи длиннобазового планировщика в один след по двум противоположным направлениям (по диагонали). Вспахивают отвальным трех-пяतिकорпусным плугом на глубину 28 — 30 см .

Нарезка временных оросителей, продольных, поперечных и защитных валиков производится при помощи полоделателя или бульдозера.

Конструкция продольных и защитных валиков зависит от размеров чеков, способа подачи воды в чеки и ветровой деятельности. Размер чеков и способы подачи воды в чеки зависят, в свою очередь, от величины промывной нормы и уклона местности, от фильтрационных свойств почвогрунтов и модуля дренажного стока.

При промывной норме до $6\,000$ — $8\,000\text{ м}^3/\text{га}$ и дробной подаче воды в чеки наибольшая разность отметок земли в чеке не должна превышать $\Delta h = 0,10\text{ м}$. При подаче воды в чек тактами по $1\,000$ — $1\,500\text{ м}^3/\text{га}$ глубина воды в нижней части чека будет $h = 0,20\text{ м}$. Площадь чека для уклонов $0,001$ — $0,003$ составит $0,06$ — $0,20\text{ га}$. При запасе высоты валика над горизонтом воды в чеке $0,15\text{ м}$ общая высота валика равна $0,35\text{ м}$. Такие валики могут быть выполнены полоделателем КЗУ-15 в два прохода (рис. 1).

При промывной норме свыше $8\,000\text{ м}^3/\text{га}$ с прерывистой или непрерывной подачей воды в чеки наибольшая разность отметок земли в чеке не должна превышать $\Delta h = 0,25\text{ м}$. При том и другом способе подачи воды в чеки глубина воды в верхней части чека,

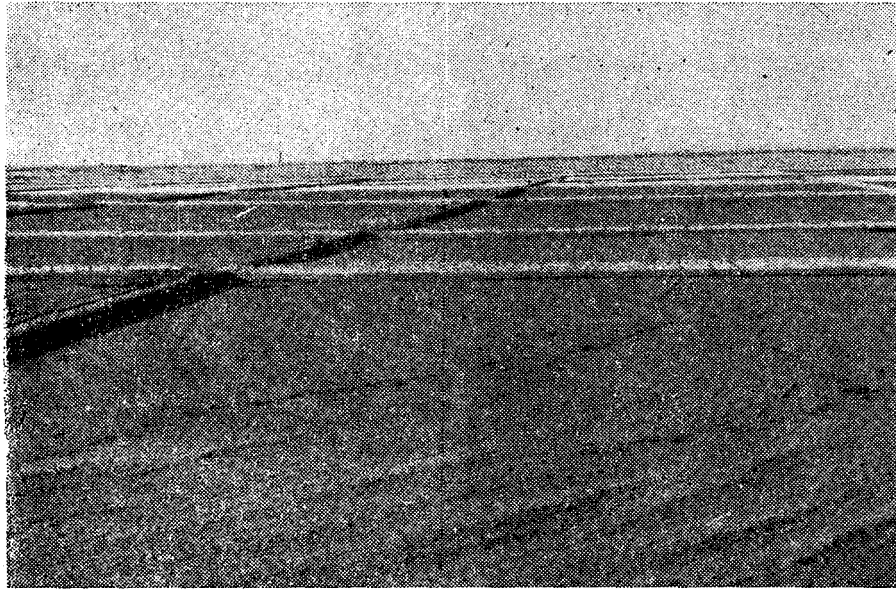


Рис. 1. Поле, подготовленное к промывке по малым чекам.

где $\Delta h = 0$, принимается $h_b = 0,30$ м, а запас высоты валика над горизонтом воды в чеке — $\Delta h_3 = 0,25$ м. Тогда высота валика будет равна $h = \Delta h + h_b + h_3$, или 0,80 м. Площадь чеков при указанных параметрах для уклонов 0,001—0,003 с учетом ветровой деятельности будет находиться в пределах 0,2—2,0 га. Такие валики производятся с помощью бульдозера по схеме «челнок» (рис. 2). За один проход (I) отсыпается весь объем валика, а затем продольным проходом бульдозера по верху валика (II) производится его уплотнение. Резерв для отсыпки валика делается с одной стороны (со стороны наименьшей глубины затопления чека), так как после промывок его легко заравнивать бульдозером (рис. 3, 4).

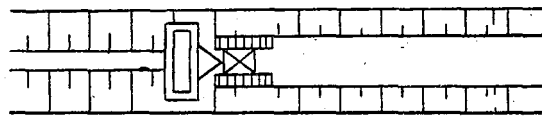


Рис. 2. Схема создания валиков бульдозером (типа «челнок»).

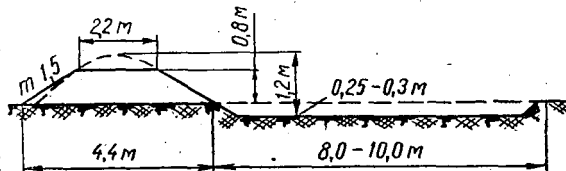


Рис. 3. Поперечное сечение валика.

Подача воды в чеки может осуществляться двумя способами: из временного оросителя в каждый чек (рис. 5) и перепуском воды из чека в чек (рис. 6) и зависит от фильтрационных свойств почвогрунтов и величины промывной нормы.

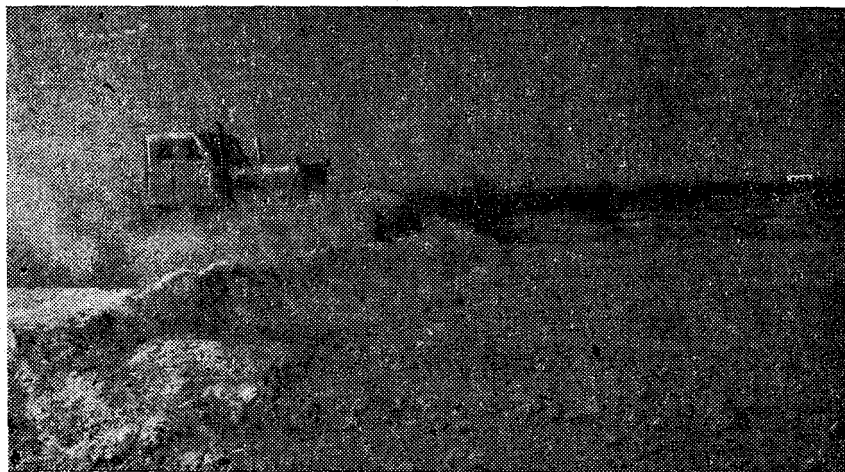


Рис. 4. Отсыпка валика бульдозером.

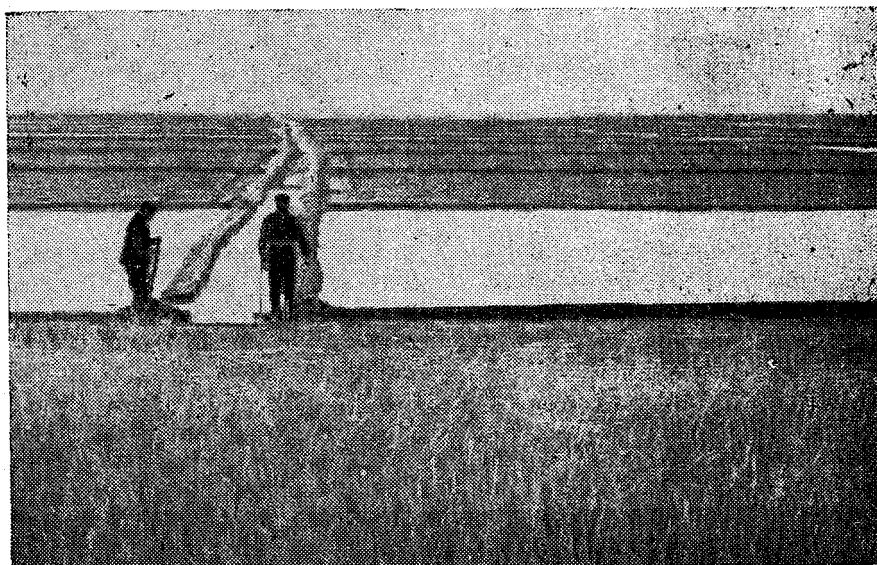


Рис. 5. Подача воды из временного оросителя в чеки.

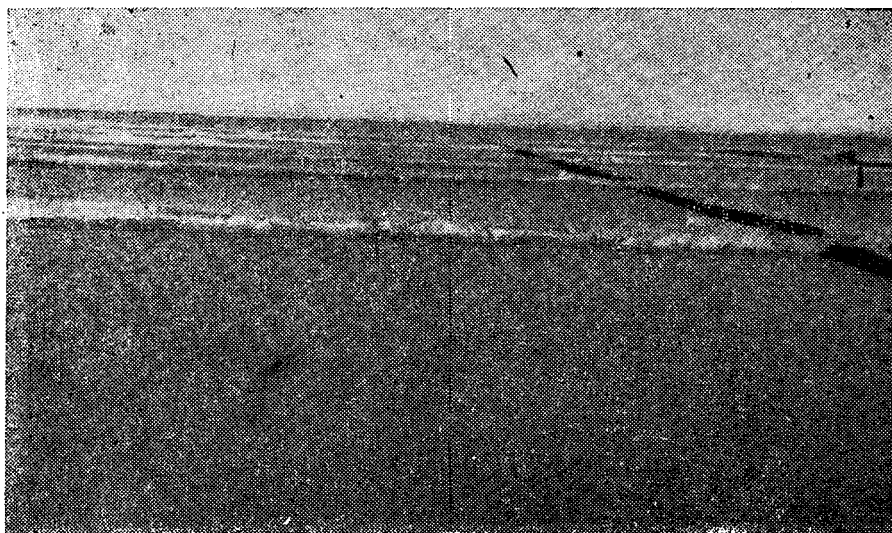


Рис. 6. Подача воды с перепуском из чека в чек.

Выпуск воды из временного оросителя производится путем прореза вручную дамбочек оросителя без армирования. Расход временного оросителя делится на две примерно равные части и происходит заполнение первой пары чеков. Для заполнения чеков до заданной глубины на оросителе ставится перемычка.

Перепуск воды из чека в чек осуществляется с помощью асбоцементных или полиэтиленовых труб, которые заделываются в поперечные валики (по уклону) на определенном горизонте. Длина труб зависит от размеров валиков, а диаметр и количество — от величины промывного тока в каждую цепочку чеков и от скорости впитывания воды.

Результаты исследований позволяют сделать следующие выводы:

1. Для опреснения всего профиля метрового слоя почвогрунтов до допустимых пределов промывную норму, полученную расчетным путем по формуле В. Р. Волобуева, необходимо увеличивать в 1,5 раза.

2. Для условий междуречья Бугунь — Чайн величина промывной нормы на фоне горизонтального дренажа колеблется в пределах 5000—20 000 м³/га в зависимости от степени засоления почвогрунтов.

3. Промывку нормами менее 8000 м³/га рекомендуется производить по малым чекам площадью 0,06—0,20 га, а при нормах более 8000 м³/га — по большим чекам площадью 0,2—2,0 га. Поделка

малых чеков производится полоделателем, а больших — бульдозером.

4. В состав подготовительных работ к промывке должны входить следующие виды работ: планировка, глубокая отвальная вспашка, нарезка временных оросителей, продольных, поперечных и защитных валиков. После промывки по большим чекам требуется допланировка поля.

5. Способ подачи воды в чеки зависит от фильтрационных свойств почвогрунтов и величины промывной нормы и может осуществляться из временного оросителя в каждый чек или путем перепуска воды из чека в чек.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Аверьянов С. Ф.* Горизонтальный дренаж при борьбе с засолением орошаемых земель. Издательство АН СССР, М., 1959.
 2. *Волбуев В. Р.* Промывка засоленных земель. Издательство Азернешр, Баку, 1948.
 3. *Легостаев В. М., Коньков Б. С.* Мелиоративное районирование. Госиздат УзССР, 1950.
- Технические указания по проектированию горизонтального дренажа засоленных земель. Гипроводхоз, М., 1964.

В. М. ПЕТРУНИН, кандидат с.-х. наук,
К. СИРГЕЛЬБАЕВ, гл. инженер, В. М. БУТКОВ, ст. инженер

РЕЖИМ ОРОШЕНИЯ РИСА В УСЛОВИЯХ ЛЕВОБЕРЕЖНОГО КЗЫЛ-ОРДИНСКОГО МАССИВА

УДК 631.67 : 633.18

Рис — одна из наиболее урожайных сельскохозяйственных культур. Среди главнейших зерновых культур в мировом земледелии рис занимает первое место по урожайности и сборам и второе — по посевным площадям. В 1964 г. на земном шаре посевная площадь риса составляла 125,8 млн. га при средней урожайности 20,5 ц/га. В 1965 г. посевная площадь риса в СССР равнялась 212,0 тыс. га, а средняя урожайность — 26,3 ц/га.

В Казахстане под посевами риса в 1965 г. было занято около 50 тыс. га. В республике посевы риса сосредоточены в основном на пойменных почвах реки Сыр-Дарья в Кызыл-Ординской области. Здесь с площади 41,7 тыс. га в 1966 г. было собрано в среднем по 30,8 ц/га зерна-шалы.

Опыт работы передовиков-рисоводов и научно-исследовательских учреждений говорит о том, что применение прогрессивных приемов агротехники, особенно режима орошения, с учетом климатических условий позволяет получать более высокие урожаи риса — до 60—80 ц/га. Однако средние урожаи риса по Кызыл-Ординской области в сравнении с другими рисосеющими районами нашей страны остаются низкими. Основными причинами этого являются почти полное отсутствие инженерных рисовых оросительных систем, невыполнение капитальной и текущей планировок, низкая культура орошаемого земледелия и неизученность режима орошения риса.

Казахский научно-исследовательский институт водного хозяйства с 1964 г. проводит исследования по разработке оптимального режима орошения риса на незасоленных землях с установлением основных показателей: поливного периода для основного районированного сорта, оросительной нормы, суммарного водопотребления, объема воды, необходимой на насыщение почвогрунта до полной влагоемкости, потери воды на фильтрацию, затраты воды на про-

точность, сбросы и объема воды для создания слоя затопления рисового поля.

Климат района исследований резко континентальный, засушливый, с жарким летом. Годовое количество осадков составляет около 109 мм, из них на теплый период приходится 49 мм. За вегетационный период риса выпало осадков в 1964 г. 22 мм, в 1965 и 1966 гг. — 3 мм. Вегетационный период 1964 г. по температурному режиму относился к среднеголетним, а 1965 и 1966 гг. — к вышесредне-голетним данным.

Почвы опытных участков представлены аллювиально-луговыми культурно-поливными, по механическому составу относятся к глинам и тяжелым суглинкам. Они занимают среднее положение между аллювиально-луговыми тугайными и лугово-болотными почвами. На глубине 80—120 см иногда встречались прослойки более легкого механического состава. Объемный вес почвогрунтов равен 1,40 г/см³, удельный вес — 2,74 г/см³, порозность — 49,0%, а полевая влагоемкость — 35,0%. Грунтовые воды залегают на глубине 2,5—5 м.

Опыты закладывались в трехкратной повторности, площадь каждой делянки составляла не менее 400 м². В 1964 г. высевали районированный сорт УзРОС-269, в 1965 и 1966 гг. — Дубовский 129. Предшественниками риса служили: в 1964 г. — многолетние травы, в 1965 г. — третий год рис и в 1966 г. — четвертый год рис.

Составляющие водного баланса рисового поля определяли полевыми вегетационными сосудами-испарителями и непосредственными замерами воды в подводящих и сбросных каналах. Кроме того, велись наблюдения за температурой воды в оросителе, чеке и микроклиматом орошаемой и неорошаемой территории, а также за ростом и развитием растений.

В опыте испытывались различные типы затопления риса: постоянное, укороченное и прерывистое. Результаты исследований приведены в таблице 1.

Анализируя данные исследований, приходим к выводу, что из испытываемых типов затопления лучшими оказался укороченный (вариант 3), где получен самый высокий урожай риса при наиболее целесообразном использовании оросительной воды. В этом варианте в результате отсутствия слоя воды в момент прорастания семян (аэробные условия) достигнуто появление более дружных всходов. Подсчет показал, что густота при прорастании семян во влажной почве, без слоя воды по сравнению с постоянным затоплением (вариант 1) увеличилась на 6—8%. Урожай же этого варианта по сравнению с контролем (вариант 1) вырос на 2,4 ц/га, или на 6%, тогда как оросительная норма этих вариантов одинакова.

Сущность режима орошения 3 варианта заключается в следующем. После посева риса чеки сразу же затопливаются водой на глубину 10—15 см на 3—4 дня, затем подача воды прекращается. При появлении всходов (с обозначением четких рядков) чеки вновь

Урожайность и оросительная норма риса в зависимости от режима орошения

Вариантов	Режим орошения	1964 г.				1965 г.				1966 г.			
		оросительная норма		урожайность		оросительная норма		урожайность		оросительная норма		урожайность	
		м ³ /га	%	ц/га	%	м ³ /га	%	ц/га	%	м ³ /га	%	ц/га	%
1	Постоянное затопление (слой воды после сева 3—4 см, после всходов — 10—15 см, в фазу кущения — 5 см, затем опять 10—15 см до молочно-восковой спелости риса), без проточности оросительной воды	34 800	100,0	64,3	100,0	19 300	100,0	49,8	100,0	17 560	100,0	41,4	100,0
2	Постоянное затопление (слой воды от посева до молочно-восковой спелости риса — 5 см)	35 700	102,5	59,7	93,0	18 250	94,5	47,0	94,5	16 190	92,3	36,8	89,0
3	Укороченное затопление (последний слой воды 10—15 см на 3—4 дня, после всходов — 10—15 см, в фазу кущения — 5 см, затем опять 10—15 см до молочно-восковой спелости риса)	—	—	—	—	19 380	100,4	51,7	103,8	17 660	100,5	43,8	106,0
4	Укороченное затопление (последний слой воды 10 см до молочно-восковой спелости риса)	—	—	—	—	16 600	86,0	45,0	90,5	—	—	—	—
5	Укороченное затопление (последний слой воды 5 см до молочно-восковой спелости риса)	—	—	—	—	15 900	82,4	48,8	98,0	—	—	—	—
6	Прерывистое затопление в течение всего вегетационного периода по схеме 9×6 дней	27 700	80,0	57,4	89,3	15 920	82,5	42,8	86,0	14 420	82,2	28,0	67,6

затапливаются на глубину 10—15 см. С появлением первых признаков кушения подача воды прекращается до снижения слоя воды в чеке до 3—5 см. Такой слой воды поддерживается до конца фазы кушения риса. После кушения растений глубина слоя воды вновь увеличивается до 10—15 см и на таком уровне поддерживается до молочно-восковой спелости зерна. На протяжении поливного периода вода из чеков не сбрасывается, проточность воды отсутствует.

Наблюдения за прорастанием семян и появлением всходов показали, что в результате отсутствия слоя воды и создания аэробных условий при укороченном затоплении зафиксировано более дружное прорастание семян и появление всходов по сравнению с постоянным затоплением (вариант 1). Следовательно, в увлажненной почве при свободном доступе кислорода семена чувствуют себя лучше, жизнеспособность их повышается. Так, подсчет показал, что энергия прорастания семян и густота всходов во влажной почве по сравнению с постоянным затоплением происходит интенсивнее и полнее.

Разница в урожае по годам обуславливается предшественниками. Наивысший урожай зерна риса получен в 1964 г., где его сеяли по пласту трехлетней люцерны. Несколько ниже урожай риса получен в 1965 г.— 49,8 ц/га там, где рис по рису сеяли третий год; еще ниже урожай риса был в 1966 г.— 41,4 ц/га, где рис по рису сеяли четвертый год.

При укороченном затоплении на 4 варианте так же, как и на 5 варианте отсутствие слоя воды обеспечило появление более дружных всходов по сравнению с постоянным затоплением. Однако прерывистое затопление почвы в период всходов растений привело к повышенной засоренности просянками, что снизило темпы роста растений и в конечном счете урожай риса. Такое же влияние на урожай риса оказали сорняки при постоянном затоплении с постоянным мелким слоем воды 3—5 см (вариант 2).

Следует подчеркнуть, что самый низкий урожай зерна риса получен на варианте прерывистого затопления. Это объясняется, с одной стороны, повышенной засоренностью участков, с другой — несоответствием режима орошения и биологических требований культуры. Перерывы в отсутствии воды хотя и непродолжительные, однако они совпадают с наиболее ответственными межфазными периодами жизни растений: трубкование — выметывание — цветение — и этапами органогенеза риса, когда слой воды для растений необходим.

При подсчете затрат труда на возделывание риса и при определении себестоимости зерна самым экономически выгодным оказался вариант 3 — с укороченным затоплением (табл. 2).

Наблюдения за ростом и развитием показали, что при укороченном затоплении высота растений была наивысшей (рис. 1). На рисунке 1 видно, что наименьшей высоты достигли растения,

Таблица 2

Затраты труда и себестоимость производства риса
в зависимости от режима орошения (1966 г.)

№ вариантов	Урожай, ц/га	Затраты труда на 1 ц риса, чел.-дн.	Себестоимость 1 ц риса, руб.
1	41,4	0,59	6,43
2	36,8	0,68	7,11
3	43,8	0,56	6,11
6	28,0	0,85	9,07

выращенные при прерывистом затоплении. Максимальный среднесуточный рост растений составил в межфазный период от всходов до выметывания 1,2 см при укороченном и 1,0 см — при прерывистом затоплении.

Данные биометрического анализа снопов представлены в таблице 3.

Из данных таблицы 3 следует, что наименьшую длину метелки имели растения, выращенные при прерывистом затоплении и на варианте с мелким затоплением.

Таким образом, физиологические наблюдения и анализ биометрических снопов позволяют сделать вывод, что лучшие показатели получены при укороченном затоплении (вариант 3).

Среди практиков рисоводов, а также ученых (В. И. Коваленко, 1954 г.; А. Курамысов, 1964 г.; Г. Садовов, Ф. Киричек, 1963 г.) республики существует мнение о необходимости по ряду причин создавать проточность воды при орошении риса на незасоленных землях. Многие рисоводы применяют проточность в наиболее жаркие дни вегетационного периода в целях понижения температуры воды в чеках.

Из данных советской и зарубежной литературы вытекает, что наилучший рост и развитие риса происходят при достижении температуры воды в чеках 30—35°. Состояние растений ухудшается при достижении температуры воды свыше 38—40°.

В результате наблюдений за температурой воды в оросителях и чеках установлено, что применяемая проточность оросительной

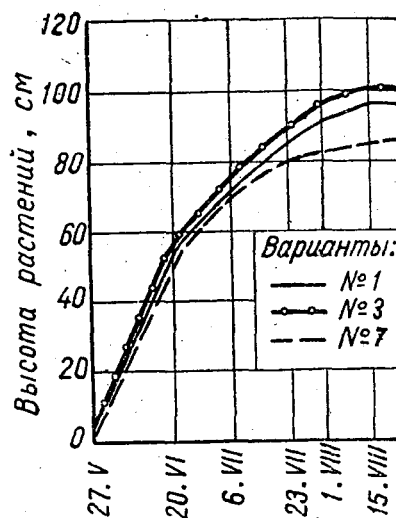


Рис. 1. Динамика высоты растений риса в зависимости от режима орошения (1966 г.).

Таблица 3

Биометрические показатели риса Дубовского 129 (1966 г.)

№ вариантов	Средняя высота растений, см	Средняя длина метелки, см	Количество зерен в пробном снопе				Весовое соотношение зерна к соломе	Всего зерна с ольной продуктивной метелки, г	Вес 1000 зерен, г
			выполненных	пустых	всего	пустозерность, %			
1	95,9	13,1	4013	507	4520	11,2	1:0,567	1,36	30,400
2	91,2	12,1	3240	868	4108	20,0	1:0,980	1,06	28,150
3	98,9	14,2	4328	523	4851	11,4	1:0,645	1,48	30,650
6	88,3	12,8	3992	554	4546	12,2	1:0,676	1,19	28,550

воды в 10—20% от общей водоподачи в наиболее жаркие дни вегетационного периода риса не повлияла на изменение температуры воды в чеках.

Так, вегетационный период 1965—1966 гг. по температурному режиму был выше среднесуточных данных. Однако и при таких условиях температура воды в чеках как и при проточности в 20% от общей водоподачи, так и без нее не поднималась выше 35° (рис. 2 и 3).

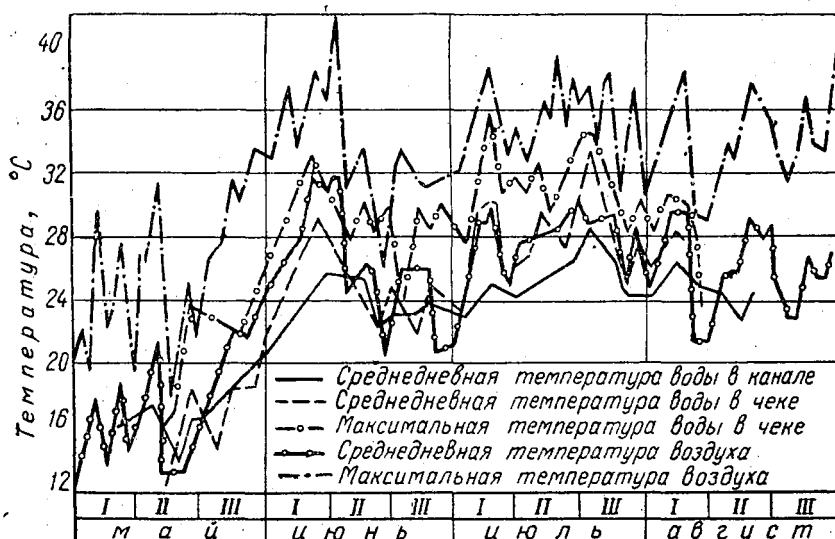


Рис. 2. Показатели температуры воздуха, воды в чеке и канале за период вегетации риса (1966 г.).

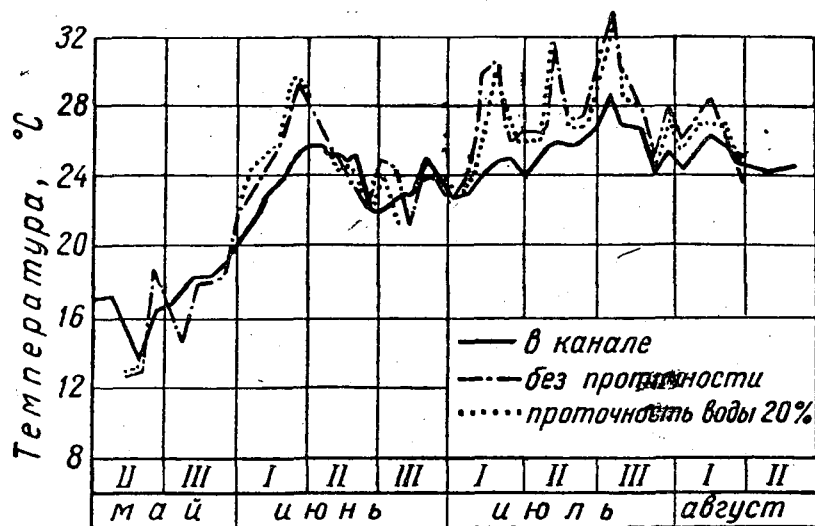


Рис. 3. Изменение средневенной температуры воды в чеках в зависимости от проточности оросительной воды (1966 г.).

Проточность воды в чеках не дала положительных результатов потому, что в условиях зоны исследований климат резко континентальный. Суточные колебания температуры воздуха летом доходят до 11—17°. С понижением температуры воздуха ночью происходит быстрое остывание неглубокого слоя воды в чеках, а в оросительных каналах в результате большой глубины за ночь — незначительное понижение. Поэтому температура вновь поступающей поливной воды оказывается выше температуры воды, покрывающей поверхность чека. Таким образом, вопреки ожиданию поступление воды совершенно не ведет к снижению температуры воды в чеках, а, наоборот, как бы подогревает ее.

В урожайности между этими вариантами не было существенной разницы. Результаты исследований приведены в таблице 4.

Как видно из таблицы 4, разница в урожайности риса, выращенного при условии 10—15 и 20—30% проточности воды по сравнению с вариантами, где проточность отсутствовала, находится в пределах ошибки опыта. Создаваемая проточность воды в чеках привела лишь к увеличению оросительной нормы на 3—8 тыс. м³/га, то есть снизила эффективность использования оросительной воды.

Кроме того, в результате создания проточности происходит вынос питательных веществ, переполняется коллекторно-дренажная сеть, что приводит к размыву и оползням откосов. На неинженерных системах сбросная вода затапливает проезжие дороги, собираясь в пониженных местах, приводит к заболачиванию, к подня-

Таблица 4

Показатели урожая риса и расхода оросительной воды в зависимости от проточности

Режим орошения	Проточность	1964 г.			1965 г.			1966 г.		
		оросительная норма, м ³ /га		урожай, ц/га	оросительная норма, м ³ /га		урожай, ц/га	оросительная норма, м ³ /га		урожай, ц/га
		всего	в т. ч. на проточность		всего	в т. ч. на проточность		всего	в т. ч. на проточность	
Постоянное затопление (слой воды после сева — 3—4 см, после всходов — 10—12 см, в фазу кущения — 5 см, затем опять — 10—15 см до молочно-восковой спелости риса)	Без проточности	34 800	—	64,3	19300	—	49,8	17560	—	41,4
	При проточности 10—15% от водоподачи	38 260	3850	62,4	22380	3100	48,4	—	—	—
	При проточности 20—30% от водоподачи	43 490	8490	64,4	25150	5850	50,7	22000	4420	40,2

тию уровня грунтовых вод и развитию процессов вторичного засоления прилегающей территории. Следовательно, неправильное использование оросительной воды приводит к увеличению объема очистительных работ и к повышению себестоимости продукции. По перспективному плану запланированный забор воды из р. Сыр-Дарьи на 1970 г. по Кызыл-Ординской области на все сельскохозяйственное освоение составит 10,5 млрд. м³ (по подсчетам специалистов требуется 16,0 млрд. м³), а со временем увеличится до 19,0 млрд. м³. Поэтому в условиях области при дефиците оросительной воды особенно важно соблюдение экономически обоснованного режима орошения риса, так как только при этом возможно наиболее правильное использование водно-земельных ресурсов.

Опытами предусматривалось установить оптимальные сроки прекращения подачи оросительной воды в чеки в конце вегетации риса, при которых бы обеспечивались хороший налив зерна риса (без снижения его урожайности) и просушка поверхности чеков. Для этого прекращали подачу оросительной воды в чеки в период молочной, молочно-восковой и восковой спелости зерна. После прекращения подачи вода из чеков не сбрасывалась, а оставалась в них до полного впитывания (табл. 5).

Из таблицы 5 видно, что прекращение подачи оросительной воды в чеки в молочно-восковую и даже молочную спелость риса не

Таблица 5

Урожай риса в зависимости от срока прекращения подачи воды в чеки

Режим орошения	Сроки прекращения подачи воды	1965 г.				1966 г.			
		оросятель- ная норма		урожайность		оросятель- ная норма		урожайность	
		м ³ /га	%	м ³ /га	%	м ³ /га	%	м ³ /га	%
Постоянное затопление (слой воды после сева — 3—4 см, после всходов — 10—15 см, в фазу кушения — 5 см, затем — опять 10—15 см)	Период молочной спелости	—	—	—	—	16660	100,0	41,0	100,0
	Период молочно-восковой спелости	19 300	100,0	49,8	100,0	17560	105,7	41,4	101,1
	Период восковой спелости	21 100	109,4	51,6	103,7	18400	110,9	40,9	99,8

вызывало снижения урожая и обеспечивало нормальный налив зерна.

Абсолютный вес зерна не снизился по сравнению с растениями, произрастающими в условиях более продолжительного затопления — до восковой спелости.

Таблица 6

Водный баланс рисовой карты

Элементы водного баланса	1964 г.	1965 г.	1966 г.
	постоянное затопление (слой воды после сева — 3—4 см, после всходов — 10—15 см, в фазу кушения — 5 см, затем опять — 10—15 см до молочно-восковой спелости риса)		
Подача	Приход		
Атмосферные осадки	38 260	25 150	21 977
Итого	170	—	—
	38 430	25 150	21 977
Заполнение влагоемкости почвогрунтов	Расход		
Испарение	4100	3780	3600
Транспирация	5655	5230	5707
Фильтрация	3505	3040	2445
Поверхностный сброс	21 320	7250	6093
Итого	3850	5850	4419
	38 430	25 150	22 264
Невязка, м ³ /га	—	—	294
%	—	—	— 1,4
Урожай, ц/га	62,4	50,7	— 40,2

Результаты математической обработки показали, что разница в урожае риса находится в пределах ошибки опыта. Наблюдения за влажностью почвы в горизонте 0—60 см показали, что к полной спелости риса она снизилась при прекращении подачи воды в чеки в фазу восковой спелости до 91%, при прекращении в фазу молочно-восковой спелости — до 84% и при прекращении в фазу молочной спелости — до 76% от предельной полевой влагоемкости. Приведенные данные убедительно говорят о том, что при такой высокой влажности корнеобитаемого слоя почвы растения были полностью обеспечены необходимым количеством влаги до полного созревания зерна.

Ранний срок прекращения подачи воды в чеки позволяет сократить поливной период у скороспелых сортов до 12, у позднеспелых — до 20 дней, снизить оросительную норму на 1—2 тыс. м³/га, обеспечить хорошую просушку полей, проходимость уборочной техники и транспортных средств.

Изучение водного баланса рисовых полей при постоянном затоплении дает возможность определить полезные расходы воды растением, необходимые для формирования урожая, определить непроезводительные потери, установить коэффициент использования воды и коэффициент водопотребления риса.

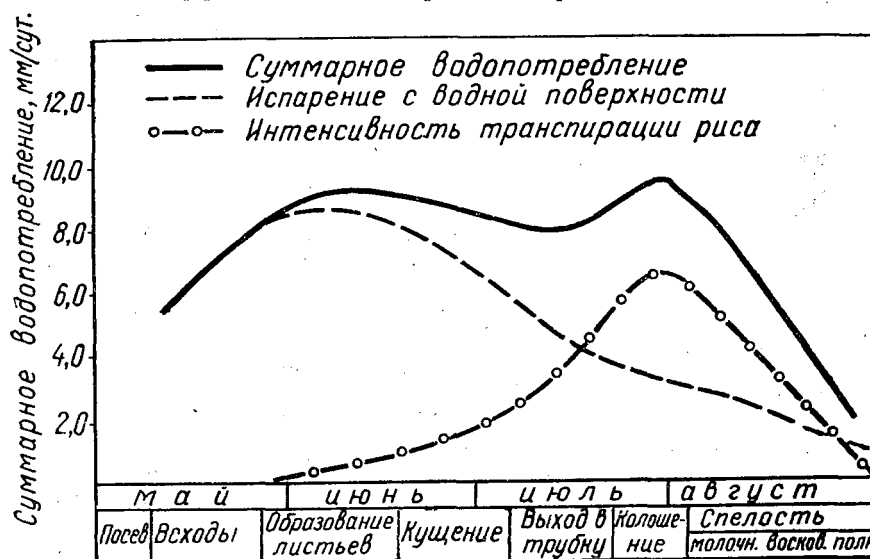


Рис. 4. Интенсивность транспирации и испарения с водной поверхности за период вегетации риса (1966 г.).

Формула водного баланса рисовой карты такая:

$$M + P = W + E + T + F + S,$$

где *M* — оросительная норма;

P — атмосферные осадки;
 W — заполнение влагоемкости почвогрунта;
 E — испарение;
 T — транспирация;
 F — фильтрация боковая и глубинная;
 S — поверхностный сброс всех видов.

Результаты опыта по определению составляющих водного баланса рисовых карт представлены в таблице 6.

Из таблицы 6 видно, что расход воды на испарение с водной поверхности и транспирацию растениями составил 8—10 тыс. m^3/ga , на насыщение почвогрунта — 3,5—4,0 и на фильтрацию — до 7—25 тыс. m^3/ga . Большие потери воды на фильтрацию характерны

Таблица 7

Ординаты гидромодуля риса по этапам на инженерной оросительной системе (укороченный тип затопления, 1966 г.)

Фазы развития риса	Режим орошения	Количество дней	Потребное количество воды, m^3/ga	Гидромодуль —		
				карты	рисового поля	рисового севооборота
Всходы	Первоначальное затопление	3	4880	18,8		
	Поддержание слоя воды	6	936	1,8	4,1	2,1
	Перерыв на всходы	7	—	—		
Образование листьев	Повторное затопление	4	1280	3,7		
	Поддержание слоя воды	14	2071	1,7	1,7	0,8
	Снижение слоя	3	—	—	—	—
Кущение	Поддержание слоя воды	23	3032	1,5	1,5	0,8
Выход в трубку	Увеличение слоя	3	809	3,1	3,1	1,6
Колошение	Поддержание слоя воды	28	4652	1,9	1,9	1,0
Молочная спелость	Расход за счет ранее созданного слоя воды	10	—	—	—	—
Восковая спелость						
Полная спелость	Расход за счет насыщения почв	12	—	—	—	—
Всего		113	17 660	1,81	1,81	0,90

Таблица 8

Ординаты гидромодуля риса на неинженерной оросительной системе

Фазы развития	Режим орошения	Количество дней	Потребное количество воды, м ³ /га	Гидромодуль, л/сек/га		Сброс, м ³ /га	Гидромодуль сброса, л/сек/га
				рисового поля	рисового севооборота		
Всходы	Первоначальное затопление	3	4530	7,1	3,6	—	—
	Поддержание слоя воды	15	6670				
Образование листьев	Увеличение слоя	3	1495	4,8	2,4	1015	1,17
	Поддержание слоя	9	3665				
	Прекращение подачи воды	3	—				
Кущение	Поддержание слоя воды	21	6240	3,5	1,8	1730	0,95
Выход в трубку	Увеличение слоя	3	1410	5,4	2,7	390	1,5
Колошение	Поддержание слоя воды	47	19 380	4,8	2,4	5355	1,32
Молочная спелость							
Восковая спелость	Расход за счет ранее созданного слоя воды	7	—	—	—	—	—
Полная спелость	Расход за счет насыщения почв	15	—	—	—	—	—
Всего		123	43 490		2,1	8490	0,80

для рисосеющих хозяйств, расположенных на почвах с глубоким залеганием уровня грунтовых вод (ниже 4 м), а также при возделывании риса на небольших массивах (около 30—40 га), размещенных среди посевов других сельскохозяйственных культур или неорошаемых территорий.

В течение вегетационного периода потребность риса в воде неодинакова. С увеличением термического напряжения воздуха интенсивность испарения с водной поверхности увеличивается. По мере роста растений испарение с водной поверхности уменьшается, но возрастает транспирация. Максимальный расход воды на транспирацию приходится в межфазный период от колошения до молочной спелости риса (рис. 4). За оросительный период величина

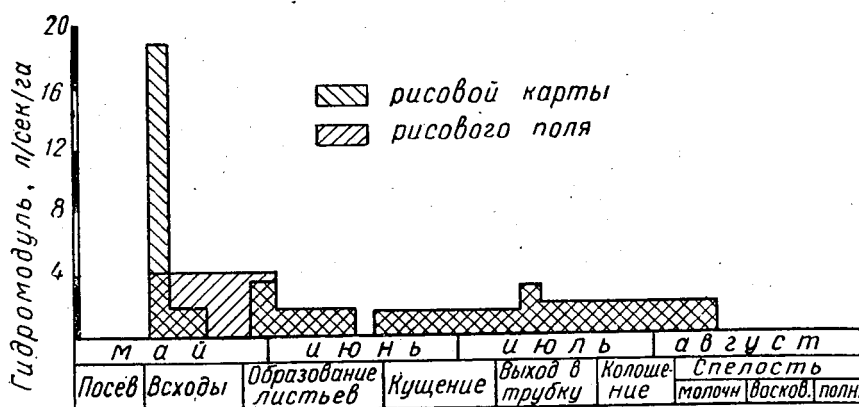


Рис. 5. График гидромодуля нетто рисовой карты (1964 г.) и рисового поля (1966 г.).

суммарного водопотребления в 1966 г. составила 815,2 мм, а суммарный среднесуточный расход воды — 8,1 мм.

Растениям в первый период роста и развития требуется незначительное количество воды. Однако в период первоначального затопления чеков много ее расходуется на заполнение влагоемкости почвогрунтов и создание слоя воды на поверхности рисового поля. В дальнейшем, в период поддержания слоя воды, оно значительно сокращается. Данные о количестве воды по этапам затопления приведены в таблицах 7 и 8.

Для получения одновременных всходов риса срок первоначального затопления карты принимается 2—3 дня. Затопление всего массива должно быть закончено в течение 20 дней. Поэтому правильное определение ординаты гидромодуля имеет очень большое практическое значение. Наибольшая ордината гидромодуля служит расчетной для определения пропускной способности каналов и сооружений (рис. 5). В условиях Левобережного Кзыл-Ординского массива наибольшая ордината гидромодуля для затопления карты составляла в 1964 г. 17,5 л/сек/га, в 1966—17,0, для затопления рисового поля в 1964 г.— 7,1, в 1966 г.— 4,1 л/сек/га.

ВЫВОДЫ

1. Лучшим режимом орошения риса в условиях Кзыл-Ординской области на незасоленных и незасоренных землях следует считать укороченный тип затопления. При этом типе режим орошения риса следующий: после сева чеки сразу же затапливаются слоем воды 10—15 см на 3—4 дня, затем подача воды в чеки прекращается. Вода из чеков не сбрасывается, а оставляется в них до полного впитывания в почвогрунт. С появлением всходов (обозначением

рядков) чеки вновь заливаются слоем воды 10—15 см. Перед кущением риса подача воды уменьшается с таким расчетом, чтобы уровень воды в чеках снизился до 5 см. После кущения и до конца молочной спелости риса слой воды поддерживается на уровне 10—15 см. После прекращения подачи вода из чеков не сбрасывается, а остается в них до полного впитывания.

2. Применение проточности на незасоленных землях в условиях области не дает положительных результатов, урожайность не повышается, а лишь увеличиваются расходы оросительной воды. Увеличение оросительной нормы за счет проточности сокращает площади полива при ограниченных водных ресурсах и ухудшает мелиоративное состояние массива.

3. Подачу воды в чеки следует прекращать в период молочной спелости риса на больших (более 1000 га) рисосеющих массивах и в период молочно-восковой — на малых (30—40 га). После прекращения подачи вода из чеков не сбрасывается, а остается в них до полного впитывания.

4. В условиях Левобережного Кзыл-Ординского массива при постоянном и укороченном затоплении оросительная норма для риса колеблется от 17,0 до 45,0 тыс. м³/га в зависимости от почвенно-гидрогеологической характеристики и размера рисосеющего массива.

**ГИДРОХИМИЧЕСКАЯ ЗОНАЛЬНОСТЬ ГРУНТОВЫХ ВОД
МЕЖДУРЕЧЬЯ БУГУНЬ — ЧАЯН В ЗОНЕ
АРЫСЬ-ТУРКЕСТАНСКОГО КАНАЛА**

Л. Ф. ПЕСТОВ, *научный сотрудник*

УДК 631.411.6 : 626.81/85

Территория междуречья Бугунь — Чаян расположена в юго-восточной части Арысь-Туркестанского массива орошения и представляет собой предгорную наклонную равнину, примыкающую с одной стороны к юго-западному склону Каратау, с другой — переходящую в пролювиально-аллювиальную равнину р. Сыр-Дарьи. Поверхность расчленена слабо и имеет общий уклон 0,002 к долине р. Сыр-Дарьи. Климат здесь резко континентальный.

В геологическом строении района принимают участие почти все породы стратиграфического комплекса, начиная с верхнепротерозойских и кончая верхнечетвертичными и современными образованиями. Наибольшее распространение и значение в данной зоне имеют четвертичные отложения, представленные четырьмя разновидностями (А. Шубин, М. Сорокин, 1947—1948 гг.): нижнечетвертичные Q_1 , нерасчлененные нижне- и среднечетвертичные Q_{1-2} , верхнечетвертичные Q_3 и современные лёссовидные суглинки Q_4 .

Верхнечетвертичные и современные отложения Q_{3-4} , слагающие верхние террасы и поймы речных долин, распространены вдоль всего юго-западного склона хребта Каратау и представлены в основании разреза гравелисто-галечниковыми отложениями с прослойками глин. Мощность отложений колеблется от 30—35 м (долина р. Кара-Чик) до 45—50 м на междуречье Бугунь — Чаян.

Выше по разрезу галечниковые отложения сменяются тяжелыми суглинками темно-желтого и буровато-коричневого цвета с прослойками из супеси. Мощность суглинков колеблется от 2—5 м у предгорий до 35—50 м в концевой части конусов выноса. Изменение мощности суглинков наблюдается не только в продольном разрезе, но и в поперечном сечении того или иного конуса выноса и, в частности, конуса выноса, слагающего междуречье Бугунь — Чаян.

Разрез четвертичных отложений завершается современными лёссовидными суглинками Q_4 , почти сплошным чехлом покрывающими всю территорию, от предгорий хребта Каратау до р. Сыр-Дарьи. Мощность покровных суглинков небольшая, в основном 1—2 м, и достигает максимума 3—6 м на междуречье Бугунь — Чаян.

В исследуемом районе выделяются три водоносных горизонта: грунтовые воды пролювиально-аллювиальных отложений, грунтовые воды конусов выноса и пластово-поровые воды среднеолигоценных отложений. Водоносные горизонты, залегающие на большей глубине и приуроченные к более древним отложениям, здесь еще не изучены.

Пластово-поровые воды вскрыты на глубине 115—120 м и приурочены к крупным галечникам и кварцевым крупнозернистым пескам с прослойками опесчаненных глин. Сверху эти отложения перекрыты толщей светло-коричневых аргиллитоподобных плотных глин мощностью 20—40 м. Мощность водоносного горизонта от 30 до 50 м, имеет напорные воды, уровень которых устанавливается на глубине 3,5—7,5 м от поверхности земли. Минерализация не превышает 1 г/л.

Грунтовые воды конусов выноса приурочены к гравийно-галечниковым отложениям, сменяющимся выше песками, супесями и суглинками. По направлению движения грунтовые воды от предгорий (область питания) к долине р. Сыр-Дарьи (область разгрузки) приобретают напорный характер, а глубина их залегания увеличивается с 5—7 м до 20—25 м. Такая закономерность проявляется и в междуречье Бугунь — Чаян. В долине р. Чаян грунтовые воды данного горизонта залегают на глубине 5,5 м. По мере приближения к р. Бугунь мощность водоносного горизонта выклинивается, а сверху его перекрывает толща тяжелых суглинков, создавая значительный напор грунтовых вод (примерно 16 м).

Коэффициент фильтрации гравийно-галечниковых отложений составляет около 26—30 м/сутки, а коэффициент водоотдачи — 0,25. Удельный дебит составляет 25,1 л/сек. По степени минерализации воды горизонта относятся к пресным гидрокарбонатно-кальциевым, величина сухого остатка не превышает 1,0 г/л. Режим вод в этом горизонте устойчивый, климатического типа, с годовой амплитудой колебаний уровня в пределах 1,5—2,0 м. Среднегодовая температура воды равняется 12,8°C.

Грунтовые воды пролювиально-аллювиальных отложений имеют региональное распространение, особенно развиты на междуречье Бугунь — Чаян и приурочены к лёссовидным суглинкам. Водоупором является нижерасположенная толща тяжелых суглинков, мощность которой достигает 15 м. Инфильтрующиеся осадки, поливные воды, а также фильтрационные воды из каналов (особенно из Туркестанского магистрального канала — ТМК), достигая этого водо-

упора, образуют сплошное водное зеркало, имеющее свободную поверхность и залегающее на глубинах от 1 до 8 м. Водоупорное ложе имеет уклон 0,002, направленный к р. Бугунь и частично к р. Чаян. В этом же направлении движется поток грунтовых вод. Разгрузка грунтовых вод происходит в р. Бугунь и незначительно — в районе долины р. Чаян в нижележащий водоносный горизонт, с которым они имеют здесь гидравлическую связь. Водообильность горизонта малая, дебит наблюдательных скважин диаметром 50 мм не превышает 0,1 л/сек. Коэффициент фильтрации суглинков колеблется в пределах 0,1—1,2 м/сутки, коэффициент водоотдачи — 0,10—0,15.

Минерализация грунтовых вод на междуречье Бугунь — Чаян высокая, и значительный расход грунтовых вод происходит путем испарения через зону аэрации, что приводит к вторичному засолению верхних горизонтов почвогрунтов. При назначении мелиоративных мероприятий с целью повышения плодородия засоленных земель (промывка, дренаж и др.) знание минерализации и химизма верхних слоев грунтовых вод является необходимым. С этой точки зрения нижеприведенные сведения о химизме грунтовых вод междуречья Бугунь — Чаян представляют определенный интерес.

До начала орошения на междуречье Бугунь — Чаян химизм грунтовых вод характеризуется 13 скважинами, из которых осенью 1953 г. были отобраны пробы. При анализе имеющегося фактического материала по химизму и минерализации грунтовых вод на территории междуречья можно выделить несколько участков с различной степенью засоления грунтовых вод. Грунтовые воды с минерализацией до 1,0 г/л приурочены в основном к долине р. Чаян, прослеживаясь вдоль ее полосой значительной ширины (до 5 км). Далее в сторону р. Бугунь отмечается увеличение минерализации. В центральной части междуречья грунтовые воды имеют минерализацию до 3,0 г/л, а ближе к долине р. Бугунь минерализация их увеличивается до 5,0 г/л, достигая на отдельных участках 12,0—17,0 г/л. В связи с отсутствием данных судить о химизме грунтовых вод до орошения не представляется возможным.

С вводом в эксплуатацию Бугуньского водохранилища, Туркестанского магистрального канала (ТМК) и началом орошения (1960 г.) на междуречье произошли значительные изменения в режиме уровня грунтовых вод, их минерализации и химизме. Для иллюстрации гидрохимических условий междуречья по состоянию на май 1964 г. построены: схема распространения химических типов грунтовых вод (рис. 1), карта гидрохимической зональности грунтовых вод (рис. 2) и гидрохимические профили по двум створам (рис. 3).

В пределах междуречья химический состав грунтовых вод отличается большой пестротой. Минерализация их изменяется от 0,5 до 15 г/л, а на отдельных участках она достигает 44 г/л (скв. 9). По

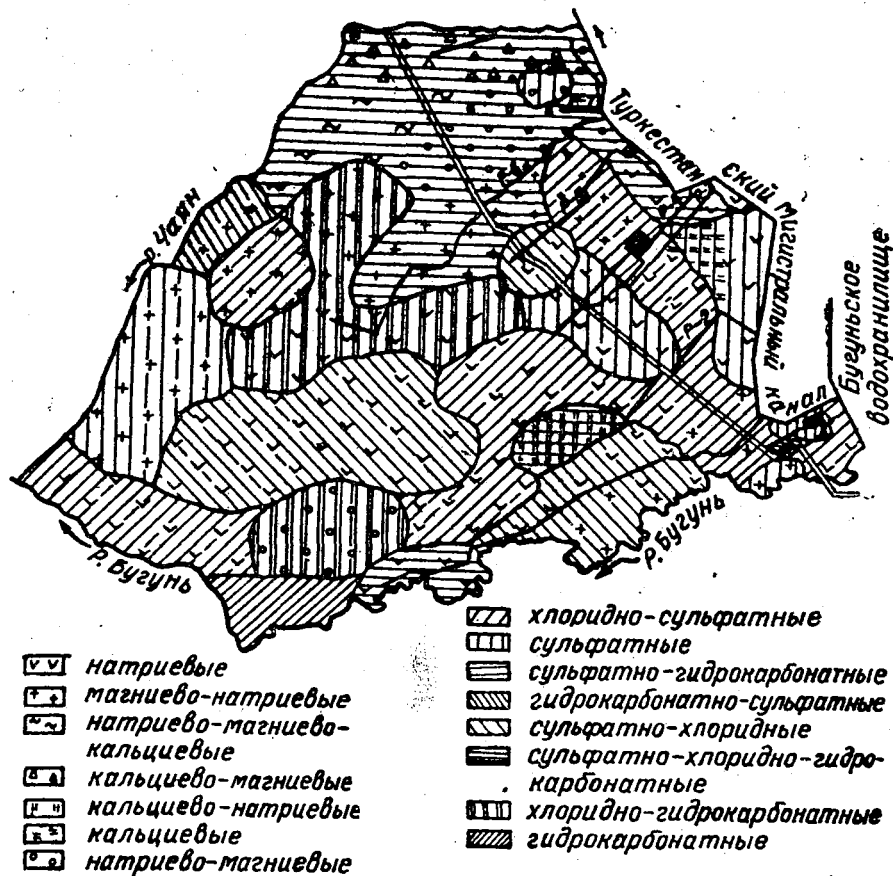


Рис. 1. Схема распространения химических типов грунтовых вод на междуречье Бугунь — Чаян (май 1964 г.).

классификации Приклонского и Лаптева (1949), на междуречье можно выделить грунтовые воды (по плотному остатку): пресные, слабоминерализованные, среднеминерализованные и минерализованные.

Пресные грунтовые воды с минерализацией, не превышающей 1 г/л, занимают площадь 6,0 тыс. га (17%) и приурочены к верхней части долины р. Чаян, где галечниковые отложения выходят ближе к поверхности земли и где условия естественной дренированности более благоприятные ввиду наличия супесчаных и песчаных прослоек. По химическому составу грунтовые воды с минерализацией до 1 г/л относятся к гидрокарбонатным. Среди анионов ведущее место принадлежит гидрокарбонатам, содержание которых колеб-

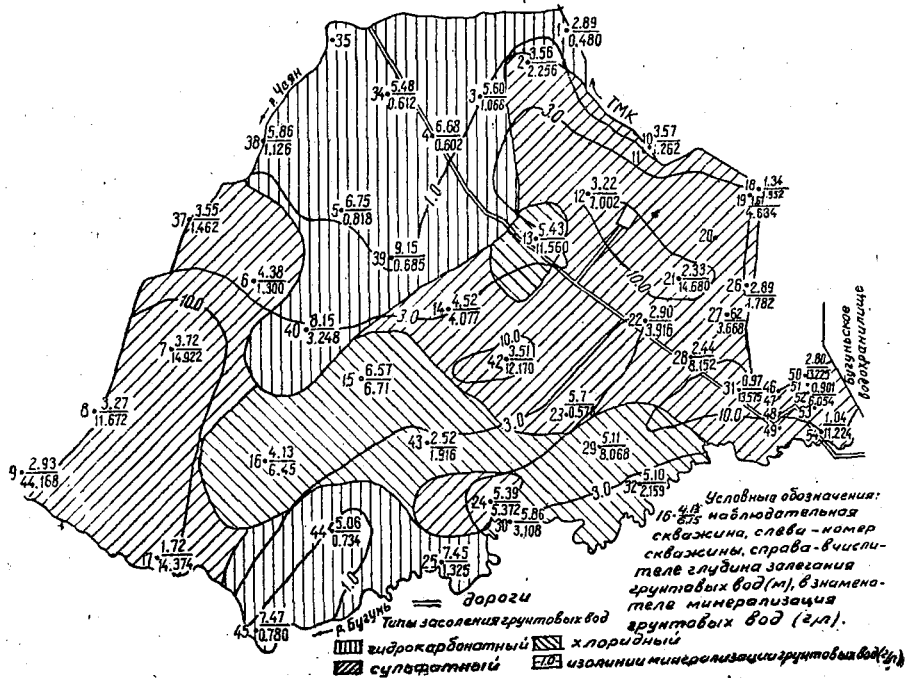


Рис. 2. Схема гидрохимической зональности грунтовых вод на междуречье Бугунь — Чайн (май 1964 г.).

лется от 50 до 65% экв. Сульфаты содержатся в пределах 28—34% экв, а хлориды — 7—19% экв. Среди катионов ведущее место принадлежит магнию и натрию, значительно реже отмечается повышенное содержание кальция. Общая жесткость довольно высокая и составляет 5—8 мг-экв.

Далее распространяются слабоминерализованные грунтовые воды (1—3 г/л), занимающие 8,3 тыс. га (24%), они расположены вдоль ТМК и частично в средней части массива. По химическому составу относятся вдоль ТМК к сульфатному типу засоления, а в средней части массива — к хлоридному и гидрокарбонатному. Для слабоминерализованных грунтовых вод характерно иное соотношение ионов. Анионы содержатся примерно в равных количествах: гидрокарбонатов — 39—56% экв, сульфатов — 51—58% экв и хлоридов — 26—67% экв. Среди катионов ведущее место принадлежит натрию (45—91% экв) и реже отмечается повышенное содержание магния (30—50% экв) и кальция (30% экв). Общая жесткость высокая и составляет 3—13 мг-экв.

Под действием факторов ирригации на основной площади массива сформировались среднеминерализованные грунтовые воды

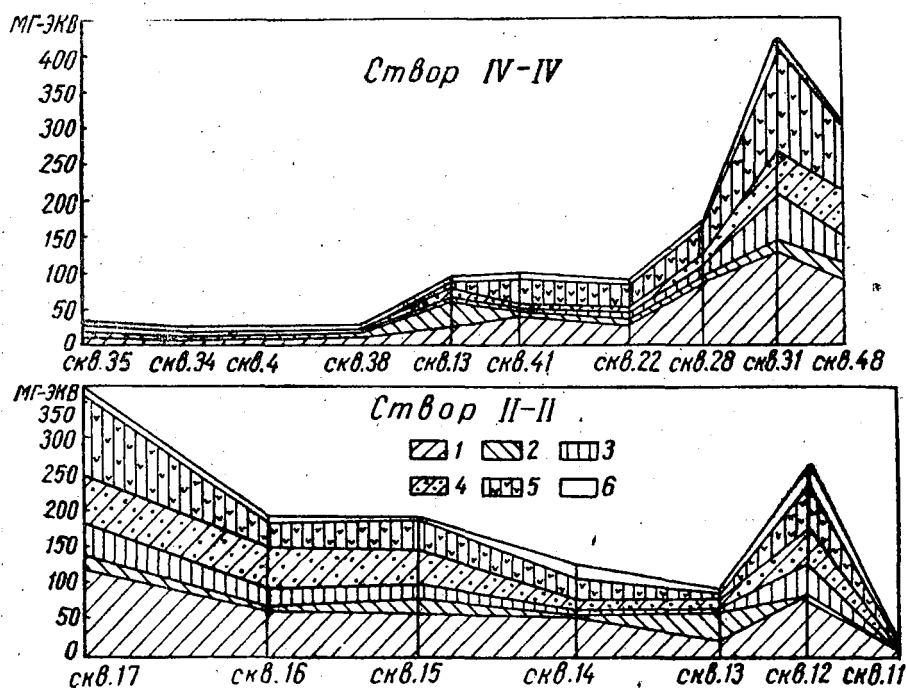


Рис. 3. Гидрохимический профиль по створам на междуречье Бугунь—Чаян (май 1964 г.).

(3—10 г/л). Они занимают площадь 17 тыс. га, что составляет 49% от всей площади междуречья. По химическому составу относятся в основном к сульфатному и хлоридному типам.

Минерализованные грунтовые воды (10—50 г/л) занимают площадь 3,7 тыс. га (10%) и приурочены к зонам разгрузки и слабосточным районам (нижняя часть р. Бугунь и р. Чаян, зона влияния Бугуньского водохранилища и пониженная часть в районе скв. 21). Эти грунтовые воды имеют сульфатный тип засоления. В минерализованных водах среди анионов преобладают сульфаты, которых здесь содержится до 52—94% экв. Содержание хлоридов и гидрокарбонатов незначительное и составляет соответственно 2—35% экв и 2—13% экв. Среди катионов преобладает натрий (60—80% экв). Магний и кальций содержатся в количествах, редко превышающих 25% экв. Общая жесткость очень высокая и составляет 23—80 мг-экв, а на отдельных участках достигает 183 мг-экв (скв. 17).

Как видно из рисунка 3, увеличение общей минерализации на междуречье отмечается в двух взаимно перпендикулярных направ-

лениях: вдоль потока грунтовых вод от ТМК к р. Бугунь и поперек потока грунтовых вод от р. Чаян к р. Бугунь и Бугуньскому водохранилищу.

ВЫВОДЫ

1. В мелиоративном отношении интерес представляют грунтовые воды конусов выноса, приуроченных к гравийно-галечниковым отложениям, и грунтовые воды пролювиально-аллювиальных отложений, приуроченных к лессовидным суглинкам. Первые имеют очень слабую минерализацию, но, обладая значительной напорностью, оказывают отрицательное действие на работу горизонтального дренажа. Это обстоятельство необходимо учитывать при расчетах. Вторые имеют высокую минерализацию и, находясь близко от поверхности земли, непосредственно участвуют в процессе вторичного засоления верхних слоев почвогрунтов.

2. Минерализация грунтовых вод пролювиально-аллювиальных отложений на междуречье Бугунь — Чаян колеблется от 0,5 до 15 г/л; пресные грунтовые воды приурочены к супесям и суглинкам, обладающим наибольшей дренированностью. Эти воды залегают наиболее глубоко от поверхности земли. Минерализованные грунтовые воды отмечаются в местах наиболее близкого их залегания к поверхности земли. Одновременно с увеличением минерализации меняется и тип химизма грунтовых вод, переходя от гидрокарбонатного в хлоридный и далее в сульфатный.

3. По типу химизма грунтовых вод пролювиально-аллювиальных отложений в пределах междуречья выделены три зоны: гидрокарбонатных с минерализацией 0,5—3,0 г/л, хлоридных с минерализацией 3—10 г/л и сульфатных с минерализацией более 5—10 г/л по плотному остатку. Гидрохимическая зональность этих вод определяется рядом причин, главные из которых:

а) распределение региональных областей питания; приуроченных к долинам рек Бугунь и Чаян;

б) состав и мощность пород зоны аэрации и водовмещающих отложений, в направлении от ТМК и р. Чаян к р. Бугунь они обогащаются глинистыми частицами и мощность их увеличивается;

в) влияние искусственных источников питания грунтовых вод: Бугуньское водохранилище, Туркестанский магистральный канал и оросительная сеть.

4. При расчете промывных норм необходимо учитывать степень минерализации и химизм грунтовых вод. На участках с минерализацией более 3 г/л размер промывной нормы должен быть увеличен на такую величину, чтобы произвести опреснение до допустимых пределов не только почвогрунтов (0,4% по плотному остатку), но и верхних слоев грунтовой воды (до 3 г/л по плотному остатку).

ЛИТЕРАТУРА

1. *Гавиц И. К.* и др. Сборник задач по общей гидрогеологии. Изд. «Высшая школа», 1964.
2. Гидрогеологические условия орошаемых земель (на примере Центрального и Восточного Предкавказья). Изд. «Наука», М., 1966.
3. *Кац А. М.* Режим грунтовых вод в орошаемых районах и его регулирование. Изд. с.-х. литературы, журналов и плакатов. М., 1963.
4. *Липтев Ф. Ф.* Анализ воды. Госгеолтехиздат. М., 1955.

**ОПТИМИЗАЦИЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ИРРИГАЦИОННЫХ
СИСТЕМ ЮЖНОГО КАЗАХСТАНА
С НЕЗАРЕГУЛИРОВАННЫМ СТОКОМ ИСТОЧНИКОВ
ОРОШЕНИЯ (ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ)**

В. С. ЧЕРНЯВСКИЙ, *научный сотрудник,*
Г. В. ВОРОПАЕВ, *кандидат технических наук*

УДК 629.81 (574)

Специфика планирования и использования ирригационных систем. Оросительные системы Южного Казахстана охватывают площадь свыше 1,5 млн. га земель с оросительной сетью, из которых около 900 тыс. га ежегодно поливаются.

Оросительные системы представлены определенными земельными и водными ресурсами, производственными фондами и трудовыми ресурсами. Наиболее оптимальное использование оросительных систем возможно в тех случаях, когда все указанные элементы производительных сил имеются в определенном оптимальном соотношении, отвечающем выполнению заданной производственной программы.

Однако сложившиеся к настоящему времени производительные силы не соответствуют этому условию. Кроме того, если количественные и качественные характеристики земельных ресурсов, производственных фондов и трудовых ресурсов определены для каждого момента времени и планирование их возможно с достаточной степенью точности на ближайший год или больший отрезок времени, то водные ресурсы подвержены значительным изменениям из года в год. Причем особенные трудности в планировании водных ресурсов связаны с использованием незарегулированных источников орошения.

Общий годовой сток источников орошения Южного Казахстана составляет около 66 млрд. м³, из которого для орошения забирается 15—18%, а суммарные регулирующие емкости водохранилищ не превышают в настоящее время 700 млн. м³. Таким образом, основная часть стока используется в его бытовом режиме.

Незарегулированность источников орошения вносит значительные трудности в ежегодное планирование размеров поливных пло-

щадей, структуру посевов, режимы орошения, поставки сельскохозяйственной и мелиоративной техники и др. В то же время морфологические и гидрогеологические особенности этого района таковы, что не создают благоприятных возможностей для выбора удобных чаш для водохранилищ, либо их технико-экономические показатели оказываются крайне низкими. Таким образом, как в настоящее время, так и в ближайшей перспективе объемы забираемой из источников орошения воды будут зависеть от водности источников и будут существенно влиять на размеры и результаты орошаемого производства.

Значительная изменчивость стока в многолетнем разрезе, неопределенность ожидаемых размеров его в предстоящем году и во внутригодовом распределении вместе с отсутствием долгосрочных прогнозов по водности источника ставят планирование производства на оросительных системах в условия неопределенности. Ко всему в условиях Южного Казахстана подвержена изменчивости в многолетнем разрезе потребность в размерах оросительных норм, что обусловлено различным количеством в отдельные годы и различным распределением внутри года атмосферных осадков и режима температур и влажности воздуха. При этом связь между режимом осадков, ходом температур и режимом источников для рассматриваемой зоны не установлена, и долгосрочное прогнозирование не ведется.

В таких условиях ежегодное планирование производства на оросительных системах ведется сейчас, исходя из ожидаемого (расчетного) поступления воды по источнику орошения при принятых (расчетных) режимах орошения. При этом за расчетный год принимается год средней водности (50% обеспеченности), а расчетные режимы орошения устанавливаются на уровне оптимальной потребности растений в увлажнении почвы для средних условий естественного увлажнения и средних условий хода температур в вегетационный период.

Составленный осенью на этой основе план водопользования на предстоящий год подвергается весной (в марте) корректировке с учетом особенностей сложившейся весны и прогноза водности источника на ближайшие 4—5 месяцев. Однако возможности изменять посевные площади и структуру посевов к этому времени уже существенно ограничены. Поэтому основной путь увязки потребностей в воде с ее наличием при недостатке воды идет по линии ограничения в поливах сначала отдельных менее ценных культур, а затем и в ограничении более ценных. При избытке воды она, как правило, не используется.

Многолетний опыт производства показал, что такое планирование водопользования не только не обеспечивает наиболее оптимального использования ирригационных систем, но и давно подорвало организационное значение планов водопользования, так как они

из года в год оказываются нереальными. Не случайны поэтому предложения составлять эти планы один раз на 5 лет и затем лишь корректировать их.

Задача совершенствования планирования использования оросительных систем в таких условиях, вероятно, может быть решена на основе современных методов математического программирования — путем формализации важнейших сторон производства и разработки некоторой математической модели, включающей все наиболее существенные факторы производства.

Общая постановка задачи. Ирригационная система представляется как многоотраслевое сельскохозяйственное производство на землях, охватываемых оросительной сетью каналов с общим головным водозабором из одного источника орошения (возможно и несколько водозаборных сооружений, но из одного источника). Отрасли производства — растениеводство (орошаемое и богарное) и животноводство. Общая площадь землепользования представлена рядом участков $F = \sum_{s=1}^k F_s$. Под признаком s понимается s -ая категория земель системы (вид угодий, почвенно-мелиоративная категория и др.).

Водные ресурсы источника орошения характеризуются годовым или вегетационным стоком, либо стоком (или расходом) в отдельные (критические) периоды водопотребления любой продолжительности их. Колебания параметров стока представляют собой непрерывный нестационарный процесс. Однако для решения практических водохозяйственных задач этот процесс можно рассматривать как приблизительно стационарный случайный с дискретным временем. В этом случае водные ресурсы могут быть заданы в виде ряда объемов (или расходов) воды, имеющих определенную вероятность исхода:

$$W_1 < W_2 < \dots < W_j < \dots < W_n,$$

$$P_1, P_2, \dots, P_j, \dots, P_n,$$

где P_j означает вероятность объемов стока W_j .

Выбор расчетных параметров стока будет определяться соотношением характера гидрографа стока и гидромодуля водопотребления. На источниках с преобладанием ледникового типа питания укомплектованный гидромодуль водопотребления наиболее полно вписывается в гидрограф источника. В этом случае за расчетный интервал времени может быть принят весь вегетационный период, а в качестве нормы водопотребления — оросительная норма. Для рек с преобладанием снегового типа питания или родникового гидромодуль водопотребления не вписывается в гидрограф. Это создает критические периоды в водоснабжении, глубина дефицита будет зависеть от обеспеченности расходов, структуры посевов и

площадей. В таком случае расчет надо вести для критического периода водности, приняв его интервал времени. Модель предусматривает обе возможности совместного учета гидрографа стока и гидро модуля потребления.

Естественное увлажнение также представлено случайными величинами стохастического характера. Как показал наш анализ, для условий некоторых бассейнов юга Казахстана связь между естественным увлажнением и стоком источников отсутствует.

Естественное увлажнение в комплексе с другими природными факторами определяет размеры потребных оросительных норм, снижая их во влажные годы и увеличивая в сужие. В качестве характеристики величин естественного увлажнения можно принять вероятностный ряд распределения осадков (для условий юга Казахстана за осенне-весенний период):

$$H_1 < H_2 < \dots < H_v \dots < H_x,$$

$$\pi_1, \pi_2, \dots, \pi_v, \dots, \pi_x,$$

где π_v обозначает вероятность выпадения осадков H_v . Вместо осадков для характеристики увлажнения может быть приведен ряд оросительных норм с заданной их обеспеченностью.

Предположим, что для каждой реализации по естественному увлажнению известны технико-экономические показатели сельскохозяйственного производства в богарных условиях.

Для каждого исхода v по естественному увлажнению и для каждой культуры s -го массива земли установлены различные нормы водопотребления q^{v,isl_s} , где $i=1,2, \dots, m_1, m+1, \dots, m_2$ — номера возделываемых культур, $l_v = 0,1, \dots, \omega_v$ — номера норм водопотребления. При этом значение $l_v = 0$ соответствует богарному способу возделывания (или полному ограничению в поливе в критический период водности). $l_v = 1,2, \dots, \omega_v$ — соответствуют различным вариантам орошения с переменной оросительной нормой (или различной глубиной ограничений в критический период). Так, при $l_v = 1$ может быть принята минимальная норма, обеспечивающая нужную рентабельность затрат на орошение, при $l_v = \omega_v$ — физиологически оптимальная норма, обеспечивающая наиболее высокий уровень урожайности.

Исследованиями КазНИИВХ было установлено влияние оросительных норм и величин ограничений в критический период водности на урожайность и затраты производства для сахарной свеклы и кукурузы. Принципиально такая зависимость может быть установлена и для всех других культур [3].

Обозначим через g^{v,isl_s} урожайность i -ой культуры, возделываемой на s -ом участке при норме водопотребления q^{v,isl_s} .

Животноводческий сектор обычно представлен различной структурой поголовья с различными способами его содержания. Для каждого вида скота и в зависимости от способа его содержания

будет различным кормовой рацион, неодинаковые нормы затрат кормов и выход продукции. Для специализированных хозяйств орошаемой зоны животноводство является подчиненной отраслью, кормовая база его формируется в основном за счет земледелия. И только в многоотраслевых неспециализированных хозяйствах, особенно при наличии значительного поголовья овец, в кормовой базе большой или преобладающий удельный вес занимают пастбищные корма.

Таким образом, кормовой баланс будет складываться из отходов от основного земледелия, из урожая кормовых культур, из приобретаемых кормов, производство которых либо не ведется, либо в них возникла необходимость в неурожайные годы.

Обозначим следующим образом:

$i = \overline{1, m_1}$ — номера сельскохозяйственных культур, урожай которых выступает как конечный продукт;

$i = \overline{m_1 + 1, m_2}$ — номера сельскохозяйственных культур, частично или полностью идущих на корм скоту;

$i = \overline{m_2 + 1, m_3}$ — покупные корма;

$r = \overline{1, p}$ — способы содержания скота;

x_{ijst} — величина площади, занятой i -ой культурой на s -ом участке при j - v -ой реализации и l , -ом водопотреблении;

x_{ijv} — количество i -го корма, покупаемого на стороне при j — v -ом исходе по влажности;

x_{ijrv} — величина i -го поголовья скота при r -ом способе содержания, при j — v -ом исходе по влажности;

C_{ist} — чистый доход от земледелия, $i = \overline{1, 2, \dots, m_1, m_1 + 1, \dots, m_2}$.

$$C_{ist} = C_i g_{ist}^v - \beta_{is}^v - \sigma_{ist} l_v - \frac{K_s}{T},$$

где $C_i g_{ist}^v$ — стоимость валовой продукции i -ой культуры с 1 га;

C_i — цена единицы i -ой продукции земледелия;

β_{is}^v — удельные сельскохозяйственные затраты (без орошения) на производство i -ой культуры на s -ом участке при v -ой реализации по естественному увлажнению;

σ_{ist} — удельные издержки орошения i -ой культуры на s -ом участке при l , -ом водопотреблении;

K_s — капиталовложения (производственные фонды) в земледелие, включая ирригацию;

T — нормативный срок окупаемости капиталовложений

($T = \frac{1}{\varepsilon}$, где ε — нормативный показатель рентабельности);

C_i — стоимость единицы i -го покупного корма, $i = m_2 + 1, m_2 + 2, \dots, m_3$;
 C_{ir} — чистый доход от единицы i -го продукта животноводства при r -ом способе содержания скота, $i = m_3 + 1, m_3 + 2, \dots, m_4$.

$$C_{ir} = C_i l_{ir} - \beta_{ir} - \frac{K_{ir}}{T},$$

где C_i — цена единицы животноводческой продукции;
 l_{ir} — удельный выход i -ой продукции животноводства при r -ом способе содержания скота;
 β_{ir} — издержки по содержанию скота;
 K_{ir} — капиталовложения в животноводство;
 d_i — доля основной продукции, используемой на корм скоту, $0 < d_i < 1$.

Задача оптимизации использования ирригационной системы будет формулироваться следующим образом: нужно найти максимум функции L по всем переменным x и параметрам F_s , где

$$L = \sum_{j=1}^n P_j \sum_{v=1}^x \pi_v \left[\sum_{l_v, is} C_{isl_v} x_{ijsl_v} + \sum_{r=1}^p \sum_{i=m_3+1}^{m_4} C_{ir} x_{irjv} + \right. \\ \left. + \sum_{m=m_1+1}^{m_3} \sum_{s=1}^k \sum_{l_v} C_{isl_v} (1 - d_i) x_{ijsl_v} - \sum_{i=m_1+1}^{m_2} C_i x_{ijv} \right]$$

при следующих ограничениях:

1. По водным ресурсам:

$$\sum_{i=1}^{m_2} \sum_{s=1}^k \sum_{l=0}^{\omega_v} q_{isl_v}^v x_{ijsl_v} \leq \eta \left(W_j - G_j - \sum_{r=1}^p \sum_{i=m_3+1}^{m_4} a_{ir} x_{irjv} \right),$$

где η — коэффициент использования воды по системе;
 G_j — потребление воды на нужды, не учитываемые в модели (рыбоводство, санитарные попуски и т. п.);
 a_{ir} — удельный расход воды в животноводстве.

2. По кормам:

$$\sum_{i=m_3+1}^{m_4} \sum_{r=1}^p a_{ir\mu} x_{ir} - \sum_{i=m_1+1}^{m_2} \sum_{s=1}^k \sum_{l_v=1}^{\omega_v} d_i \theta_{\mu i} g_{isl_v}^v x_{ijsl_v} - \sum_{i=m_2+1}^{m_3} \theta_{\mu i} x_i \leq 0,$$

где $\mu = 1, 2, \dots, \varphi$ — виды компонента рациона;

$a_{ir\mu}$ — удельные затраты μ -ой компоненты рациона при производстве i -ой продукции животноводства r -ым способом;

$\theta_{\mu i}$ — коэффициенты перевода продуктов полеводства в кормовые компоненты рациона.

3. По земельным ресурсам:

$$a) \sum_{l_v} x_{ijsl_v} = F_{si}, \quad S = 1, 2, \dots, k_1; \quad i = 1, 2, \dots, m_1, m_1 + 1, \dots, m_2,$$

$$б) \sum_{i=1}^{m_2} F_{si} = F_s.$$

4. По плановому выходу животноводческой продукции:

$$\sum_{r=1}^p x_{ir} \geq \tilde{b}_i, \quad i = m_3 + 1, \dots, m_4,$$

где \tilde{b}_i — плановый уровень выхода продукции:

5. Ограничения по трудовым и другим производственным ресурсам:

$$\sum_{i=1}^{m_2} \sum_{s=1}^k \sum_{l_v=1}^{\omega_v} a_{isl_v\mu} x_{ijsl_v} + \sum_{i=m_3+1}^{m_4} \sum_{r=1}^p a_{ir\mu} x_{irj_v} \leq B_{\mu},$$

где B_{μ} — μ -ый вид ресурса, $\mu = \varphi_1 + 1, \dots, \varphi_2$.

$a_{isl_v\mu}$ — нормативные коэффициенты затрат μ -го ресурса при возделывании на единице s -ой площади i -ой культуры при l_v -ом способе полива ($i = 1, 2, \dots, m_2$).

$a_{ir\mu}$ — нормативные коэффициенты затрат μ -го ресурса при производстве единицы i -ой продукции животноводства при r -ом способе содержания скота ($i = m_3 + 1, \dots, m_4$).

Составленная задача является общей и может быть использована для любых других районов орошения, где водные ресурсы представлены незарегулированными поверхностными источниками и размеры их являются лимитирующим фактором развития сельскохозяйственного производства.

Частные случаи задачи. Рассмотрим некоторые частные случаи постановок задач оптимального использования оросительных систем с незарегулированными источниками. Их можно получить из общей постановки путем сокращения ряда условий.

Выбор частных случаев может быть продиктован необходимостью детализации и углубленного анализа отдельных сторон сельскохозяйственного производства.

Задача № 1. Определить оптимальный план распределения воды в заданной системе, объем которой известен и составляет W_{j_0} .

Чтобы упростить запись модели, не будем учитывать животноводческий сектор производства, а фактор естественного увлажнения

ния примем для определенного уровня его (сухой, средний или влажный год).

Модель общей задачи примет следующий вид.

Найти максимум L по всем x , где

$$L = \sum_{i,S,l} C_{isl} x_{isl}; \quad i = 1, 2, \dots, m; \quad S = 1, 2, \dots, k; \quad l = 1, 2, \dots, \omega$$

при условиях:

а) по воде

$$\sum_{i,S,l} q_{isl} x_{isl} \leq \alpha (W_{jo} - G_{jo});$$

б) по земле

$$\sum_l x_{isl} = F_{Si}; \quad \sum_{i,l} x_{isl} = F_S;$$

в) по другим производственным ресурсам

$$\sum_{i,S,l} a_{isl\mu} x_{isl} \leq B_\mu; \quad \mu = 1, 2, \dots, \varphi';$$

г) $x_{isl} \geq 0$ (здесь и в дальнейшем обозначения приняты те же, что и в общей модели задачи).

Задача № 2. Определить оптимальный план распределения воды при постоянном исходе по воде и заданном соотношении культур по выходу продукции.

Модель задачи: найти максимум L по всем x , где

$$L = \sum_{i,S,l} C_{isl} x_{isl}$$

при условиях:

а) по воде

$$\sum_{i,S,l} q_{isl} x_{isl} \leq \alpha (W_{jo} - G_{jo});$$

б) по соотношению культур

$$\frac{\sum_{S,l} x_{isl} g_{isl}}{\sum_{S,l} x_{rsl} g_{rsl}} = \frac{\lambda_l}{\lambda_r},$$

где $\lambda_1 : \lambda_2 : \dots : \lambda_m$ — заданное соотношение по выходу конечной сельскохозяйственной продукции;

в) по земельным ресурсам

$$\sum_{i,l} x_{isl} = F_S, \quad S = 1, 2, \dots, k;$$

г) по другим производственным ресурсам

$$\sum_{i,s,l} a_{isl\mu} x_{isl} \leq B_{\mu}, \quad \mu = 1, 2, \dots, \varphi;$$

д) $x_{isl} \geq 0$.

Примечание. В задачах № 1 и 2 условие а) можно заменить вероятностным ограничением

$$p \left[\sum_{i,s,l} q_{isl} x_{isl} \leq \alpha(W - G) \right] \geq p_0,$$

где p_0 обозначает обеспеченность речного стока не ниже уровня W_{jo} .

Задача № 3. Определить средний за многолетие хозяйственный эффект при использовании незарегулированного стока в качестве источника орошения.

Модель задачи примет вид:
найти максимум величины Ω по всем x ,
где

$$\Omega = \sum_{j=1}^n P_j \sum_{i,s,l} C_{isl} x_{islj}$$

при условиях:

$$а) \sum_{i,s,l} q_{isl} x_{islj} \leq \alpha(W_j - G_j); \quad j = 1, 2, \dots, n;$$

$$б) \sum_l x_{islj} = F_{sl}; \quad \sum_l x_{islj} = F_s;$$

$$в) \sum_{i,s,l} a_{isl\mu} x_{islj} \leq B_{\mu}, \quad \mu = 1, 2, \dots, \varphi;$$

$$г) x_{islj} \geq 0.$$

Задача № 4. Определить оптимальную оросительную способность незарегулированного речного стока.

Запись модели задачи № 4 такая же, как и в случае задачи № 3, с той лишь разницей, что максимум величины Ω отыскивается не только по всем переменным x , но и по параметрам F_s .

В этом случае (то есть в задаче № 4) при определении коэффициентов функционала C_{isl} необходимо предусмотреть в издержках производства капитальные вложения на реконструкцию системы и освоение новых земель.

В рассмотренной постановке задач орошаемого земледелия не сделана подробная детализация по видам продукции и по производственным ресурсам. Дана лишь принципиальная схема учета основных групп продуктов сельскохозяйственного производства и основных ресурсов. При этом главный упор сделан на возможно

полный учет случайных величин речного стока и естественного увлажнения.

Как известно, для задач математического программирования со случайными параметрами (так называемых задач стохастического программирования) существует большое многообразие постановок. В нашем случае предлагаемая задача орошаемого земледелия в символике задач стохастического программирования имела бы следующий вид:

найти

$$\max E(C, X) \quad (1)$$

при условиях

$$P(AX \leq B) \geq p, \quad (2)$$

$$X = DV, \quad (3)$$

$$X \geq 0. \quad (4)$$

Здесь A — детерминированная матрица условий задачи размерности $m \times n$;

B — случайный вектор ограничений размерности m ;

C — заданный n -мерный вектор;

D — искомая матрица размерности $m \times n$;

p — m -мерный вектор значений вероятности.

Запись (1) обозначает максимальное значение среднего чистого дохода.

Условие (2) можно переписать иначе:

$$P(\sum a_{ij} \leq b_i) \geq p_i, \quad i = 1, 2, \dots, m.$$

Оно требует, чтобы решением задачи был бы такой вектор $X \geq 0$, который обеспечивал бы выполнение i -го неравенства системы с вероятностью P , не меньшей заданной величины p_i .

Если, например, b_{i0} обозначает величину случайного речного стока, то в этом случае p_{i0} — заданная расчетная обеспеченность, а решение — вариант использования указанного ресурса с p_{i0} -обеспеченностью.

Условие (3) обозначает, что в качестве решения должен быть получен набор случайных параметров управления $X \geq 0$, зависящий от реализаций вектора V .

Приведенная задача стохастического программирования (1) — (4), как показано в работе [1], сводится к детерминированной задаче выпуклого программирования и может быть решена одним из методов, используемых в теории выпуклого программирования. Однако, учитывая специфику конкретных задач орошаемого земледелия, можно получить алгоритмы решения с помощью методов линейного программирования.

Этого, например, можно достичь ценой решения многих задач линейного программирования для отдельных реализаций вектора

ограничений и ряда значений параметров F_s с последующим нахождением математического ожидания функционала.

ВЫВОДЫ

1. Задача оптимизации использования оросительных систем в бассейне источников с незарегулированным стоком может быть формализована в описанную математическую модель.

2. Частные случаи решения такой задачи будут охватывать широкий круг практических вопросов текущего и перспективного планирования водопользования и сельскохозяйственного производства в целом, реконструкции и внедрения новой техники орошения, нового ирригационного строительства.

ЛИТЕРАТУРА

1. A. Charnes, W. W. Cooper Deterministic equivalents for optimizing and satisficing under chance constraints. Operat. Res., 1963, II.
2. Гольштейн Е. Г., Юдин Д. Б. Новые направления в линейном программировании. М., 1966.
3. Научно-технический отчет КазНИИВХ по теме «Разработка методики планирования водопользования на маловодных системах горных и предгорных районов юга Казахстана, 1966.

**ВОДНЫЙ РЕЖИМ ПОЧВЫ, РОСТ И РАЗВИТИЕ САХАРНОЙ
СВЕКЛЫ ПРИ ДОЖДЕВАНИИ И СОЧЕТАНИИ
ДОЖДЕВАНИЯ С ПОЛИВАМИ ПО БОРОЗДАМ В УСЛОВИЯХ
ЮГА И ЮГО-ВОСТОКА КАЗАХСТАНА**

Н. П. БОРОВЕНСКИЙ, инженер

УДК 626.84 : 631.43 : 633.64

Дождевание является одним из самых распространенных механизированных способов полива и относится к числу новых и сравнительно быстро развивающихся приемов искусственного орошения. Полив дождеванием значительно лучше, чем поверхностный немеханизированный полив, удовлетворяет требованиям сельского хозяйства. Основные его преимущества заключаются в следующем:

1. Механизируется наиболее трудоемкая часть поливных работ — распределение воды по полю.

2. Оказывает более благоприятное влияние на развитие растений и накопление урожая за счет лучшей дозировки подаваемой растениям воды; увлажнения не только почвы, но и приземного слоя воздуха, меньшего разрушения структуры почвы, равномерного распределения воды по полю.

3. Появляется возможность орошать участки с неблагоприятным рельефом.

4. Облегчается выполнение ряда сельскохозяйственных работ, таких, как борьба с вредителями сельскохозяйственных растений, сорняками и заморозками.

Работы по изучению и внедрению дождевания сахарной свеклы в условиях Казахстана проводятся Казахским научно-исследовательским институтом водного хозяйства, начиная с 1951 г. и особенно с 1960 г.

Нами исследования проводились в хозяйствах зоны свеклосеяния Казахстана в условиях, максимально приближенных к производственным. Изучался значительный круг вопросов искусственного дождевания: структура дождя, процессы внесения влаги в почву и ее расходование при дождевании, влияние дождевания на рост и развитие сахарной свеклы; выявлялись особенности организации территории, труда и водопользования на участках дождевания;

устанавливались технико-экономические показатели работы различных дождевальных машин и установок.

Рассмотрим, в частности, вопросы о водном режиме почвы, росте и развитии сахарной свеклы при дождевании и сочетании дождевания с поливами по бороздам.

Методика и условия полевых исследований. Водный режим почвы, процессы внесения в нее влаги и расходование воды при дождевании и сочетании дождевания с поливами по бороздам, рост, развитие и урожайность сахарной свеклы при дождевании и сочетании дождевания с поливами по бороздам изучались в полевых условиях в соответствии с нормами и правилами проведения полевого опыта. Схема опытов: вариант I — полив сахарной свеклы дождеванием; вариант II — сочетание дождевания с поливами по бороздам; вариант III — полив сахарной свеклы по бороздам поливной машиной (агрегатом ДДА-100М, оснащенный дополнительным оборудованием). Опыты закладывались в трех- или четырехкратной повторности в зависимости от размеров и конфигурации опытного участка.

Таблица 1

№ п.п.	Почвенные условия			Геоморфологические условия		Гидрогеологические условия	
	тип почв	объемный вес, г/см ³	пределная полевая влагемкость, % от веса	рельеф	максимальный уклон	глубина грунтовых вод, м	степень их минерализации
1	Серозем среднесуглинистый	—	—	Спокойный	0,005	3,0	Пресные
2	Серозем среднесуглинистый хрящеватый	1,25	23,0	„	0,006	3,0	„
3	Серозем тяжелосуглинистый пылеватый	1,35	25,4	Средний	0,006	5,0	„
4	Серозем тяжелосуглинистый пылеватый	1,30	25,2	„	0,004	3,0	„
5	Серозем среднесуглинистый	1,25	22,0	Спокойный	0,007	5,0	„
6	Серозем легко- и среднесуглинистый	1,2	21,0	„	0,006	2,5 3,0	„
7	Луговые сероземы среднесуглинистые, слабо засоленные	1,3	23,0	Средний	0,01	2,0	Слабоминерализованные
8	Серозем среднесуглинистый	1,32	24,0	„	0,006	1,2 2,0	Пресные
9	Серозем среднесуглинистый	1,3	26,0	„	0,006	1,2 2,0	Очень слабоминерализованные
10	Серозем среднесуглинистый	1,25	21,0	Сложный	0,04	3	Пресные

Контролем для сравнения служили результаты и процессы, протекающие при поверхностных поливах. В процессе проведения опытов велись наблюдения за динамикой влажности почвы, ростом и приростом массы, фиксировались метеорологические показатели по общепризнанным методикам.

Природные условия объектов изучения эффективности дождевания сахарной свеклы и сочетания дождевания с поливами по бороздам соответствуют условиям основных районов зоны орошаемого свеклосеяния Казахстана (табл. 1).

Поливы вариантов проводились при уменьшении влажности метрового слоя почвы до 70% от ППВ. Поливные нормы задавались с учетом требуемой глубины увлажнения и воднофизических свойств почвы. Расход воды агрегатом и поливные нормы определялись при помощи водомеров и характеристики центробежного насоса агрегата по методу, предложенному Б. М. Лебедевым.

Результаты полевых исследований. Материалы полевых деляночных опытов, а также опытов с дождеванием сахарной свеклы на больших производственных площадях свидетельствуют о положительном влиянии дождевания на рост и развитие сахарной свеклы. Прибавка урожая в опытах с дождеванием колебалась от 3 до 20% по сравнению с поверхностным поливом. Причем по сравнению с качественным поливом по бороздам прибавка уменьшалась. Характерными в этом отношении являются результаты полевого опыта по изучению влияния дождевания на рост и развитие сахарной свеклы, проведенного в 1962 г. в колхозе им. XXII съезда КПСС Свердловского района Джамбулской области (табл. 2).

Таблица 2

Влияние способа полива на урожай сахарной свеклы

Вариант опыта	Учетная площадь, га	Бросительная норма, м ³ /га	Число поливов	Урожай, ц/га	Расходы воды, м ³ /ц
Полив дождеванием	12	5560	13	568	9,8
Качественный полив по бороздам (гибким трубопроводом)	6	5540	7	556	9,9
Полив по бороздам (производственный участок)	3	5370	6	527	12
Полив напуском	4	6100	7	408	17

При дождевании сахарной свеклы агрегатами ДДА-100М на площади около 200 га здесь был получен урожай более 500 ц/га. Причем на отдельных участках достигнута урожайность 600 ц/га и более.

Почвы здесь были представлены среднесуглинистыми луговыми сероземами, слабоминерализованные грунтовые воды залегают на глубине 1,2—1,5 м.

Иные результаты были получены в колхозе «Путь Ленина» Курдайского района (1960 г.) и в Новотроицком свеклосовхозе Чуйского района (1963 г.) Джамбулской области, где почвы отличаются слабой водопроницаемостью, а грунтовые воды залегают на глубине более 5 м. При дождевании урожай сахарной свеклы здесь составил 250—300 ц/га при расходе воды в 25 м³/ц против 350—500 ц/га и расходе воды 19 м³/ц при поливе по бороздам.

Изучение динамики роста массы корня и листьев сахарной свеклы при дождевании и поливе по бороздам выявило превышение суточного прироста массы при дождевании по сравнению с поверхностными поливами, особенно в первый период развития свеклы, когда это превышение составляет 15—20%. Интенсивное развитие сахарной свеклы при дождевании происходило за счет улучшения микроклимата приземного слоя воздуха и достаточного в это время увлажнения корнеобитаемого слоя почвы.

Наблюдения за микроклиматом на участках дождевания и поверхностного полива, проведенные в колхозе им. XXII партсъезда Свердловского района Джамбулской области в течение летних месяцев 1962 г. показали, что при поливе дождеванием имеет место уменьшение суточного колебания температуры почвы и влажности воздуха. Максимальная разница ночных и дневных температур поверхности почвы составляет при дождевании 9—12°, в то время как при поверхностном поливе — до 18°. Среднесуточное испарение на участке дождевания за период с 1 по 15 июня составило 3,60 мм, а на участке поверхностного полива — только 2,55 мм. Причем при дождевании в момент полива испарение достигает значительных размеров (10—15% всей поданной на поле воды), а в первые после полива дни (1-й и 2-й) расход влаги свекловичным полем при дождевании — 100—150 м³/га, что составляет 1/4—1/5 часть всей поданной на поле воды.

С середины вегетационного периода при глубоком залегании грунтовых вод (3—5 м и более) суточный прирост массы корня и листьев при дождевании снижается и становится меньше, чем при качественном бороздковом поливе. Затухание суточного прироста массы объясняется недоувлажнением корнеобитаемого слоя почвы. Корневая система сахарной свеклы в этот период распространяется до 1 м, а глубина промачивания почвы при дождевании составляет только 15—25 см. Многократные наблюдения за процессом внесения воды в почву и расходования ее при дождевании показывают, что нижний предел влажности метрового слоя почвы в это время составляет только 50—60% от предельной полевой влагоемкости почвы, а глубина промачивания средних по водопроницаемости

почв даже при поливных нормах 450—600 м³/га не превышает 15—25 см.

Сказывается уплотнение почвы падающими каплями искусственного дождя и потери воды на испарение при дождевании в воздухе, а также с листьев растений и поверхности почвы. В особенности это резко проявляется при несвоевременном проведении междурядных обработок — рыхлений или при их отсутствии.

Применение глубокого рыхления (15—20 см) позволило получить прибавку урожая на 10—15% по сравнению с участками, где глубокого рыхления не проводилось, однако глубина увлажнения почвенного горизонта увеличивалась при этом незначительно.

Изменение почвенных, гидрогеологических и климатических условий диктует необходимость гибкого регулирования запасов влаги в корнеобитаемом слое почвы на протяжении всего вегетационного периода. Такое гибкое регулирование зачастую может обеспечить только сочетание различных способов полива. Способы полива должны не противопоставляться и исключать, а дополнять друг друга.

В условиях юга Казахстана оказалось целесообразным сочетание дождевания сахарной свеклы с поливами по бороздам в середине вегетационного периода. В начале вегетации проводятся поливы дождеванием нормами 300—600 м³/га, которые обеспечивают интенсивный прирост массы сахарной свеклы, особенно листового аппарата, за счет достаточного в это время увлажнения почвы и приземного слоя воздуха. В середине вегетации на фоне дождевания проводятся 1—2 полива по бороздам увеличенными нормами (800—1200 м³/га) для восполнения запасов влаги в активном слое почвы, обеспечивающие и стимулирующие развитие корневой системы и интенсивный прирост массы корня. Последующие поливы осуществляются дождеванием.

Такое сочетание поливов в результате оптимального увлажнения почвы и лучшего микроклимата свекловичного поля, создаваемого дождеванием, позволило получать на больших производственных площадях высокие урожаи сахарной свеклы (от 460 до 560 ц/га).

Наглядной иллюстрацией к сказанному являются результаты двухлетних исследований (1964—1965 гг.) в одном из лучших свеклосеющих хозяйств КазССР — колхозе им. XXII съезда КПСС Талды-Курганского района Алма-Атинской области. Хозяйство расположено в предгорьях Джунгарского Алатау, в долине рек Каратал и Коксу. Климат резко континентальный. Почвы обыкновенные и луговые сероземы, среднесуглинистые, подстилаемые на глубине 1,0—1,5 м галечниковыми отложениями (табл. 3).

В 1964 г. возделывание сахарной свеклы на опытном участке производилось по прогрессивной технологии с минимальными затратами ручного труда. Сев проводился сеялкой точного высева

Таблица 3

Характеристика опытного участка

Показатели	Величина
Площадь участка, га	80
Тип почвы	Серозем среднесуглинистый
Предельная полевая влагоемкость в % от веса абсолютно сухой почвы	21—22
Глубина залегания грунтовых вод, м	5
Скорость впитывания воды в почву, мм/мин:	
средняя за 1-ый час	1,5—1,8
установившаяся после 1-го часа	1,0—1,2
Объемный вес, т/м ³	1,1—1,3
Уклон в направлении полива, %	0,001—0,005
Предшествующая культура	Сахарная свекла

СТСП-6А с нормой высева одноростковых семян 10—12 кг/га. Прореживание всходов осуществлялось поперечным боронованием легкими боронами и прореживателем ППС-6А. Междурядные обработки проводились после каждого полива, причем глубину рыхления постепенно увеличивали и к середине вегетационного периода довели до 15—20 см, используя для этого специальный культиватор, изготовленный в мастерских колхоза на базе свеклоподъемника. Внесение минеральных удобрений совмещалось с рыхлением. Расход удобрений рассчитывался на основании данных лабораторных анализов. За вегетационный период было внесено 5—6 ц суперфосфата, 4—5 ц селитры и 2—3 ц калийных удобрений на каждый гектар участка. Кроме этого, под зяблевую вспашку было внесено по 10—12 т/га навоза.

Поливы осуществлялись дождевальными агрегатами ДДА-100М, оснащенными дополнительным оборудованием для полива по бороздам. В 1964 г. на варианте дождевания было проведено 12 поливов при общей оросительной норме 6300 м³/га. На варианте сочетания дождевания с поливами по бороздам было проведено тоже 12 поливов, из них 2 полива — по бороздам при оросительной норме 6650 м³/га (4650+2000 м³/га). На варианте полива по бороздам было проведено 10 поливов, причем первый полив из-за невозможности нарезать поливные борозды необходимого профиля без засыпки всходов сахарной свеклы был осуществлен дождеванием нормой 300 м³/га. Общая оросительная норма на этом варианте составила 7500 м³/га. Влажность метрового слоя почвы на варианте дождевания в середине вегетационного периода опустилась до 60—65% от ППВ. При этом поливные нормы в это время были доведены до 750 м³/га.

На варианте сочетания дождевания с поливами по бороздам такого снижения влажности почвы не произошло. Проведение в это время на фоне дождевания двух поливов по бороздам нормами $1000 \text{ м}^3/\text{га}$ позволило значительно увеличить влажность корнеобитаемого слоя почвы и создать достаточный запас влаги в его нижних горизонтах. На варианте полива по бороздам влажность почвы поддерживалась оптимальной на протяжении всего вегетационного периода, за исключением первого периода, когда ввиду невозможности нарезать поливные борозды первый полив был осуществлен дождеванием. Оросительная норма в этом варианте на 10—12% превышает оросительные нормы других вариантов за счет некоторых потерь воды на глубинную фильтрацию в связи со сравнительно небольшой глубиной почвенного слоя и близким залеганием легкофильтрующих подстилающих грунтов.

Аналогичные результаты были получены и в 1965 г. Анализ динамики влажности почвы убедительно свидетельствует о том, что при дождевании сахарной свеклы в середине вегетационного периода наблюдается недоувлажнение нижних горизонтов корнеобитаемого слоя почвы. Глубина промачивания даже при поливе нормой $750 \text{ м}^3/\text{га}$ не превышала 30—40 см, хотя глубина рыхления была доведена до 15—20 см. Запасы влаги в слое почвы 0—50 см после полива дождеванием или по бороздам почти одинаковы, тогда как в слое 0—100 см запасы влаги при дождевании значительно ниже, чем при поливе по бороздам.

Влажность нижних горизонтов корнеобитаемого слоя при дождевании снизилась с 20—22% до 13—15% от веса абсолютно сухой почвы. На варианте сочетания дождевания с поливами по бороздам такого резкого снижения влажности в нижних горизонтах поч-

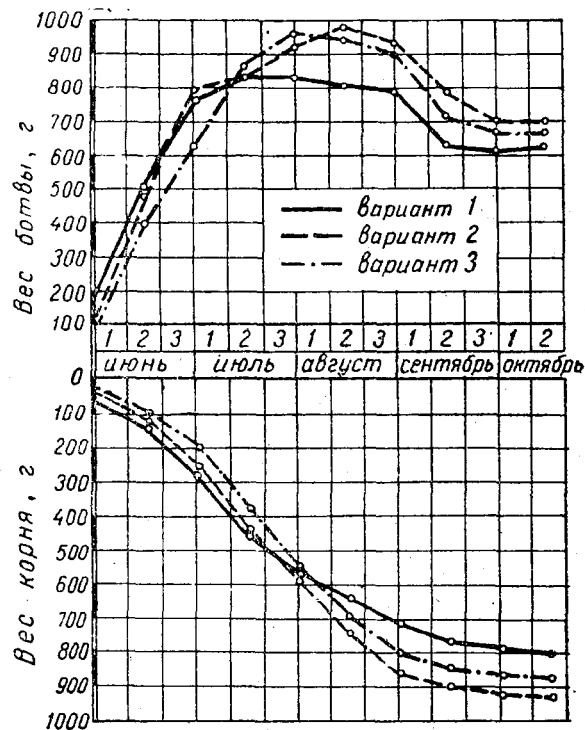


Рис. 1. Динамика роста сахарной свеклы на опытном участке.

вы не произошло. Причем оросительные нормы на этих вариантах почти одинаковы. Динамика роста массы и суточный прирост сахарной свеклы на вариантах опыта показаны на рисунках 1 и 2. Из графиков видно, что в первый период развития сахарной свеклы (примерно до 15—20 июля) на вариантах дождевания и сочетания дождевания с поливами по бороздам прирост массы происходил более интенсивно, чем на варианте полива по бороздам. Максимальный, суточный прирост массы корня при дождевании в это время был равен 12—14 г против 9—10 г при поливе по бороздам. Средний вес корня на 15 июля на вариантах дождевания был равен 440—450 г, тогда как при поливе по бороздам составлял 380 г.

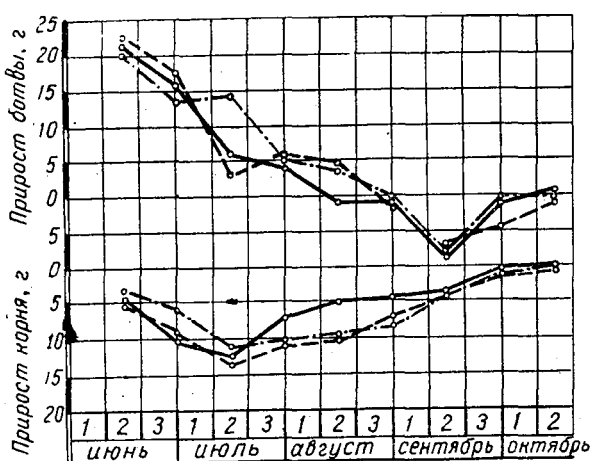


Рис. 2. Суточный прирост сахарной свеклы на опытном участке.

Начиная со второй половины вегетационного периода, когда корневая система сахарной свеклы уже почти сформировалась и распространилась на значительную глубину (в слой 50—100 см), прирост массы растений на варианте дождевания стал уменьшаться. Так, 15 августа суточный прирост корня при дождевании был только 5 г, в то время как при поливе по бороздам суточный прирост был равен 9—10 г. На варианте сочетания дождевания с поливами по бороздам резкого снижения прироста массы сахарной свеклы не произошло. К концу вегетации средний вес корня составил на варианте дождевания 800 г, на варианте сочетания дождевания с поливами по бороздам — 929 г и на варианте полива по бороздам — 878 г. В результате средний урожай сахарной свеклы на опытном участке, несмотря на неблагоприятные климатические условия 1964 г. (поздняя и холодная весна), составил 423 ц/га (табл. 4). Вариант сочетания поливов дал прибавку урожая по сравнению с вариантом дождевания на 91 ц/га, вариант полива по бороздам — 72 ц/га.

Прибавка урожая на варианте сочетания поливов объясняется тем, что проведение на фоне дождевания двух поливов по бороздам нормой 1000 м³/га каждый обеспечило лучшее увлажнение корне-

вы не произошло. Причем оросительные нормы на этих вариантах почти одинаковы. Динамика роста массы и суточный прирост сахарной свеклы на вариантах опыта показаны на рисунках 1 и 2. Из графиков видно, что в первый период развития сахарной свеклы (примерно до 15—20 июля) на вариантах дождевания и сочетания дождевания с поливами по бороздам прирост массы происходил более интенсивно, чем на варианте полива по бороздам. Максимальный, суточный прирост массы корня при дождевании в это время был равен 12—14 г против 9—10 г при поливе по бороздам. Средний вес корня на 15 июля на вариантах дождевания был равен 440—450 г, тогда как при поливе по бороздам составлял 380 г.

Таблица 4

Урожай сахарной свеклы в зависимости от способа полива
(колхоз им. XXII съезда КПСС, 1964 г.)

№ п.п.	Показатели	Варианты			Среднее по участку
		1	2	3	
1	Площадь, га	27	27	26	80
2	Густота растений, тыс. шт./га	46,8	49,6	50,0	48,6
3	Валовой сбор, ц	9963	12 420	11 466	33 850
4	Урожай, ц/га	369	460	441	423
5	Средний вес корня, г	800	929	878	869
6	Сахаристость, %	17,6	17,2	16,8	17,2
7	Приведенный урожай к густоте растений, равной 50 тыс. шт/га, ц/га	400	464	441	435

Таблица 5

Урожайность сахарной свеклы на производственных участках механизированного полива в хозяйствах Талды-Курганского района Алма-Атинской области

Годы	Способ полива	Число поливов	Оросительная норма, м ³ /га	Учетная площадь, га	Урожай, ц/га	Сахаристость, %
------	---------------	---------------	--	---------------------	--------------	-----------------

Совхоз «Заря Коммунизма»

1964	Дождевание + по бороздам	10 + 2	5700 + 1600	70	420	17,3
1965	Дождевание + по бороздам	4 + 6	3000 + 4800	70	450	—

Колхоз «Джетысу»

1964	Дождевание	8	4800	50	240	18,1
1965	Дождевание	11	6500	50	280	17,6

Талды-Курганский плодово-ягодный совхоз

1965	Дождевание + по бороздам	5 + 6	3000 — 4800	40	460	17,2
------	--------------------------	-------	-------------	----	-----	------

Колхоз им. Карла Маркса

1965	Дождевание + по бороздам	8 + 3	4600 — 2700	50	400	17,0
------	--------------------------	-------	-------------	----	-----	------

Колхоз им. Тельмана

1965	Дождевание	10	6000	68	260	—
	Дождевание + по бороздам	4 + 5	2500 — 4000	30	300	—

Продолжение табл. 5

Годы	Способ полива	Число поливов	Оросительная норма, м ³ /га	Учетная площадь, га	Урожай, ц/га	Сахаристость, %
<i>Колхоз им. Крупской</i>						
1965	Дождевание + по бороздам	9 + 1	6700 + 800	36	460	17,4
<i>Колхоз им. Джамбула</i>						
1965	Дождевание	11	5200	20	250	—

обитаемого слоя почвы на всю его глубину и позволило создать в нем некоторый запас влаги. Прирост массы сахарной свеклы не уменьшился, как это произошло на варианте дождевания.

Прибавка урожая на варианте полива по бороздам объясняется лучшим, чем при дождевании, увлажнением корнеобитаемого слоя почвы в течение всего вегетационного периода. Кроме того, на варианте полива по бороздам также имело место сочетание поливов. Первый (ранний) полив здесь осуществлялся дождеванием.

Расход воды на 1 ц полученной продукции составил на варианте дождевания 17 м³/га, на варианте сочетания поливов — 14 м³ и при поливе по бороздам — 18 м³. Аналогичные результаты были получены и в 1965 г.

Наряду с исследованиями эффективности сочетания дождевания сахарной свеклы с поливами по бороздам на опытных участках осуществлялось внедрение механизированных поливов агрегатами ДДА-100М на производственных участках в хозяйствах Талды-Курганского района (табл. 5).

ВЫВОДЫ

Дождевание положительно влияет на рост и развитие сахарной свеклы. Прирост массы сахарной свеклы, особенно листовой поверхности, в первый период ее развития на 15—20% выше, чем при поверхностных способах полива. Интенсивное развитие сахарной свеклы происходит за счет улучшения микроклимата орошаемого участка и достаточного в это время увлажнения почвы. Наибольший эффект дождевание сахарной свеклы дает на почвах повышенной водопроницаемости при близком залегании пресных грунтовых вод. Урожай корней на производственных массивах в таких условиях составляет 560—600 ц/га.

На почвах средней и слабой водопроницаемости и глубоком залегании грунтовых вод эффективность дождевания снижается. В таких условиях необходимо дождевание сахарной свеклы соче-

тать с поливами по бороздам, которые можно осуществлять тем же агрегатом ДДА-100М, оснастив его предварительно по рекомендации КазНИИВХ дополнительным оборудованием (организация территории поливного участка, труда и водопользования при этом остаются прежними). Сочетание дождевания с поливами по бороздам обеспечивает оптимальное увлажнение корнеобитаемого слоя почвы, лучший микроклимат приземного слоя воздуха и получение высоких урожаев сахарной свеклы.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ОРОСИТЕЛЬНОЙ ВОДЫ НА МАССИВЕ МЕЖДУРЕЧЬЯ БУГУНЬ — ЧАЯН

Г. В. ВОРОПАЕВ, кандидат технических наук,

Л. Г. ЮГАЙ, научный сотрудник

УДК 626 81 (574.5)

Арысь-Туркестанская оросительная система предназначена для орошения маловодных районов северо-западной части Чимкентской области путем использования воды рек Бугунь и Арысь. Невегетационный и лаводковый сток р. Арысь перебрысывается Арысьским каналом в бассейн р. Бугунь и аккумулируется в Бугуньском русловом водохранилище емкостью 370 млн. м³.

Из водохранилища вода Туркестанским магистральным каналом подается на массив, проектная площадь орошения по которому составляет 52,4 тыс. га. Канал рассчитан на пропуск в голове расхода 45 м³/сек воды, имеет длину 140 км. Подкомандные земли размещены слева от канала, вдоль него.

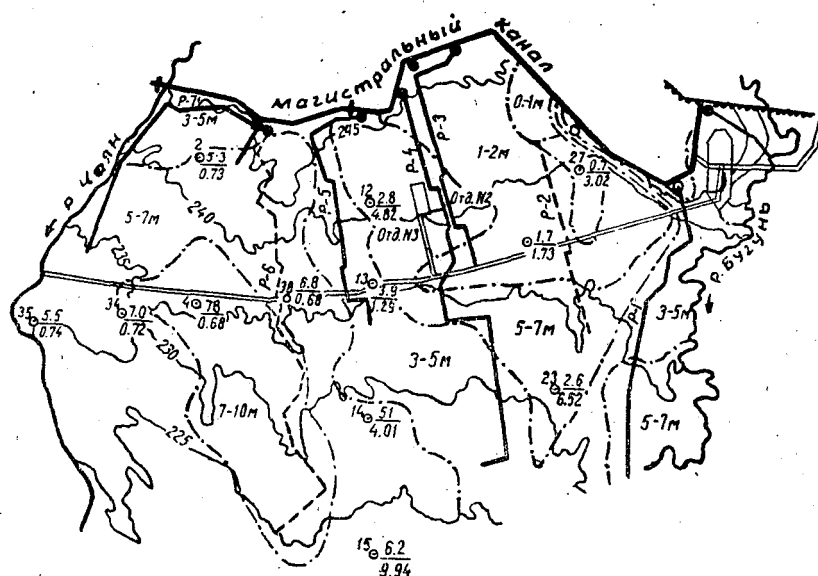
Строительство комплекса гидротехнических сооружений по объекту было начато в 1954 г. К 1962 г. введены в действие основные сооружения, вода подана в город Туркестан. Сельскохозяйственное освоение земель началось в головной части канала во вновь созданных здесь совхозах и в хвостовой части канала — на территории существующих колхозов. К 1964 г. к моменту, когда начаты нами исследования, благодаря каналу было освоено 32,1 тыс. га земель. Из них только примерно на 10 тыс. га вода распределялась по инженерной сети, а на остальной площади — по перепроустроенной старой сети.

Хотя на массиве орошения было освоено к этому времени всего 61% проектной площади, подача воды по Туркестанскому магистральному каналу (ТМК) почти достигла проектных размеров. В связи с этим возникла необходимость определить показатели использования оросительной воды и разработать мероприятия по повышению коэффициента полезного использования оросительной воды.

Служба эксплуатации канала во все прошлые годы была поставлена плохо, и определить показатели использования воды из мате-

риалов эксплуатационной гидрометрии оказалось невозможным. Этим и вызвано проведение специальных исследований.

Для изучения была выбрана территория междуречья Бугунь—Чаян, по природно-хозяйственным условиям представляющая собой обособленный район, имеющий ряд специфических особенностей (схема ирригационной сети на массиве междуречья показана на рисунке 1, в таблице 1 приводятся данные об использовании орошаемых земель в 1964 г.).



== Дороги — Действующий распределитель № 1, 3, 4, 5, 7.
 --- Непостроенные распределители № 2, 6. ▽ Водозаборные сооружения. + Перегораживающие сооружения на М.К.
 (3-5 м) Граница зон различной глубины залегания грунтовых вод (м).
 ○ Гидрогеологическая скважина, номер, глубина (м) и минерализация (г/л) минеральных вод

Рис. 1. Схема оросительной сети на массиве междуречья Бугунь — Чаян.

В 1964 г. на территории междуречья размещались земли хлопкосовхоза № 1, частично хлопкосовхоза № 2 и плодovinсовхоза «Октябрьский». Валовая площадь массива (брутто) — около 35 000 га, поливаемые земли — 4550 га, то есть коэффициент земельного использования равнялся 13%.

Через территорию массива в его северо-восточной части проходит магистральный канал, пропускная способность которого на этом участке равна 25—28 м³/сек, а длина в пределах массива —

Таблица 1
Использование освоенных земель в междуречье Бугунь — Чайя (1964 г.)

Распределители	Освоено ирригационно подготовленных земель, га							
	всего	в том числе под посевы культур						
		хлопчат- ник	зерновые	овощи, бахчи, кар- тофель	кормовые	виноград- ники и сады	другие многолет- ные	присадеб- ные участ- ки
Р-1	1395	1200	—	27	—	38	30	100
Р-4	835	—	410	—	425	—	—	—
Р-5	1070	920	10	—	125	—	—	—
Р-7а	310	—	—	230	—	70	—	—
Р-7	940	800	100	40	—	—	—	—
Итого . . .	4550	2920	520	297	550	108	30	100

20,1 км. Водозабор на массив орошения из ТМК осуществляется через распределители Р-1, Р-4 и Р-5 (хлопкосовхоз № 1), Р-7а (плодовинсовхоз) и Р-7 (хлопкосовхоз № 2). Вся оросительная сеть на массиве представлена распределителями первого порядка ($Q=0,5-1,3 \text{ м}^3/\text{сек}$), второго порядка ($Q=0,07-0,20 \text{ м}^3/\text{сек}$) и временными оросителями и выводными бороздами ($Q=0,04-0,07 \text{ м}^3/\text{сек}$).

Известно, что общие потери воды складываются из потерь ее при транспортировке по оросительной сети и при распределении на поливных участках. При рационально выбранной технике полива, высококачественной подготовке участков и плановом водопользовании в хозяйствах потери на поливных участках можно свести к минимуму. Существенную часть в общих потерях составляют эксплуатационные потери (сбросы, просачивание воды через сооружения, дамбы и др.), но и они при правильной эксплуатации оросительных систем могут быть сведены к минимуму или полностью устранены.

Менее всего поддаются уменьшению эксплуатационными приемами потери на фильтрацию из постоянной распределительной сети.

Для определения общих потерь воды были проведены исследования слагающих их элементов по всем звеньям сети и на полях.

Замеры расходов воды осуществлялись вертушками в постоянных каналах при расходах воды более $0,2 \text{ м}^3/\text{сек}$, во временной сети — трапецидальными водосливами. Длина участков каналов между створами L назначалась из условий точности замера воды Δ и удельных потерь воды σ и принималась $L \geq \frac{\Delta}{\sigma}$. Каждая серия замеров осуществлялась не менее чем в 3—4-кратной повторности. Интервал времени между замерами в верхнем и нижнем створах

определялся временем добегающего потока. Подсчет потерь S производился по формуле:

$$S = Q_2 - (\Sigma Q_o + Q_k),$$

где Q_2 , Q_o , Q_k — расходы воды в голове, на отводах и в конце участка замеров.

Потери в ТМК определялись на всей длине участка (20,1 км). Средние данные из величин потерь воды на фильтрацию в ТМК, определенных замерами и подсчетами, приводятся в таблице 2.

Таблица 2

Размеры фильтрационных потерь на участке ТМК
в зоне междуречья Бугунь — Чаян

№ п.п.	Дата замера	Расходы, л/сек				Длина, км	Удельные потери	
		в голове	в отводах	нижний створ	абсолютные потери		л/сек/км	%
1	27/VI 1964	24 500	3342	20 326	1032	20,1	51,3	0,17
2	30/VI 1964	28 023	3526	23 422	1075	20,1	53,5	0,20
3	8/IX 1964	12 024	—	11 473	554	20,1	27,5	0,23

Установлено, что удельные размеры потерь воды в магистральном канале на участке междуречья сравнительно невелики и равны всего $\sigma = 0,2\%$ на километр длины. Однако общий объем фильтрации из канала на этом участке в сравнении с поступлением воды через распределители на массив междуречья довольно значителен. Так, потери в магистральном канале составили $1,030 \text{ м}^3/\text{сек}$ при суммарном поступлении воды на массив по распределителям $3,340 \text{ м}^3/\text{сек}$, то есть потери в ТМК равнялись около $1/3$ общей водоподдачи на массив. (Результаты замеров и подсчитанные значения удельных потерь воды на фильтрацию в распределителях первого порядка приведены в таблице 3).

Из таблицы 3 видно, что размеры удельных потерь воды в распределителях изменяются в широком диапазоне. Так, в каналах Р-3а и Р-4 потери наибольшие и достигают $5,1—7,4\%$ на 1 км длины канала, то есть в $3,5—5,3$ раза выше, чем в канале Р-5.

Канал Р-3а почти на всем своем протяжении зарос камышом, пропускная способность его уменьшилась против проектной на $40—50\%$. Средняя скорость потока воды в канале не превышает $0,20—0,25 \text{ м/сек}$. Это и привело к увеличению фильтрационных потерь воды из канала.

Канал Р-4 работал в 1964 г. первый год, и подача воды по нему одновременно являлась, по существу, производственной замочкой.

Таблица 3

Размеры фильтрационных потерь в распределителях первого порядка

№ п.п.	Распределители	Дата замера	Расходы воды, л/сек			Длина участка, км	Удельные потери	
			в верхнем створе	в нижнем створе	потери на фильтрацию		л/сек/км	%
1	P-5	29/V 1964	334	325	9	2,1	4,3	1,3
2	P-5	31/V 1964	356	345	11	2,1	5,2	1,5
3	P-5	15/VI 1964	1096	1063	33	2,1	15,7	1,4
4	P-5	16/VI 1964	1010	981	29	2,1	13,8	1,3
5	P-4	9/VI 1964	185	147	18	5,0	7,6	4,6
6	P-4	13/VI 1964	317	251	66	5,0	13,6	4,3
7	P-4	17/VI 1964	243	181	62	5,0	12,4	5,1
8	P-4	17/VII 1964	731	623	108	5,0	21,3	2,9
9	P-4	21/VIII 1964	693	626	67	5,0	13,4	2,1
10	P-3а	21/VI 1964	221	115	106	7,0	15,1	6,8
11	P-3а	23/VI 1964	223	112	121	7,0	17,3	7,4
12	P-3а	19/VII 1964	182	194	88	7,0	12,6	6,9

В первый период — с момента пуска воды по каналу — удельные потери составляли 4,6% на 1 км длины канала (замер 9/VI 1964 г.), а уже к концу августа они снизились до 2,1%. Это обстоятельство подтверждает то, что в каналах междуречья Бугунь — Чаян существенное влияние на размеры потерь оказывает естественная кольматация ложа каналов, которая происходит в процессе эксплуатации оросительных систем. О том же свидетельствует и такой факт, что в канале P-5, который эксплуатируется уже третий год и находится в хорошем техническом состоянии, удельные потери на 1 км не превышают 1,3—1,5%.

Потери воды на фильтрацию в распределителях второго порядка определялись в каналах P-1—8, P-5—12 и P-4—7. Выбирали участки для производства замеров, исходя из того, что они должны быть типичными для данного массива орошения. Средние результаты замеров и подсчитанные значения удельных потерь воды на фильтрацию в распределителях второго порядка приведены в таблице 4.

Из таблицы 4 видно, что потери воды на фильтрацию в распределителях второго порядка, которые к моменту опыта эксплуатировались третий год, гораздо меньше, чем в тех каналах, по которым в 1964 г. впервые подавали воду. Как и в распределителях старшего звена, здесь прослеживается влияние самокольматации и заиления каналов на размеры фильтрационных потерь.

Так, в распределителях P-5—12 и P-1—8 (3 года эксплуатации) удельные потери составляли 1,5—1,8%, тогда как в P-4—7 (вода пущена в конце июля 1964 г.) они в начале вегетации равнялись 2,5%, а к концу вегетации (27 августа) снизились до 1,7% (при головном расходе 110 л/сек.).

Таблица 4

Размеры фильтрационных потерь в распределителях второго порядка (1964 г.)

№ п.п.	Распределители	Дата замеров	Расход воды, л/сек			Длина участка, км	Удельные потери	
			в верхнем створе	в нижнем створе	потери		л/сек/км	%
1	P-5-12	27/V	106,0	102,8	3,2	1,8	1,78	1,80
2	P-5-12	3/VI	60,1	57,9	2,2	1,8	1,22	2,10
3	P-5-12	21/VI	96,2	93,8	2,4	1,8	1,37	1,30
4	P-5-12	10/VII	62,9	60,8	2,1	1,8	1,16	1,80
5	P-5-12	4/VIII	98,8	96,2	2,6	1,8	1,45	1,60
6	P-1-8	29/V	85,0	82,6	2,4	2,4	1,00	1,20
7	P-1-8	12/VI	95,3	90,8	4,5	2,4	1,87	1,95
8	P-1-8	22/VI	72,2	69,8	2,4	2,4	1,00	1,40
9	P-1-8	3/VII	65,8	64,4	1,4	2,4	0,58	0,90
10	P-1-8	27/VII	42,8	41,6	1,2	2,4	0,50	1,10
11	P-1-8	10/VIII	68,2	66,6	1,6	2,4	0,67	0,98
12	P-4-7	8/VII	134,0	129,0	5,0	1,5	3,24	2,50
13	P-4-7	10/VII	155,8	150,7	5,1	1,5	3,40	2,26
14	P-4-7	19/VIII	125,0	122,2	2,8	1,5	1,87	1,53
15	P-4-7	27/VIII	111,4	108,7	2,8	1,5	1,87	1,72

Для определения потерь воды на фильтрацию во временных оросителях были выбраны характерные поливные участки под каждым распределителем на массиве междуречья. Потери воды определялись на выбранных участках с помощью тонкостенных водосливов балансовым методом. Продолжительность замеров назна-

Таблица 5

Потери воды на фильтрацию во временных оросителях на массиве междуречья Бугунь-Чаяя

№ п.п.	Дата начала замеров	Расход, л/сек			Длина, км	Удельные потери		Примечание
		в голове	в нижнем створе	потери		л/сек/км	%	
1	27/V-64	54,7	51,8	2,9	1,25	2,3	4,2	На массиве
2	13/VI-64	39,2	38,0	1,2	1,25	0,96	2,2	P-5
3	18/VII-62	43,4	42,5	1,9	1,25	1,5	3,4	
4	29/V-64	64,3	61,9	2,4	1,4	1,7	2,6	На массиве
5	20/VI-64	57,3	55,1	2,2	1,4	1,5	2,2	P-1
6	14/VII-64	61,4	58,9	2,5	1,4	1,8	2,9	
7	4/VI-64	70,2	68,1	2,1	1,5	1,4	2,0	На массиве
8	18/VII-64	65,7	63,8	1,9	1,5	1,3	1,9	P-7
9	3/VIII-64	39,4	37,9	1,5	1,5	1,0	2,6	
10	10/VI-64	47,1	45,8	1,3	0,8	1,6	3,4	На массиве
11	19/VII-64	41,9	40,7	1,2	0,8	1,5	3,5	P-4
12	7/VIII-64	39,8	38,8	1,0	0,8	1,2	3,0	(кукурузное поле)

чалась равной продолжительности работы оросителей при поливах. Этим учитывались потери на впитывание в начальный период и последующие фильтрационные потери (средние значения замеренных и подсчитанных размеров удельных потерь приведены в таблице 5).

Из таблицы 5 видно, что удельные потери на фильтрацию во временных оросителях больше, чем в каналах постоянного действия. Это объясняется тем, что в каналах периодического действия в первый период работы оросителей происходит насыщение водой грунта в прилегающей к его периметру зоне. Чем меньше первоначальная влажность грунта в этой зоне, тем больше скорость впитывания воды, а вместе с этим и больше потери воды из канала. Потери на впитывание возрастают при наличии в ложе оросителей трещин, кротовин и других дефектов, а также в связи с устройством многочисленных запруд для обеспечения командования горизонтов над полем.

Размеры различного рода потерь воды на эксплуатационные сбросы, утечки через сооружения, сброс из временной сети и с полей при поливах определялись эпизодически в период основных поливов путем маршрутных объездов и замеров по массиву оросителя Р-1. Сброс из распределителя Р-1 в старое русло р. Бугунь в среднем составил 12% от головного расхода (табл. 6).

Таблица 6

Сброс из распределителя Р-1 в р. Бугунь

№ п.п.	Время замеров	Головной расход, л/сек	Сброс, л/сек	Сброс, %
1	9/VI	1240	218	17,6
2	19/VI	1300	113	8,7
3	14/VII	1200	170	14,2
4	18/VII	1300	193	14,8
5	19/VII	1350	177	13,1
6	16/VIII	1200	38	3,2

Для определения размеров сброса воды с поля при поливах в 1964 г. был выбран участок площадью 7,8 га в 3 отделении хлопководхоза № 1, на котором был организован балансовый учет поступления и сброса воды во время всех поливов (табл. 7).

За период наблюдений средний расход воды, поступившей на участок, составил 118 л/сек, а сброс с поля — 11,5 л/сек, или 10,2%.

Более детальные наблюдения были проведены в течение всего вегетационного периода 1965 г. на поливном участке площадью 9 га в 3 отделении хлопководхоза № 1. Всего за вегетационный период на этом участке было сделано 6 поливов. Первый полив на-

Таблица 7

Подача и сброс воды с поливного участка
(посевы хлопчатника в хлопкосовхозе № 1, 1965 г.)

№ п. п.	Время	Подача воды на поливной участок, л/сек	Сброс воды с поливного участка, л/сек	Полезно-используемый расход, л/сек	Сброс в % от подачи
1	14/VII	179,0	21,0	158,0	11,7
2	15/VII	179,0	21,0	158,0	11,7
3	16/VII	120,0	14,0	106,0	11,6
4	17/VII	120,0	14,0	106,0	11,6
5	18/VII	124,0	7,5	116,5	6,1
6	19/VII	124,0	7,5	116,5	6,1
7	20/VII	124,0	7,5	116,5	6,1
8	21/VII	124,0	14,0	110,0	11,3
9	22/VII	124,0	14,0	110,0	11,3
10	23/VII	120,0	7,5	112,5	6,2
11	24/VII	120,0	7,5	112,5	6,2
12	25/VII	159,0	21,0	138,0	13,2
13	26/VII	159,0	21,0	138,0	13,2
14	27/VII	98,0	18,0	80,0	18,4
15	28/VII	73,0	5,0	68,0	6,9
16	29/VII	77,0	5,0	72,0	6,5
17	30/VII	77,0	3,5	73,5	4,6

чали 12 мая, а последний — 23 августа. За это время на поле было подано 76,3 тыс. м³ воды, а сброшено — 11,8 тыс. м³, или 16% от водоподачи на участок.

Временные оросители рассчитаны на пропускную способность до 70 л/сек, фактически максимальная водоподача составляла 60 л/сек при первом и шестом поливах, а в среднем за вегетацию — 40 л/сек. При третьем же поливе расход воды был всего 25 л/сек, поэтому полив участка в 9 га растянулся более чем на 8 суток. Между тем по требованиям агротехники эта площадь должна поливаться за сутки с тем, чтобы после подсыхания почвы можно было произвести своевременно послеполивную механизированную обработку.

Обследование показывает, что подобная практика распространена повсеместно, поливы небольших поливных участков продолжаются по 5—10 суток и более. Основные причины этого — отсутствие звеньев поливальных машин и подача воды небольшим током (в 25—30 л/сек), из которого к тому же от 15 до 22% сбрасывается с поливных участков (в основном из-за неполного использования воды в ночное время).

Для определения коэффициентов полезного действия отдельных звеньев каналов использовалась формула:

$$\eta = I - \frac{\sigma l_d}{100},$$

где l_d — действующая длина каналов.

Действующая длина каналов первого порядка принималась равной их общей длине, так как каналы работают постоянно на всем их протяжении. По каналам второго порядка и временной оросительной сети действующая длина определялась на основе специальных наблюдений за продолжительностью их работы за время одного полива.

Значения удельных потерь принимались для каждого оросителя в соответствии с фактическими замерами и в зависимости от времени вегетации. Для постоянных каналов периодического действия влияние периода впитывания учитывалось по объему воды, необходимой для насыщения почвогрунта на переменной длине канала.

Для временных оросителей принимались полученные замерами значения удельных потерь, так как последние учитывали влияние этого фактора. Вместе с тем объем воды, необходимый для насыщения первого метрового слоя почвы до предельной полевой влагоемкости, был отнесен к полезно использованной воде.

Определение коэффициентов полезного действия отдельных звеньев системы показало, что для давно эксплуатируемых распределителей характерна наибольшая устойчивость значений η во времени и наиболее высокие их значения. Так, для распределителя Р-5, эксплуатирующегося четвертый год и находящегося в удовлетворительном состоянии, к. п. д. = 0,95. В то же время для распределителя Р-3а, русло которого на $\frac{2}{3}$ заросло, к. п. д. = 0,77. Коэффициент полезного действия канала Р-4, работающего первый год, изменялся за время вегетации от 0,80 до 0,90.

Среднее значение к.п.д. для распределителей первого порядка за весь вегетационный период составило 0,85, для распределителей второго порядка — 0,88.

Для временной оросительной сети к.п.д. определен как 0,91. Наконец, на участке ТМК в пределах междуречья к.п.д. магистрального канала равен 0,96.

Учитывая последовательный характер распределения воды на массиве, к.п.д. всей распределительной сети определен как

$$\eta = \eta_1 \eta_2 \eta_3,$$

то есть как произведение к.п.д. распределителей первого, второго порядка и временной сети, равное 0,68. Этот показатель характеризует главным образом фильтрационные свойства грунтов ложа каналов, техническое состояние оросительной сети и в определенной мере организацию эксплуатации их. С учетом потерь в магистральном канале к.п.д. распределительной сети снижается до 0,65.

Общее использование оросительной воды на массиве может быть наиболее правильно оценено по соотношению объемов воды

полезно использованной (пошедшей на увлажнение почвы на полях и поступившей на массив в голове распределителей первого порядка), то есть

$$КИБ = \frac{W_{\text{нетто}}}{W_{\text{брутто}}},$$

где $W_{\text{нетто}}$ — объем полезно использованной воды;
 $W_{\text{брутто}}$ — объем общего водозабора (поступления).

Таблица 8

Определение коэффициента использования воды на массиве междуречья Бугунь-Чаян

Объем воды и виды потерь	Формулы	Объем, тыс. м ³	%	Примечание
--------------------------	---------	----------------------------	---	------------

I. Коэффициент использования воды по распределительной и поливной сети

Водозабор в распределители I порядка	W_1	34610,0	100	
Фильтрационные потери воды из распределителей I порядка	W_2	5250,0	15,2	От W_1
Сброс транзитный из распределителей I порядка	W_3	4150,0	12,0	От W_1
Поступление воды в распределители II порядка	$W_4 = W_1 - (W_2 + W_3)$	25210,0	$\frac{72,8}{100}$	$\frac{W_1}{W_4}$
Фильтрационные потери в распределителях II порядка	W_5	3050,0	12,1	От W_4
Поступление воды во временную оросительную сеть	$W_6 = W_4 - W_5$	22160,0	$\frac{87,9}{100}$	
Потери во временной оросительной сети	W_7	2140,0	9,7	От W_6
Сброс воды с поля	W_8	2260,0	10,2	От W_6
Полезно используемая вода	$W_9 = W_6 - (W_7 + W_8)$	17760,0	51,4	
Коэффициент использования воды на массиве	$K_w = \frac{W_9}{W_1}$	0,514	51,4	От W_1

II. Коэффициент использования воды с учетом фильтрационных потерь на участке ТМК

Фильтрационные потери на участке ТМК	W_{10}	10400,0	4,2	
Общее поступление воды на массив (фильтрация на участке ТМК и водозабор в распределители I порядка)	$W_{11} = W_1 + W_{10}$	45010,0	100	
КИБ на междуречье с учетом ТМК	$K'_w = \frac{W_9}{W_{11}}$	0,395	39,5	

Если принять, что потери воды на фильтрацию из распределительной сети и на сбросы из каналов и с полей орошения при существующей организации и технике поливов происходят повсеместно и считать размер их равным определенным нами на выбранных характерных участках каналов и поливных участках, можно следующим образом подсчитать общий коэффициент использования оросительной воды на массиве (табл. 8).

Из таблицы 8 видно, что из 34,6 млн. м³ воды, поступающей на массив через распределители первого порядка, только 17,8 млн. м³ воды используется полезно, то есть идет на увлажнение почвы поливных участков. Коэффициент использования воды составляет 51,4%.

Помимо воды, поступающей через распределители первого порядка, на массив стекает фильтрационный поток из ТМК на участке от р. Бугунь до р. Чаян. Объем его за вегетацию составляет 10,4 млн. м³, или 30% от поступления воды в распределители первого порядка. Относя размер этого поступления $W_{\text{ф.тмк}}$ к головному водозабору, общее использование воды на массиве можно определить как

$$K'_w = \frac{W_{\text{нетто}}}{W'_{\text{брутто}}},$$

где $W'_{\text{брутто}} = W'_{\text{нетто}} + W_{\text{ф.тмк}}$.

В этом случае коэффициент использования оросительной воды, поступающей на массив, будет еще ниже и составит

$$K'_w = \frac{17,8}{34,6+10,4} = 0,395;$$

то есть $\frac{3}{5}$ оросительной воды, поступающей на массив, идет на пополнение грунтовых вод.

Определенные с помощью расчетов на основе фактических данных о потерях значения к.п.д. оказались ниже проектных в распределителях первого порядка на 7%, в распределителях второго порядка — на 4% и во временных оросителях — на 3%. Кроме того, недоучет в проекте потерь на сброс с полей и из каналов еще более снизил точность проектных показателей. Этим в значительной мере и определяется то обстоятельство, что на системе уже в первые годы эксплуатации определились трудности по обеспечению плановых площадей оросительной водой.

Наконец, сложившиеся условия эксплуатации и получаемые фактические показатели водопользования оказались такими же, как и по неинженерным оросительным системам в районах старого орошения.

Все эти результаты свидетельствуют о необходимости совершенствовать эксплуатацию на массиве АТК, улучшать использование оросительной воды.

В первую очередь здесь необходимо устранить строительные недоделки и проектные недоработки по оснащению оросительной сети необходимым гидрометрическим оборудованием, средствами связи и другим эксплуатационным оборудованием. Требуется организация балансовой гидрометрии, обеспечивающей получение фактических данных о к.п.д. каналов, коэффициентах использования воды, размерах оросительных и поливных норм. Только на базе этого материала можно планомерно осуществлять мероприятия по улучшению использования воды и оценивать их эффективность.

ОСОБЕННОСТИ ТЕХНИКИ ПОВЕРХНОСТНЫХ ПОЛИВОВ НА ПЕСЧАНЫХ ПОЧВАХ ПУСТЫНЬ ЮЖНОГО КАЗАХСТАНА

Н. В. ДАНИЛЬЧЕНКО, кандидат технических наук,
М. Б. ГАВРИЛОВ, ст. инженер

УДК 631.67 : 631.411.1 : 551.4.96

Одна из важнейших народно-хозяйственных проблем — освоение пустынных территорий. Исторически сложившиеся приемы использования пустынь далеко не исчерпывают их потенциальных возможностей. Например, в пустынях Сары-Ишик-Отрау, Муюнкумы и Қзылкумы, считавшихся ранее безводными и в течение многих десятков и сотен лет использовавшихся в основном в качестве осенне-зимних пастбищ для отгонного животноводства, в настоящее время разведаны огромные запасы грунтовых и подземных вод, открывающие грандиозные перспективы не только для развития сельскохозяйственного, но и промышленного производства.

Однако в ближайшее время в пустынных районах по-прежнему будет развиваться преимущественно животноводство, особенно овцеводство. Рост численности поголовья овец и повышение их продуктивности находятся в непосредственной зависимости от решения проблемы обводнения пастбищ и укрепления кормовой базы и прежде всего от организации производства кормов непосредственно в местах зимнего содержания скота. Огромное значение для решения этой задачи имеет развитие здесь орошаемого кормопроизводства на базе использования подземных вод.

Опыт научно-исследовательских учреждений (Приаральской опытной станции, Узбекского пастбищно-мелиоративного треста, Казахского научно-исследовательского института водного хозяйства, некоторых зарубежных стран) показывает, что, несмотря на жесткие климатические и почвенные условия в пустынях, при поливе можно выращивать достаточно высокие урожаи зерновых колосовых культур, овощей, картофеля, кукурузы, сорго, люцерны и других сельскохозяйственных культур. Еще в довоенные годы в песках Приаралья и Нижне-Днепровских были получены урожаи многолетних трав до 140 ц/га, капусты и помидоров — по 400—500.

В настоящее время в Узбекистане на пустынных пастбищах Кзылкумов на участках артезианского орошения урожай кукурузы на зеленый корм достигает 400—600 ц/га, люцерны — 100—150, а озимой ржи и ячменя на сено — до 75 ц/га. В наших опытах в Западных Муюнкумах урожай сухого сена люцерны составил 90—110 ц/га, кукурузы в зеленой массе — 409 и в зерне — 69, сорго на силос — 400, картофеля — до 150 ц/га.

Эти результаты, конечно, получены при выполнении необходимых агротехнических мероприятий. При соблюдении этого важного условия с каждого поливного гектара в пустынях можно получить до 8—10 тыс. корм. ед., то есть заменить одним поливным гектаром примерно 100 га естественных пастбищ.

Однако техническая и агроэкономическая сторона возделывания орошаемых сельскохозяйственных культур в пустынях изучена еще очень мало. Специфичность же природных условий пустынь затрудняет, а иногда и вовсе исключает заимствование и перенос сюда опыта сельскохозяйственной и ирригационной практики из других районов орошаемого земледелия. Это вызывает необходимость проведения специальных исследований непосредственно в пустынях.

Учитывая большую важность использования подземных вод пустынь для орошаемого кормопроизводства, научно-исследовательским институтом водного хозяйства в Муюнкумах с 1963 г. ведутся комплексные исследования по изучению вопросов, связанных с проектированием, строительством и эксплуатацией участков оазисного орошения, создаваемых для производства страховых запасов кормов, а также овощей и картофеля для удовлетворения нужд населения, занятого в отгонном животноводстве.

Приводим результаты изучения техники поверхностных поливов сельскохозяйственных культур на песчаных почвах пустыни Муюнкум.

На песчаных и супесчаных почвах равномерность распределения воды по площади поля и глубине без сбросных и фильтрационных потерь составляет основу оросительных мелиораций. При поверхностных способах полива, наиболее доступных и распространенных в практике орошаемого земледелия, такое сочетание может быть достигнуто правильным выбором элементов техники полива: размеров поливных струй q , длин борозд и полос l и продолжительности полива t . От того, насколько принятая совокупность этих элементов соответствует конкретным природно-хозяйственным условиям, зависит качество поливов, производительность труда поливальщиков, а также коэффициент полезного использования воды.

Исключительную важность техника поверхностных поливов приобретает при оазисном орошении на пустынных пастбищах, где почвы, как правило, отличаются высокой водопроницаемостью и малой водоудерживающей способностью. Неправильный выбор размеров поливных струй, длин борозд и полос и продолительно-

сти полива приводит к недопустимо большим потерям воды на сброс и глубинную фильтрацию, развитию поливной эрозии, к вымыванию питательных веществ из корнеобитаемой зоны. Если учесть, что для оазисного орошения используются подземные воды, подъем и эксплуатация которых связаны с известными трудностями, а сельскохозяйственные растения выращиваются только на искусственном фоне плодородия, то роль техники полива особенно возрастет.

Природные условия пустынь Южного Казахстана затрудняют использование на практике справочно-литературных данных по технике поверхностных поливов, так как имеющиеся рекомендации разработаны для орошаемых районов, значительно отличающихся по своим почвенно-климатическим условиям от пустынных пастбищ. Повышенная водопроницаемость и слабые силы сцепления между частицами песчаных почв заметно выделяют их из общего ряда орошаемых почв, изучаемых ранее. Этим и объясняется необходимость проведения натуральных исследований для каждого района, имеющего специфические природные особенности, и в том числе для районов оазисного орошения, в которых предупреждение ирригационной эрозии, экономное использование воды и повышение производительности труда при поливах являются важнейшими звеньями орошаемого земледелия.

Ниже приводится краткая методика полевых исследований по изучению элементов техники поверхностного полива на почвах Муюнкумов, полученные результаты и рекомендации по установлению размеров поливных струй, длин борозд и полос и продолжительности полива в зависимости от уклона поверхности и сопротивляемости почв размыву.

Исследования по установлению l , q , t проводились как непосредственно на посевах сельскохозяйственных культур, так и на специальных микроучастках, представлявших собой успокоительный бассейн с бороздами, веерообразно отходящими от него под различным уклоном. Уклоны принимались равными 0,001, 0,003, 0,005 и 0,01.

На микроучастках устанавливались зависимости между гидравлическими элементами малых потоков, то есть изучалась гидравлика движения струи в голове борозды. Длина борозд из условий исключения влияния впитывания воды в почву была принята равной 5 м. Опыты заключались в следующем.

Из успокоительного бассейна при помощи сифонных трубок, предварительно оттарированных объемным способом, в борозды подавался заданный расход. В конце 5-метрового отрезка борозды ставился подпорный щиток для регулирования горизонта воды и поддержания одинакового смачивания периметра по всей длине борозды. Для выбранных уклонов в процессе опытов подаваемый в

борозду расход менялся от *min* до *max*. При этом велись следующие наблюдения:

1. Объемным способом измерялся расход в голове и конце борозды. Для удобства замера сбросного расхода и отбора проб воды на мутность в конце борозд была вырыта траншея с водопоглощающим колодцем.

2. В начале каждого опыта и в дальнейшем через каждые 20 мин. для установления мутности потока в конце борозд отбирались пробы воды.

3. Производились замеры поверхностной и донной скоростей воды в борозде с помощью изготовленных из парафина поплавков.

4. Специально изготовленной гибкой масштабной линейкой в начальном, среднем и конечном створах по длине борозды измерялся смоченный периметр.

5. Для определения степени деформации борозд до и после опытов измерялись их поперечные и продольные сечения.

Непосредственно на посевах при тех же уклонах изучались процессы движения потока по сухим бороздам и полосам, впитывание воды в почву и равномерность увлажнения по длине и глубине. Подготовка борозд и полос к опытам заключалась в выборе и выравнивании дна борозд и полос под один уклон; разбивке их на отрезки длиной по 10 м; установке в голове и конце борозд и полос водомерных устройств.

Для подачи и распределения воды использовался гибкий поливной трубопровод с регулируемыми водомерными пистонами на отверстиях.

Во время проведения опытов систематически проверялся головной расход, велись наблюдения за продвижением струи, глубиной наполнения и смоченным периметром по закрепленным створам, а также за величиной сброса (по створам и в конце борозд) и деформацией ложа борозд и полос.

Как известно, механизм передвижения воды при поверхностных поливах складывается из движения по поверхности поля и просачивания воды в глубь почвы. Основным расчетным уравнением для определения скорости просачивания является формула

$$v = kI^\alpha,$$

где k — коэффициент фильтрации;

I — градиент напора;

α — показатель степени, зависящий от грунта.

Однако на практике вместо скорости просачивания удобнее пользоваться скоростью впитывания, которая при бороздковом поливе может быть выражена формулой.

$$K_t = \frac{10W}{\chi I t},$$

где K_t — скорость впитывания, мм/мин;
 W_t — объем впитавшейся воды за интервал времени, см³;
 χl — смоченная поверхность борозды, м²;
 t — время впитывания воды в почву, мин.

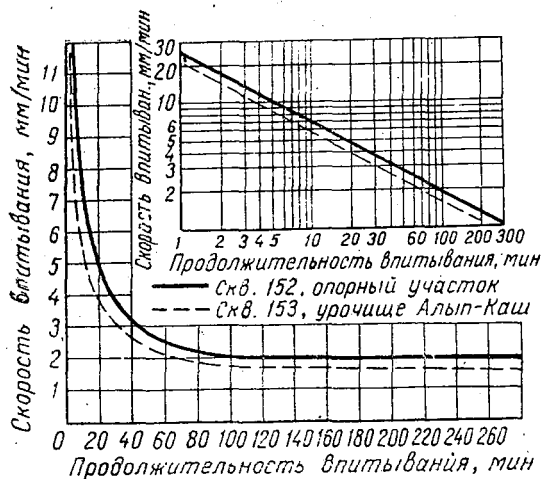


Рис. 1. Кривые изменения скоростей впитывания воды для песчаных почв Муюнкумов (скв. 152, урочище Алып-Каш).

где K_t — скорость впитывания в данный момент времени;
 K_0 — начальная скорость впитывания (в первую единицу времени);
 α — коэффициент затухания скорости впитывания во времени.

Для указанных почв скорость впитывания воды в первоначальный момент достигает 10—15 мм/мин, а коэффициент затухания скорости α составляет 0,5—0,6. Установившаяся скорость впитывания равна 1,6—2,0 мм/мин.

В результате обработки опытов по изучению основных гидравлических элементов потока для борозд установлены следующие зависимости между смоченным периметром χ , живым сечением ω , скоростью движения воды в борозде v , величиной поливной струи q и уклонами I :

$$\chi = 0,125 \frac{q_0^{\frac{2}{3}}}{I^{\frac{1}{3}}},$$

$$\omega = 0,00096 \frac{q_0^{\frac{1}{3}}}{I^{\frac{1}{3}}},$$

На рисунке 1 показаны изменения скоростей впитывания воды для песчаных почв Муюнкумов (скв. 152, урочище Алып-Каш). Математически изменение скоростей впитывания выражается логарифмической анаморфозой этих кривых. В логарифмической сетке координат скорости впитывания характеризуются прямыми линиями, а следовательно, могут быть описаны уравнением следующего вида:

$$K_t = \frac{K_0}{t^\alpha},$$

$$v = 1,04q_0^{1/3} l^{1/3}$$

где q_0 — поливная струя в голове борозды, л/сек;
 l — уклон дна борозды.

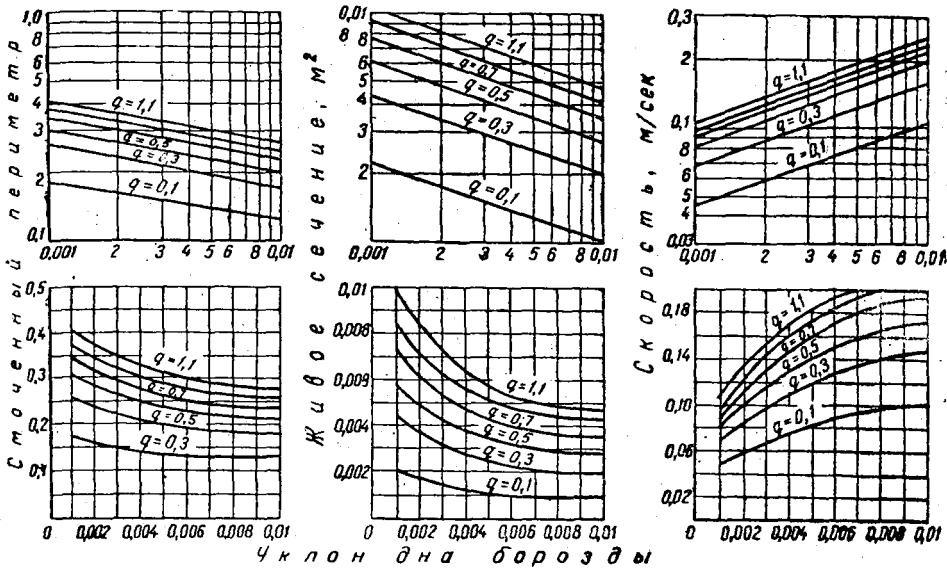


Рис. 2. Графические зависимости гидравлических элементов в голове борозды.

В основу этих зависимостей положены эмпирические формулы, аналогичные формулам к. т. н. В. Ф. Носенко, установленным для почв предгорий Казахстана.

Графические зависимости гидравлических элементов в голове поливных борозд показаны на рисунке 2.

В связи с впитыванием воды в почву поливная струя, смоченный периметр, живое сечение и скорость движения воды изменяются по длине борозды от максимальных величин в голове до нуля

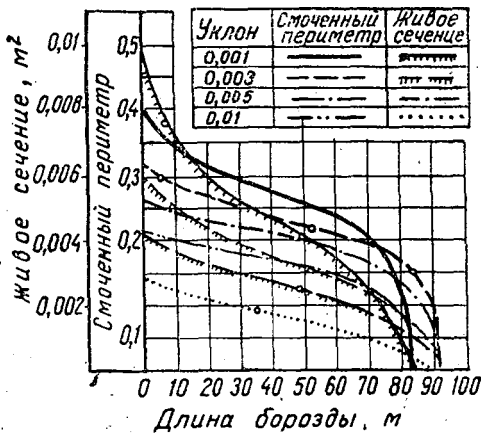


Рис. 3. Изменение смоченного периметра, живого сечения, скорости движения потока по длине борозды.

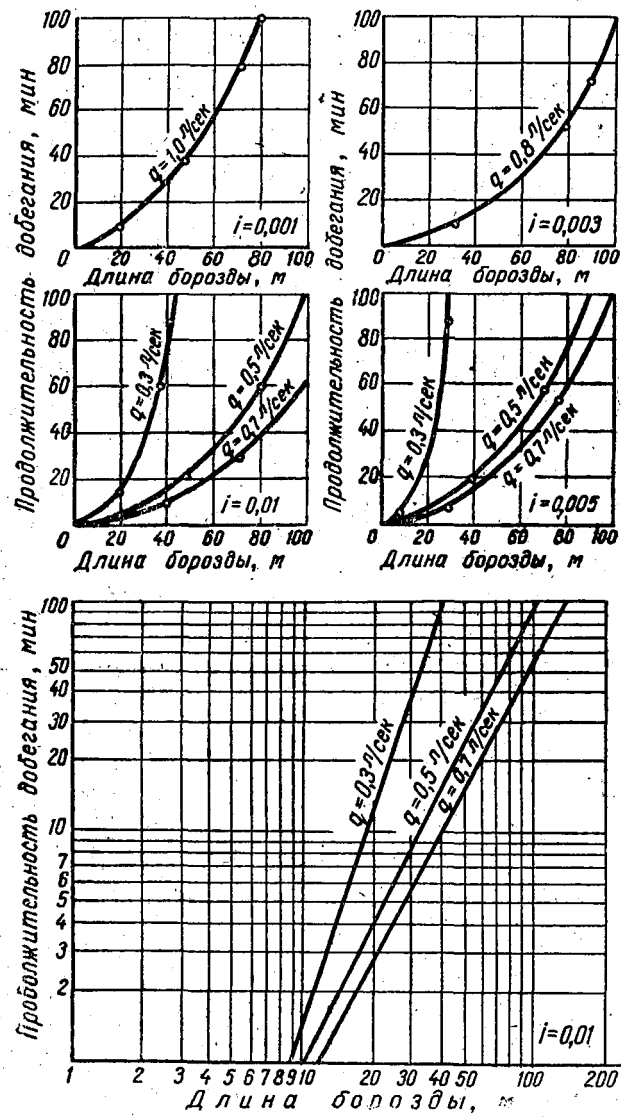


Рис. 4. Продолжительность добега поливной струи на различную длину борозды.

в створе полного впитывания поливной струи в почву (рис. 3). Зная расход воды в любом створе по длине борозды, можно, пользуясь приведенными выше эмпирическими формулами, подсчитать остальные гидравлические элементы борозды, численные значения которых очень хорошо согласуются с опытными данными.

Одновременно с впитыванием воды в почву и уменьшением расхода по длине борозды происходит непрерывное затухание скорости движения воды, а следовательно, и продолжительности добега поливной струи на различную длину борозды (рис. 4). В логарифмических координатах продолжительность добега выражается прямой линией, которая на оси абсцисс отсекает величину средней скорости потока в голове борозды. Если тангенс угла наклона прямой с вертикальной осью равен γ , то за время t поливная струя пройдет расстояние, равное

$$l = v_0 t^\gamma,$$

где l — длина пробега струи, м;

v_0 — средняя скорость потока в голове борозды, м/сек.

Коэффициент γ , зависящий от водопроницаемости почвы и размера поливной струи, может быть использован для определения продолжительности добега струи по сухой борозде на различную длину. Графическая зависимость коэффициента γ от величины поливной струи в голове борозды показана на рисунке 5. После совместного решения уравнений для l и v продолжительность добега струи выразится формулой

$$t = \left(0,016 \frac{l}{\sqrt[3]{q_0 l}} \right)^{\frac{1}{\gamma}}.$$

Для выбора оптимальных значений элементов техники полива по бороздам и полосам необходимо знать их предельные значения для данных почвенно-рельефных условий. Предельные или максимальные величины поливных струй и длин поливных борозд и полос при малых уклонах (меньше 0,002) определяются их поперечным сечением и пропускной способностью, а при больших уклонах — требованиями неразмываемости дна и откосов.

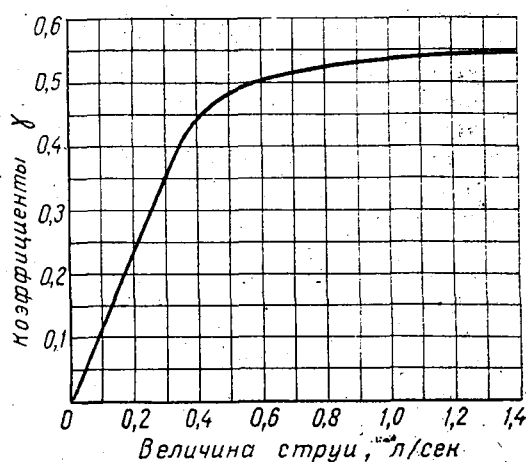


Рис. 5. Графическая зависимость коэффициента γ от величины поливной струи.

В проведенных полевых опытах деформация ложа устанавливалась по мутности воды в конце борозд и полос промерами сечений по створам и на основе визуальной оценки. При правильном выборе поливной струи сколько-нибудь существенного размыва ложа не происходит. Хотя борозды и приобретают после полива трапецидальную форму вместо параболической, в начале выноса грунта с водой не наблюдается. Вследствие большого удельного веса почвенных частиц и малой транспортирующей способности потока происходит лишь некоторое перемещение и перераспределение мелких фракций по длине борозды и полосы. Встречающиеся выпуклости размываются водой и перемещаются в понижения. Дно как бы нивелируется.

Исходя из условий неразмываемости и допустимого наполнения борозд и полос, предельные величины поливных струй для песчаных и супесчаных почв Муюнкумов в зависимости от уклонов составляют (л/сек):

Уклон	Предел для борозды	Предел на 1 пог. м ширины полосы
0,001—0,003	1,0—1,2	6,0—6,5
0,003—0,005	0,80—0,65	5,0—6,0
0,005—0,001	0,65—0,50	4,0—5,0
0,01—0,02	0,50—0,30	2,0—3,5

Предельные длины поливных борозд и полос определяются размерами максимальных поливных струй и впитывающей способностью почвы. Длина, на которой полностью впитывается поливная струя, и будет предельной.

Можно построить кривые изменения минимально возможных поливных струй по длине борозды. Эти кривые ограничиваются линией максимально возможных поливных струй из условия неразмываемости борозды. Проекция точек ограничения кривых на ось абсцисс показывают предельные длины поливных борозд при различных уклонах.

Характер увлажнения почвы по длине борозд показывает, что при поливе нормой добегаания без сброса воды неравномерность промачивания песчаных и супесчаных почв очень велика. Коэффициент неравномерности увлажнения (отношение объема воды, впитавшейся в конце борозды, к впитавшемуся объему в голове) составляет лишь 0,2—0,4. Для улучшения качества полива этот коэффициент должен быть увеличен до 0,7—0,8. Для этого поливы должны проводиться при оптимальном сочетании длин борозд, размеров поливных струй и продолжительности подачи воды в борозды. Продолжительность полива может быть установлена по формуле к. т. н. В. Ф. Носенко, которая, как показывают опытные данные, вполне пригодна и для легких почв Муюнкумов:

$$T = \left[\frac{0,1m \frac{b}{1+\eta} (1-\alpha)}{\chi_0 K_0} \right]^{\frac{1}{1-\alpha}},$$

- где T — продолжительность полива, мин.;
 m — поливная норма;
 b — ширина междурядий, м;
 η — коэффициент допустимой неравномерности увлажнения почвы по длине борозды;
 K_0 — скорость впитывания в первоначальный момент;
 α — коэффициент затухания скорости впитывания во времени;
 χ_0 — смоченный периметр в голове борозды.

С учетом допустимой неравномерности увлажнения почвы при поливе заданной нормой время добегаания обычно составляет долю от общей продолжительности полива T

$$\frac{T}{t} = \frac{1-\beta}{1-\eta \frac{1}{1-\alpha}},$$

где β — отношение времени работы борозды со сбросом к продолжительности добегаания струи до конца сухой борозды, равное 0,17—0,22.

Для равномерного увлажнения почвы по длине борозды (с коэффициентом $\eta=0,7-0,8$) без сброса воды следует применять полив переменной струей, сущность которого заключается в следующем. Сначала в борозду подается предельная или близкая к ней поливная струя, а после достижения ею конца борозды поливная струя в голове уменьшается на величину установившегося сброса, то есть измененная поливная струя представляет собой разницу первоначальной и сбросной струй.

Оптимальные длины поливных борозд и полос и размеры поливных струй, установленные опытами для рациональных поливных норм с учетом равномерности увлажнения почвы и исключения размыва, приведены в таблице 1.

Данные соответствуют такому сочетанию элементов техники полива, при котором:

величина первоначальной поливной струи q_0 не превышает максимально возможную q_{max} ;

поливная норма, поданная за время добегаания струи до конца борозды, $m_{доб}$ составляет 0,5—0,7 заданной $m_{зад}$.

При других соотношениях между q_0 и q_{max} , $m_{доб}$ и $m_{зад}$ элементы техники полива по бороздам могут иметь другие значения. Причем варьирование возможно как поливной струей, так и длиной борозды, но в пределах их максимальных и минимальных значений.

Таблица 1

Оптимальные длины поливных борозд и полос и размеры поливных струй для песчаных и супесчаных почв Мулюнкумов

Уклоны дна	0,001	0,003	0,005	0,01
<i>Полив по бороздам</i>				
Ширина междурядий, м	0,6—0,7	0,6—0,7	0,6—0,7	0,5—0,7
Размеры поливных борозд:				
глубина, см	18	18	18	18
ширина по верху, см	45	45	45	45
<i>Полив постоянной струей</i>				
Размер струи, л/сек	0,8	0,6	0,5	0,45
Длина борозд, м	50—55	70—75	70—75	60—65
<i>Полив переменной струей</i>				
Первоначальная струя, л/сек	1,0	0,8	0,65	0,50
Изменная струя, л/сек	0,7	0,55	0,45	0,35
Длина борозд, м	50—55	70—75	70—75	60—65
<i>Полив по полосам</i>				
Удельная поливная струя, л/сек	6,0	5,5	5,0	3,5
Длина полосы, м	60	90	90	70

Пользуясь приведенными выше формулами, можно рассчитать и построить кривые добегания различных поливных струй на разную длину в зависимости от уклонов (см. рис. 4). Если на графике провести прямую, выражающую зависимость $t = \frac{mal}{10q}$ (где m — поливная норма; a — ширина междурядий; l — длина борозды, а q — поливная струя), то проекция точки пересечения этой линии с кривой добегания на ось абсцисс укажет длину поливной борозды. Графическими расчетами для различных поливных струй и уклонов можно подобрать такую длину, на которой $m_{\text{доб}}$ будет равной (0,5—0,75) $m_{\text{зад}}$.

Так как каждый поливной участок имеет свои характерные особенности, для которых приведенные в таблице 1 величины элементов техники полива по бороздам и полосам могут оказаться не оптимальными, то для их уточнения следует проводить пробные поливы.

Пробными поливами одновременно можно подобрать такое сочетание между постоянными и переменными поливными струями и продолжительностью полива, которое позволит при известных значениях длин и уклонов максимально приблизить фактические поливные нормы к расчетным. Предположим, что необходимо прове-

сти полив по бороздам длиной 70 м при уклоне 0,003, поливной норме 800 м³/га и ширине междурядий 0,70 м. Следует уточнить размеры поливных струй и продолжительность подачи воды в борозды при поливе переменной струей.

Для этого подготавливаются 3 борозды и в них подаются струи, близкие к максимальной для данного уклона (согласно табл. 1). Если предельная поливная струя равна 0,8 л/сек, то в борозды подаются расходы 0,8, 0,7 и 0,6 л/сек. После отрегулирования поливных струй с помощью мерного сосуда и секундомера в опытные борозды пускается вода и одновременно засекается время. По продолжительности добегаания поливных струй до конца борозды вычисляется норма добегаания. Например, струя 0,8 л/сек добежала до конца борозды длиной 70 м за 40 мин., струя 0,7 л/сек — за 70 мин. и 0,6 л/сек — за 120 мин. Нормы добегаания при ширине междурядий 0,7 м составят:

$$\text{для струи } 0,8 \text{ л/сек } m = \frac{0,8 \times 60 \times 40}{70 \times 0,7} = 40 \text{ л/м}^2, \text{ или } 400 \text{ м}^3/\text{га};$$

$$\text{для струи } 0,7 \text{ л/сек } m = \frac{0,7 \times 60 \times 70}{70 \times 0,7} = 60 \text{ л/м}^2, \text{ или } 600 \text{ м}^3/\text{га};$$

$$\text{для струи } 0,6 \text{ л/сек } m = \frac{0,6 \times 60 \times 120}{70 \times 0,7} = 90 \text{ л/м}^2, \text{ или } 900 \text{ м}^3/\text{га}.$$

По результатам проверки останавливают выбор на той струе, норма добегаания которой составляет примерно две трети заданной поливной нормы. При поливе такой струей можно добиться приемлемой для практики равномерности увлажнения почвы по длине борозд. В рассмотренном случае при поливе постоянной струей можно остановиться на струе 0,7 л/сек. Одновременно с этим можно определить величину сброса воды в конце борозды. При значительных размерах сброса следует переключиться на полив переменной струей, то есть первоначальную поливную струю уменьшить на величину установившегося сброса, который замеряется через 0,2—0,4 часа после достижения струей конца борозды. При этом продолжительность полива будет складываться из времени добегаания струи до конца борозды и времени доувлажнения (или дополнительной подачи воды для внесения в почву всей заданной поливной нормы).

Допустим, что надо провести полив нормой 600 м³/га при длине борозды 70 м, ширине междурядий 0,7 м и уклоне 0,003. Пробными поливами установлено, что измененная струя составляет 0,6 л/сек, а первоначальная, равная предельной, — 0,8 л/сек. Продолжительность добегаания предельной струи до конца борозды длиной 70 м составляет 40 мин., а норма добегаания равна:

$$m_{\text{доб.}} = \frac{0,8 \times 60 \times 40}{70 \times 0,7} = 400 \text{ м}^3/\text{га},$$

или $400 \text{ м}^3/\text{га}$. Тогда норма доувлажнения составит $600 - 400 = 200 \text{ м}^3/\text{га}$. Для доувлажнения почвы измененной струей $0,6 \text{ л/сек}$ потребуется дополнительное время:

$$t = \frac{200 \times 0,7 \times 70}{20 \times 0,6 \times 60} = 27 \text{ мин.}$$

Общее время полива составит $40 + 27 = 67 \text{ мин.}$

Пробные поливы по полосам проводятся в той же последовательности и с той же целью, что и по бороздам:

ВЛИЯНИЕ НЕВЕГЕТАЦИОННЫХ ПОЛИВОВ НА ГЛУБИНУ ЗОНЫ ВОДООБМЕНА

Г. В. ВОРОПАЕВ, кандидат технических наук,
Х. НУРГАЛИЕВ, ст. инженер

УДК 631.67:581.11

При установлении норм и сроков влагозарядки важное значение имеет расчетная глубина увлажнения почвогрунтов. Существующие на этот счет в литературе рекомендации немногочисленны и слабо опираются на наблюдения за расходом влаги из почвы в вегетационный период, особенно при наличии вегетационных поливов [1, 3, 5, 6].

Ниже приводятся некоторые материалы по данному вопросу, полученные в опытах отдела эксплуатации оросительных систем КазНИИВХ (кроме авторов статьи, в работе принимали участие научный сотрудник П. Ф. Копытин, старшие лаборанты Г. А. Гвоздева и А. Еспенбетов).

Опытные работы проводились в предгорно-пустынно-степной зоне Джамбулской области в 16—26 км северо-западнее г. Джамбула по методике закладки крупноделяночных опытов без повторностей [2, 4].

Общая схема выглядела следующим образом.

1963—1964 гг. Влагозарядковый полив под яровые посевы кукурузы на зерно (сорт ВИР 156) проводился на производственном поле площадью 60 га в четырех вариантах. Для этого поле было разделено на четыре участка по 15 га каждый. Учетная площадь составляла 3 га.

Содержание вариантов: I вариант — без влагозарядки (контроль), II — осенняя влагозарядка, III — зимний полив намораживанием льда, IV — весенняя влагозарядка. Во всех вариантах опыта в течение вегетации кукуруза получала четыре полива.

1964—1965 гг. Влагозарядковый полив под озимые (серия опытов I) и яровые (серия опытов II) посевы зерновых колосовых культур и под яровые посевы кукурузы (серия опытов III) осуществлялся на производственном поле площадью 25 га в 22 ва-

риантах (табл. 1). (Озимая пшеница сорта Безостая 1, яровая пшеница сорта Эритроспермум 841, кукуруза сорта ВИР 156).

1965—1966 гг. Влагозарядковый полив под озимые (серия опытов I) и яровые (серия опытов II) посевы зерновых колосовых культур проводился на производственном поле площадью 42 га в 18 вариантах (табл. 2). Озимая пшеница сорта Безостая 1, яровая — Эритроспермум 841.

Для всех опытных участков ближайшим пунктом гидрометслужбы была метеостанция г. Джамбула. По ее данным, морозы в рассматриваемой зоне сменяются оттепелями за осенне-зимне-весенний период по 8—12 и более раз, причем устойчивых заморозков не наблюдается. Продолжительность отдельных заморозков не превышает 3—5 и редко 10 дней.

В осенне-зимне-весенний периоды исследований число зимних оттепелей составляло в 1963—1964 гг. 16, в 1964—1965 гг. — 24 и в 1965—1966 гг. — 28. При этом число дней с отрицательной температурой и сумма среднесуточных отрицательных температур составляли соответственно: для 1963—1964 гг. — 86 дней и 808°C, для 1964—1965 гг. — 77 дней и 602°C и для 1965—1966 гг. — 44 дня и 248°C.

Размеры осадков в невегетационный период 1963—1964 гг. составили 186 мм, несколько превысив среднемноголетнюю их величину (обеспеченность 42%); в 1964—1965 гг. выпало 136 мм, период был более сухим, обеспеченность осадками — 75%, в 1965—1966 гг. выпало 385 мм, период был влажным, обеспеченность осадками — 2,5%.

При проведении полевых исследований осуществлялся целый комплекс наблюдений, позволивших проанализировать динамику развития растений и элементов водного и температурного режима почв.

Почвы опытных участков представлены обыкновенными сероземами, не засоленные, по механическому составу ближе к тяжелым суглинкам (по Качинскому) с прослойками средне- и легко-суглинистых почв.

Минимальная мощность мелкоземов на опытных участках составляла 2,10—2,80 м, предельнополевая влагоемкость метрового слоя почвы — 22,4—24,5% от веса сухой почвы, а двухметрового слоя — 19,6—21,1%. Объемный вес почвы — 1,35—1,39 г/см³, а удельный вес — 2,63—2,70 г/см³. Гигроскопическая влажность по отдельным участкам и горизонтам — 1,27—1,90% от веса сухой почвы. Грунтовые воды находились на глубине 4,0—5,0 м и имели хороший отток.

Методика обработки материалов и анализа расходования влагозапасов была построена, исходя из следующих соображений.

В процессе развития корневой системы растений и в связи с изменением климатических показателей от весны к лету возрастает

Схема опытов 1964—1965 гг.

Таблица 1

Серия опытов	% варианта	Площадь варианта, га	Содержание вариантов
I	1	1	Без орошения (контроль)
	2	1	Один вегетационный полив (без влагозарядки)
	3	1	Два вегетационных полива (без влагозарядки)
	4	1	Влагозарядковый полив (без вегетационных)
	5	1	Влагозарядковый полив+1 вегетационный полив
	6	1	Влагозарядковый полив+2 вегетационных полива
II	1	1	Без орошения (контроль)
	2	1	Один вегетационный полив (без влагозарядки)
	3	1	Два вегетационных полива (без влагозарядки)
	4	1	Осенний влагозарядковый полив (без вегетационного)
	5	1	Осенний влагозарядковый полив+1 вегетационный полив
	6	1	Осенний влагозарядковый полив+2 вегетационных полива
	7	1	Зимний влагозарядковый полив (намораживанием льда)
	8	1	Зимняя влагозарядка+1 вегетационный полив
	9	1	Зимняя влагозарядка+2 вегетационных полива
	10	1	Весенний влагозарядковый полив (без вегетационных)
	11	1	Весенняя влагозарядка+1 вегетационный полив
	12	1	Весенняя влагозарядка+2 вегетационных полива
III	1	1	Без орошения (контроль)
	2	1	Осенний влагозарядковый полив+вегетационные поливы
	3	1	Зимний влагозарядковый полив (намораживанием льда)+вегетационные поливы
	4	1	Весенний влагозарядковый полив+вегетационные поливы

суммарное расходование влаги полев. При этом расходование влаги происходит первоначально из верхних горизонтов, а затем — и из более нижних. Глубина зоны водообмена постепенно возрастает, достигая максимальной величины в период наибольшего термического направления сезона и развития корневой системы.

Одновременно с расходованием влаги происходит эпизодическое пополнение ее запасов при поливах и в период выпадения осадков. Причем пополнение влаги также идет, начиная с верхних горизонтов (при поверхностных поливах).

В случае подпитывания корнеобитаемого слоя почв грунтовыми водами или при другой технике поливов картина меняется коли-

Таблица 2

Схема опытов в 1965—1966 гг.

Серия опытов	№ варианта	Площадь варианта, га	Содержание вариантов
	1	8	Без орошения (контроль)
	2	8	Один вегетационный полив (без влагозарядки)
	3	8	Два вегетационных полива (без влагозарядки)
	4	2	Влагозарядковый полив (без вегетационных)
	5	2	Влагозарядка+1 вегетационный полив
	6	2	Влагозарядка+2 вегетационных полива
II	1	1	Без орошения (контроль)
	2	1	Один вегетационный полив (без влагозарядки)
	3	1	Два вегетационных полива (без влагозарядки)
	4	1	Осенний влагозарядковый полив (без вегетационных)
	5	1	Осенняя влагозарядка+1 вегетационный полив
	6	1	Осенняя влагозарядка+2 вегетационных полива
	7	1	Зимняя влагозарядка (впитыванием воды в почву, без вегетационных поливов)
	8	1	Зимняя влагозарядка+1 вегетационный полив
	9	1	Зимняя влагозарядка+2 вегетационных полива
	10	1	Весенняя влагозарядка (без вегетационных поливов)
	11	1	Весенняя влагозарядка+1 вегетационный полив
	12	1	Весенняя влагозарядка+2 вегетационных полива

чественно и качественно. В наших опытах эти обстоятельства не имели места.

Таким образом, если из слоя почвы за период между посевом и первым последующим дождем или поливом влажность почвы изменилась от β_0 до β_1 , то произошло расходование влаги, равное $W_1 = \gamma h_i (\beta_0 - \beta_1)$, где γ — объемный вес, а h_i — мощность слоя. В следующий момент времени произошло изменение запасов влаги за счет полива (или осадков до величины β_2 , которые частично сработались к последующему поливу (или дождю) до величины β_3 . Тогда объем израсходованной из слоя влаги за второй промежуток времени составил $W_2 = \gamma h_i (\beta_2 - \beta_3)$. А в целом за оба интервала времени рассматриваемый слой почвы «переработал» объем воды, равный $W_1 + W_2 + \Delta W_{1-2}$, где ΔW_{1-2} — потери влаги за период между замерами влажности перед и после полива.

Суммируя подобным образом последующие объемы израсходованной воды, можно получить динамическую картину участия каждого слоя почвы во влагообороте. Затем можно определить процентное участие каждого из слоев в общем расходовании влаги на любой момент времени и в процентах от общего итога. Наконец, анализ послойного расходования влаги позволит определить дина-

мику зоны активного водообмена в течение вегетационного периода. Обработка материала выполнена в табличной форме и графически.

Опыты 1963—1964 и 1964—1965 гг. Посевы кукурузы. Послойное расходование влаги в 1963—1964 гг. видно из рисунка 1 (рисунки по материалам других опытов не приводятся из-за их громоздкости).

В варианте опыта без влагозарядки слой почвы на глубине 101—200 см за вегетацию сработал только около 7% общего расхода влаги, причем слой 151—200 см дал менее 1,4%. В варианте осенней влагозарядки эти же слои дали соответственно 7% и 2% общего расхода влаги, зимней влагозарядки — 17% и 8% и весенней — 21% и 12%. Следовательно, роль нижних слоев в общем балансе расходования влаги возрастала по мере приближения сроков влагозарядки к периоду посева.

Роль верхних горизонтов 0—20, 21—40 и 41—60 см менялась в зависимости от сроков влагозарядки соответственно по слоям: без влагозарядки — 41, 23, 18%, с осенней влагозарядкой — 39, 24, 18%, с зимней — 37, 22, 14%, с весенней — 38, 17, 13%. Иначе говоря, роль верхних горизонтов в общем балансе расходования влаги не-

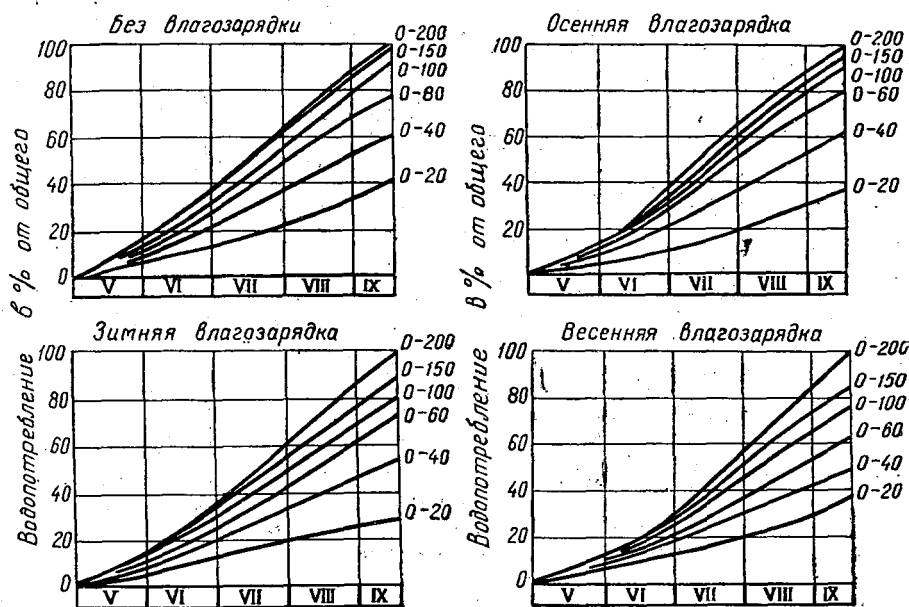


Рис. 1. Удельный вес в расходовании влаги нарастающей толщи почвогрунтов в % к общему водопотреблению на конец вегетации. Посевы кукурузы (1963—1964 гг.).

сколько снижалась при приближении сроков влагозарядки к срокам сева.

Удельный вес в общем водообмене слоя 0—40 см во всех вариантах и на контроле составлял от 1/2 до 1/3. В контрольном варианте его удельный вес в водообмене равнялся 64%, при осенней влагозарядке — 64%, при зимней — 59% и при весенней — 55%.

Такое значительное участие верхнего слоя в водообороте обусловлено двумя причинами: во-первых, наличием четырех вегетационных поливов, обеспечивающих пополнение влагозапасов прежде всего верхних горизонтов; во-вторых, значительным количеством осадков, выпавших в допосевной период (229 мм) и в вегетацию (57 мм) и также обеспечивших увлажнение верхних горизонтов почвы.

На рисунке 2 показана динамика глубины зоны водообмена при разных сроках влагозарядки. В связи с тем, что наблюдения за влажностью ограничивались глубиной 2 м, кривые глубины зоны водообмена приводятся до периода достижения этой глубины, в данном случае до конца июня. Характер кривых указывает на то, что нарастание глубины, безусловно, имело место и в последующем.

Анализ материалов (табл. 3) показал, что удельный вес и абсолютные размеры водообмена из горизонта 151—200 см менялись в значительных пределах: от 1,4% (71 м³/га) до 11,6% (639 м³/га).

Таблица 3

Удельный вес и абсолютные размеры водообмена из нижних горизонтов посевов кукурузы

Варианты	Общее водо- поглощение, м ³ /га	В том числе по слоям			
		101—150 см, м ³ /га	в % от итога	151—200 см, м ³ /га	в % от итога
<i>1963—1964 гг.</i>					
I Контроль (без влагозарядки)	4897	274	5,6	71	1,4
II Осенняя влагозарядка	5205	260	5,0	107	2,0
III Зимняя влагозарядка	5277	464	8,8	433	8,2
IV Весенняя влагозарядка	5527	521	9,4	639	11,6
<i>1964—1965 гг.</i>					
I Контроль (без влагозарядки)	3742	315	8,4	259	6,9
II Осенняя влагозарядка	4141	497	12,0	403	9,7
III Зимняя влагозарядка	4577	692	15,1	547	11,9
IV Весенняя влагозарядка	3965	581	14,6	421	10,6

Наибольшая роль горизонта 151—200 см проявилась при зимнем и весеннем сроках влагозарядки. Замечено, что роль данного горизонта существенно возрастала в июле — августе, то есть тогда, когда сильно оказывалось то обстоятельство, что в этих вариантах происходило развитие растений более интенсивно, чем в других вариантах. Значительное развитие наземной части растений и корневой системы обусловлено лучшим увлажнением почвы в начальный период.

Таким образом, слой 151—200 см при весеннем и зимнем сроках влагозарядкового полива оказал, по существу, влияние, аналогичное тому, которое свойственно одному-полтора вегетационным поливам (если учесть потери при поливе в вегетацию, то поливная норма брутто для получения 430—640 м³/га нетто составит не менее 800—1300 м³/га). Отсюда увлажнение слоя 151—200 см при влагозарядке в сроки, близкие к севу, для культур со сравнительно длительным периодом вегетации, какой является кукуруза, эффективно даже при наличии влажного осенне-зимне-весеннего периода и большого числа вегетационных поливов.

Из рисунка 2 следует также, что глубина слоя водообмена в одни и те же моменты времени отличалась по вариантам незначительно (на 22—18 см), несколько сближаясь к середине вегетации. Однако, несмотря на небольшую разницу в глубине зоны водообмена, собственно водообмен из второго метрового слоя в вариантах контроля и осенней влагозарядки был в 2,5—3 раза ниже, чем в вариантах с осенней и зимней влагозарядкой. Следовательно, при оценке эффективности влагозарядки ориентироваться только на глубину слоя водообмена было бы недостаточно и ошибочно.

Анализ послойного расходования влаги в опытах с кукурузой в 1964—1965 гг. показал, что второй метровый слой (101—200 см) и четвертый полуметровый (151—200 см) участвовали во влагообороте соответственно следующим образом: без влагозарядки — 15,3 и 6,9%, с осенней влагозарядкой — 21,7 и 9,7%; с зимней — 27,0 и 11,9% и весенней — 25,2 и 10,6%.

Прежде всего обращает на себя внимание то, что при более низком в сравнении с 1964 г. общем водопотреблении удельный вес и абсолютные размеры участия нижних горизонтов более существенны (см. табл. 3). Последнее обусловлено более сухим осенне-зимне-весенним периодом и проведением за вегетацию всего двух поливов. Это же обстоятельство повлияло и на иной характер динамики зоны водообмена (см. рис. 2). Уже с середины мая глубина водообмена начала интенсивно нарастать. Двухметровый слой включился во влагооборот значительно раньше. Глубина водообмена возрастала интенсивно и далее, о чем можно судить по характерным кривым.

При этом между различными вариантами отмечается большое различие в глубине зоны водообмена, от 20—30 см в начале веге-

тации до 55—60 см — в середине. Лучшая обеспеченность растений в верхних горизонтах влагой в начале вегетации в вариантах с весенней и зимней влагозарядкой обусловила здесь замедленные темпы роста зоны водообмена.

Анализ всех материалов показывает, что в условиях резко ограниченного снабжения растений водой в вегетационный период использование влагозапасов нижних горизонтов на посевах кукурузы ухудшается. Тем не менее и в этом случае влагозарядковые поливы по эффекту водоснабжения растений оказались эквивалентны примерно одному вегетационному поливу со средней и малой поливной нормой (400—600 м³/га).

Опыты 1964—1965 и 1965—1966 гг., посевы озимой пшеницы. Анализ послойного расходования влаги в опытах 1964—1965 гг. показал (табл. 4), что из слоя 151—200 см без орошения израсходовано влаги 254 м³/га, тогда как во всех вариантах с орошением — значительно больше (396—454 м³/га).

Таблица 4

Удельный вес и абсолютные размеры водообмена из нижних слоев (посевы озимой пшеницы)

Варианты	Общее водопотребление, м ³ /га	В том числе по горизонтам			
		101—150 см, м ³ /га	в % от водопотребления	151—200 см, м ³ /га	в % от водопотребления
1964—1965 гг.					
I Без орошения	2209	311	14,1	254	11,5
II Один вегетационный полив	2904	602	20,7	454	15,6
III Два вегетационных полива	3778	322	8,5	389	10,3
IV Влагозарядка	3121	553	21,3	317	16,0
V Влагозарядка+один полив	3744	651	17,4	439	11,7
VI Влагозарядка+два полива	4461	595	13,3	396	8,9
1965—1966 гг.					
I Без орошения	2485	308	12,4	200	8,0
II Один вегетационный полив	3053	329	10,8	166	5,4
III Два вегетационных полива	3769	259	7,0	166	4,4
IV Влагозарядка	3697	588	15,9	600	16,2
V Влагозарядка+один полив	4239	539	12,8	373	8,8
VI Влагозарядка+два полива	4937	448	9,1	421	8,5

При этом при одной влагозарядке, как и при одном вегетационном поливе, роль слоя 151—200 см оказалась очень существенной (15,6—16,0% общего водопотребления), хотя значение этих поливов, безусловно, не тождественно ни по влиянию на урожайность, ни по использованию водных ресурсов.

Роль второго метрового слоя в рассматриваемых вариантах опытов была следующей (в m^3/ga и в % от водопотребления): I вариант — 565, 25,6%; II—1056, 36,3%; III—711, 18,8%; IV—870, 37,3%; V—1090, 29,1%; VI—994, 22,2%. Второй метровый слой обеспечил при одном вегетационном или влагозарядковом поливах почти $\frac{2}{5}$ водопотребления.

Из данных таблицы 4 видно, что наличие вегетационных поливов приводило к увеличению общего водопотребления, однако использование влаги из слоя 151—200 см оставалось примерно одинаковым. Значительный размер водообмена из нижней части исследуемого профиля почвы указывает на то, что в водообороте принимали участие и более глубокие горизонты — ниже 2 м.

То обстоятельство, что при наличии вегетационных поливов происходил значительный расход влаги из четвертого полуметрового слоя, указывает на снижение роли влагозарядки при вегетационных поливах. Однако это не снижает значение ее, так как обеспечивается значительно лучшее развитие корневой системы осенью и благоприятная перезимовка растений.

Динамика расходования влаги в опытах 1965—1966 гг. значительно отличается от описанной выше в опытах 1964—1965 гг. В варианте без орошения использование влаги происходило в основном из верхних горизонтов. Второй метровый слой дал всего $508 m^3/ga$, или 20,4% общего водопотребления, в том числе из четвертого полуметра — только $200 m^3/ga$, или 8% (см. табл. 4). Наличие вегетационных поливов без влагозарядки (варианты II и III) не увеличило использование воды из слоя 151—200 см, а в целом из слоя 101—200 см расход воды сократился (соответственно $395 m^3/ga$, или 16,2%, и $425 m^3/ga$, или 11,4%).

В варианте только с влагозарядкой использование влаги из горизонта 151—200 см резко возросло — до $600 m^3/ga$, или 16,2% общего водопотребления. Из слоя 101—200 см расход воды составил $1188 m^3/ga$, или 32,1%. Наличие вегетационных поливов на фоне влагозарядки (варианты V и VI) привело к сокращению использования влаги из слоя 151—200 см и в целом из второго метрового слоя (соответственно $912 m^3/ga$, или 21,6%, и $869 m^3/ga$, или 17,6%).

Различие в расходовании влаги в опытах 1964—1965 гг. и 1965—1966 гг. обусловлено не вегетационными осадками. В 1964—1965 гг. их выпало 136 мм, а в 1965—1966 гг. — 359 мм. Более высокое увлажнение верхних горизонтов во второй год естественно снижало роль нижних горизонтов во влагообороте, и это обстоятельство действовало тем сильнее, чем больше давалась оросительная норма.

При этом опять же отчетливо проявляется особо благоприятная роль влагозарядки. В вариантах II и III без влагозарядки (1965—1966 гг.) развитие корневой системы было более слабым, чем в вариантах V и VI, в связи с чем и расходование влаги из горизонта

151—200 см в вариантах V и VI в два с лишним раза превышало расход воды в вариантах II и III.

Таким образом, роль влагозарядкового полива в водообороте при поливе озимых существенна во всех случаях и в любые по влажности годы и не может быть приравнена к вегетационным поливам или компенсирована ими.

Из рисунка 2 видно, как происходило изменение глубины зоны водообмена. Характер кривых указывает на различные условия естественного увлажнения в начальный период вегетации. Так, в 1964—1965 гг. глубина зоны водообмена на контроле составляла в первой половине апреля 70—130 см, а в 1965—1966 гг. — только 40—80 см.

В первый период весны глубина зоны водообмена в условиях влажного 1966 г. мало различалась по отдельным вариантам. Существенное различие начало обнаруживаться во второй половине весны и летом, а к середине мая оно достигло более полуметра.

В более сухом 1965 г. различия в глубине зоны увлажнения обнаружались сразу же после возобновления вегетации весной и уже в начале апреля достигали 40 см, сохранившись примерно в таких же размерах в течение всего периода вегетации. Глубина 200 см была достигнута уже в середине мая.

Из всего сказанного очевидно, что для определения размеров нормы влагозарядкового полива посевов озимых культур расчетную глубину зоны водообмена целесообразно принимать более 2 м — до 2,5 м в любые по влажности годы.

Опыты 1964—1965 и 1965—1966 гг. Посевы яровой пшеницы. С яровой пшеницей было проведено наибольшее число вариантов опытов (см. табл. 1 и 2). Они охватывали различные сроки проведения влагозарядки и различное количество вегетационных поливов на фоне разных сроков влагозарядки. Были составлены сводные таблицы, характеризующие итоговые результаты по расходованию влаги из отдельных слоев почвы (табл. 5 и 6).

При отсутствии вегетационных поливов во все сроки влагозарядки нижние горизонты почвогрунтов 101—150 см и 151—200 см обеспечили значительную отдачу влаги в сравнении с контрольным вариантом. В опытах 1964—1965 гг. это участие нижних горизонтов составило соответственно 826—693 м³/га и 583—526 м³/га, в 1965—1966 гг. — 574—476 м³/га и 367—418 м³/га. При этом проводимая в любые сроки влагозарядка заменила по объему водообеспечения минимум 1,5 вегетационных поливов.

Для всех вариантов при посеве яровых зерновых характерно преобладание расходования влаги из первого метрового горизонта, тем не менее роль второго метрового слоя остается существенной и даже возрастает при наличии вегетационных поливов.

Расходование влаги из слоя 151—200 см при наличии одного и двух вегетационных поливов на фоне влагозарядки в сравнении

Таблица 5

Послойное расходование влаги в вариантах опытов с яровой пшеницей
(1964—1965 гг.)

Варианты	Общее водопо- требление, м ³ /га	В том числе послойно							
		0—40 см, м ³ /га		41—100 см, м ³ /га		101—150 см, м ³ /га		151—200 см, м ³ /га	
		в % от итoгa	в % от итoгa	в % от итoгa	в % от итoгa				
I Контроль	2076	642	30,9	838	40,4	336	16,2	259	12,5
II Один вегетацион- ный полив	2837	1193	42,0	990	34,9	315	11,1	338	12,0
III Два вегетационных полива	3592	1951	54,3	1060	29,6	336	9,4	245	6,8
IV Влагозарядка осенью	3238	753	23,3	1076	33,2	826	25,5	583	18,0
V То же и 1 полив	4038	1377	34,1	1328	32,9	735	18,2	598	14,8
VI То же и 2 полива	5286	2478	46,9	1476	27,9	770	14,6	562	10,6
VII Влагозарядка зимой	3298	818	24,8	1262	38,2	693	21,0	526	16,0
VIII То же и 1 полив	3794	1323	34,9	1175	30,9	749	19,7	547	14,5
IX То же и 2 полива	4798	1962	40,9	1285	29,2	679	15,8	569	14,1
X Влагозарядка вес- ной	3258	841	25,8	1086	33,3	777	23,9	554	17,0
XI То же и 1 полив	3954	1352	34,2	1363	34,5	742	18,8	497	12,5
XII То же и 2 полива	4380	1982	45,2	1249	28,5	595	13,6	554	12,7

Таблица 6

Послойное расходование влаги в вариантах опытов с яровой пшеницей
(1965—1966 гг.)

Варианты	Общее водопо- требление, м ³ /га	В том числе послойно							
		0—40 см, м ³ /га		41—100 см, м ³ /га		101—150 см, м ³ /га		151—200 см, м ³ /га	
		в % от итoгa	в % от итoгa	в % от итoгa	в % от итoгa				
I Контроль, без полива	2326	1174	50,5	821	35,3	280	12,0	50	2,2
II 1 вегетационный полив	2668	1431	53,6	969	36,3	189	7,1	79	3,0
III 2 вегетационных полива	3707	2067	55,7	1197	32,3	371	10,0	72	2,0
IV Влагозарядка осенью	3248	1170	36,0	1138	35,0	574	17,7	367	11,3
V То же и один полив	3708	1660	44,8	1164	31,4	560	15,1	324	8,7
VI То же и два полива	4154	2189	52,7	1135	27,3	420	10,1	410	9,9
VII Влагозарядка зимой	3312	1370	41,4	1062	32,1	476	14,3	403	12,2
VIII То же и 1 полив	3768	2002	51,1	1115	29,6	406	10,8	244	6,5
IX То же и 2 полива	4628	2739	59,2	1328	28,7	331	7,2	230	4,9
X Влагозарядка весной	3298	1354	41,1	1043	31,6	483	14,6	418	12,7
XI То же и 1 полив	3881	2063	53,2	1226	31,6	358	9,2	233	6,0
XII То же и 2 полива	4842	2862	59,2	1368	28,4	344	7,1	258	5,3

с контрольным вариантом увеличивалось в любые по влажности годы.

При сравнении вариантов с влагозарядкой вегетационные поливы не снижали использование влагозапасов из слоя 151—200 см в год более сухой (1964—1965 гг.) и снизили его в год влажный (1965—1966 гг.).

На рисунке 2 показано изменение глубины зоны активного водообмена. Из графиков видно, что в годы с более влажной весной (1966 г.) нарастание глубины в первый период вегетации шло более медленно. Различия в глубине по отдельным вариантам нарастало к середине вегетации и достигало по отдельным вариантам в середине мая 50—70 см. Характер кривых таков, что указывает на продолжающееся увеличение глубины зоны водообмена в конце мая. Иначе слои почвогрунта ниже двухметровой толщи принимали участие во влагообороте. При этом для контрольного варианта сроки включения третьего метрового слоя наступили раньше других на 6—9 дней.

Учитывая то, что слой 151—200 см при наличии влагозарядки и двух вегетационных поливов обеспечил в 1966 г. 4,9—9% общего водопотребления, расчетную глубину для влагозарядки можно ограничить величиной 180—200 см для влажного года. Для сухого года удельный вес нижнего слоя оказался более существенным — 10,6—12%. Следовательно, в такие годы расчетная глубина увлажнения должна быть не менее 2 м. А учитывая то, что долгосрочные прогнозы по влажности отсутствуют, расчетную глубину во всех случаях для яровых посевов необходимо принимать на уровне 2 м.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Абишев Т. К.* Эффективность влагозарядковых и вегетационных поливов культур свекловичного севооборота в орошаемой зоне Казахстана. Диссертация на соискание ученой степени кандидата с.-х. наук. Алма-Ата, 1961.
2. *Бесков И. Х.* Какой должна быть методика производственного опыта? «Вестник сельскохозяйственной науки», 1960, № 11.
3. *Грамматикати О. Г., Петров Е. Г.* Влагозарядочное орошение. М., 1963.
4. *Константинов П. Н.* Избранное сочинение. М., 1963.
5. *Крылов М. М.* Зимнее орошение. Доклад ВАСХНИЛ «Гидротехника и мелиорация», вып. 14, М., 1939.
6. *Можаров П. П.* Зарядковое орошение. АН СССР, М., 1952.

**ВЛИЯНИЕ УЩЕМЛЕНИЙ В ВОДОПОТРЕБЛЕНИИ
НА УРОЖАЙНОСТЬ САХАРНОЙ СВЕКЛЫ**Р. В. АМЕЖАНОВА, *научный сотрудник,*
Г. В. ВОРОПАЕВ, *кандидат технических наук*

УДК 633.63 : 631.67 : 581.1

Количественная зависимость урожайности сельскохозяйственных культур от режима влажности почв, а следовательно, от режима водопотребления их имеет большое практическое значение, так как только в этом случае представляется возможность решить задачу планирования и осуществить мероприятия по экономически наиболее целесообразному использованию водных ресурсов и имеющихся ирригационных систем в целом.

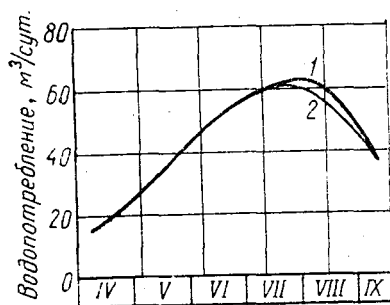


Рис. 1. Суточное водопотребление сахарной свеклы: 1 — при оптимальном увлажнении; 2 — при ущемленном водоснабжении.

Существующие методы установления режима орошения, основанные на изучении водного или теплового баланса, турбулентной диффузии, дефицита испаряемости или физиологических показателей растений позволяют определить оптимальный режим увлажнения поля, при котором достигается максимальная урожайность данной культуры в определенных почвенно-климатических условиях и при определенной агротехнике ее возделывания.

При оптимальном увлажнении поля в течение всего вегетационного периода обеспечивается поддержание в расчетном слое почвы определенной влажности, соответствующей периоду развития растений. Динамика среднесуточного расхода влаги таким полем (среднесуточное водопотребление) для сахарной свеклы может быть изображена кривой 1 (рис. 1). Общее водопотребление за вегетацию при этом составит величину

$$E_v = M + \Delta W + \alpha P, \quad (1)$$

где M — величина оросительной нормы;
 ΔW — объемы использованной влаги из запасов ее в почвогрунтах и грунтовых водах;
 αP — объемы использованных осадков вегетационного периода.

Водопотребление может быть и ниже оптимального. При этом за счет распределения M во времени стремятся обеспечить сокращение среднесуточных расходов влаги в определенной пропорциональности к оптимальному среднесуточному водопотреблению. Характер зависимости среднесуточного расхода влаги полем при $E_1 < E_v$ имеет плавное очертание по типу кривой 1, но на другом уровне. Растения в таком случае будут ограничены в воде в течение всего периода вегетации, а урожайность окажется ниже оптимальной $Y_1 < Y_0$.

Дальнейшее снижение величины водопотребления до $E_2 < E_1$ приведет к последующему снижению урожайности до величины Y_2 , где $Y_2 < Y_1 < Y_0$. Такая зависимость урожайности от водопотребления установлена многочисленными исследователями и используется для водохозяйственных и технико-экономических расчетов.

Результаты анализа опытных материалов, касающихся связи урожайности и водопотребления для сахарной свеклы применительно к условиям Джамбулской области по опытам КазНИИВХ, приводятся на рисунке 4 (большой разброс опытных точек объясняется различием в водно-физических свойствах почв, некоторых элементах агротехники, климатических условиях отдельных лет и т. п.). Там же показана зависимость урожайности от водопотребления по данным КиргНИИВХ для условий свеклосеющей зоны Киргизии.

Для одного и того же участка и одного года или при одинаковых величинах $(\Delta W + \alpha P)$ в отдельные годы зависимость $Y = f_1(E)$ может быть представлена в виде $Y = f_2(M)$. Для лет разной влажности и для различных почвенно-мелиоративных условий, когда различно участие в водопотреблении составляющих $(\Delta W + \alpha P)$, зависимость урожая от оросительной нормы теряет смысл.

В сложившихся условиях планирование режима орошения ве-

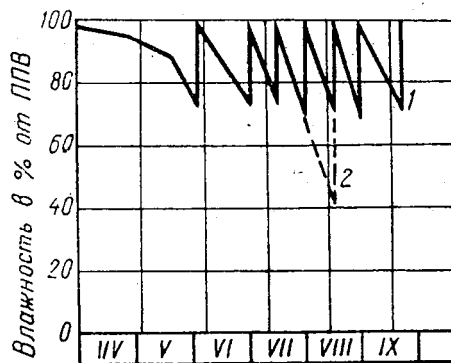


Рис. 2. Режим влажности на опытном участке: 1 — при оптимальном увлажнении; 2 — при ущемленном водоснабжении.

дется, исходя из условий создания оптимальных условий водопотребления, а оросительная норма M определяется из зависимости (1). Распределение оросительной нормы в течение вегетации осуществляется так, чтобы обеспечить поддержание влажности в расчетном слое почвы не ниже определенного уровня в процентах от предельной полевой влагоемкости (см. рис. 2, зависимость 1.) Этот уровень чаще устанавливается экспериментальным путем.

Планирование ожидаемой водности источников ежегодно ведется, исходя из года 50%-ой обеспеченности (среднегодового). На этой основе определяются размеры поливных площадей и структура посевов, принимаемые ежегодно примерно неизменными.

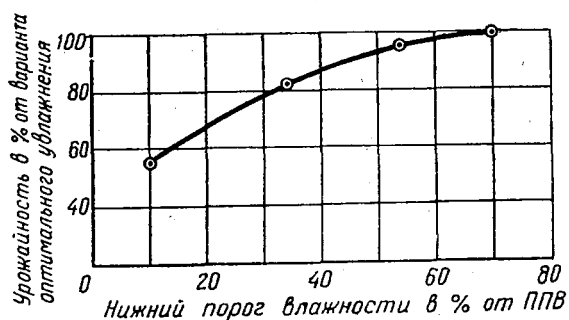


Рис. 3. Зависимость урожайности сахарной свеклы от влажности почвы в критический период водности источника.

Однако природно-хозяйственные условия не позволяют поддерживать влажность почвы не ниже заданного уровня. В годы сниженной против расчетной водности, в особенности на незарегулированных источниках со значительным удельным весом снегового типа питания, в определенные периоды появляется дефицит воды, и посевы не полу-

чают нужных поливов. Такое искусственное ограничение в водопотреблении в различных размерах, но почти ежегодно имеет место на мелких источниках Южного Казахстана в период июля — августа.

Наши специальные исследования по этому вопросу показали, что ущемляются в поливах не только второстепенные культуры, но и ведущие технические: сахарная свекла, хлопчатник (рис. 3). В таблице 1 приводятся данные по определению предполивных влагозапасов в почве (в % от ППВ в критический период водности источников).

Из таблицы 1 видно, что предполивная влажность на отдельных полях опускалась до 24—33% от ППВ при оптимальном пороге влажности в это время 70%. Характер суточного водопотребления в таких случаях может быть представлен зависимостью 1 (рис. 1), а режим влажности почвы — зависимостью 2 (рис. 2).

Известно, что ущемление всех сельскохозяйственных культур в водопотреблении и во все периоды их развития отрицательно сказывается на развитии растений и в конечном итоге на их урожайности. Существовавшая в начале тридцатых годов теория закаливания зерновых растений засухой в ранний период развития (рабо-

Таблица 1

Предполивные запасы влаги в почве на посевах сахарной свеклы в хозяйствах Джамбулской и Алма-Атинской областей (1965 г.)

Область, район	Название хозяйства	Дата взятия образцов	Предельно полевая влагоёмкость ППВ	Предполивная влажность, в % от ППВ	Продолжительность межполивного периода суток	Урожайность, ц/га
Джамбулская область, Свердловский район	Колхоз Трудовой пахарь	24/VII	21,6	50	21	320
Джамбулская область, Меркенский район	Колхоз им. Джамбула	24/VII	18,2	39	23	430
Джамбулская область, Луговской район	Колхоз Восток	30/VII	20,7	47	25	368
Джамбулская область, Луговской район	Колхоз им. Карла Маркса	30/VII	18,7	24	29	343
Джамбулская область, Курдайский район	Колхоз им. Чапаева	3/VIII	18,9	55	16	240
Джамбулская область, Курдайский район	Колхоз Коминтерна	3/VIII	22,9	41	20	260
Алма-Атинская область, Джамбулский район	Колхоз 30 лет КазССР	5/VIII	25,0	38	26	282
Алма-Атинская область, Каскеленский район	КИЗ	6/VIII	25,0	33	25	409

ты Рихтера, А. Я. Малибага, А. Коломийца) и поддерживаемая видными физиологами Н. С. Петинным и др. впоследствии была опровергнута. Дальнейшее изучение влияния подсушек на основании стадийного развития растений доказало, что подобное закаливание увеличивает выживаемость растений, но отрицательно сказывается на урожайности. Эти опыты ставились с зерновыми колосовыми.

При недостаточном водопотреблении резко сокращается транспирация, следовательно, падает интенсивность фотосинтеза, так как поступление углерода в растение происходит

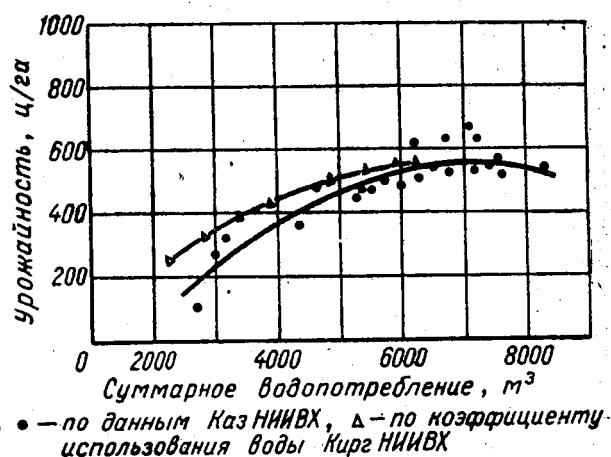


Рис. 4. Зависимость урожайности сахарной свеклы от водопотребления.

через те же устьица, что и выделение парообразной воды. При более глубоком дефиците растение уже не может справиться с обезвоживанием только регулировкой степени открытия устьиц и сбрасывает часть листовой поверхности, начиная с нижних ярусов. В протоплазме этих листьев происходят необратимые процессы, которые приводят к изменению коллоидно-химических свойств растительной клетки, сходные с процессами, которые наблюдаются при старении клетки.

Завядание не только сокращает продуктивную поверхность, но отражается на всей анатомической структуре растения. Например, те листья, которые развиваются после завядания, если они были захвачены завяданием в эмбриональном состоянии, оказываются более мелкими, так называемой ксероморфной структуры.

Экономически оправданное распределение дефицита воды среди отдельных культур в производственных условиях в комплексе севооборота можно осуществить, лишь имея достаточные сведения о влиянии ограничения в водопотреблении отдельных сельскохозяйственных культур в периоды критической водности на их урожайность. Имеется в виду воздействие фактора увлажнения на продуктивность растений при постоянстве всех остальных компонентов, влияющих на формирование урожая: сорт растения, агротехника возделывания, среда и другие.

Имеющийся экспериментальный материал с количественной оценкой влияния на урожайность ограничений в водопотреблении в отдельные периоды вегетации крайне мал. Все многочисленные исследования по режиму орошения обычно преследовали цель установить оптимальные оросительные нормы, при этом попутно выявить зависимость вида $Y=f(M)$. Совершенно очевидно, что на основе только этой зависимости решать вопросы экономически целесообразного использования водных ресурсов в рассматриваемых условиях невозможно. В самом деле, снижение оросительной нормы, например, для кукурузы с 4 до 3 тыс. м³ на 1 га при сохранении суточного водопотребления в определенной пропорциональности к оптимальному уровню может привести к сокращению урожайности зерна с 48—55 до 42—50 ц/га. В то же время недоподача 1 тыс. м³ воды в критический период водности (вторая половина июля), совпадающий по времени с критическим периодом в развитии культуры, приведет к потере всего или большей части урожая зерна.

В КазНИИВХ в 1964 г. были начаты исследования по влиянию ограничений в водопотреблении на урожайность в период критической водности источников северного склона Киргизского хребта. Исследования проводились с посевами кукурузы и сахарной свеклы. Ниже описываются опыты с сахарной свеклой, ведущей культурой орошаемого земледелия этого района.

Источники орошения северного склона Киргизского хребта на

территории Джамбулской области имеют снегово-ледниковый режим. При существующей здесь структуре посевов критический период водности приходится на конец июля — августа месяца.

Известно, что урожайность является функцией многочисленных факторов, отсюда и в постановке опытов может быть большое количество вариантов их. В связи со значительной трудоемкостью опытных работ по режиму орошения было принято минимальное количество вариантов, позволяющее выявить влияние ограничений в водопотреблении только в период конец июля — август на фоне принятой для данной зоны агротехники (то есть для условий, максимально приближенных к производственным).

Была принята следующая схема опытов:

I вариант — контрольный с оптимальным режимом орошения в течение всего периода вегетации.

II вариант — ущемленное водопотребление в критический период водности с нижним порогом влажности до 50% от ППВ.

III вариант — то же, с нижним порогом влажности 40% от ППВ.

Опыты закладывались мелкоделяночным способом в четырехкратной повторности.

Исследования выполнялись на производственных посевах хозяйств: в 1964 г. — на территории совхоза «Ассинский» Джувалинского производственного управления и в 1965 г. — в колхозе им. Свердлова Свердловского района Джамбулской области.

1964—1965 гг. по метеорологическим условиям относятся к числу засушливых. За период вегетации в зоне исследований выпало соответственно 48 и 49 мм осадков при норме 115 мм.

Почвы опытных участков — сероземы, по механическому составу пылеватые суглинки, типичные для значительной части посевов сахарной свеклы. Предельно-полевая влагемкость почв на опытном участке составляла 19 и 19,5% от веса сухой почвы. Грунтовые воды залегают на глубине 6—7 м. Предшественником в обоих случаях была сахарная свекла.

На опытных участках выдерживался весь комплекс агротехнических мероприятий, рекомендуемый для данной зоны. Посев рядовой при ширине междурядий 44,5 см.

В течение вегетационного периода велись фенологические наблюдения и наблюдения за приростом вегетативной массы, корня и его сахаристостью согласно существующим методикам. Влажность почвы определялась весовым методом в трехкратной повторности с каждого горизонта.

Урожай убирался вручную с каждой из 12 делянок. Для определения достоверности опытов по каждому варианту сделана математическая обработка результатов учета урожая. Достоверность опытов получена удовлетворительная (табл. 2).

На основе материалов исследований построена зависимость снижения урожайности сахарной свеклы в сравнении с вариантом

Таблица 2

Результаты полевых опытов по ограничению сахарной свеклы
в водопотреблении в критический период водности источников

Годы	Оросительная норма, м ³ /га			Урожайность, ц/га			Сахаристость, %			Выход сахара, ц/га		
	варианты			варианты			варианты			варианты		
	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III
1964	5100	4860	4800	522	446	447	15,0	15,2	15,9	78	68	71
1965	6060	5600	5600	277	242	230	15,0	15,2	15,6	41,6	36,8	36,0

оптимального увлажнения от нижнего порога влажности почвы в критический период водности источника. В таком виде зависимость имеет обобщенный вид. Ее анализ и сравнение с опытными данными, полученными в КазНИИВХ по изучению режима орошения, показало, что она правильно отражает характер связи урожайности и нижнего порога влажности.

ВЫВОДЫ

При решении задач планирования оптимального использования водных ресурсов и оросительных систем необходимо использовать в расчетах связь урожайности и водопотребления. Количественно эти связи должны быть представлены следующими зависимостями:

1) $Y=f_1(E)$, $Y=f_2(M)$ — для выбора размеров оросительных норм и установления экономически целесообразного режима орошения;

2) $\Delta Y=f(\Delta M)$ — для экономической оценки влияния ограничений в водопотреблении в отдельные критические периоды водности источников орошения (здесь $Y_2 < Y_1 < Y$ соответственно снижение урожайности при снижении оросительной нормы).

ЛИТЕРАТУРА

1. Бияшев Г. З. Культура сахарной свеклы в Казахстане. Казгидиздат, Алма-Ата, 1949.
2. Воропаев Г. В. Метод установления экономически целесообразных размеров оросительных норм для полива сельскохозяйственных культур. Доклады КазНИИВХ, выпуск 1960.
3. Данильченко Н. В. Методы определения суммарного водопотребления и расчет поливных режимов сельскохозяйственных культур. Автореферат, М., 1965.
4. Игнатова Н. Я. Формирование урожая сахарной свеклы. Казсельхозиздат, 1963.
5. Коваленко Б. Г., Деркимбаев Т. К. О порядке ограничения сельскохозяйственных культур в поливах при дефиците воды. Сб.: «Вопросы водного хозяйства», КиргНИИВХ, Фрунзе, 1965.
6. Коваленко Б. Г. и др. Проект инструкции по определению экономической

эффективности мелиоративных мероприятий, повышающих водообеспеченность орошаемых земель, г. Фрунзе, 1967.

7. Максимов Н. А. Избранные работы по засухоустойчивости и зимостойкости растений. Издательство АН СССР, 1952.

8. Мартиросян Р. С. К вопросу выбора расчетной обеспеченности оросительных систем при незарегулированном стоке. Труды Арм. НИИГиМ, т. 5, 1960.

9. Петинов Е. С. Водный режим и орошение сельскохозяйственных растений. Издательство знание, 1958.

10. Шавва К. Н. Выбор расчетной обеспеченности оросительных систем на незарегулированном стоке в условиях Киргизской ССР. Автореферат, 1963.

11. Шавва К. Н. Методика определения предельной экономически оправданной обеспеченности оросительных систем на незарегулированном стоке.

МИНИСТЕРСТВО МЕЛИОРАЦИИ И ВОДНОГО ХОЗЯЙСТВА СССР

ТРУДЫ
КАЗАХСКОГО НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОГО ИНСТИТУТА
ВОДНОГО ХОЗЯЙСТВА

Том V

1969

**ВЫСОТНОЕ ВЛИЯНИЕ ПРЕДГОРИЙ ЗАИЛИЙСКОГО
АЛАТАУ НА РЕЖИМ ВОДОПОТРЕБЛЕНИЯ И НОРМЫ
ОРОШЕНИЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР**

Н. В. ДАНИЛЬЧЕНКО, кандидат технических наук

УДК 631.4 : 626.87 : 551.4

В пустынях и полупустынях южного и юго-восточного Казахстана особое место по климатическим условиям занимают горные массивы и примыкающие к ним предгорья. Благоприятное сочетание почвенно-климатических условий, а также обилие поверхностных и подземных вод способствуют интенсивному развитию здесь богарного и орошаемого земледелия. Сейчас только в предгорьях Заилийского и Джунгарского Алатау, Чу-Илийских гор и Киргизского хребта сосредоточено почти 500 тыс. га орошаемых земель, то есть более $\frac{1}{3}$ всех поливных земель Казахской республики. На плодородных почвах предгорий возделываются технические, плодово-ягодные, овощные, кормовые, лекарственные и другие ценные сельскохозяйственные культуры. Однако, несмотря на многолетнюю практику, орошаемое земледелие в предгорьях все еще очень часто базируется на опыте ирригации равнинных районов без учета высотной изменчивости природных условий, что ведет к недоиспользованию богатых возможностей предгорных районов.

Большое разнообразие почвенного покрова, контрастность гидрогеологического режима, резкая смена климатических факторов на сравнительно небольшой длине требуют особого подхода к осуществлению всего комплекса хозяйственных мероприятий в предгорном земледелии и особенно к оросительным мелиорациям.

Особую актуальность вопросы орошения в предгорьях приобретают в связи с широким внедрением в ирригационную практику новой поливной техники (дождевальных и поливных машин, машин для внутрпочвенного орошения, поливных трубопроводов и т. д.) и передовых приемов орошения сельскохозяйственных культур, которые наряду с резким увеличением производительности труда позволяют полностью обеспечить агротехнические и биологические требования сельскохозяйственных культур при наиболее экономном использовании оросительной воды.

В общем народнохозяйственном плане повышения уровня сельскохозяйственного производства в условиях предгорного орошения большое значение приобретает нормирование орошения сельскохозяйственных культур.

Изменчивость природных факторов предгорных районов и их влияние на водопотребление и режим орошения сельскохозяйственных культур можно проследить на примере предгорий Заилийского Алатау (которым присущи в некоторой мере природные условия и Джунгарского Алатау, и Киргизского хребта), Чу-Илийских гор, Кетменского хребта и других горных массивов, расположенных на территории юга и юго-востока Казахстана.

Предгорья Заилийского Алатау представляют собой подгорную равнину с профилем вогнутого характера, на которой прослеживаются несколько геоморфологических зон.

Зона низких предгорий (900—1200 м над уровнем моря) включает в себя прилавки и речные долины. Отличается большой изрезанностью рельефа в направлении с юга на север и высокими уклонами местности: от 0,02 до 0,05 и более.

Зона покато-наклонной равнины (900—600 м) расположена на конусах выноса, межконусных понижениях и шлейфах конусов выноса горных рек. Расчленена реками и оврагами в направлении с юга на север. Уклоны непосредственно на конусах выноса составляют 0,01—0,05, а по шлейфам конусов выноса — 0,006—0,015.

Зона слабо-наклонной равнины (600—400 м) отличается более спокойным рельефом. Равнина местами расчленена понижениями карасучных рек и оврагов. Уклон местности — с юга на север в пределах 0,003—0,01. Ниже предгорья переходят в Прибалхашскую пустынную впадину.

Климат предгорий Заилийского Алатау характеризуется большим разнообразием и изменчивостью. В направлении с юга на север очень хорошо прослеживается вертикальная поясность основных климатических показателей со всем комплексом почвенного и растительного покрова. Холодная, влажная, высокогорная зона альпийских лугов Заилийского Алатау через умеренно континентальные предгорья и засушливую Приилийскую пустынно-степную подгорную равнину переходит в зону крайне сухой, жаркой, резко континентальной Прибалхашской пустынной впадины. Обеспеченность территории естественными ресурсами влаги крайне неравномерна. Если в горах и на верхней границе предгорий выпадает за теплый период года (апрель — сентябрь) от 300 до 600 мм атмосферных осадков и более, то на территории Илийской пустынной равнины их количество за тот же период снижается до 75—100 мм, а в Прибалхашье не превышает 50 мм. Если в высокогорной части возможно выращивание высоких урожаев многих сельскохозяйственных культур без искусственного увлажнения, то орошение Илий-

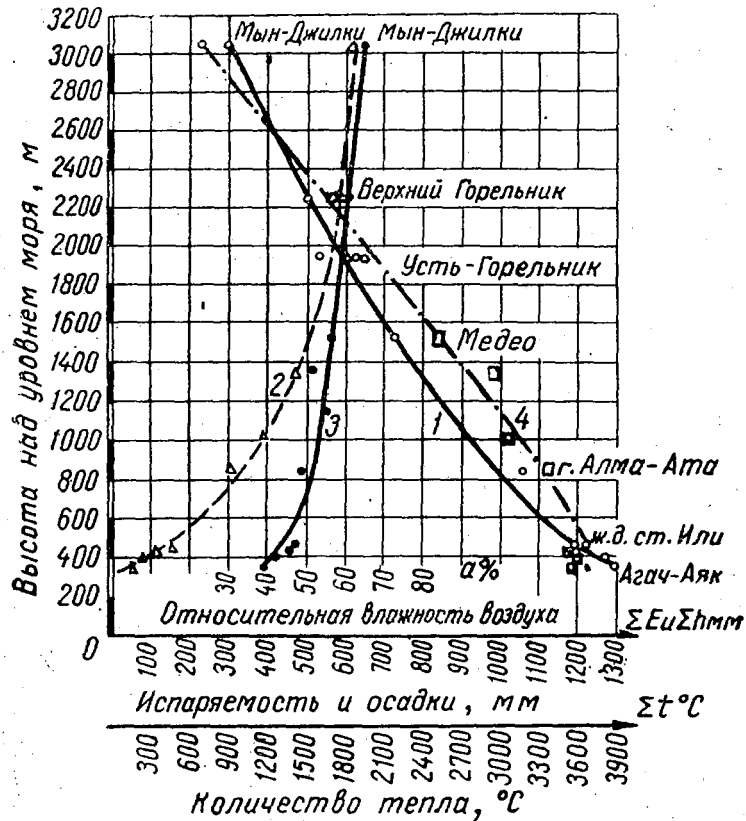


Рис. 1. Распределение показателей метеорологического режима за теплый период года (IV—IX) в предгорьях Заилийского Алатау.

ской предгорной долины и Прибалхашской пустынной равнины является совершенно обязательным.

Весьма наглядное представление о распределении и изменчивости основных факторов метеорологического режима по северному склону Заилийского Алатау дает рисунок 1, из которого видно, что такие метеорологические элементы, как осадки, температура и влажность воздуха, сумма температур, потенциальное испарение — изменяются в соответствии с вертикальной поясностью в направлении с юга на север (от вершин в сторону Прибалхашья). Хорошо заметно, что чем ниже абсолютная высота местности, тем меньше выпадает осадков, выше температура и суше воздух. С понижением температуры увеличивается влагопоглощающая способность атмосферы (испаряемость).

Объективно изменчивость метеорологического режима в предгорьях может быть охарактеризована величинами вертикальных градиентов. Величина вертикального температурного градиента для теплого периода года всегда положительна и составляет по северному склону Заилийского Алатау 0,5—0,7° на каждые 100 м высоты. В зимнее время температурный градиент отрицательный, то есть в приземном слое атмосферы в холодное время года наблюдается температурная инверсия (рис. 2).

Что касается влажности воздуха, то с увеличением абсолютной высоты снижается как максимальная упругость пара в приземном слое атмосферы (в связи с понижением температуры), так и абсолютная влажность. В зимнее время при наличии температурной инверсии такая закономерность нарушается: температурная инверсия сопровождается также инверсией и в отношении недостатка упругости пара.

Атмосферные осадки являются наиболее неустойчивым климатическим фактором, но, как видно из рисунка 6, они тоже подчинены вертикальной поясности. По средним многолетним данным, в летнее время на каждые 100 м поднятия в горы количество осадков увеличивается на 30—40 м.

Атмосферное давление закономерно изменяется с высотой в сторону его уменьшения и укладывается в известные математические зависимости, одинаково применимые и для природных условий предгорий.

Для сельскохозяйственной оценки природных условий территории часто важно знать не только ее климатические условия, но и характерные особенности микроклимата, то есть местного климата приземного слоя атмосферы. С этой точки зрения горный рельеф оказывает исключительно большое влияние на микроклимат территории. Различная крутизна и экспозиция склонов обуславливают неравномерность ветрового режима, распределения атмосферных осадков (уменьшение их с наветренной и увеличение на подветренной стороне), продолжительности освещенности и притока солнечной радиации. Все это предопределяет значительные различия в температурном режиме воздуха и почвы, которые достигают здесь больших значений.

В целом климат предгорий Заилийского Алатау имеет следующие характерные особенности. На верхней границе предгорий, где не слишком жаркое лето, сравнительно мягкая зима и достаточно

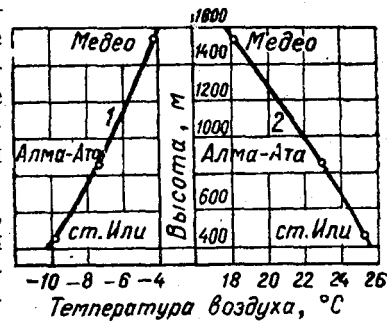


Рис. 2. Изменение с высотой средней месячной температуры воздуха января (1) и июля (2) в предгорьях Заилийского Алатау.

высокая увлажненность, климат напоминает средиземноморский. Несколько ниже, на предгорных равнинах, климат можно отнести к умеренно континентальному. Здесь зима более холодная, лето продолжительное, умеренно жаркое и сухое. Особенностью теплого периода являются большие суточные колебания температур и влажности воздуха. Относительная влажность воздуха опускается в дневное время до 20% и поднимается ночью до насыщения.

Дальше, в зоне жаркой и сухой Прибалхашской впадины, климат переходит в резко континентальный. Годовая амплитуда температуры воздуха доходит здесь до 40°C. Суточные максимумы температур достигают +42÷44°C и 40÷45°C в зимнее время.

В гидрологическом и гидрогеологическом отношении предгорья характеризуются тем, что все реки, протекающие по территории юга и юго-востока Казахстана, за исключением рек, которые берут начало за пределами Казахской республики (Чу, Или, Сыр-Дарья), формируются в горах и предгорьях Заилийского и Джунгарского Алатау, гор Каратау, Кетменского хребта, Чу-Илийских гор. В гидрографическом отношении горные и предгорные районы имеют наиболее развитую речную сеть. Распределение поверхностных и подземных вод обусловлено здесь разнообразием орографических условий и формами рельефа. Как известно, источниками питания горных рек и всевозможных водотоков являются, как правило, снега и ледники.

Реки, берущие начало в горах Джунгарского (Каратал, Тентек, Лепса, Аксу и более мелкие реки) и Заилийского Алатау (Чарын, Чилик, Иссык, Каскелен, Курты), принадлежат к внутреннему бессточному Балхаш-Алакольскому бассейну. Сюда же несет свои воды и одна из крупнейших рек Казахстана — Или.

Реки Чу, Талас, Арысь, Келес, Бугунь и другие с многочисленными притоками принадлежат к бассейну Аральского моря. Несмотря на значительную водоносность, все они заканчиваются на подгорных равнинах «слепыми» дельтами и теряются в песках или разбираются на орошение.

Водные запасы перечисленных рек имеют исключительно большое значение для развития земледелия и животноводства южного Казахстана. В настоящее время сток этих рек используется далеко не полностью, в связи с чем имеются широкие перспективы для дальнейшего расширения орошаемого земледелия.

По предварительным расчетам, даже за счет частичного регулирования стока перечисленных рек площадь регулярного орошения может быть увеличена в несколько раз. Только благодаря завершению строительства первоочередных объектов (Кировского водохранилища на реках Талас и Асса, Меркенской ветки западного БЧК, сооружения объединительного канала Чарын—Чилик—Алма-Ата с Бартагайским водохранилищем на р. Чилик и использованием стока рек Турген, Иссык и Талгар, плотины на реке Кок-Су

и Кок-Суйского канала и др.) поливные площади в предгорьях могут быть увеличены более чем на 100 тыс. га.

Большое значение для сельскохозяйственного производства имеют и подземные воды, характер распределения которых в предгорьях следующий.

При выходе из горных ущелий и на конусах выноса расположена зона погружения поверхностных и формирования подземных вод. По химизму подземные воды здесь слабо минерализованы и имеют плотный остаток порядка 0,3—0,7 г/л. Глубина залегания грунтовых вод немногим более 10 м от поверхности и является границей подземного транзита грунтовых вод.

В местах перехода предгорий в покато-наклонную равнину выделяется полоса выклинивания подземных вод, так называемых «Карасу». На прилегающих к ним участках грунтовые воды залегают на глубине 0,3—1,0 м, что ведет к заболачиванию земель, образованию «сазов». Ниже, на наклонной равнине, простирается район разгрузки грунтовых вод по речным долинам.

Источником питания подземных вод по всей длине предгорий являются поверхностные воды, формирующиеся в горах за счет таяния вечных снегов и ледников и инфильтрации атмосферных осадков.

Почвенный покров предгорий сформировался также в соответствии с вертикальной поясностью и отличается значительным разнообразием и пестротой. Вместе с тем по мере изменения абсолютных высот заметен достаточно выраженный переход от черноземных и каштановых почв на прилавках к сероземам на предгорных равнинах и лугово-сероземным почвам в долинах. В пределах предгорий Заилийского Алатау в границах возможного сельскохозяйственного освоения земель условно выделяются: горно-степная зона; предгорная пустынно-степная зона и пустынная зона.

Горно-степная зона лежит в пределах абсолютных отметок от 900—1000 до 1500—1800 м. Почвенный покров слагают в основном горные плодородные черноземы с мелкозернистой водопрочной структурой. Содержание гумуса достигает 11—12%. Нередко встречаются здесь и каштановые почвы. С точки зрения сельскохозяйственного производства эта зона имеет наибольшее значение для богарного земледелия. Однако здесь сосредоточены значительные площади и поливных земель.

Предгорная пустынно-степная зона охватывает в основном подгорные равнины горных хребтов с отметками 500—1000 м. Почвы каштановые. Разделяются на темно-каштановые и светло-каштановые. Темно-каштановые почвы более плодородны и обладают достаточно выраженной структурой. Все они в той или иной мере карбонатны. По механическому составу каштановые почвы относятся к средним и тяжелым суглинкам с объемным весом от 1,2 до 1,4 г/см³ и предельной полевой влагоемкостью (по данным Ассинг

И. А. и Почикиной Л. И.) от 20 до 28 весовых процентов. Нередко встречаются в этой зоне и сероземы на лёссовидных суглинках и щебенисто-галечниковых отложениях с непрочной структурой. Для сельскохозяйственного производства пустынно-степная зона имеет огромное значение, так как здесь сосредоточен основной фонд орошаемых земель.

Пустынная зона расположена в пределах высотных отметок 350—500 м и ниже. Почвенный покров этой зоны очень пестр и представлен в большинстве своем светлыми малокарбонатными сероземами. По механическому составу преобладают легкосуглинистые разновидности. В нижней части, особенно в долинах рек, широко распространены тяжелосуглинистые лугово-сероземные почвы. Интенсивное ведение сельскохозяйственного производства возможно здесь только при орошении.

Наряду с зональными почвами в пределах выделенных поясов имеют распространение и интразональные почвы, главным образом гидроморфного ряда: лугово-сероземные почвы, сероземы солонцеватые, солончаки, сероземы с признаками вторичного засоления. Наибольшее распространение из них в зоне орошаемого земледелия имеют лугово-сероземные почвы с высокой предельной полевой влагоемкостью и объемным весом от 1,2 до 1,5 г/см³.

В связи с чрезмерной изрезанностью рельефа и различной ориентацией склонов имеет место некоторое смещение отдельных зон и даже их выпадение, однако общий характер последовательности зонального распределения почв в предгорьях юга и юго-востока Казахстана достаточно устойчив.

Разнообразие почвенно-мелиоративных, гидрогеологических и особенно погодно-климатических условий оказывает огромное влияние на жизнедеятельность растений. Многочисленными экспериментами установлено, что температура окружающей среды является определяющим фактором темпов развития растений. Для нормального прохождения фаз развития каждая культура, а равно и сорт растений, требуют определенных затрат тепла, которое обычно выражается в виде суммы среднесуточных температур. Длина межфазных периодов и общая продолжительность вегетации сельскохозяйственных культур в условиях теплого климата короче, чем в условиях более прохладного климата, что играет существенную роль при решении вопроса о нормировании орошения в предгорной зоне орошаемого земледелия.

Другим, не менее важным фактором, влияющим на рост и развитие растений (формирование органов, накопление урожая, качество продукции, а также и продолжительности вегетации), является солнечная радиация. В природных условиях солнечная радиация, поступающая на поверхность земли, служит основным источником формирования жизненной среды как для животного, так и для растительного мира. Темпы роста и развития растений зависят

главным образом от продолжительности солнечного освещения и интенсивности инсоляции.

В целом продолжительность солнечного сияния имеет зональное распределение. Однако в горах и предгорьях радиационный режим в значительной степени определяется ориентацией склонов, закрытостью горизонта и облачностью. Так как в горных районах облачных дней бывает много больше, чем в долинах, то среднее число часов солнечного сияния уменьшается по мере увеличения высоты над уровнем моря.

Что касается интенсивности солнечной радиации, то ее распределение в горах и предгорьях также имеет свои особенности. Известно, что интенсивность солнечной радиации зависит от степени замутненности приземных слоев атмосферы, зависящей от наличия в воздушных массах влаги (зимой) и пыли (летом).

В ясные дни интенсивность солнечной радиации возрастает с высотой над уровнем моря. Это возрастание связано с увеличением прозрачности атмосферы и происходит более быстро в нижних ее слоях. Затем рост интенсивности с поднятием замедляется. Подтверждением тому могут служить наблюдения над радиацией, проведенные нами одновременно в Медео (1529 м), Алма-Ате (848 м) и Или (455 м) в ясные дни второй половины августа 1961 г. (рис. 3).

Однако, если рассматривать поступление лучистой энергии за большие промежутки времени, то суммарное поступление солнечного тепла на поверхность уменьшается по мере поднятия в горы. Это, как и в случае с продолжительностью солнечного сияния, находит объяснение в увеличении в горах облачности и дней с туманами и дождями.

Так, например, по данным Гидрометслужбы, число пасмурных дней в году в районе Медео составляет более 130, в то время как в Алма-Ате их количество достигает только 104, а в Или не превышает 80. Число дождливых дней за период IV—IX изменяется соответственно от 41 в Или до 68 — в Медео. Если суммарная продолжительность туманов за год составляет в Или 67 часов, то в Алма-Ате она достигает уже 329 часов, или 14 и 43 дней с туманами соответственно.

Отмеченная особенность в распределении температурного и радиационного режимов в предгорьях ведет к резкому различию в сроках и продолжительности вегетации растений. Как правило, по мере продвижения в горы вегетационный период большинства сель-

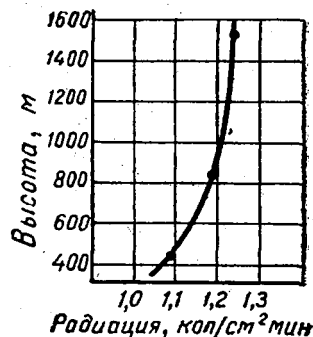


Рис. 3. Изменение с высотой интенсивности полуденной солнечной радиации по северному склону Заилийского Алатау.

скохозяйственных культур удлиняется. Так, по данным Пискуновой О. Н., продолжительность вегетационного периода яровой пшеницы Эритроспермум 0841 изменяется (1940 и 1941 гг.) с увеличением высоты местности от 800 до 2400 м над уровнем моря с 85 до 140 дней, то есть почти в 2 раза. Исходя из оценки распределения в предгорьях термического режима и данных Пискуновой О. Н. на примере яровой пшеницы (рис. 4), П. И. Колосков считает, что изменчивость продолжительности вегетационных периодов других

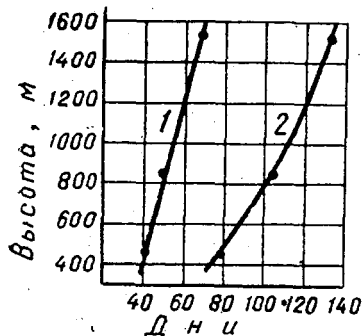


Рис. 4. Влияние высоты местности на продолжительность периода вегетации яровой пшеницы.

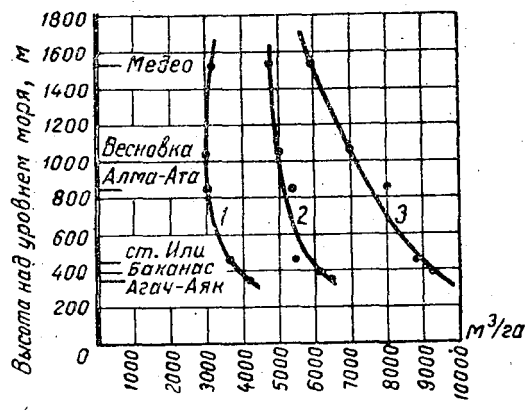


Рис. 5. Связь суммарного водопотребления яровой пшеницы (1), кукурузы (2) и сахарной свеклы (3) с высотой местности над уровнем моря (Зайлийское Алатау).

видов и сортов растений в связи с высотой будет подчинена тем же законам.

В тесной связи с продолжительностью вегетационного периода и его термическими характеристиками (радиационным и температурным режимами) находится и потребность растений в воде.

Свет и тепло играют доминирующую роль в развитии растений лишь при наличии необходимого количества влаги в период вегетации. Одно и то же растение, растущее в разных климатических условиях, требует совершенно различных количеств воды. Известно, что при достаточных запасах влаги в почве в жаркую и сухую погоду суммарный расход влаги на транспирацию растениями и испарение почвой всегда выше, чем в условиях прохладного и влажного воздуха. В этой связи климатические условия предгорных районов оказывают исключительно большое влияние на изменчивость потребности растений в воде.

Изменение водопотребления некоторых сельскохозяйственных культур в связи с высотой показано на рисунке 5. По нашим рас-

четам, в предгорьях Заилийского Алатау суммарное водопотребление культурой сахарной свеклы изменяется в зоне поливного земледелия от 6000—6500 м³/га (Медео, 1529 м) до 9000—9500 м³/га в районе ст. Или (454 м над уровнем моря), то есть разница в водопотреблении достигает 150%.

Суммарная потребность в воде яровой пшеницы с высотой уменьшается примерно до отметок 900—1000 м над уровнем моря. Выше суммарное водопотребление не только не уменьшается, а начиная с 1200—1300 м даже повышается. Зависит это от того, что продолжительность периода вегетации яровой пшеницы в горах в силу понижения температуры воздуха и уменьшения притока солнечной энергии возрастает и одновременно увеличивает суммарную потребность в воде.

Кроме температуры и солнечной радиации, на суммарное водопотребление растений в горах влияет и атмосферное давление. Понижение давления по мере поднятия в горы ведет, в противоположность тепловым факторам, к относительному повышению суммарного расхода воды сельскохозяйственными полями. Однако количественная сторона этого явления пока изучена еще недостаточно и для своего разрешения требует постановки специальных натурных исследований. Сейчас можно лишь предположить, что в пределах абсолютных отметок зоны возможного сельскохозяйственного освоения предгорий атмосферное давление будет иметь второстепенное значение в общем комплексе факторов, определяющих суммарный расход влаги на физическое испарение с почвы и транспирацию растениями.

Особенно большое влияние оказывает вертикальная поясность предгорных районов на размер оросительных норм. Здесь, помимо температурных и радиационных факторов, огромную роль начинает играть степень естественной влагообеспеченности местности, то есть наличие атмосферных осадков и пресных грунтовых вод.

Поскольку зона «Карасу», или зона близкого залегания грунтовых вод, имеет локальный характер распространения в общем балансе орошаемых земель предгорий, то основное и, по-видимому, решающее значение в естественном водообеспечении растений имеют осадки. За распределением и количественным изменением осадков в предгорьях Заилийского Алатау можно проследить по рисунку 6, из которого видно, что влагообеспеченность предгорных районов крайне неравномерна как в течение года, так и по отдельным его периодам.

Довольно быстрое нарастание годовых осадков с высотой местности происходит примерно до высоты 1000—1200 м — 70 мм на каждые 100 м высоты. За теплый период года (IV—IX) в зоне орошаемых предгорий вертикальный градиент атмосферных осадков составляет 35—40 мм, а в холодное время года не превышает 25 мм на 100 м. На протяжении года наибольшее количество осад-

ков выпадает в весенне-летнее время и значительно меньше — осенью и зимой.

Неравномерность распределения осадков в предгорьях приводит к существенному различию в степени естественной влагообеспеченности сельскохозяйственных культур. Если на верхней границе предгорий допустимо богарное земледелие, то в предгорных долинах получение высоких урожаев сельскохозяйственных культур возможно только при орошении. Причем размеры и режим орошения находятся здесь в зависимости от высотного положения орошаемых земель.

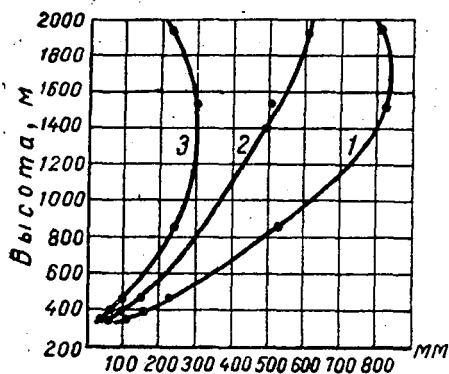


Рис. 6. Изменение с высотой в предгорьях Заилийского Алатау количества осадков за год (1), теплый период IV—IX (2) и холодный период X—III (3).

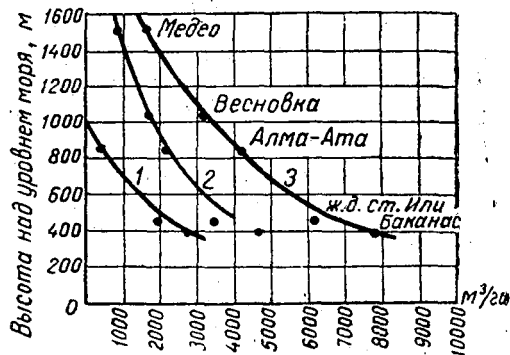


Рис. 7. Изменение норм орошения яровой пшеницы (1), кукурузы (2) и сахарной свеклы (3) в предгорьях Заилийского Алатау в связи с высотой местности.

На рисунке 7 приводятся кривые изменения оросительных норм яровой пшеницы, кукурузы и сахарной свеклы в связи с высотой местности над уровнем моря для предгорий Заилийского Алатау, где наглядно видна вертикальная поясность распределения оросительных норм указанных сельскохозяйственных культур. Норма орошения яровой пшеницы в зоне возможного ее возделывания изменяется от 0 до 3000—3500 м³ на гектар. Потребность в орошении испытывается только до высоты 800—900 м над уровнем моря. Норма орошения сахарной свеклы изменяется в пределах от 1000—1500 м³ до 7000—8000 м³ на гектар, потребность в орошении испытывается примерно до высоты 1600—1800 м. Для кукурузы оросительная норма может изменяться от 500—1000 м³ до 4000—5000 м³ на гектар. Необходимость в поливах ощущается только до высоты 1400—1500 м над уровнем моря. Зона, лежащая выше указанных отметок, вполне обеспечена естественными ресурсами влаги.

Справедливости ради здесь следует отметить, что установленные границы естественной влагообеспеченности растений могут быть распространены только на северные склоны Заилийского Алатау. Что касается, например, предгорий Кетменя, то там высотная граница потребности в орошении проходит, в силу специфических климатических условий, по другим отметкам, как правило, несколько выше.

Кроме осадков, на степень естественной влагообеспеченности сельскохозяйственных культур существенное влияние оказывают и водно-физические свойства почв. Более мощные и влагоемкие почвы, обладающие большой аккумулярующей способностью, способствуют накоплению и сохранению в ней больших запасов влаги. В то же время маломощные почвы, особенно подстилаемые хорошо дренирующими породами, плохо удерживают влагу и ухудшают влагообеспеченность сельскохозяйственных растений.

Другие факторы повышения влагообеспеченности растений (агротехника, селекция и т. д.) и их влияние на оросительные нормы здесь не рассматриваются, так как они имеют самостоятельные аспекты решения.

**ПОЧВЕННО-МЕЛИОРАТИВНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА
НИЗОВИЙ РЕКИ ЛЕПСЫ**А. ДЖАНИБЕКОВ, *научный сотрудник*

УДК 626.81 (26.05) : 631.4

Вопросы физики почв и процессов соленакопления в низовьях реки Лепсы до сих пор недостаточно освещены в литературе. В связи с этим нами были заложены опытные площадки на различных элементах рельефа для изучения объемных и удельных весов, механического и агрегатного состава почв, водопроницаемости, коэффициента фильтрации, полевой влагоемкости и влажности. Изучение водно-физических свойств почв и детальное почвенное обследование дали материал для составления почвенно-мелиоративной карты низовий реки Лепсы.

Описываемая территория расположена в устьевой части между-речья рек Лепсы и Аксу при впадении их в озеро Балхаш. По почвенно-климатическим особенностям она относится к зоне северных Средне-Азиатских пустынь. Для климата зоны характерны крайняя сухость и резкая континентальность. Средняя годовая температура воздуха сравнительно устойчива и колеблется в пределах 6—7°C тепла. Многолетнее среднее количество атмосферных осадков составляет от 120 до 150 мм. Низкая относительная влажность воздуха наблюдается летом в период вегетации растений. Испарение с земной поверхности здесь в 6—10 раз превышает выпадение атмосферных осадков. Характерной чертой местного климата является большая скорость ветра и частая его повторяемость во все сезоны года. В рельефном отношении эта часть междуречья представляет собой типичную дельтово-аллювиальную равнину малых рек южного Прибалхашья, которая представлена следующим сочетанием элементов мезорельефа:

- а) плоскими прирусловыми валами;
- б) плоскими междурусловыми западинами; заглубленными котлообразными депрессиями; старицами, выполненными озерным аллювием;

- в) песчаными грядами, буграми и сопутствующими им котловинами выдувания;
- г) пойменными (тугайными) террасами реки Лепсы;
- д) плоскими кучевыми песками.

Для различных элементов рельефа дельтовой равнины характерно определенное литологическое строение по вертикали и определенный гранулометрический состав на дневной поверхности. Так, например, плоские прирусловые валы сложены с поверхности преимущественно супесями и как исключение легкими суглинками. Книзу супеси переходят в мелкозернистые пески, а иногда переслаиваются с пропластками суглинков. Плоские депрессии и выровненные террасовидные поверхности сложены легкими или средними суглинками, обычно переходящими в супеси и пески.

В пределах обследуемой территории были выделены следующие основные разновидности почв: лугово-сероземные; сероземно-луговые древнеаллювиальной равнины; луговые и лугово-болотные почвы; такырово-сероземные; солончаки природные и вторичные; аллювиально-луговые.

Лугово-сероземные почвы — это переходная группа почв от гидроморфного ряда к ряду автоморфному. Они всегда обнаруживают довольно ясно выраженные признаки опустынивания (метаморфоза из лугового типа в тип сероземный). Эти почвы имеют более интенсивноокрашенный гумусовый горизонт, обладают признаками реликтового заболачивания, оглеения, слоистостью почвообразующих пород. Последний признак свидетельствует об их аллювиальном происхождении. (Результаты анализа водной вытяжки для лугово-сероземных глубоко солончаковатых почв приведены в таблице 2).

Для характеристики водно-физических свойств почвы приводим данные полевых определений разреза 17 (табл. 1). Они показывают, что объемные веса почвы колеблются в небольших пределах: в верхнем горизонте 1,345—1,370, на глубине 30—40 см и далее — 1,46—1,52. Такие небольшие колебания объемного веса по всему генетическому профилю свидетельствуют об однородности сложения, связанной с механическим составом почвы и наличием органических веществ.

Величина удельного веса меняется от 2,58 до 2,63 и в среднем равна 2,61. В верхних горизонтах, где отмечается некоторое (хотя и очень небольшое) накопление органического вещества и меньшее засоление почвы, удельный вес несколько снижен. Порозность колеблется в пределах 47,8—43,3%. Наименьшая порозность характерна для слоев, расположенных глубже 50—80 см. Наибольшая скважность отмечается в основном корнеобитаемом слое. Повышенные порозности в верхнем горизонте происходят за счет биологической деятельности обитающей здесь почвенной фауны (насекомые, дождевые черви и т. д.) и корневой системы растений. Образование

уплотнения нижепахотного и подпахотного горизонтов происходит в основном под действием поливной воды, а также засоления.

По механическому составу лугово-сероземные почвы относятся к физическим пескам и супесям. Содержание их достигает от 40 до 80% от общего количества фракций, на втором месте — пылеватая фракция (0,05—0,01), на третьем — глинистая фракция.

Водопроницаемость на опытных площадках изучалась наряду с исследованием других водно-физических свойств почвы как по всему профилю, так и по отдельным генетическим горизонтам. В некоторых местах (для исключения возможной ошибки) определение велось двукратно.

Таблица 1

Основные водно-физические свойства почвогрунтов низовий реки Лепсы

Название почвы	Глубина образца, см	Объемный вес	Удельный вес	Пористость	Влажность	Предельная влагоемкость		Норма полива, м ³ /га
						к весу в %	в м ³ /га	
Лугово-сероземные Супесчаные	0—10	1,34	2,58	47,8	1,58	10,7	143,3	122,2
	10—20	1,35	2,57	47,6	1,50	10,8	145,5	125,5
	20—30	1,37	2,57	46,7	3,32	9,9	135,6	90,5
	30—40	1,46	2,63	44,6	3,41	12,00	175,2	175,0
	40—50	1,41	2,57	45,2	4,59	17,4	242,3	181,0
	50—60	1,49	2,62	43,3	4,78	13,0	194,0	92,5
	60—70	1,45	2,62	44,7	2,46	11,9	132,5	141,2
	70—80	1,45	2,62	44,7	2,65	10,1	146,2	112,0
	80—90	1,45	2,58	43,7	4,85	15,3	222,0	100,4
	90—100	1,44	2,63	45,3	4,46	14,4	206,8	144,4
	100—110	1,46	2,70	46,0	4,75	19,2	280,2	210,6
	110—120	1,47	2,66	44,5	4,20	11,3	166,0	111,5
	120—130	1,33	2,61	50,0	5,43	27,1	360,4	289,5
	130—140	1,52	2,55	40,0	6,63	—	—	—
	140—150	1,42	2,55	44,0	4,80	—	—	—
	В слое 0—100 см							1295,7
	100—130 см							1907,3
Лугово-болотные солончаковатые	2—7	1,32	2,62	49,6	4,30	27,0	350,65	300,00
	29—34	1,42	2,60	45,3	7,50	28,2	400,2	300,95
	45—50	1,31	2,64	50,4	24,00	30,7	404,0	87,5
	58—63	1,41	2,75	48,7	22,50	29,0	409,0	91,6
	85—90	1,53	2,61	41,4	26,73	28,04	398,0	15,55
	90—95	1,48	2,75	58,6	30,00	30,5	431,0	7,05
	100—105	1,41	2,61	45,9	20,50	25,1	212,5	65,00
	110—115	1,53	2,68	42,8	28,00	28,6	276,0	9,2
	125—130	1,51	2,57	41,3	—	18,35	278,0	—
	130—140	1,49	2,62	43,1	—	23,4	349,0	—
	145—150	1,60	2,69	40,5	—	—	—	—
	В слое 0—115 см							872,83

Установлено, что все без исключения слои обладают сравнительно повышенными величинами коэффициентов впитывания и фильтрации. По-видимому, это явление связано с интенсивным воздействием растительности в дельтовой период почвообразования на почвогрунты. Из-за высокой впитывающей и фильтрационной способности почвогрунтов следует ожидать больших потерь воды на фильтрацию в оросительной сети, а также и на поливных участках (картах), что потребует мероприятий по борьбе с потерями воды. Высокая интенсивность впитывания воды будет явлением положительным при промывках.

Полевая влагоемкость, основная константа для расчета поливных норм, сильно варьирует в вертикальном профиле при слоистом его сложении. В случае однородного в литологическом отношении величина предельной влагоемкости остается более или менее постоянной, несколько увеличиваясь в гумусовом горизонте. Полевая влагоемкость почвы зависит от плотности, механического состава почв, содержания перегноя, состава поглощенных оснований. (Величины полевой влагоемкости лугово-сероземных почв приводятся в таблице 2).

Сероземно-луговые почвы древнеаллювиальной равнины имеют незначительное распространение и встречаются главным образом в сочетании или в комплексе с лугово-сероземными и лугово-болотными почвами. По своей природе сероземно-луговые являются остаточными гидроморфными почвами бывшей дельты рек Лепсы и Аксу, приуроченными к пониженным элементам рельефа дельтово-аллювиальной равнины. В связи с этим они имеют состав водной вытяжки, аналогичный тем почвам, в сочетании или в комплексе с которыми они встречаются.

У солонцеватой разновидности этих почв в составе катионов преобладает натрий, а в составе анионов — сульфат-ион. Карбонат-ион отсутствует, иногда лишь встречаются его следы на глубине 50—70 см. Эти почвы практически незасолены (см. табл. 2), по механическому составу отличаются большей неоднородностью и сложностью, в основном они являются более легкими (супесями).

Этот тип почв, как и предыдущие, можно отнести к лучшим для возделывания овоще-картофельных и других сельскохозяйственных культур. Но сероземно-луговые почвы более склонны к интенсивному накоплению солей в условиях орошения.

Луговые и лугово-болотные почвы не занимают больших площадей. Встречаются они до низких приозерных террасам. Формируются в условиях неглубоких (0,5—1,0 м) в значительной степени минерализованных грунтовых вод, под покровом луговых и лугово-болотных трав, на разнообразных по механическому составу материнских почвообразующих породах. Характерной особенностью почвообразования, описываемых почв является то, что они бывают постоянно насыщенными капиллярной влагой, которая поступает

из грунтовых вод. Это обстоятельство обуславливает бурное развитие растительности, хорошо затеняющей поверхность почвы. Большое количество растительных остатков способствует образованию гумуса.

В составе этой почвы выделены незасоленные и солончаковые разности. (Характеристика незасоленных видов приведена в табл. 2). Колебания количества хлор-иона в верхнем слое укладывается в пределах 0,005—0,13 весовых процентов, во втором полуметре достигает уже 0,02%. Интересно, что в верхнем горизонте доминирует сульфат-ион, а в нижнем, наоборот, хлор-ион, что скорее всего является результатом промывания этих почв в периоды затопления.

Надо заметить, что анализ водной вытяжки из этих почв не обнаруживает даже и следов карбонат-иона. Однако в составе почвенных коллоидов слоя 6—22 см имеется 0,12 мг-экв обменного натрия и 0,33 мг-экв обменного калия на 100 г почвы, или иначе говоря проявляется слабая «солонцеватость» (более 5% от емкости объема), обусловленная главным образом поглощенным калием. Однако такая «солонцеватость» является положительным свойством почв, так как в одном лишь слое 0—16 см содержится более 0,5 т/га усвояемого калия. О внесении в эти почвы калийных удобрений под любую культуру не может быть речи, по крайней мере в течение 5—8 лет земледельческого их использования.

В лугово-болотных солончаковатых почвах по всем слоям первого метра преобладает сульфат-ион с максимумом на поверхности, составляющим 0,125%, или 2,6 мг-экв, и минимум — на глубине около метра, составляющим 0,032%, или 0,66 мг-экв на 100 г почвы. Такой же порядок распределения по профилю имеет и хлор-ион, количество которого укладывается в пределах 0,34—0,96 мг-экв на 100 г почвы. Характеристика водно-физических свойств лугово-болотных солончаковатых почв представлена в табл. 1. Мелиоративное состояние этих почв весьма тяжелое вследствие засоленности их и близости залегания грунтовых вод.

Такырово-сероземные почвы приурочены к Балхашским впадинам в низовьях долины реки Лепсы. Они формируются путем остепнения и отакырования луговых, лугово-болотных и после вырубki леса — тугайных почв, а также путем метаморфоза лугово-сероземных почв. Почвообразующими породами служат слоистые древне-аллювиальные отложения. Физические свойства их характеризуются отсутствием водопрочной структуры, вследствие чего они склонны к образованию илстой корки при обработке, и слабой водопроницаемостью уплотненных горизонтов.

Содержание плотного остатка в верхнем слое такырово-сероземных солончаковых почв доходит до 2,027%, а ниже постепенно снижается. Отток грунтовых вод очень слабый. Поэтому верхние слои почвы обогащаются наиболее подвижными хлоридно-сульфат-

Таблица 2

Содержание легкорастворимых солей в низовье реки Лепсы в %
на 100 г воздушно-сухой почвы

Почвы	Глубина образца, см	Плотный остаток	HCO ₃	CO ₃	Cl'	O ₄ '	Ca"	Mg"	Na+K'
Сероземно-луговые	0-20	0,244	0,026	Нет	0,028	0,115	0,019	0,006	0,050
	25-35	0,258	0,042	—	0,049	0,085	0,008	0,006	0,068
	40-50	0,238	0,034	—	0,051	0,078	0,008	0,007	0,061
	50-64	0,178	0,029	След	0,035	0,060	0,006	0,008	0,040
	75-85	0,187	0,042	—	0,028	0,062	0,006	0,009	0,040
Солонцеватые	110-120	0,090	0,037	Нет	0,009	0,021	0,006	0,007	0,040
	0-5	0,061	0,026	Нет	0,007	0,011	0,006	0,002	0,009
	12-18	0,048	0,026	—	0,007	0,002	0,006	0,001	0,006
	30-40	0,060	0,026	0,002	0,008	0,011	0,002	0,005	0,008
	105-115	0,279	0,026	Нет	0,082	0,078	0,013	0,006	0,074
Глубоко-солонцеватые	70-80	0,100	0,026	—	0,019	0,025	0,004	0,003	0,023
	122-135	0,612	0,029	—	0,209	0,166	0,027	0,015	0,166
	145-155	1,630	0,021	—	0,344	0,337	0,054	0,026	0,281
	165-182	0,798	0,034	Нет	0,209	0,291	0,029	0,021	0,214
	190-200	0,414	0,024	—	0,081	0,175	0,011	0,010	0,113
Лугово-болотные	0-6	0,066	0,029	Нет	0,005	0,016	0,008	0,005	0,003
	6-26	0,083	0,042	—	0,010	0,009	0,009	0,003	0,010
	26-45	0,090	0,026	—	0,013	0,037	0,013	0,006	0,003
	50-60	0,086	0,024	—	0,017	0,021	0,009	0,005	0,010
Незасоленные	75-85	0,069	0,021	—	0,020	0,009	0,008	0,005	0,006
	0-3	2,027	0,063	Нет	0,482	0,845	0,088	0,102	0,102
	15-25	0,634	0,037	0,002	0,113	0,291	0,006	0,036	0,036
	155-165	0,108	0,029	Нет	0,017	0,032	0,008	0,006	0,006
Такырово-сероземные	110-110	0,113	0,026	Нет	0,021	0,037	0,006	0,012	0,012
	0-3	3,815	0,021	0,002	0,262	2,301	0,188	0,023	1,020
	3-15	1,384	0,016	Нет	0,280	0,638	0,083	0,034	0,328
	15-23	2,349	0,014	—	0,701	0,868	0,134	0,101	0,531
Солончаки Природные	23-33	3,316	0,013	—	1,122	1,099	0,180	0,168	0,734
	33-41	2,649	0,012	—	0,822	0,962	0,200	0,130	0,523
	41-53	1,983	0,010	—	0,523	0,826	0,221	0,091	0,312
	53-71	1,955	0,016	—	0,542	0,777	0,178	0,090	0,352
	71-93	1,369	0,018	Нет	0,516	0,371	0,046	0,054	0,364
	93-105	0,883	0,020	—	0,303	0,264	0,030	0,034	0,232
	105-115	0,395	0,021	—	0,090	0,157	0,015	0,013	0,099
	115-205	0,356	0,015	—	0,090	0,136	0,017	0,012	0,086
	205-215	0,320	0,010	—	0,091	0,115	0,019	0,012	0,073
	Вторичные (засоленные)	0-5	0,107	0,037	Нет	0,007	0,032	0,006	0,002
5-28		0,157	0,077	0,021	0,010	0,025	0,004	0,002	0,030
38-48		0,174	0,074	0,018	0,016	0,032	0,004	0,001	0,047
58-68		0,525	0,079	0,018	0,084	0,194	0,004	0,009	0,155
71-89		0,139	0,053	0,010	0,016	0,028	0,002	0,002	0,038
150-160		0,065	0,032	Нет	0,007	0,009	0,004	0,003	0,010
Аллювиально-незасоленные	0-5	0,107	0,037	Нет	0,007	0,032	0,006	0,002	0,023
	5-28	0,157	0,077	0,021	0,010	0,025	0,004	0,002	0,030
	38-48	0,174	0,074	0,018	0,016	0,032	0,004	0,001	0,047
	58-68	0,525	0,079	0,018	0,084	0,194	0,004	0,009	0,155
	71-89	0,139	0,053	0,010	0,016	0,028	0,002	0,002	0,038
	150-160	0,065	0,032	Нет	0,007	0,009	0,004	0,003	0,010

ными солями, при явном преобладании натрия над кальцием и магнием. Освоение этих почв, как правило, требует проведения сложного комплекса мелиоративных и агротехнических мероприятий.

Образование солончаков природных и вторичных обычно связано с приносом солей минерализованными грунтовыми водами и накоплением их в поверхностных горизонтах почвы вследствие испарения грунтовых вод при капиллярном подъеме. Эти почвы формируются под сочно-солянковой и селитрянковой растительностью.

Из данных таблицы 2 видно, что в верхней части солончаков содержатся хлористые и сернокислые соли, во втором метре количество легкорастворимых солей почти в 5 раз меньше, чем в первом. По составу солей с учетом изменения объемного веса по профилю более отчетливо выясняется преобладание хлористых солей. В своем комплексе они содержат повышенное количество натрия и незначительное количество солей кальция.

Аллювиально-луговые почвы развиваются под тростниково-злаково-разнотравной и солодково-пырейной растительностью поймы реки Лепсы. Наряду с травянистой растительностью здесь формируются тугай, то есть заросли тала, лоха и реже тополя разнолиственного. В составе этих почв различаются две отчетливо выраженные разновидности: слоистая и дерновая. Первая формируется в условиях ежегодного отложения на поверхности почвы наилка или тонкого песчано-супесчаного слоя, благодаря чему в этих почвах успевает развиваться типичная дернина. У второй разновидности процесс ежегодной аккумуляции аллювия сильно ослаблен или во всяком случае не мешает формированию нормального профиля луговой почвы. Однако в пойме реки Лепсы преобладают аллювиально-луговые почвы.

Данные анализов водной вытяжки из этих почв и их грунтовых вод (табл. 2) свидетельствуют о повышенной общей щелочности и постоянном наличии у них карбонат-иона. По механическому составу эти почвы чаще всего супесчаные и песчаные. В рельефе они занимают, как правило, прирусловые участки поймы.

**ВЛИЯНИЕ ЛИМАННОГО ОРОШЕНИЯ
НА ПОЧВЫ И ПРОЦЕССЫ ИХ ФОРМИРОВАНИЯ
В ПОЙМЕ РЕКИ УИЛ**

Ф. Н. КИМ, кандидат с.-х. наук

УДК 631.6.626.841

Лиманное орошение как наиболее действенное и эффективное мероприятие по улучшению водного режима почв нашло широкое применение в засушливых районах Казахстана.

Способствуя дополнительному увлажнению почв, оно при правильном использовании создает благоприятные условия для развития луговой растительности, которая, в свою очередь, оказывает воздействие на почвообразовательные процессы. Кроме того, значительно улучшается микроклимат окружающей территории.

Нами в настоящей статье рассматриваются некоторые вопросы воздействия лиманного орошения на почвы, связанные с режимом затопления искусственных лиманов.

Идея создания искусственных лиманов возникла на основе явлений от разливов и затоплений, имеющих место в природе. В «Кратком очерке оросительного дела в России» (11, 1895) указывается, что впервые лиманное орошение было применено в бывшей Букеевской орде (Заволжье). В результате этого «глинистая малопродуктивная почва через несколько лет, на пространстве до 2000 десятин, покрылась прекрасною луговой травой» (11, 1895).

В дальнейшем «Водной экспедицией» под руководством И. И. Жилинского было осуществлено строительство одно- и многоярусных лиманов. При этом лиманное орошение применялось «лишь в тех местах, где необходимо было создать улучшение солончаковой почвы или где, прежде всего, образовать или улучшить сенокосы...» (7, 1892). В «очерке» отмечено также, что солончаки под влиянием лиманного орошения опреснялись и в течение нескольких лет покрывались луговой растительностью.

В исследованиях И. Н. Антипова-Каратаева (1, 1940), Н. Д. Беспалова (3, 1937), И. А. Королева (9, 1938) и других отмечается, что при длительном орошении солонцовых комплексов происходит по-

степенное опускание солонцового горизонта вниз и задернение поверхностного горизонта, в котором наблюдается увеличение переноса и образование прочной структуры. О благоприятном воздействии лиманного орошения на почвы и растительность пишут В. А. Соловьев и Н. И. Усов (15, 1938), А. Д. Фурсаев, А. Д. Щеголева и И. Б. Миловидова (17, 1956) и др.

Эти примеры показывают, что лиманное орошение вошло в практику земледелия как один из приемов преобразования почвы. То есть, значение лиманного орошения заключается не только в разрешении кормовой проблемы, но и в создании культурных плодородных почв. Это можно проследить на материале стационарных исследований по разработке режима затопления искусственных лиманов в различных зонах республики, в составную часть которых входило и выяснение влияния орошения на почвы и растительность.

Прежде всего следует отметить те важные теоретические положения, которые могут быть приняты в качестве основы повышения плодородия почвы при лиманном орошении в степной, полупустынной и пустынной природных зонах. Этому должен быть подчинен и режим затопления искусственных лиманов.

Как известно, В. Р. Вильямс в своих трудах по почвоведению уделил особое внимание поймам рек. Разбирая почвообразовательный процесс в условиях пойм, В. Р. Вильямс (5, 1949) указывает, что прохождение весенних полых вод в зависимости от облесенности водосбора и длительности прохождения паводка может привести в естественных условиях к образованию плодородной *зернистой поймы* или малопродуктивной *слистой поймы*. Первое соответствует условиям облесенности водосбора, когда половодье развивается медленно и продолжается долго, второе — при уменьшении облесенности водосбора (или при полном отсутствии леса), что приводит к стремительному и быстрому прохождению паводковых вод.

В прохождении половодья, по В. Р. Вильямсу, выделяются две фазы разлива реки.

В первую фазу в пойму поступают талые снеговые воды, которые смывают все мертвое органическое вещество и эскременты живого населения бассейна реки. Кроме того, они содержат огромное количество растворенных солей. Эти вещества долгое время находятся во взвешенном состоянии и не выпадают в осадок, так как все соли находятся в состоянии полной ионизации. Под влиянием весеннего циклона наступает *вторая фаза* разлива, когда «падает барометрическое давление и расширяющийся почвенный воздух выдавливает массу почвенной воды из нижних третей склона по всей линии коренных берегов и речных террас...» (4, 1949). В этот период под влиянием сложных биохимических процессов происходит коагуляция взвешенных веществ и осаждение их на поверхности поймы. После схода паводковой воды с поверхности

поймы отложившийся осадок высыхает и растрескивается на отдельные комочки диаметром 2—3 мм, что и создает *зернистую пойму*. Растительность подобной поймы состоит исключительно из корневищных злаков, и такие луга из года в год дают высокие урожаи и не заболачиваются. Причина последнего, по В. Р. Вильямсу, заключается в том, что в почве этих лугов всегда имеется обильное количество минеральных усвояемых форм зольной и азотной пищи растений, ежегодно возобновляемое разливом, и дерновый период почвообразовательного процесса в этих условиях не выходит из своей корневищной фазы. Все это происходит в условиях облесенности водосбора.

Другое положение — в условиях малой облесенности водосбора (или при полном отсутствии леса), что характерно и для рек степной, полупустынной и пустынной зон Казахстана. При этом прохождение паводковых вод носит бурный характер, и водный режим резко отличается от нормального режима зернистой поймы. «...Все частички глины, перегноя, мелко раздробленного органического вещества уносятся текущей водой...» (4, 1949). Осадок, откладываемый в этих условиях на поверхности поймы, не имеет ничего общего с осадком зернистой поймы. Осадок ложится плотным бесструктурным слоем, и создается слоистая пойма (по В. Р. Вильямсу).

Так протекает пойменный процесс и почвообразование в естественных условиях.

Однако в настоящее время ведущим фактором почвообразования и повышения плодородия почвы стала производственная деятельность человека. В комплексе факторов почвообразования огромная роль принадлежит *гидромелиорации*, что подчеркивали в своих гениальных трудах основоположники марксизма-ленинизма. «Мелиорация,— писал К. Маркс,— почти все сводится к тому, чтобы определенному участку земли, земле в определенном ограниченном месте придать такие свойства, которыми другая почва, в другом месте, зачастую совсем близко, обладает от природы» (13, 1949).

В последние годы, исходя из основных положений учения В. Р. Вильямса (4, 1949) о поймах и пойменных процессах, И. А. Шаров (18, 1950), В. Г. Шраг (19, 1953), Н. И. Титов (16, 1953) предлагают систему гидротехнических мероприятий, позволяющих управлять направлением и изменением скоростей движения потока в условиях пойм рек, то есть искусственно создавать пойменные процессы, близкие к условиям водного режима *зернистой поймы* (по В. Р. Вильямсу).

К системе гидротехнических мероприятий следует отнести и широко применяемые в различных районах Казахстана искусственные лиманы различных конструкций, сооружаемые в поймах степных и пустынных рек. Отсюда следует, что в основу повышения

плодородия почвы при лиманном орошении должно быть положено учение В. Р. Вильямса о пойменных процессах и зернистой пойме, что и составляет, на наш взгляд, теоретическую базу лиманного орошения.

Уместно здесь отметить, что для пойменных процессов, по В. И. Шрагу (19, 1953), принимаются следующие градации продолжительности стояния полых вод на пойме:

короткая — при продолжительности стояния воды до 7 дней;

средняя — со стоянием воды от 7 до 14 дней;

продолжительная — со стоянием воды от 14 до 30 дней;

очень продолжительная — со стоянием воды свыше 30 дней.

Как видно, средняя длительность прохождения пойменных процессов соответствует рекомендуемой нами оптимальной продолжительности затопления лиманов (8 — 1957, 6 — 1960, 14 — 1961).

В свете учения В. Р. Вильямса схема прохождения паводковых вод при лиманном орошении может быть представлена в следующем виде. При одноярусных и многоярусных лиманах паводковая вода выводится на пойму с помощью подпорной плотины. Затем вододерживающей дамбой или системой направляющих и вододерживающих дамб полые воды задерживаются на затопляемой площади. Наиболее совершенными в равномерном распределении воды по заливаемой площади и отвечающими более полному протеканию пойменных процессов являются многоярусные системы. Здесь продольные, и особенно поперечные валы, помимо равномерного распределения воды; регулируют движение воды по заливаемой площади и значительно уменьшают общую скорость потока. В этих условиях происходит отложение наилка, на удобрительную ценность которого указывал В. Р. Вильямс. За этот же период времени почвы лимана полностью увлажняются до глубины 150—200 см.

Рассмотренная схема прохождения паводковых вод при лиманном орошении показывает, что строительство искусственных лиманов способствует восстановлению пойменных процессов степных и пустынных рек. Подтверждением последнего является смена и развитие на лиманах по преимуществу корневищных злаков (пырея ползучего, лисохвоста лугового, костра безостого, бекмании и др.) вместо степной и пустынной растительности до строительства лиманов. Об этом же свидетельствуют и материалы исследования по лиману «Тамдыкуль» Уильского района Актюбинской области.

Изучение влияния лиманного орошения на почвы и процессы их формирования велось нами непосредственными наблюдениями за отдельными элементами (мутность, толщина наносов, водно-солевой режим почв) и методом сравнительной оценки участка до строительства лимана и после пятилетнего орошения паводковыми водами.

До строительства лимана почвенный покров территории был:

представлен типичными для полупустыни светло-каштановыми и бурыми почвами с различной степенью солонцеватости и засоления. Согласно почвенной съемке, произведенной почвоведом Т. М. Коршуновым в 1949 г. (10, 1950), на всем массиве было выделено 15 почвенных типов, видов и разновидностей — от слабозасоленных до солончаков и от слабосолонцеватых до столбчатых солонцов.

В результате применения лиманного орошения в течение пяти лет произошли существенные изменения в свойствах исходных почвенных комплексов. Большое влияние на формирование почвенного покрова оказали и оказывают весенние паводковые воды реки Уил, несущие в себе массу взвешенных частиц и воднорастворимых солей. Так, в средний по водности год (как 1954 г.) на один гектар орошения откладывается 150—200 кг взвешенных наносов, а в многоводные годы (как 1958 г.) количество взвешенных наносов составляет 250—300 кг и более.

Мощность наносного слоя определялась с помощью специальных пластинок, установленных на опытных створах (участках) и непосредственными замерами свежееотложившихся наносов. Это дало возможность приближенно судить о характере распределения наносов по площади и влиянию их толщины на произрастание растений лимана. Толщина наносного слоя изменялась от 2,5—3,0 мм в 150 м от русла реки до 1,5—2,0 мм — на удалении 400 м от русла. Такой слой наносов во всех случаях не задерживал развития растительности лимана.

Как показывают исследования, основным фактором, влияющим на процесс формирования почв искусственных лиманов, является режим затопления и связанная с этим смена полупустынной растительности луговою. Последняя, в свою очередь, существенно сказывается на процессах почвообразования. Это подтверждает известное положение академика В. Р. Вильямса о взаимосвязи между развитием почвы и растительной формацией (4, 1949). Кроме того, длительное соприкосновение больших масс воды с почвой оказывает непосредственное воздействие на физические свойства почвы. По этому поводу И. Н. Антипов — Каратаев (1, 1940) отмечает, что при орошении поливная вода не только растворяет простые соли, но и разлагает сложные алюмосиликаты и органические соединения.

На увеличение количества мелкодисперсных элементов и гидрофильных коллоидов при лиманном орошении указывают в своих работах А. Д. Фурсаев и другие (17, 1956). Повышенное содержание гидрофильных коллоидов объясняют «...влиянием луговой растительности, корневая система которой выделяет угольную и другие кислоты, что способствует более энергичному распаду минералов почвообразующей породы и приводит к возникновению коллоидов. С другой стороны, богатство почв органическими веществами и сильно развитая корневая система являются стимулом для

развития микрофлоры, обеспечивающей энергичное течение биохимических процессов, что, в свою очередь, вызывает распад минералов и накопление коллоидной фракции».

Под влиянием луговой растительности на лимане стал развиваться лугово-дерновый процесс почвообразования.

Благоприятный водно-воздушный режим почвы лимана способствует развитию мощной корневой системы, которая, разлагаясь в условиях высокой влажности при участии анаэробных и аэробных бактерий, ведет к обогащению почв гумусом. Этому особенно благоприятствует насыщенность почв лимана весной в течение продолжительного времени водой, при которой господствует анаэробный процесс, ведущий к накоплению гумуса в почве. Помимо этого, корни оказывают механическое воздействие на почву, разделяя ее массу на отдельные комочки.

По данным исследований Л. А. Манохиной, И. В. Ларина и З. С. Акимцевой (12, 1956), количество подземной массы пырейной и житняковой ассоциации на лиманах составляет от 300 до 500 ц/га, а пырейно-солодковой ассоциации — 732,3 ц/га.

В наших условиях подземная масса составляла: для полынно-пырейной ассоциации — 308—347 кг, пырейной — 410—735 кг, пырейно-вейниково-костровой и пырейно-лисохвостной — 560—668 кг в пересчете на гектар. Такое огромное количество корней, накапливающееся в почве, создает среду для микробиологической деятельности и является источником накопления гумуса в почве.

Происходящие биохимические процессы и накопление коллоидов в сочетании с механической деятельностью корневой системы способствуют формированию водопрочной комковатой структуры в почвах искусственных лиманов.

В результате происходящих в почве сложных процессов изменяется и морфологическое строение почвы. Вместо маломощных и бедных гумусом (0,6—1,0%) почв после пятилетнего регулярного лиманного орошения накапливается темно-окрашенный довольно мощный гумусовый горизонт с содержанием гумуса 1,5—2,0%. Структура из пылеватой и комковато-порошистой светло-каштановых и бурых почв со временем переходит в комковатую и комковато-зернистую. Это видно из приводимого ниже описания почвенных разрезов.

Разрез 1 (1950) до орошения был заложен на аллювиальной легко-суглинистой слабозасоленной почве, покрытой полынно-разнотравной ассоциацией (полынь белая, типец, месячник, ковыль и др.) с проективным покрытием до 40%.

Горизонт 0—17 см Комковато-порошистый, уплотнен, светло-серой окраски, пронизан корешками.

Горизонт 17—32 см. Комковатый, плотный, серо-бурой окраски.

Горизонт 32—121 см. Бесструктурный, уплотнен, сероватой окраски.

Горизонт 121—160 см. Комковато-пылеватый, уплотнен, серого цвета, вкрапления гипса.

В 1967 г. (после пяти лет орошения) недалеке были заложены разрезы.

Участок 1, створ 2. Растительный покров претерпел изменения и был представлен видовым составом: пырей ползучий, солодка, вербейник, душистый горошек. Проектное покрытие 100%. Почвы отнесены к луговым.

Горизонт 0—15 см. Комковато-зернистый темно-серой окраски, весь пронизан корнями.

Горизонт 15—69 см. Комковатый, слабоуплотненный, бурой окраски.

Горизонт 69—120 см. Песчаный, бесструктурный, бурого цвета. Единичные корешки.

Участок 3, створ 2. Растительный покров участка характеризовался пырейной ассоциацией с видовым составом: пырей ползучий, житняк, режа чий, люцерна желтая и др. Проектное покрытие 100%.

Горизонт 0—12 см. Ореховато-комковатый, серой окраски, весь пронизан корнями.

Горизонт 12—57 см. Мелкозернистый, серой окраски, пронизан корнями.

Горизонт 57—87 см. Комковатый, темно-коричневой окраски.

Горизонт 87—140 см. Слоистый, темной окраски, единично корешки.

Приведенные примеры показывают, что почва и растительность в результате лиманного орошения претерпели большие изменения.

Анализ механического состава показал, что почвы орошаемых участков лимана содержат значительно больше пылеватых и глинистых частиц по сравнению с почвами неорошаемых участков. Кроме того, в орошаемых почвах миграция илистой фракции с поверхности в нижние горизонты оказалась резче, чем на неорошаемых почвах. Такую же картину отмечал Н. Д. Беспалов (3, 1937), исследовавший участок лиманного орошения в междуречье Торгун — Водянка (Заволжье).

Об изменениях, происшедших в количестве и составе воднорастворимых солей в почве лимана «Тамдыкуль», можно судить из данных таблицы 1.

Как видно из таблицы 1, содержание HCO_3 и CO_3 в почве сильно уменьшилось. С другой стороны, наблюдается появление SO_4 (следует полагать гипса), так как полые воды богаты ионами кальция (табл. 2).

Накопление гипса в почве лимана характеризует процесс самомелиорации. Как видно из приведенного, этому способствовали благоприятные паводковые воды, содержащие наносы и минеральные вещества, наличие естественного дренажа (русла р. Уила и

Таблица 1

Изменение содержания солей в почве на лимане «Тамдыкуль» за период 1950—1957 гг.

Номер разреза	Глубина взятия образца, см	Содержание солей в % от веса почвы				
		сумма ионов	щелочность		SO ₄	CO ₃
			CO ₃	HCO ₃		
Шурф № 1 (1950 г. до орошения)	0—15	0,0884	нет	0,0760	0,0214	Следы
	20—30	0,0779	"	0,0613	0,0166	"
	60—70	0,0803	"	0,0637	0,0166	"
	140—150	0,2964	"	0,0907	0,0270	0,1787
Шурф № 18 (1950 г. до орошения)	0—15	0,1307	нет	0,1178	0,0129	Следы
	20—30	0,1188	"	0,0980	0,0208	"
	50—60	0,1153	"	0,0613	0,0540	"
	80—90	0,1277	"	0,0613	0,0664	"
	150—160	0,1522	"	0,0858	0,0664	"
Участок 3, экологического створа 2 (1957 г. после 5 лет орошения)	0—15	0,1250	нет	0,0420	0,0070	0,0750
	25—35	0,1420	"	0,0410	0,0050	0,0950
	55—75	0,4970	"	0,0350	0,2340	0,2280
	135—150	1,0030	"	0,0250	0,1800	0,7980
Участок 4, экологического створа 2, (1957 г. после 5 лет орошения)	0—15	0,1670	нет	0,0630	0,0090	0,0950
	25—45	0,2330	"	0,0790	0,0400	0,1140
	60—70	нет данных	"		Нет данных	
	90—100	0,2850	"	0,0180	0,0770	0,1900
	130—150	0,4870	"	0,3350	0,0190	0,1330

Примечание. Образцы почв взяты с одной и той же секции лимана в 1950 и 1957 г. В 1950 г. анализы проведены лабораторией отдела агрохимии Карагандинской сельскохозяйственной опытной станции, в 1957 г. — лабораторией «Казгипросовхозводстроя».

притоков Аще-Уил и Кур-Уил) и, наконец, пышно развивающаяся луговая растительность.

Таким образом, при благоприятном водном режиме растительность и почвенные микроорганизмы за относительно короткий

Таблица 2

Химический состав растворенных веществ в поверхностно-склоновых водах р. Уил

Место взятия пробы	Дата	Сумма ионов, мг/л	Содержание солей, мг/л						Общая жесткость, мг/л
			HCO ₃	SO ₄	Cl'	Ca	Mg	Na+K'	
Утльская стоковая станция (Актюбинская область)	6/IV-54	84,5	43,3	16,9	1,4	12,6	1,3	9,0	0,74
	9/IV-54	59,6	36,0	7,7	0,7	12,6	1,1	1,5	0,71
	14/IV-54	46,4	29,3	5,3	0,4	8,8	1,3	1,3	0,55

(4—5 лет) срок создали высокоплодородные почвы. Это подтверждают высказывания И. Н. Антипова-Каратаева о том, что «...деградация черноземных почв происходит не под влиянием избыточной влажности, а наоборот, вследствие постоянного иссушения страны, и поэтому увеличение влажности южных черноземов, каштановых, бурх почв должно приводить к смене растительности сухой степи растительностью лугового, то есть к продолжению дернового периода почвообразования...» (2, 1955).

ВЫВОДЫ

1. В основу повышения плодородия почвы при лиманном орошении должно быть положено учение академика В. Р. Вильямса о пойменных процессах и зернистой пойме, являющейся теоретической базой лиманного орошения.

2. Строительство искусственных лиманов в условиях полупустынной и пустынной зон позволяет восстанавливать пойменные процессы и создавать плодородные почвы. При этом рекомендуемая продолжительность затопления лиманов обеспечивает прохождение пойменных процессов. Отложение наносов, приносимых полую водой, обогащает почву органическими и минеральными веществами.

3. Лиманное орошение естественной растительности в условиях полупустыни приводит к продолжению дернового процесса и переходу светло-каштановых и бурых почв (при благоприятных условиях) в течение 4—5 лет к лугово-дерновым.

4. Развитие луговой растительности с мощной корневой системой способствует обогащению почвы органическим веществом и созданию водопрочной структуры почв.

5. Лиманное орошение в условиях хорошей дренированности способствует быстрому рассолению и процессу самомелиорации исходных почвенных комплексов.

6. Лиманное орошение наряду с решением кормовой проблемы может сыграть огромную роль в преобразовании (окультуривании) засоленных и солонцовых почв в различных почвенно-климатических зонах Казахстана. В этом направлении необходима постановка специальных комплексных исследований.

ЛИТЕРАТУРА

1. Антипов-Каратаев И. Н. О теории и практике мелиорации солонцовых почв в условиях орошения. Труды почвенного института АН СССР, т. 24, М.-Л., 1940.
2. Антипов-Каратаев И. Н. и Филиппова В. Н. Влияние длительного орошения на процессы почвообразования и плодородие почв степной полосы в Европейской части СССР. Издательство АН СССР, М., 1955.
3. Беспалов Н. Д. Влияние лиманного орошения на почвы междуречья Тор-гун-Водянка. Труды комиссии по ирригации, сб. 10, 1937.
4. Вильямс В. Р. Почвоведение. Земледелие об основании почвоведения, 1949.
5. Вильямс В. Р. Луговое хозяйство. Собрание соч., т. IV, 1949.

6. Горюнов Н. С., Сабиров М. С. и Ким Ф. Н. Режим затопления искусственных лиманов в Казахстане. Труды Казахского института водного хозяйства, т. II, Алма-Ата, 1960.
7. Жилинский И. И. Очерки работ экспедиции по орошению на Юге России и Кавказа. СПб., 1892.
8. Ким Ф. Н. Режим затопления пойменных лиманов в полупустынной зоне Западного Казахстана. «Сельское хозяйство Казахстана», 1957, № 12.
9. Королев И. А. Исследование фитомелиорации солонцов при многолетнем лиманном орошении на Тингутинском орошаемом участке в 1936 г., сб. трудов Юж. НИИГиМ, вып. 2, 1933.
10. Коршунов Т. М. Почвенно-мелиоративный и гидрогеологический очерк по ур. Тамдыкуль Актюбинской области. Рукопись, 1950.
11. Краткий очерк оросительного дела в России. Отдел земельных улучшений мин. земледелия и государственных-имуществ, СПб., 1895.
12. Манохина Л. А., Ларин И. В. и Акимцева Э. С. Влияние лиманного орошения на луговую, пустынную и степную растительность лимана Утиног. В сб.: «Природа и кормовые особенности растительности лиманов Волго-Уральского междуречья». Изд-во АН СССР, М.-Л., 1956.
13. Маркс К. Капитал, т. 3, Госполитиздат, 1949.
14. Рекомендации и предложения по режиму затопления пойменных лиманов в Казахстане (разработ. КазНИИВХ), Алма-Ата, 1961.
15. Соловьев В. А. и Усов Н. И. Водный режим, растительность и почвы бассейна лиманов Пришиб-Могута. Ученые записки Саратовского Гос. ун-та, т. I (XIV), сер. геол.-почв., вып. 2, 1938.
16. Титов Н. М. К проблеме повышения плодородия пойменных земель. Гидротехника и мелиорация, 1953, № 7.
17. Фурсаев А. Д., Щеголева А. Д. и Миловидова И. Б. Искусственные лиманы Заволжья, их почвы и растительность. В сб.: «Природа и кормовые особенности растительности лиманов Волго-Уральского междуречья». Издательство АН СССР, М.-Л., 1956.
18. Шаров И. А. Новые методы коренного улучшения кормовых угодий. Гидротехника и мелиорация, 1950, № 12.
19. Шраг В. И. К вопросу об обваловании пойменных земель. Почвоведение, 1953, № 8.

**ПРИМЕНЕНИЕ ПЬЕЗОМЕТРОВ ПРИ МЕЛИОРАТИВНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЯХ**

М. БАЖЕНОВ, кандидат технических наук

УДК 626. 87:631. 411. 6

В засушливой зоне СССР неотложными проблемами являются почвенно-мелиоративное и гидрогеологическое районирование, разработка эффективных приемов по борьбе с засолением земель, выявление обоснованных методов проектирования дренажа и др. Теоретические решения указанных вопросов должны быть проверены в натуральных условиях с помощью специально поставленных экспериментов. Эффективность экспериментального метода в значительной степени зависит от оснащения опытных работ специальной аппаратурой и средствами наблюдений.

В последнее время при мелиоративных исследованиях как у нас, так и за рубежом все большее распространение получают пьезометры. Применение их в полевых условиях позволяет решить целый ряд вопросов, как-то: определить воднофизические свойства почвогрунтов, установить режим грунтовых вод, выявить механизм движения воды к дренажным сооружениям. Кроме того, при помощи пьезометров можно определить примерную величину испарения с поверхности почвы и инфильтрационное питание грунтовых вод при промывках.

Пьезометр — это приспособление, фиксирующее давление воды в определенной точке открытого или грунтового потока. Давление измеряется высотой столба воды. Конструкции пьезометров, применяемых при мелиоративных исследованиях, различны, они зависят от целей исследований и особенностей изучаемого объекта.

Наиболее широко распространен пьезометр, представляющий собой металлическую трубу с глухим дном, перфорированную в нижней части на длине 0,1—0,5 м для поступления грунтовой воды. Пористость перфорированной части должна составлять 5—6%. Между дном и нижним рядом отверстий трубу оставляют целой для оседания здесь взвешенных наносов и посторонних тел. Верхний

конец трубы возвышается над поверхностью земли на 0,7—0,8 м и оборудуется съемным защитным колпаком. На нем можно монтировать уровнемер. Диаметры труб для пьезометров могут принимать самые разнообразные: от 0,5 до 3 дюймов и выше.

На основании наших исследований, проведенных на орошаемых землях Казахстана в Голодной степи, можно предложить следующую методику установки и применения пьезометров при мелиоративных исследованиях. Пьезометры малого диаметра (0,5—1,0 дюйма) могут быть установлены ручным способом [1, 2, 3], большого — механическим бурением. При ручном способе пьезометр забивают на нужную глубину или осуществляют проходку скважины с помощью воды, подаваемой в трубу под давлением для размыва грунта в забое. Первым способом нами были установлены пьезометры на землях Каратальской оросительной системы до глубины 7—9 м, на опорном пункте КазНИИВХ — 8—12 м и на землях совхоза «Славянский» Пахта-Аральского района — 20—24 м. Глубина установки пьезометров зависит от механического состава грунта. На тяжелых грунтах погружение пьезометров достигается на большую глубину, на легких — на меньшую.

При механической проходке скважин пьезометры можно устанавливать на любую глубину. Для бурения применяют станки типа УГБ-50 и УРБ-300. В пробуренную скважину опускается пьезометр, оборудованный фильтром. На землях Голодной степи с помощью бурового агрегата УГБ-50 было установлено 217 пьезометров с максимальной глубиной погружения 22 м. Все пьезометры работали нормально. При применении станка УРБ-300 пьезометры могут устанавливаться до глубины 150—200 м, что необходимо для исследования работы вертикального дренажа.

При решении ряда конкретных задач требуется определить величины давления на разных глубинах фильтрационного потока. Для этого в одном месте устанавливают группу пьезометров, каждый из которых заглублен в определенный горизонт грунтовых вод. Система таких скважин образует «куст» пьезометров. Число пьезометров в «кусте» назначается в зависимости от конкретной задачи. В Голодной степи для исследования действия дренажа было установлено в каждом кусте по 7 пьезометров на глубину от 1,5 до 20 м от поверхности земли. Такое расположение пьезометров позволило получить необходимые сведения о фильтрационных свойствах пород, связи режимов грунтовых и подземных вод, процесса засоления почв при промывках, параметрах работы закрытого дренажа.

Число и расположение кустов пьезометров обуславливается целевым назначением их и необходимой детальностью исследований. Для определения коэффициентов фильтрации грунтов пьезометры располагаются с учетом их литологического строения: фильтры их заглубляются в разные по водопроницающим свойствам пласты. Та-

кое размещение пьезометров позволяет охарактеризовать водопроницаемость как отдельных пластов, так и средний коэффициент фильтрации нескольких пластов.

Техника определения коэффициентов фильтрации заключается в следующем: в один из пьезометров, фильтр которого заглублен под уровень грунтовых вод, заливают воду (постоянным расходом) до установления постоянных уровней во всех пьезометрах. До и после налива определяется плотность воды в пьезометрах для введения поправок к уровням. Плотность воды γ измеряется непосредственно ареометром или вычисляется по минерализации воды C по зависимости:

$$\gamma = 1 + 0,00078 C,$$

где C — минерализация воды, г/л.

Для обеспечения контроля налив осуществляется разными расходами в один пьезометр или постоянным расходом в разные пьезометры куста. В результате опыта получают величины изменений уровней воды в пьезометрах, которые необходимы для вычислений коэффициента фильтрации. Расчет водопроницаемости производят по формулам В. Д. Бабушкина [4], упрощенным С. Ф. Аверьяновым.

Коэффициент фильтрации в районе фильтра пьезометра при условиях

$$\frac{c}{r_0} \gg 5; \quad \frac{l}{r_0} \gg 5; \quad c > l$$

будет равен

$$k = \frac{Q}{4\pi l S_0} \ln \frac{2l}{r_0} \left(1 + \frac{l}{2c} \right).$$

В слое от верхнего пьезометра (в который производится налив) до поверхности грунтовых вод

$$k = \frac{Q}{2\pi l S_n} \ln \frac{c+l}{c}.$$

В слое от верхнего пьезометра до соседнего

$$k = \frac{Q}{2\pi S_n} \cdot \frac{c_2 + c + l}{(c_2 + 2c + 1,5l)(c_2 + 0,5l)},$$

где $S_n = S_0 - S_2$ — потери напора на длине c_2 на пути между низом фильтра верхнего пьезометра и верхом фильтра нижнего пьезометра;

r_0 — радиус скважины;

Q — расход налива;

S_0 — изменение уровня воды 1 пьезометра, в который производится налив;

l — длина фильтра пьезометра;

C — расстояние от уровня воды до верха фильтра верхнего пьезометра.

Для производства режимных наблюдений за грунтовыми и подземными водами число пьезометров в кусте назначается с учетом

хозяйственного использования земель: на целинных и залежных землях — 2—3 пьезометра, на орошаемых — 4—5, на участках промывок — 7—8. Такое количество пьезометров позволяет при минимальном числе скважин получить максимум сведений о грунтовом потоке. Расположение кустов пьезометров для режимных наблюдений определяется необходимой точностью наблюдений и изменчивостью обстановки, главным образом режима водопользования.

В результате наблюдений за уровнем и минерализацией воды в пьезометрах получают величины колебаний этих показателей

во времени в зависимости от инфильтрации с поверхности земли и других факторов.

Сравнением режима вододачи и изменения давлений воды в пьезометрах получают сведения о связи поверхностных и грунтовых вод различных слоев потока.

Большой интерес представляет связь подземных вод, имеющих естественную напорность, и верхних слоев грунтовых вод. Известно, что наличие напорности в основном водоносном пласте, залегающем даже на большой глубине (50—100 м), существенно снижает эффективность глубокого горизонтального дренажа [5].

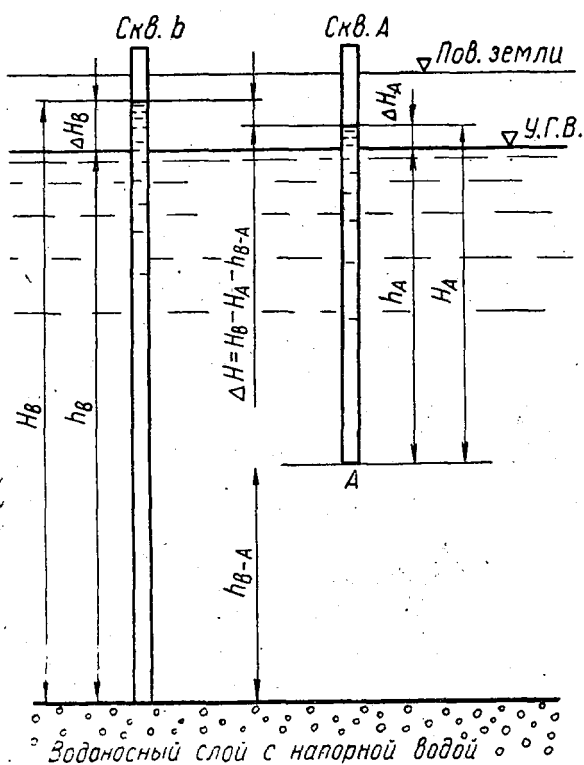


Рис. 1. Схема к расчету вертикального водообмена между разными слоями грунтовых вод.

Для определения этой связи фильтр глубокого пьезометра (скважина «б») должен достигать водоносного слоя (рис. 1). Остальные пьезометры могут располагаться в верхних слоях грунтовых вод. Величина вертикального водообмена, определяющего собой мелиоративный процесс, может быть охарактеризована следующим образом:

$$q = kI \text{ (м/сут)},$$

где $I = \frac{\Delta H}{h_{B-A}}$ — градиент напора;

ΔH — потери напора на пути h_{B-A}

Учитывая неоднородность грунтов по водопроницаемости, представляется рациональным для анализа режима вертикального водообмена оперировать градиентами напора, которые будут зависеть только от ΔH . Колебания во времени градиентов напора отражают влияние на них орошения, промывок, действия дренажа. Связь режимов подземных и грунтовых вод устанавливается сравнением пьезометрических уровней подземных H_a и глубиной залегания грунтовых вод «УГВ» [6].

Издавна применяют пьезометры [1] для изучения механизма притока воды к горизонтальным дренам. Для этого кусты их располагают в характерных точках депрессионной кривой: в середине междреннего расстояния, в непосредственной близости от дрены и в точке перегиба депрессионной кривой. Минимальное число кустов пьезометров равно трем. Увеличение числа их в значительной степени повышает точность наблюдений.

По отметкам уровней воды в пьезометрах строят гидродинамические сетки движения потока, которые полностью характеризуют работу дренажа при наличии сведений о коэффициентах фильтрации грунтов и величин инфильтрации с поверхности земли.

По двум пьезометрам, установленным на разные глубины, можно определить примерную величину инфильтрационного питания грунтовых вод или величину расхода их на испарение и транспирацию [7]. Для этого нужно знать фильтрационные свойства грунтов и их влажность в зоне аэрации, а также режим уровней грунтовых вод.

Имея конкретный объект исследований, можно произвести пьезометрическое оборудование его с таким расчетом, чтобы минимальным числом пьезометров получить максимум сведений. Например, по двум пьезометрам можно получить величину коэффициента фильтрации, суммарного испарения и режима грунтовых вод.

В Ы В О Д Ы

1. Пьезометры являются важным и универсальным средством наблюдений при мелиоративных исследованиях и эксплуатации оросительных систем.

2. С помощью пьезометров можно установить фильтрационные свойства грунтов, произвести режимные наблюдения за грунтовыми и подземными водами, выявить механизм притока воды к дренам, определить связь напорных подземных и грунтовых вод, а также

рассчитать величину суммарного испарения с поверхности почвы, что позволяет обоснованно и своевременно проектировать мелиоративные мероприятия.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Вавилов А. П.* Пьезометры для мелиоративных исследований. Бюлл. н-техн. инф. САНИИРИ, Ташкент, 1957, № 2.
2. *Гринев Э. И., Паренчик Р. И.* Опыт применения пьезометров при изучении притока грунтовых вод. «Вопросы гидротехники», вып. 9, изд. АН УзССР, Ташкент, 1962.
3. *Ваксман Э. Г.* Из опыта установки точечных пьезометров в Вахшской долине. Доклады АН Тадж. ССР, вып. 1 (12), 1963.
4. *Абрамов С. К., Бабушкин В. Д.* Методы расчета притока воды к буровым скважинам. М., 1955.
5. *Аверьянов С. Ф.* О расчете осушительного действия горизонтального дренажа в условиях напорного питания. МИИВХ «Научные записки», т. XXII, М., 1960.
6. *Ходжибаев Н. Н., Анарбаев С. А.* Взаимосвязь грунтовых вод с напорными в Голодной степи. В сб.: «Вопросы изучения и прогноза режима подземных вод», «Недра», М., 1964.
7. *Минкин Е. Л.* Способ приближенного определения питания грунтовых вод или их расхода на испарение и транспирацию в условиях орошения. В сб.: «Вопросы гидрогеологии и инженерной геологии», № 20, Госгеолтехиздат, М., 1962.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАСЧЕТНОГО РАСХОДА ОРОСИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ ПО ДЕФИЦИТУ ВОДОПОТРЕБЛЕНИЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР

Н. В. ДАНИЛЬЧЕНКО, кандидат технических наук,
А. П. ПОПЫКИН, инженер

УДК 631. 6 : 626. 2

В процессе проектирования и эксплуатации оросительных систем для определения расчетных и эксплуатационных расходов важно знать не только режимы орошения отдельных сельскохозяйственных культур, входящих в севооборот, но и режим орошения совокупности культур, составляющих севооборот, то есть динамику расходов воды, необходимой для полива данного участка в течение всего вегетационного периода. В настоящее время в ирригационной практике расчетные расходы оросительных систем определяются как произведение размера удельного потребления оросительной воды осредненным гектаром севооборотной площади, которое принято называть гидромодулем, на общую площадь севооборота:

$$Q_p = q \cdot F, \quad (1)$$

где q — ордината гидромодуля, л/сек на га;
 F — площадь севооборота, га.

Гидромодуль для каждого полива культур, размещенных на орошаемом участке, определяется по следующему уравнению:

$$q = \frac{\alpha m}{86,4t}, \quad (2)$$

где q — величина гидромодуля при круглосуточном поливе, л/сек на га;

m — поливная норма, м³/га;

t — продолжительность полива в сутках;

α — доля площади, занятой данной культурой в севообороте.

Осредненное удельное потребление воды совокупностью культур определяется суммированием ординат гидромодуля одновременно поливаемых культур. Суммирование, по предложению А. Н. Костя-

кова, обычно производится графически, построением гидромодульного графика, на котором по оси абсцисс откладываются календарные сроки поливов, а по оси ординат — соответствующие размеры гидромодуля отдельных культур. Гидромодульные графики строятся на основе таблиц режимов орошения отдельных культур.

Обычно при исчислении значений гидромодуля продолжительность полива культур назначается весьма субъективно, в связи с чем для построенных гидромодульных графиков характерны, как правило, резкие колебания ординат (пики, провалы). Если подачу воды на участок осуществлять в соответствии с таким графиком, то организация и проведение поливов, использование поливной и сельскохозяйственной техники, эксплуатация оросительной сети и сооружений на ней будут усложнены.

С целью выравнивания режима подачи воды на орошаемый участок производится укомплектование гидромодульных графиков с таким расчетом, чтобы коэффициент неравномерности удельной водоподдачи во времени был минимальным. Выравнивание ординат гидромодульного графика производится, как правило, смещением времени поливов, то есть сроков и продолжительности полива. Субъективизм в назначении допустимых пределов смещения сроков полива редко позволяет добиться укомплектования графика без резкого нарушения заданного режима орошения. Существенные трудности возникают при укомплектовании гидромодульного графика с учетом водоносности источников, техники орошения, плана сельскохозяйственных работ и т. д.

На рисунке 1 приведены неуккомплектованный и укомплектованный графики гидромодуля для свекловичного севооборота, построенного по А. Н. Костякову.

Практическое назначение укомплектованного графика гидромодуля состоит главным образом в установлении максимальной ординаты гидромодуля и определении расчетного расхода воды для орошаемого севооборотного участка, на основании которого рассчитываются параметры каналов и сооружений на оросительной сети.

Между тем, основываясь на биоклиматическом методе установления режимов орошения сельскохозяйственных культур, совсем не обязательно заниматься сложным и трудоемким построением гидромодульных графиков.

Расчетный расход воды можно определять по ординатам кривых дефицита водопотребления севооборотных культур, которые количественно отображают разницу между тем гидрологическим режимом территории, который должен быть создан здесь для обеспечения оптимальных потребностей культур и тем гидрологическим режимом, который фактически имеет место на этой территории под воздействием сформировавшихся природных условий.

Практическая сущность предложения заключается в следующем. По уравнению водного баланса для слоя активного влаго-

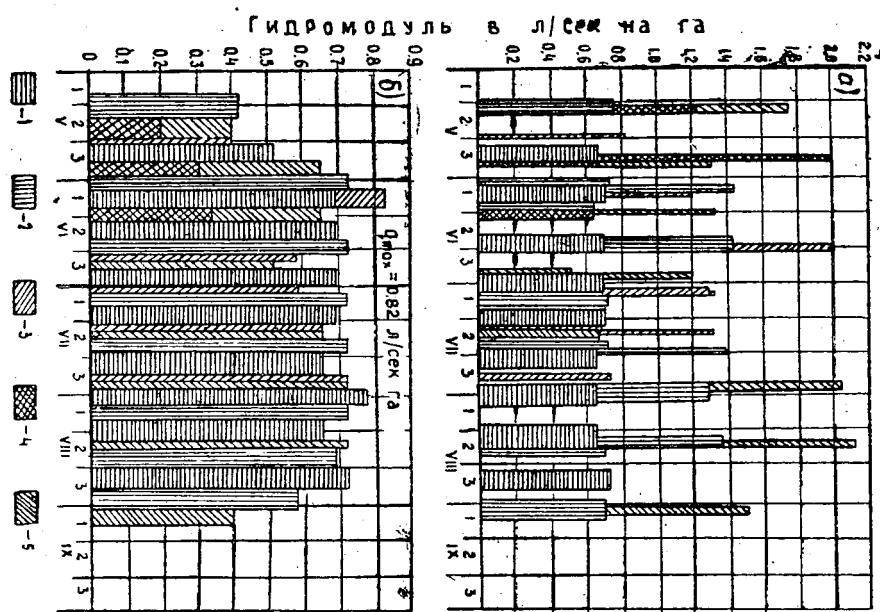


Рис. 1. Графики гидромодуля свекловичного севооборота для пустынно-степной зоны Джамбулской области: а — неукomплектованный; б — укomплектованный. 1 — сахарная свекла, 2 — люцерна, 3 — кукуруза, 4 — озимая пшеница, 5 — озимая пшеница + люцерна.

обмена на сельскохозяйственном поле определяются дефициты водопотребления орошаемых культур (декадные, месячные и вегетационные) как разница между оптимальной потребностью растений в воде и естественной увлажненностью территории:

$$\Delta IV = EV - (P_0 + W_{II} + \Gamma), \quad (3)$$

- где ΔIV — дефицит водопотребления за расчетный период;
- EV — суммарное водопотребление или оптимальная потребность культуры в воде за тот же период;
- P_0 — расчетное количество атмосферных осадков;
- W_{II} — продуктивные влагозапасы в расчетном слое почвы;
- Γ — капиллярно используемые грунтовые воды.

Количество используемых грунтовых вод за рассматриваемый период, размеры продуктивных влагозапасов и атмосферные осадки устанавливаются по опытным данным, сведениям агрометеорологических станций или же по справочно-литературным данным.

Суммарное водопотребление культуры определяется по выражению:

$$EV = E \cdot K_6 \cdot K_0 \text{ м}^3/\text{га}, \quad (4)$$

где EV — испаряемость или потенциально возможное испарение в данных климатических условиях, мерой которого часто принимается испарение с водной поверхности. Определяется по эмпирическим формулам, например по формуле Н. Н. Иванова;

K_6 — биологический коэффициент, учитывающий особенности влияния культур на режим водопотребления, изменяющийся по видам растений от 0,8 до 1,0 за вегетацию и от 0,5 до 1,2 по периодам вегетации;

K_o — микроклиматический коэффициент, учитывающий изменение термического режима территорий под влиянием орошения, меняющийся в пределах 0,75—1,0.

По размерам дефицитов водопотребления отдельных культур за расчетные периоды определяются их средние суточные величины, строятся кривые суточных дефицитов водопотребления, которые объективно отражают динамику потребности этих культур в поливной воде.

Зная размеры среднесуточных дефицитов водопотребления культур, т. е. их суточную потребность в оросительной воде, можно установить удельную потребность (удельный расход) по уравнению:

$$q = \frac{\Delta IV}{86,4}, \quad (5)$$

где q — удельная потребность культуры в оросительной воде, л/сек на га;

ΔIV — дефицит суточного водопотребления, м³/га.

В качестве примера на рисунке 2 приводятся кривые дефицитов водопотребления культур свекловичного севооборота для условий пустынно-степной зоны Джамбулской области, полученные расчетным путем по биоклиматическому методу.

Удельная потребность в оросительной воде всего севооборотного участка в каждый момент времени может быть определена суммированием суточных дефицитов водопотребления отдельных культур с учетом их долевого участия в севообороте:

$$q_{\text{ср}} = \frac{\alpha_1 \Delta IV_1 + \alpha_2 \Delta IV_2 + \dots + \alpha_n \Delta IV_n}{86,4}, \quad (6)$$

где $\Delta IV_1, \Delta IV_n \dots$ — суточные дефициты водопотребления отдельных культур, м³/га;

$\alpha_1, \alpha_2 \dots \alpha_n$ — доли участия культур в севообороте.

Зная суточные дефициты водопотребления отдельных культур севооборота и динамику их изменения на протяжении оросительного периода, можно построить осредненную кривую для совокупности культур, вычисляя ее параметры по уравнению:

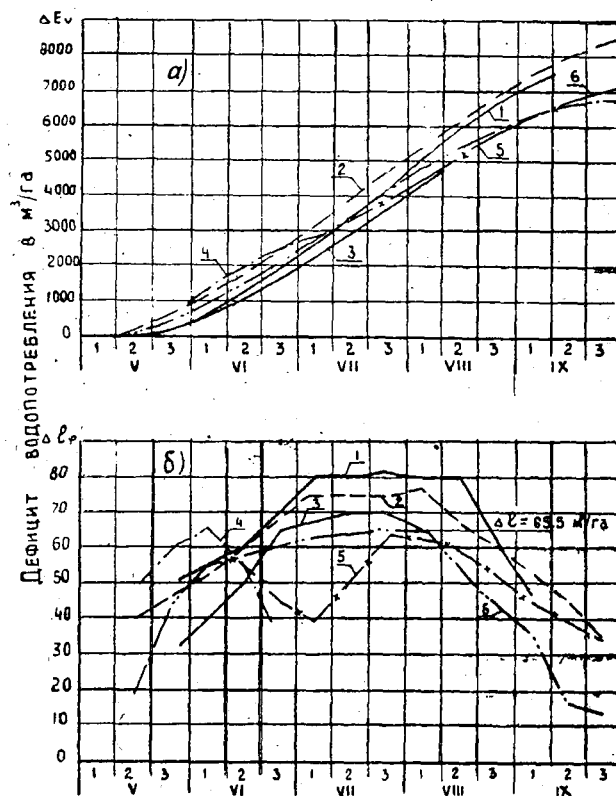


Рис. 2. Кривые дефицита водопотребления культур свекловичного севооборота: а — интегральные, б — среднесуточные. 1 — сахарная свекла, 2 — люцерна, 3 — кукуруза, 4 — озимая пшеница + люцерна, 5 — люцерна, 6 — севооборот в целом.

$$\Delta IV_{\text{ср}} = \alpha_1 \Delta IV_1 + \alpha_2 \Delta IV_2 + \dots + \alpha_n \Delta IV_n \quad (7)$$

где $\Delta IV_1, \dots, \Delta IV_n$ — средние суточные дефициты водопотребления севооборотных культур в отдельные периоды;

$\Delta IV_{\text{ср}}$ — средние суточные дефициты водопотребления совокупности культур в севообороте.

Очевидно, что кривая (рис. 2), построенная по уравнению (7), является объективным отражением динамики потребности в оросительной воде совокупности культур, занимающих данный севооборотный участок, а ординаты кривой по своей сущности представляют разность между оптимальным суммарным водопотреблением культур и естественной влагообеспеченностью территории, которая должна быть покрыта за счет орошения.

Для того, чтобы определить расчетную величину удельной потребности севооборота в оросительной воде, нужно на этой кривой найти максимальное значение суточного дефицита водопотребления и разделить его на переводной коэффициент:

$$q_p = \frac{\Delta V_{max}}{86,4}, \quad (8)$$

где q_p — расчетная удельная потребность севооборота в оросительной воде, л/сек на га;

ΔV_{max} — максимальный суточный дефицит водопотребления севооборота, м³/га.

Расчетный расход нетто для севооборотного участка определится умножением максимальной удельной потребности в оросительной воде на площадь участка:

$$Q_p = q_p \cdot F = \frac{\Delta V_{max} \cdot F}{86,4}, \quad (9)$$

где F — площадь участка, га;

Q_p — расчетный расход, л/сек.

Очевидно, что расход воды, необходимый для полива какой-либо севооборотной культуры в каждый момент времени, определится по уравнению:

$$Q_i = \frac{\Delta V_i \omega_i}{86,4}, \quad (10)$$

где ΔV_i — размер суточного дефицита водопотребления культуры в данное время, м³/га;

ω_i — площадь, занятая данной культурой, га.

Размер суммарной водоподачи для орошения севооборотного массива в любой период времени, исходя из приведенного выше уравнения, может быть установлен суммированием расходов для отдельных культур:

$$Q_t = \frac{\Delta V_1 \omega_1}{86,4} + \frac{\Delta V_2 \omega_2}{86,4} + \dots + \frac{\Delta V_n \omega_n}{86,4}, \quad (11)$$

где $\Delta V_1, \dots, \Delta V_n$ — суточные дефициты водопотребления культур, м³/га;

$\omega_1, \dots, \omega_n$ — площади, занятые севооборотными культурами.

При проектировании оросительных систем дефициты водопотребления орошаемых культур должны определяться для различных по степени увлажненности лет применительно к принятому сельскохозяйственному и агротехническому фону.

При эксплуатации систем кривые дефицитов водопотребления отдельных севооборотных культур и севооборота в целом могут

быть использованы для разработки графиков поливов с учетом конкретных агротехнических и организационно-хозяйственных условий. Продолжительность полива культур при составлении таких графиков будет определяться величиной расчетного расхода и числом одновременно поливаемых культур. При поочередном поливе севооборотных культур продолжительность полива культуры будет равна:

$$t = \frac{m\alpha}{\Delta l v_{\text{ср}}}, \quad (12)$$

где m — поливная норма, $\text{м}^3/\text{га}$;
 α — доля участия культуры в севообороте;
 $\Delta l v_{\text{ср}}$ — средний суточный дефицит водопотребления севооборотных культур к моменту полива, $\text{м}^3/\text{га}$.

По продолжительности можно определить суточную площадь полива:

$$f = \frac{\alpha \cdot F}{t}, \quad (13)$$

где f — суточная площадь полива, га ;
 F — общая площадь севооборота, га ;
 t — продолжительность полива культуры в сутках.

Зная продолжительность полива культуры суммарным расходом воды, поступающим на севооборотный массив, размеры площадей полива в сутки и производительность применяемой поливной техники, можно установить участки одновременного полива и обработки и составить график подачи воды для орошения севооборотного массива, то есть разработать план поливов.

ВЫВОДЫ

1. Расчетные расходы оросительных систем и магистральных каналов, обслуживающих севооборотные массивы, можно определять, не прибегая к сложным и трудоемким расчетам поливных режимов сельскохозяйственных культур и построению гидромодульных графиков, широко применяемых в практике водохозяйственного проектирования.

2. Более просто расчетные расходы каналов и систем могут быть определены по размерам суточных или декадных дефицитов водопотребления сельскохозяйственных культур, которые объективно отображают потребность в орошении растений, так как представляют собой разницу между оптимальной водообеспеченностью культур и естественным режимом увлажненности территории.

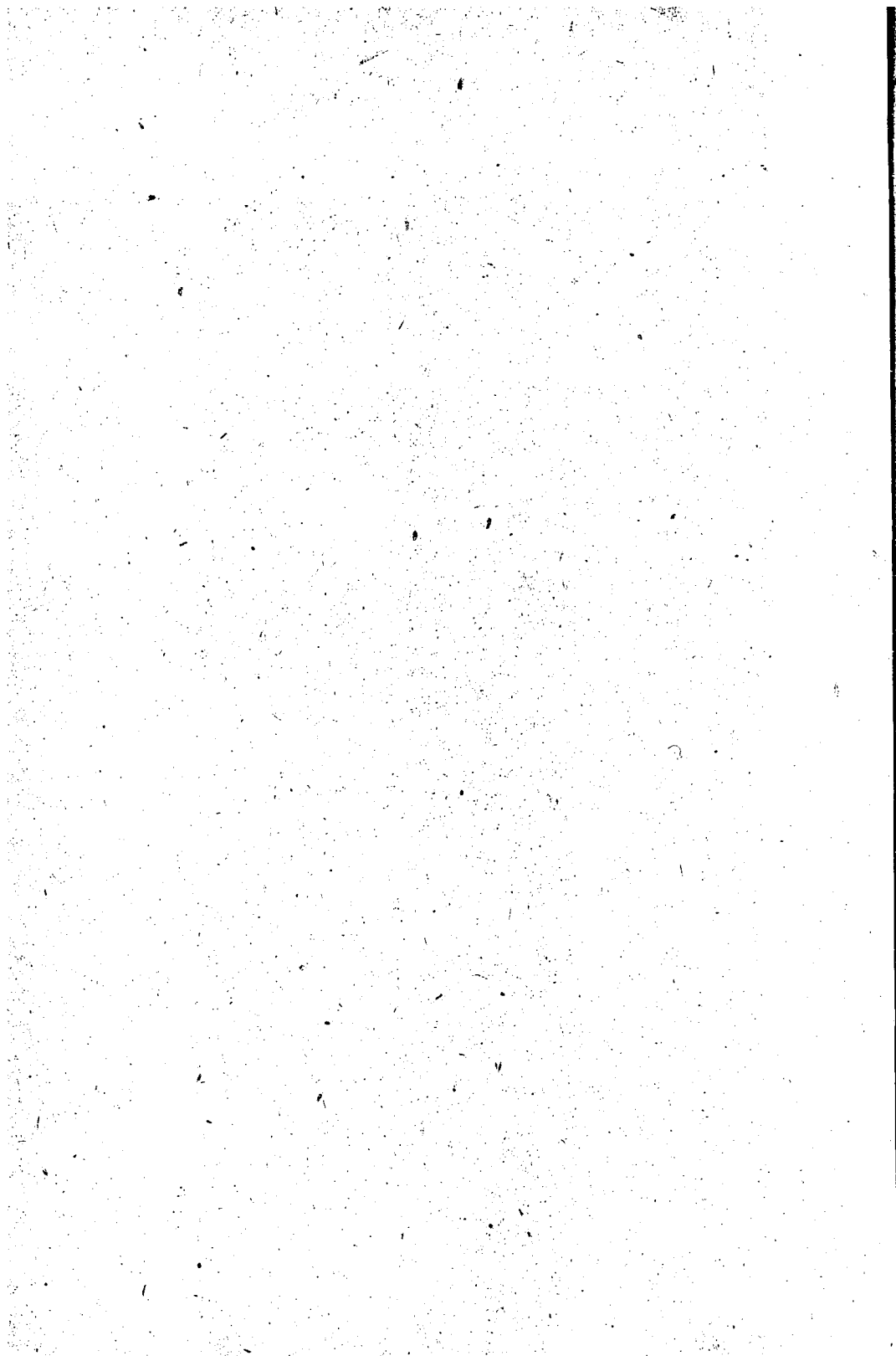
3. Для определения расчетных расходов оросительных систем и каналов достаточно построить осредненную кривую суточных

дефицитов водопотребления севооборотных культур и установить по ней максимальную ординату. Пересчитав максимальный суточный дефицит водопотребления из кубических метров на гектар в литры в секунду на гектар (удельный дефицит водопотребления) и умножив полученное число на площадь севооборота, получим расчетный расход нетто. Расчетный расход брутто устанавливается обычным путем.

4. На основе кривых суточных дефицитов водопотребления культур, входящих в севооборот, можно разрабатывать графики поливов, составлять в различные по увлажненности годы планы водораспределения по оросительным системам в процессе их эксплуатации.

5. Простота расчетов и графических построений при определении расходов по предлагаемому способу позволяют сравнительно быстро проверить множество вариантов для лет различной обеспеченности с разным составом культур в севообороте и найти наиболее оптимальное решение.

II. ОБВОДНЕНИЕ И
СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЕ
ВОДОСНАБЖЕНИЕ



ИССЛЕДОВАНИЕ НЕРАВНОМЕРНОСТИ ВОДОПОТРЕБЛЕНИЯ В СИСТЕМАХ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ

К. Ш. АШИРЯЕВ, инженер

УДК 628.18

Для рационального проектирования систем сельскохозяйственного водоснабжения необходимо знать основные параметры режима водопотребления: величины и распределение расходов воды как в отдельные сутки года, так и отдельные часы суток. Зная величины и распределение расходов воды, можно назначать оптимальный режим работы водопроводных сооружений и в соответствии с этим правильно определять их размеры. При расчете систем водоснабжения с автоматическими насосными установками необходимо учитывать также внутрисуточное распределение расходов воды.

Правильное определение указанных параметров сказывается, в конечном счете, на экономичности всей системы водоснабжения.

Определение величины расчетного расхода воды в системе водоснабжения производится по известной методике. Для этого необходимо знать расчетное число потребителей и нормы водопотребления, зависящие от вида потребителей и от условий разбора воды последними, а также суточную и часовую неравномерность водопотребления, определяемую коэффициентами неравномерности — суточным и часовым. Следует отметить, что применяемые в практике проектирования систем водоснабжения коэффициенты суточной и часовой неравномерности водопотребления совершенно не отражают характера колебаний водопотребления по суткам и часам. Это видно из следующего примера. Одно и то же среднее значение расхода и максимум можно получить в одном случае при большой амплитуде колебаний, когда создается неблагоприятный режим для работы водопроводных сооружений, в другом случае — при достаточно равномерном, ритмичном изменении расходов весьма близких к среднему значению и при наличии лишь одного-двух пиков максимума. Поэтому при проектировании новых и эксплуатации существующих систем водоснабжения, кроме коэффициентов

суточной и часовой неравномерности, необходимо знать характер колебаний суточных и часовых расходов воды.

Исследования режима водопотребления в ряде систем сельскохозяйственного водоснабжения юга Европейской части Союза и Украинской ССР говорят о значительном несоответствии расчетных и фактических параметров режима водопотребления.

С целью определения оптимальных параметров режима водопотребления, в частности характерных суточных и часовых расходов и соответствующих им коэффициентов суточной и часовой неравномерности водопотребления и факторов, влияющих на них, нами в КазНИИВХ с 1964 г. проводятся комплексные исследования на системах водоснабжения совхозов «Астраханский», «Красногвардейский», «Комсомольский» и «Берсуатский» Целиноградской области, «Ямышевский» Павлодарской области, «Ишимский» и «Октябрьский» Северо-Казахстанской области.

При выборе объектов для исследования режима водопотребления исходили из следующих предпосылок: поселки этих совхозов представляют распространенный для тех районов тип населенных пунктов с населением на центральных усадьбах 1000—2000 человек и в отделениях — 200—500 человек, преимущественно с одноэтажной застройкой; централизованный водопровод с водопользованием из уличных водоразборных колонок, не имеют канализации; внутренние вводы имеют только следующие потребители: столовые, бани, больницы, детсады, РТМ, животноводческие помещения; данные объекты не имеют других источников воды.

Наличие посторонних водоисточников затруднило бы учет воды и исказило действительную картину водопотребления.

Основное направление этих хозяйств зерновое; имеется развитый животноводческий сектор. Причем животные в теплый период года находятся на выпасах и пользуются водой из местных водоисточников, а в зимний период — на стойловом содержании с автопоением.

Исследования проводились по следующей методике: ежесуточная регистрация фактических расходов воды скоростными турбинными водомерами типа ВВ-50, ВВ-80 и ВВ-100; регистрация часовых расходов воды самопишущими приставками инженера Голицына; наблюдение за режимом работы водопроводных и водоразборных сооружений; учет погодных условий и изменения состава водопотребителей.

Данные метеорологических наблюдений (осадки, температура и влажность воздуха) брались с ближайшей к объекту исследования метеостанции.

Режим водопотребления в системе водоснабжения зависит от большого числа переменных факторов, многие из которых трудно учесть. Поэтому определение вероятных расчетных расходов — максимальных, средних, минимальных, принимаемых для расчета

систем водоснабжения, — производили методом математической статистики по кривым обеспеченности. Данный метод применяется при исследовании как суточной, так и часовой неравномерности водопотребления.

Известно, что отношение максимального суточного расхода к среднесуточному расходу за год есть коэффициент суточной неравномерности водопотребления

$$K_{\text{сут}} = \frac{Q_{\text{макс.сут}}}{Q_{\text{ср.сут}}}$$

Данный коэффициент правильнее будет назвать коэффициентом максимальной суточной неравномерности водопотребления — $K_{\text{макс.сут}}$, так как отношение любого другого суточного расхода, помимо максимального, к среднесуточному расходу за год также показывает неравномерность водопотребления:

$$K^i_{\text{сут}} = \frac{Q^i_{\text{сут}}}{Q_{\text{ср.сут}}}$$

Составив такие отношения для всех суточных расходов, мы получили целый ряд значений коэффициентов суточной неравномерности водопотребления от максимального $K_{\text{макс.сут}}$ до минимального $K_{\text{мин.сут}}$. Такие ряды были получены для каждого объекта по годам и затем по ним построены кривые обеспеченности коэффициентов суточной неравномерности водопотребления.

Коэффициент часовой неравномерности водопотребления определяется как отношение максимального часового расхода к среднечасовому расходу в сутки максимального водопотребления

$$k_{\text{час}} = \frac{q_{\text{макс.час}}}{q_{\text{ср.час}}}$$

Данный коэффициент будет правильнее назвать коэффициентом часовой неравномерности водопотребления в сутки максимального водопотребления — $k_{\text{макс.сут.час}}$. Аналогично определялись коэффициенты часовой неравномерности водопотребления за каждые календарные сутки по годам для всех объектов $k^i_{\text{сут.час}}$.

Анализ хронологических годовых графиков водопотребления показывает, что суточные расходы подвержены значительным колебаниям.

В годовом цикле водопотребления резко выделяются два сезона, которые можно условно назвать «летний» (примерно с 10—20 мая по 10—20 сентября) и «нелетний», включающий остальные сутки. Летний сезон характеризуется резким увеличением относительных колебаний и абсолютной величины суточных расходов воды, что объясняется изменением состава потребителей, вызываемым сезонностью сельскохозяйственного производства, увеличением фактических норм расходования воды в теплый период всеми потребителями, а также расходами воды на полив приусадебных участков.

Состав потребителей, степень благоустройства зданий, поселка, различные площади приусадебных участков и др. даже для одного объекта по годам несколько меняются и оказывают соответствующее влияние на режим водопотребления. Несмотря на это, кривые обеспеченности суточных расходов воды, построенные в относительных единицах, для отдельных групп объектов по годам на графике расположились рядом. Небольшой разброс точек кривых обеспеченности говорит о наличии закономерности распределения суточных расходов воды в годовом цикле, что позволяет построить для таких групп поселков обобщенные кривые обеспеченности суточных расходов воды.

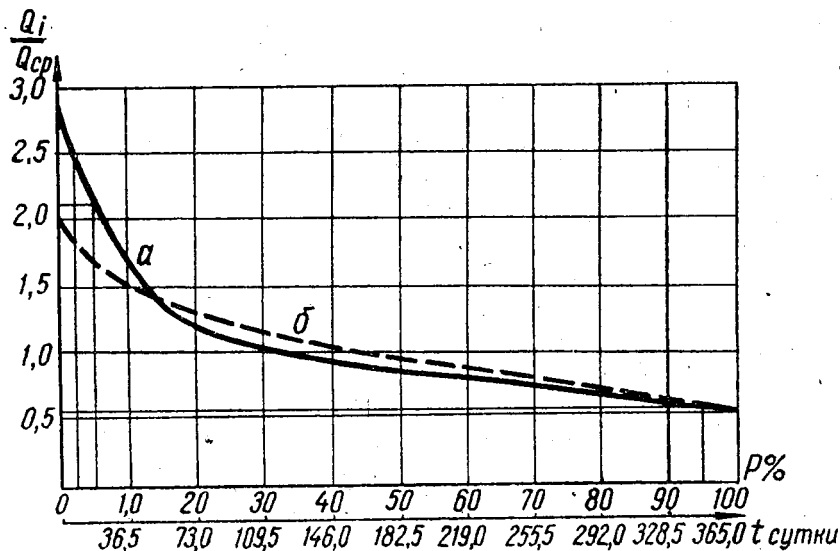


Рис. 1. Обобщенные кривые обеспеченности суточных расходов воды для сельских населенных пунктов:

а) при условии использования водопровода для хозяйственно-бытовых и производственных нужд и полива приусадебных участков; б) то же без полива.

Кривая (сплошная линия) на рисунке 1 показывает, что при увеличении обеспеченности до 10% значения суточных расходов воды уменьшаются почти в два раза. Затем, после достижения ими значений, равных единице, что соответствует среднесуточному расходу за год, уменьшение идет более плавно и при достижении 100% обеспеченности суточных расходов значение их равно 0,5, что, очевидно, соответствует практически минимальному водопотреблению в системе.

Данная кривая характеризует неравномерность распределения суточных расходов воды в населенных пунктах при условии использования водопровода для хозяйственно-питьевых нужд и полива приусадебных участков.

Использование водопровода для орошения приусадебных участков имеет немалый удельный вес в поселках засушливой зоны, где пруды и речки пересыхают. Несмотря на то, что большинство проектов не предусматривает расходы воды из водопровода на орошение приусадебных участков, в таких поселках поливы все равно производят, так как наличие приусадебных участков является неотъемлемой частью уклада жизни сельского жителя. Необходимо только упорядочить использование водопровода для этих целей: производить поливы в часы минимального водопотребления (обычно это вечерние и ночные часы) и установить оптимальные размеры участков.

Пунктирной линией на рисунке 1 показана обобщенная кривая обеспеченности суточных расходов воды для сельских населенных пунктов, использующих водопровод только для хозяйственно-питьевых и производственных целей. Она более пологая, чем кривая, учитывающая расходы воды на орошение приусадебных участков, что соответствует меньшей сезонной неравномерности водопотребления в системе.

Кривые обеспеченности показывают, что максимальный суточный расход по величине резко отличается от других суточных расходов и имеет весьма малый процент обеспеченности.

Расчет системы водоснабжения по существующей методике на максимальный суточный расход создает значительные резервы мощности сооружений и весьма низкую их технико-экономическую эффективность. В свою очередь, принятие низких расчетных значений коэффициента суточной неравномерности (а значит, и расчетного расхода) может быть причиной недодачи воды потребителю в сутки максимального водопотребления.

Таким образом, задача сводится к выбору оптимального коэффициента суточной неравномерности водопотребления по обобщенной кривой обеспеченности путем технико-экономического анализа, результатом которого должно быть определение оптимальных размеров сооружений системы водоснабжения.

Анализ графиков почасового распределения расходов воды показывает, что почасовой режим водопотребления сельских поселков характеризуется крайней неравномерностью. При этом имеются в виду не только большие значения коэффициента часовой неравномерности водопотребления, но и то, что максимальные расходы, или, как их называют, пики водопотребления, приходятся на разные часы суток. В летние месяцы пики водопотребления обычно приходятся на утренние (с 7 до 10 часов), дневные (с 14 до 16 часов) и вечерние (с 19 до 22 часов) часы суток. Вечерние пики, совпадающие с часами использования водопровода для поливов приусадебных участков, превышают утренние и дневные пики водопотребления.

В зимние месяцы пики водопотребления дневных часов превышают утренние и вечерние пики.

Большое число графиков почасового водопотребления, составленных для каждого поселка по годам, затрудняет составление обобщающего графика, что ставит под сомнение целесообразность применения такого графика в практике проектирования небольших водопроводов.

Следует отметить, что среди составленных по фактическим данным графиков почасового водопотребления нет сходных с типовым графиком ЮжНИИГиМ, составленным в 1933 г., который применяется до настоящего времени в практике проектирования сельских водопроводов.

Вычисление коэффициентов часовой неравномерности водопотребления позволило выявить, что численные значения их колеблются в широких пределах. Наиболее широкая амплитуда колебаний коэффициента часовой неравномерности, а следовательно, и наиболее неустановившийся характер почасового водопотребления наблюдаются при суточных расходах менее 50 м^3 , когда значения коэффициента часовой неравномерности изменяются от 2,0 до 6,0. При увеличении суточного объема водопотребления амплитуда колебаний и численные значения коэффициента часовой неравномерности уменьшаются, так как при суточных расходах $50\text{--}200 \text{ м}^3$ наблюдались значения от 1,7 до 3,0, при суточных расходах $200\text{--}500 \text{ м}^3$ — от 1,3 до 2,5. Таким образом, несмотря на то, что значения коэффициента часовой неравномерности изменяются в относительно широких пределах для различных суточных расходов, можно предположить, что между ними существует обратная зависимость. В настоящее время проводится работа по определению вида этой связи и определению оптимальных численных значений коэффициента часовой неравномерности.

В процесс исследования, помимо получения материала для выяснения характера распределения суточных и часовых расходов воды, а также определения оптимальных коэффициентов суточной и часовой неравномерности водопотребления, было обнаружено, что по абсолютной величине фактические расходы воды намного ниже проектных. Указанное обстоятельство, как показали предварительные исследования, является причиной отсутствия в практике проектирования сельских водопроводов достаточно обоснованной методики определения расчетных расходов.

Для рационального проектирования систем сельскохозяйственного водоснабжения наряду с определением оптимальных коэффициентов суточной и часовой неравномерности водопотребления необходимо разработать методику определения расчетных расходов воды.

**К ВОПРОСУ ОЧИСТКИ ШАХТНЫХ КОЛОДЦЕВ
ГИДРОМЕХАНИЧЕСКИМ СПОСОБОМ**

И. С. ЦОЙ, инженер,

А. И. ЖАНГАРИН, кандидат технических наук

УДК 628.112.1

Самым распространенным видом обводнительных сооружений на пастбищах Казахстана являются шахтные колодцы. Они играют важную роль в освоении новых пастбищ, в развитии общественного животноводства республики. Однако, как показали результаты обследования, в условиях пустынных пастбищ они за короткий срок эксплуатации выходят из строя. Причиной этого в основном является заиление водоприемной части колодца за счет выклинивания песчаных и илистых частиц как через фильтры, так и через всевозможные щели и раковины в креплениях ствола колодца. Заиление колодца мусором и частицами грунта происходит и через его оголовки.

В настоящее время из-за отсутствия надежных механизмов очистки колодцев в большинстве случаев производят вручную. Вследствие трудоемкости работы и невозможности соблюдения техники безопасности очистка зачастую не производится и колодец выходит из строя. Все это обязывает специалистов сельского хозяйства искать пути механизации очистки колодцев. Так, в совхозе «Кара-Кемир» Джамбулской области очистку шахтных колодцев производили машиной КШК, а в совхозах «Кзыл-Когам» Павлодарской области и «Каратальский» Алма-Атинской области — центробежным насосом, имеющим специальное приспособление для взмучивания донных иланосов. Безусловно, применение КШК, а также насосов облегчает ручной труд, но этим не решается проблема полной, экономически целесообразной механизации процесса очистки шахтных колодцев.

Инженером Подольской МИС Ю. М. Народным предложена передвижная установка для забора воды из шахтных колодцев и их очистки, в состав которой входят водоструйный аппарат, размывающая насадка и бак-отстойник емкостью более 4 м³. Основным

недостатком этой установки является громоздкость и трудность транспортирования, а также невозможность очистки шахтных колодцев от мусора.

Нами предлагается гидромеханический способ очистки шахтных колодцев, основанный на применении гидроэлеватора, размывающей насадки, гидроциклона, грейфера и бака с водой емкостью до 1 м³.

Очистку колодцев по предлагаемому способу производят следующим образом:

1) грейфером очищают колодец от мусора;

2) струей воды, вытекающей из размывающей насадки, размываются донные наносы и образовывается пульпа, которая откачивается гидроэлеватором и подается в гидроциклон;

3) гидроциклон разделяет пульпу на грунт, сбрасываемый в отвал по песковому отверстию, и воду, используемую вновь для работы установки;

4) после полной очистки колодца откачивают оставшуюся в нем взмученную воду.

Для проведения лабораторных исследований была изготовлена экспериментальная установка, схема которой (без грейфера) показана на рисунке 1.

Принцип работы установки заключается в следующем: насос 1 подает воду из бака 2 в напорную трубу 5, из которой незначительная часть воды через размывочную насадку 6 идет на размыв грунта и образование пульпы, а большая часть — в водоструйный аппарат 4 для всасывания пульпы из колодца 11 и транспортировки ее до гидроциклона 8. В гидроциклоне пульпа разделяется на сгущенную массу, сбрасываемую через песковое отверстие в отвал, и осветленную воду, которая через слив поступает обратно в бак 2.

Водоструйный аппарат и гидроциклон с диаметром цилиндрической части 200 мм были рассчитаны для работы с центробежным насосом 2К-6. Подъем и спуск рабочего органа с системой труб осуществлялись ручной лебедкой.

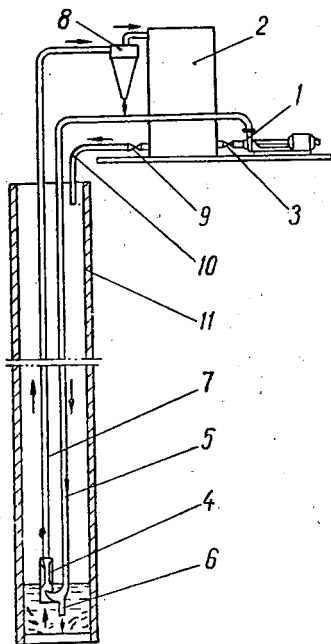


Рис. 1. Схема установки для очистки шахтных колодцев гидромеханическим способом: 1 — насос, 2 — бак, 3 и 9 — вентили, 4 — водоструйный аппарат, 5 — напорная труба, 6 — размывающая насадка, 7 — пульповод, 8 — гидроциклон, 10 — шланг, 11 — колодец.

Установка была построена из расчета поднятия пульпы на высоту 10,5 м.

Опыты проводились с наносами, доставленными из шахтных колодцев в песках Муюнкумы (табл. 1).

Таблица 1

Гранулометрический состав наносов

Размеры фракции, мм	1—0,25	0,25—0,05	0,05—0,01	0,01—0,005	0,005 и менее
Содержание фракции, %	9,17—9,41	78,55—82,51	1,76—5,12	0,24—1,80	4,40—6,68

Эти наносы легко размывались струей воды, вытекающей из размывающей насадки диаметром 4,2 мм со скоростью 14 ÷ 20 м/сек. При этом образовалась пульпа с удельным весом в среднем 1,53 т/м³, которая и забиралась водоструйным аппаратом.

Результаты лабораторных исследований, проведенных при режиме работы гидроциклона, когда над песковым отверстием создается песчаный слой с целью получения максимально сгущенной массы, приведены в таблице 2.

Таблица 2

Показатели работы гидроциклона при режиме с созданием песчаного слоя над песковым отверстием

№ опыта	Расход грунта, м ³ /час			Расход пульпы, м ³ /час			Консистенция пульпы, г/л		
	пульпо- вод	слив гидро- циклона	песковое отверстие гидроци- клона	пульпо- вод	слив гидро- циклона	песковое отверстие гидроци- клона	пульпо- вод	слив гидро- циклона	песковое отверстие гидроци- клона
1	0,58	0,08	0,50	14,37	13,79	0,58	69	10	1470
2	0,61	0,07	0,54	12,66	11,83	0,83	82	10	1110
3	0,76	0,08	0,68	14,94	14,22	0,72	86	9	1610
4	0,84	0,08	0,76	14,44	13,61	0,83	99	10	1560
5	0,97	0,07	0,90	13,44	12,43	1,01	122	10	1520

В этом случае производительность гидроциклона (установки) составляла 0,5 ÷ 0,9 м³ грунта в час или 0,7 ÷ 1,0 м³ пульпы в час с консистенцией 1100 ÷ 1600 г/л, что достаточно для очистки шахтных колодцев. Однако при этом получалась довольно высокая консистенция и осветленной воды — 9 ÷ 10 г/л, что составляет по отношению к консистенции пульпы на входе в гидроциклон в среднем 9%.

Однако следует отметить, что необходимость очистки шахтных колодцев с режимом, когда над песковым отверстием гидроциклона находится слой наноса, возникает в тех колодцах, где почти отсутствует вода и дебит их составляет 0,06 л/сек и менее. В этом случае получается наибольшая консистенция сгущенной пульпы и, следовательно, наименьшая затрата воды на единицу объема вынутого наноса, что важно для полной очистки шахтного колодца имеющейся в баке водой (около 1 куб. м). Учитывая, что таких колодцев мало и что в будущем при организации систематической очистки их станет еще меньше, мы допускаем очистку подобных шахтных колодцев указанным режимом.

Абсолютное большинство шахтных колодцев имеет достаточное количество воды в водоприемной части и достаточный дебит, чтобы их очистку вести без подвезенной из других водоисточников воды. Эти колодцы можно очистить от наносов при свободном истечении сгущенной пульпы из пескового отверстия гидроциклона, то есть при режиме, когда над песковым отверстием нет слоя наноса. Такой режим можно создать увеличением сечения пескового отверстия. При этом снижается консистенция сгущенной пульпы, но зато резко снижается и консистенция осветленной воды (до 1 г/л и менее), что положительно влияет на работу насоса гидроэлеватора. Кроме того, увеличение сечения пескового отверстия гидроциклона приводит к увеличению производительности установки по грунту.

ВЫВОДЫ

1. Очистка шахтных колодцев гидромеханическим способом, особенно в песковой и предпесковой зонах, технически возможна.

2. При конструировании установки для очистки шахтных колодцев гидромеханическим способом необходимо учитывать:

а) возможность поступления из слива гидроциклона в бак воды с консистенцией до 10 г/л и более в зависимости от механического состава наносов, дебита колодца и продолжительности работы установки;

б) диаметры пескового отверстия гидроциклона и размывающей насадки должны регулироваться довольно в широких пределах в зависимости главным образом от глубины и дебита колодца при постоянной мощности наноса.

**ОБСАДНЫЕ КОЛЬЦА ИЗ АРМОЦЕМЕНТА
ДЛЯ ШАХТНЫХ КОЛОДЦЕВ**

Г. С. СЕКРЕТАРЕВ, кандидат технических наук,
Н. С. КОРЧАГИН, младший научный сотрудник

УДК 628.112.1

За последние годы в строительстве находит все большее и большее применение новая разновидность железобетона — армоцемент.

Повышенная трещиностойкость, высокая морозостойкость, упругость, прочность на растяжение, водонепроницаемость — все эти качества армоцемента позволяют создавать эффективные и экономичные тонкостенные конструкции. По данным Гипроводхоза Министерства мелиорации и водного хозяйства СССР, стоимость изделий из армоцемента в среднем составляет от 40 до 70% стоимости изделий из железобетона. При строительстве водохозяйственных сооружений на пастбищах, обычно удаленных на сотни километров от заводов и полигонов строительных организаций, экономический эффект от применения армоцемента еще более повышается. В настоящее время расходы на транспортирование железобетонных конструкций достигают 73—250% от их стоимости. Применение армоцемента уменьшит объем транспортных перевозок, например, при устройстве шахтного колодца на 40—64%.

Отдел обводнения пастбищ КазНИИВХ в период 1963—1965 гг. проводил исследования и производственную проверку способа изготовления и монтажа обсадных колец из армоцемента для шахтных колодцев.

Первые попытки применения армоцемента для обсадных колец шахтных колодцев в нашей стране были осуществлены Гипроводхозом [1]. Опытные кольца были изготовлены конструктивно двух типов: цельное кольцо с гладкими концами и составное кольцо из двух полуколец с отбортовкой вдоль образующих, также с гладкими концами. Диаметр колец 1,0 м, длина 1 м, толщина стенок 20—25 мм. Арматура колец состояла из двух рядов тканых сеток № 7. Цельные кольца формировались методом пневмобетонирования, составные — силового наVERTывания.

Информация о производственных испытаниях этих колец на строительстве шахтного колодца, к сожалению, отсутствует. Однако и без испытания очевидно, что кольца с гладкими концами из-за малой толщины армоцемента весьма сложно стыковать между собой с обеспечением плотности стыка.

Джамбулским СМУ треста «Джамбулводстрой» в 1965 г. было изготовлено несколько раструбных цельных колец для строительства опытного колодца. Соединение колец в раструб с заделкой смоляной прядью и мятой глиной создает достаточную для обсадной колонны герметичность стыков.

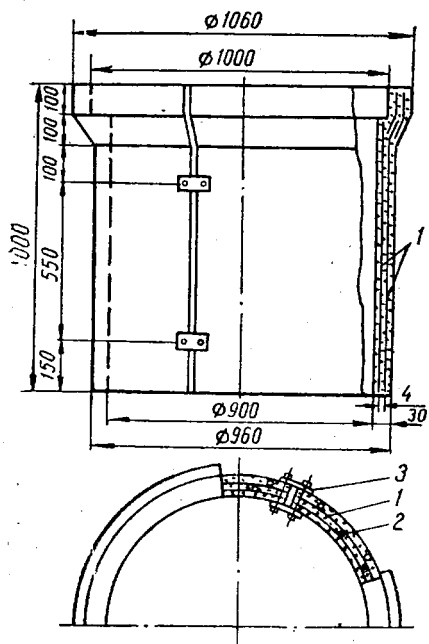


Рис. 1. Армоцементное кольцо в сборе: 1 — тканые сетки; 2 — прокладочные стержни; 3 — металлические накладки.

При перевозке цельных армоцементных колец размещается в кузове автомашины столько же, сколько и железобетонных. Так как армоцементные кольца в 2,5 раза легче железобетонных, грузоподъемность автомашины используется всего лишь на 60% у ГАЗ-66 (2 т) и 64% — у ЗИЛ-131 (3 т). Следовательно, при исполнении армоцементного кольца цельной конструкции весовое его преимущество используется не в полной мере.

В целях устранения этого недостатка в наших работах конструкция кольца была принята составной из двух раструбных полуколец (рис. 1). Полукольца позволяют производить установку изделий в кузове плотнее, без его переоборудования, чем обеспечивается более полное использование грузоподъемности автомашины при транспортировке. Количество перевозимых колец на тех же транспортных средствах увеличивается в 1,5—2 раза.

Полукольца скрепляются между собой в 4-х местах парными металлическими накладками. Каждая пара накладок стягивается болтами М10 (всего на кольцо 8 шт.).

Шов между полукольцами заполняется цементно-песчаным раствором. Длина кольца 1 м, внутренний диаметр 0,9 м, толщина стенок 30 мм, общий вес 224 кг.

Изготовление раструбных полуколец осуществлялось общераспространенным способом — вибролитьем. При выборе технологии исходили из возможности максимального использования существующего оборудования полигонов и заводов водохозяйственных организаций, изготавливающих железобетонные кольца. Метод же силового наворачивания для формирования раструбов неприменим по техническим трудностям, а пневмобетонирование требует специального оборудования: растворонасоса, компрессора, конических насадок, одно- или двухкамерных форсунок.

Все опытные образцы полуколец изготавливались на полигоне железобетонных изделий треста «Джамбулводстрой».

Для формирования армоцементных полуколец была использована в основном опалубка, применяемая для отливки железобетонных колец. Только в форму и размеры внешнего корпуса были внесены изменения с учетом уменьшения толщины изделия и создания раструба, а также дополнительно изготовлен раструбный поддон. Сердечник не реконструировался. В одном комплекте опалубки формировались одновременно два полукольца.

Арматура колец состояла из двух рядов тканых сеток с ячейками 10×10 мм из проволоки диаметром 1 мм.

Сетки между собой скреплялись вязальной проволокой. Необходимо расстояние между ними обеспечивалось прокладыванием стержней диаметром 4 мм, длиной 600 мм в количестве 6 штук на одно полукольцо. Для создания равномерного защитного слоя на внешней сетке к ней привязывалось столько же стержней, но из проволоки диаметром 2 мм. Арматурные сетки крепились к внутренней поверхности наружной опалубки через 18 пар отверстий в цилиндрической части и 12 пар — в раструбной.

Стыкование арматурных сеток раструбной части и ствола производилось внахлестку (рис. 1).

Как в раструбном конце, так и в гладкой части опалубки просверлено по 2 отверстия диаметром 12 мм, в которые после установки арматурных сеток вставляются штыри для получения монтажных отверстий в кольцах.

Сборка наружного корпуса опалубки с укрепленной арматурной сеткой производилась в следующей последовательности. Боковые части опалубки ставились раструбом вверх. К фланцам раструбов прикреплялись полукольцевые поддоны с прокладкой из листовой резины. Затем обе половины опалубки перевертывали, совмещали боковыми фланцами друг с другом и скрепляли четырьмя болтами после установки дощатой прокладки между фланцами.

Для изготовления колец применялся бетон состава 1:3 при В/Ц=0,4—0,55 и вязкости по конусу конструкции СтройЦНИИЛа 4—6 см. Бетонная смесь готовилась из цемента марки 500 и мелкого песка с модулем крупности 1,73. Марка бетона по контрольным образцам составляла 300.

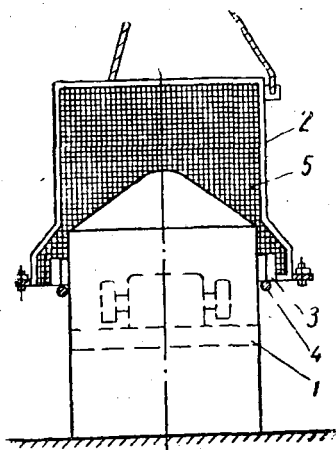


Рис. 2. Схема формирования армоцементных колец:

1 — вибросердечник, 2 — опалубка, 3 — поддон, 4 — пеньковый кольцевой жгут, 5 — металлическая сетка.

Принципиальная схема формирования полуколец представлена на рисунке 2. Сердечник устанавливался на площадке. Над сердечником соосно с ним подвешивалась на тельфере наружная форма опалубки раструбом вниз так, чтобы он располагался на 20 см ниже верхнего края сердечника. Для предотвращения утечки раствора через кольцевой зазор между поддоном и сердечником на последний одевался жгут из пеньковой веревки.

Сердечник был оборудован вибратором С-414 с числом колебаний 2800 в сек. и амплитудой 0,6 мм.

После подачи в форму некоторого количества бетона включали вибратор сердечника. По мере заполнения раструба бетоном опалубку плавно опускали на 8—10 см. Одновременно подавалась новая порция бетонной смеси. Таким образом формовались полукольца на всю высоту.

Контролем заполнения стенок кольца служили парные отверстия, просверленные в наружной опалубке для укрепления арматурных сеток. При нормальном формовании кольца через эти отверстия происходит вытекание небольшого количества цементного молока.

По окончании формовки бетон выдерживался в опалубке в течение 10 мин. Затем вибросердечник извлекался и форма с полукольцами устанавливалась в пропарочную камеру.

Пропаривание армоцемента было произведено по 8-часовой программе, применяемой на полигоне для термообработки железобетонных изделий, со следующим режимом:

подъем температуры до 90°C	— 1 час;
поддерживание температуры 85—90°C	— 5 часов;
выпуск пара (пониженной температуры)	— 2 часа.

После окончания пропаривания форма с полукольцами вынималась из камеры и производилась ее распалубка. По описанной технологии было изготовлено 10 полуколец.

Для определения затрат труда на изготовление одного армоцементного кольца был произведен хронометраж этого процесса (табл. 1). Для сравнения в таблице 1 приводятся затраты труда и на изготовление железобетонного кольца.

Таблица 1

Наименование основных элементов процесса изготовления колец	Затраты труда, чел.-мин.	
	армоцемент	железобетон
Вязка арматуры и сборка формы	91	39
Приготовление бетонной смеси	31	58
Формование кольца	60	15
Прочие работы	63	59
Итого	245	171

Состав элементов затрат, слагающих стоимость железобетонного и армоцементного колец, приведен в таблице 2.

Таблица 2

№ п.п.	Наименование элементов затрат	Един. измерения	Цена за ед., руб.	Железобетон		Армоцемент	
				количество	стоимость, руб.	количество	стоимость, руб.
1	Рабочая сила	чел.-час.	0,63	2,85	1,78	4,10	2,58
2	Цемент	кг	0,022	108	2,37	60	1,32
3	Песок	"	0,003	216	0,65	156	0,47
4	Щебень	"	0,002	324	0,65	—	—
5	Металл:						
	арматурная сталь	"	0,14	15,6	2,25	1,7	0,23
	металлическая сетка	м ²	0,28	—	—	6,3	1,75
	метизы	кг	0,10	—	—	0,9	0,92
6	Электроэнергия	час.	0,04	4,0	0,16	4,0	0,16
7	Паропрогрев	час.	0,14	6,0	0,84	4,0	0,56
8	Автоуслуги	маш.-час	1,21	0,5	0,60	0,15	0,19
	Итого	—	—	—	9,30	—	8,19
	Накладные цеховые расходы	—	24,3%	—	2,26	—	1,99
	Итого	—	—	—	11,56	—	10,18
	Накладные общие расходы	—	4%	—	0,46	—	0,41
	Всего	—	—	—	12,02	—	10,59

Приведенные в таблицах 1 и 2 данные показывают, что затраты труда по изготовлению армоцементного кольца на 43% больше, чем железобетонного, хотя по стоимости изделия в целом наоборот меньше на 12%. Это объясняется тем, что изготовление железобетонных колец производится по уже сложившейся технологии. При литье же опытных армоцементных колец почти все операции, за исключением приготовления раствора в бетономешалке, произво-

дились вручную, так как технология предварительно не была отработана. Механизация ряда операций и применение устройств и приспособлений, облегчающих и ускоряющих производственный процесс, значительно сократят затраты рабочего времени.

Например, кройка металлической сетки с помощью газовой горелки или спецножниц и вязка арматурных сеток на разъемных барабанах по опыту САНИИРИ дают возможность уменьшить затраты труда на выполнение этих операций с 43 до 15 чел.-мин.; установка направляющих стержней для устойчивого соосного движения опалубки по сердечнику, применение бетонораздатчика и второго вибратора для создания вертикальных колебаний сердечника позволяют освободить одного рабочего при операции формирования кольца, а ее продолжительность сократить с 30 до 7 мин. (по данным САНИИРИ). Внедрение только перечисленных рекомендаций обеспечит снижение затрат труда на изготовление армоцементного кольца по сравнению с железобетонным на 10%, а стоимость изделия — дополнительно на 15%.

Опытные полукольца были применены для строительства шахтного колодца в песках Муюнкумы Джамбулской области.

Перевозка полуколец с полигона до места строительства на расстояние 120 км осуществлялась на автомашине ГАЗ-63 по грунтовой дороге плохой проходимости. Полукольца устанавливались в кузове вертикально на раструб без крепления. Во время транспортировки получились небольшие отколы бетона на гладких концах некоторых полуколец, которые впоследствии были легко исправлены в процессе строительства колодца при затирке стыковых швов цементно-песчаным раствором. Применение деревянных прокладок или простейших способов крепления полуколец в кузове автомашины предотвратит образование дефектов в них при транспортировке.

Рытье шахтного колодца производилось агрегатом КШК-30. Проектом предусматривалась глубина колодца 7 м, из которых 4 м — в водоносном горизонте. Из-за неустойчивости мелкозернистых песков (содержание фракций 0,25—0,05 составляло 47—67%) ниже уровня грунтовых вод проходка шахты осуществлялась одновременно с ее обсадкой. Оседание колонны из четырех пористых железобетонных колец и одного армоцементного приостановилось на глубине 5,5 м от недостаточности ее веса (2,2 т) для преодоления сил защемления грунта.

Чтобы достигнуть проектной глубины, пришлось армоцементное кольцо заменить пятым железобетонным кольцом. Всего в колодце удалось установить только два армоцементных кольца вместо трех.

Армоцементное кольцо соединялось с железобетонным встык и закреплялось посредством трех скоб из круглой стали диаметром 12 мм. Концы скоб загибались с наружной стороны. Между собой армоцементные кольца скреплялись на четырех таких же скобах,

а раструбные щели законопачивались смоляной прядью с последующей заделкой мятой глиной.

После установки обсадной колонны швы стыков колец и линии разъема полуколец затирались цементно-песчаным раствором.

Опыт строительства колодца показал, что обсадка шахты колодца армированными кольцами практически трудноосуществима в водоносных песках и тем более пльвунах, так как у армированных колец условия сцепления с грунтом усиливаются за счет выступов раструба и отбортованных краев, а небольшой вес снижает возможности преодоления сил защемления грунтом. Армированные кольца для обсадки шахты колодцев могут найти применение при строительстве их в устойчивых грунтах, когда не происходит заклинивание обсадной колонны.

ВЫВОДЫ

1. Опыт изготовления армированных колец в полупроизводственных условиях методом вибролитья показал возможность уже сейчас организовать их производство на полигонах и заводах водохозяйственных организаций при сравнительно небольшой реконструкции существующего оборудования и изменения технологии производственного процесса.

2. По проектным расчетам стоимость армированного кольца на 29% ниже стоимости железобетонного, а расходы на транспортирование сокращаются в 2,5 раза.

3. Исходя из условия повышения степени использования грузоподъемности транспортных средств, облегчения монтажа и обеспечения необходимой плотности соединений в стыках обсадной колонны конструкция армированного кольца должна быть составной из двух полуколец с раструбом на одном конце и отбортовкой краев по линии разъема полуколец.

4. Дальнейшие исследования должны идти в направлениях совершенствования технологии изготовления армированных колец и расширения возможности их применения для обсадки шахтных колодцев в различных грунтовых условиях.

ЛИТЕРАТУРА

1. Лютиков А. П., Никольский А. Ю., Шамрай В. М., Шугай В. В. Армоцемент в водохозяйственном строительстве. Труды Всесоюзного проектно-исследовательского института Гипроводхоз, вып. 26, 1964.

МИНИСТЕРСТВО МЕЛИОРАЦИИ И ВОДНОГО ХОЗЯЙСТВА СССР

ТРУДЫ
КАЗАХСКОГО НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОГО ИНСТИТУТА
ВОДНОГО ХОЗЯЙСТВА

Том V:

1969

**РЕЗУЛЬТАТЫ ИЗУЧЕНИЯ ФАКТИЧЕСКОГО
ВОДОПОТРЕБЛЕНИЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫМИ
ЖИВОТНЫМИ В УСЛОВИЯХ ЮГО-ВОСТОЧНЫХ РАЙОНОВ
РЕСПУБЛИКИ**

Х. КАРЕШОВ, инженер

УДК 636.084.31

Действующие в настоящее время нормативы водопотребления при проектировании систем водоснабжения животноводческих хозяйств были приняты на основании кратковременных исследований в условиях европейской части СССР и распространены на другие сельскохозяйственные районы страны. Несмотря на то, что по развитию общественного животноводства и производству животноводческой продукции Казахстан занимает одно из ведущих мест по Союзу, до настоящего времени не исследованы и, следовательно, не установлены нормы и режим водопотребления сельскохозяйственных животных в условиях Казахстана.

С 1964 г. Казахским НИИ водного хозяйства проводится изучение фактических норм и режима водопотребления основных видов сельскохозяйственных животных на фермах, расположенных в разных климатических зонах республики.

Объектами исследования были выбраны передовые животноводческие хозяйства республики — совхозы «Астраханский» и «Красногвардейский» Целиноградской области, овоще-молочный совхоз «Акса́й» и Алма-Атинский табаксовхоз Алма-Атинской области, учебно-опытное хозяйство «Акса́й» Алма-Атинского зооветинститута, совхозы «Пионер», «Майтубинский» и Луговской конезавод № 97 Джамбулской области, отличающиеся высокой степенью механизации и автоматизации трудоемких технологических процессов животноводства, лучшими условиями содержания животных и высокими показателями производства сельскохозяйственной продукции.

Фактические суточные и часовые расходы воды, потребляемые отдельными высокопродуктивными животными и в целом по животноводческим фермам, замерялись турбинными и крыльчатými водомерами типа ВК и ВВ разных диаметров и самозаписывающим

прибором расхода воды инженера Н. М. Голицына, несколько реконструированным нами применительно к различным типам водометров.

Наряду с определением фактических расходов учитывались факторы, влияющие на нормы и режим потребления воды (суточный режим содержания и кормления животных, кормовой рацион, температура и относительная влажность воздуха).

Помимо водометрических наблюдений, нами проводились специальные исследования по определению физиологической потребности воды у молочных коров, молодняка крупного рогатого скота и свиней крупной белой породы и аксайской черно-пестрой группы в зимний и зимне-весенний периоды стойлового содержания.

Наблюдениями и опытами установлено, что в зимний период коровы с суточным удоем 12—14 кг выпивают в сутки 10—13 л воды. Коровы нелактирующие, на последней стадии беременности, — по 10—12 л в сутки.

Установление водного обмена и определение физиологических норм водопотребления показывают, что в весенний период подсосная свиноматка с 11 поросятами до месячного возраста за сутки потребляет 17,0—18,0 л воды, супоросная — 14,0—14,5 л, а подсвинки 5,5-месячного возраста — 8,5—10,0 л.

Результаты исследования показывают, что на 1 кг потребленного животного сухого вещества корма в среднем приходится для свиней 4,3—4,4 л, для крупного рогатого скота — 3,2—3,8 л воды, что на 30—45% меньше, чем предусматривается физиологическими руководствами.

Температура воды, потребляемой животными, колебалась в пределах 8—10°C, что соответствует зоотехническим требованиям.

Исследованием факторов, влияющих на водопотребление сельскохозяйственных животных, была отмечена наибольшая зависимость между водопотреблением и метеорологическими условиями (температурой и относительной влажностью воздуха).

В результате длительных стационарных наблюдений за расходами воды (водопой) на молочно-товарных фермах и обработки фактических данных водопотребления методами математической статистики определена зависимость между водопотреблением молочных коров алатауской породы (эта порода имеет большое распространение в Казахстане) и среднесуточной температурой воздуха (рис. 1).

Суточную норму потребления воды для молочных коров можно определить по следующей формуле:

$$Q_{с.н} = q_{в} + q_{оп}, \quad (1)$$

где $Q_{с.н}$ — суточная норма водопотребления, л;

$q_{оп}$ — операционный расход на 1 голову, равный 10—20 л в сутки;

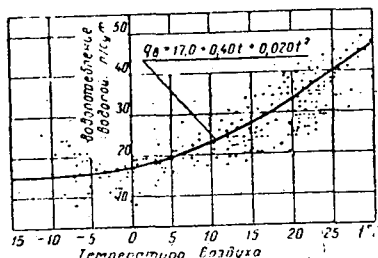


Рис. 1. Зависимость водопотребления молочными коровами от температуры воздуха.

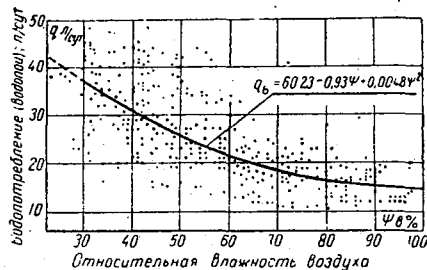


Рис. 2. Зависимость водопотребления животными от относительной влажности воздуха.

q_v — среднесуточный водопой молочных коров, зависящий от температуры воздуха, который определяется из следующих зависимостей:

а) по данным наблюдений на МТФ совхоза «Аксай» Алма-Атинской области за 1965 г,

$$q_v = 15,75 = 0,35t + 0,021t^2 \quad (a)$$

или

$$q_v = 15,75(1 + K_t); \quad (б)$$

б) по данным наблюдений за 1966 год,

$$q_v = 17,0 + 0,4t + 0,02t^2 \quad (в)$$

или

$$q_v = 17,0(1 + K_t), \quad (г)$$

где t — среднесуточная температура воздуха в °С;

K_t — температурный коэффициент неравномерности водопотребления (водопоя).

Тогда формула (1), по данным наблюдений 1966 г., будет иметь два выражения:

$$Q_{с.н} = 17,0 + 0,40t + 0,020t^2 + q_{оп} \quad (1a)$$

или

$$Q_{с.н} = 17,0(1 + K_t) + q_{оп}. \quad (1б)$$

Температурный коэффициент неравномерности водопотребления (водопоя) вводится впервые, его значение (табл. 1) дается при среднесуточной температуре воздуха от 0°С до 30°С, так как ниже 0°С величина его практически не имеет значения.

Анализ полученных результатов показывает, что при повышении температуры воздуха (начиная от 4—5°С) на 1°С среднесуточный расход воды на одну молочную корову (в части водопоя) повышается на 0,5—1,6 л.

Связь между водопотреблением животных и относительной влажностью воздуха имеет следующую зависимость (рис. 2):

$$Q_{с.н} = 60,23 - 0,93\psi + 0,0048\psi^2 + q_{оп} \quad (2)$$

или

$$Q_{с.н} = 60(1 - K_{\psi}) + q_{оп}$$

где ψ — среднесуточная относительная влажность воздуха в %;
 K_{ψ} — коэффициент неравномерности водопотребления, зависящий от относительной влажности воздуха (табл. 2).

Таблица 1

Среднесуточная температура воздуха, °С	Температурный коэффициент водопотребления— K_t	
	1965 г.	1966 г.
0	0,00	0,00
5	0,25	0,24
10	0,34	0,35
15	0,62	0,62
20	0,97	0,94
25	1,35	1,32
30	1,88	1,75

Таблица 2

Относительная влажность воздуха— ψ , %	Коэффициент относительной влажности воздуха— K_{ψ}
100	0,77
90	0,75
80	0,73
70	0,69
60	0,64
50	0,58
40	0,49
30	0,39

Результаты исследования показывают, что при понижении относительной влажности воздуха на 1% потребление воды молочными коровами повышается на 0,22—0,72 л; при низкой относительной влажности (50—20%) повышение составляет 0,50—0,72 л на 1%.

Таким образом, если известны относительная влажность и среднесуточная температура воздуха, представляется возможным определить суточную потребность в воде сельскохозяйственных животных.

Следует отметить, что на потребность в воде сельскохозяйственных животных, кроме температуры и относительной влажности воздуха, влияет ряд других факторов (количество сухого вещества в корме, рацион и режим кормления, сочность корма и пр.).

В результате наблюдений, проведенных в течение 1964—1966 гг., определено 7193 удельных среднесуточных расхода воды для различных видов животных.

В таблице 3 приведены основные результаты исследований по определению фактических норм водопотребления животными на 12 животноводческих фермах, расположенных в разных климатических зонах Казахстана.

Как видно из этих данных, максимальное водопотребление (расход воды на водопой и операционные нужды) в летний период стойлового содержания для молочных коров составляет 45—65 л на 1 голову, для свиноматок с приплодом — 40—45 л в сутки. Суточ-

ная норма потребления воды на операционные расходы (приготовление корма, содержание в чистоте тела животного, уборка помещения и нужды обслуживающего персонала) для молочной коровы составляет 10—20 л, или 25—30% от общей суточной нормы, а для свиноматки с приплодом — соответственно 20—22 л, или 45—50%.

Таким образом, фактические нормы водопотребления сельскохозяйственными животными как в южных, так и в северных районах республики на 20—25% ниже норм водопотребления, применяемых в практике проектирования систем сельскохозяйственного водоснабжения.

Таблица 3

Группы животных	Водопотребление, л в сутки на 1 голову			
	стойловое содержание		пастбищное содержание	
	летом	зимой	летом	зимой
Коровы молочные	45—65	28—34	40—50	20—25
Быки и нетели	35—45	23—30	35—45	—
Телята в возрасте 6—9 месяцев	15—20	10—15	15—20	—
Свиноматки с приплодом	40—45	10—25	—	—
Молодняк свиней в возрасте 4—6 месяцев и свины на откорме	15—20	10—17	—	—
Свиноматки взрослые	25	20	—	—
Лошади племенные, кормящие матки	60	—	45—55	20—25
Лошади рабочие, верховые, племенные жеребцы	50	35—40	50	—
Молодняк лошадей в возрасте 1,5—2,0 лет	25—30	20—25	25	15—20
Молодняк лошадей в возрасте 5—6 месяцев	10	—	10—12	—
Овцы взрослые	—	—	5—7	1—3
Молодняк овец в возрасте до 1 года	—	—	1—3	1—2

Как видно из данных таблицы 3, величины суточного водопотребления сельскохозяйственными животными в жаркий летний период содержания на 30—50% больше, чем в холодный зимний период. При этом коэффициент суточной неравномерности водопотребления на животноводческих фермах колеблется в пределах 1,30—1,60. Наибольшие значения его приходятся на летний период стойлового или лагерного содержания животных.

Приведенные результаты исследований Казахского НИИ водного хозяйства показывают, что рекомендуемые в настоящее время, согласно СН 267—63, нормативы водопотребления для проектирования систем водоснабжения животноводческих ферм значительно отличаются от фактических их величин, тем самым влияют на общие экономические показатели системы водоснабжения.

Применение в практике проектирования систем водоснабжения уточненных нормативов водопотребления на животноводческих фермах уменьшит величину расчетных расходов. Это позволит

снизить мощность вододобывающих и водопроводящих сооружений. При этом экономия капитальных вложений и эксплуатационных затрат составит 10—15%. Кроме того, новые расчетные нормативы позволят подключить дополнительных водопотребителей к существующим, что в свою очередь будет способствовать повышению коэффициента использования и экономичности всей системы водоснабжения животноводческих ферм.

ЛАБОРАТОРНОЕ ИЗУЧЕНИЕ КОЛЬМАТАНТА ФИЛЬТРОВ ШАХТНЫХ КОЛОДЦЕВ

Ф. Г. ГЕРР, инженер

УДК 628.112.1

Среди водозаборных сооружений на пастбищах пустынь и полупустынь в основном применяются железобетонные шахтные колодцы с монолитно вмонтированными фильтрами.

Однако водоносные грунты пустынь, чаще всего пылеватые мелко-тонкозернистые, обладают интенсивной физико-химической кольматационной способностью. Вследствие этого через 2—3 года эксплуатации дебиты колодцев снижаются на 60—70%, и они перестают удовлетворять потребности в воде. Вместо них строят новые колодцы, что ведет к большим дополнительным капиталовложениям.

С целью продления срока службы шахтных колодцев нами в КазНИИВХ проведен комплекс работ, конечным результатом которых была разработка конструкций сменяемых фильтров. Исследования проводились на колодцах, построенных в центральной части песков Муюнкумы.

Настоящая статья посвящена только одному вопросу: лабораторному изучению кольматанта фильтров после их работы в колодцах.

Краткая программа и методика исследований. Изучение физико-химического состава кольматанта фильтров осуществлялось посредством их визуального осмотра, гранулометрического и химического анализов.

Исследовались фильтры, извлеченные после двух лет эксплуатации из шахтных колодцев № 189 (двухслойные гравийные) и № 191, 193 (из пористого бетона), а также фильтр из пористого бетона с лабораторной установки № 1 после 3033 часов работы в контакте с грунтом.

Визуальный осмотр проводился с помощью лупы и просто невооруженным глазом во влажном и воздушно-сухом состоянии

фильтров. При этом осуществлялось их дробление в продольном и поперечном направлениях, растирание в ступе для отделения осадков от частиц гравия, поделка шлифов и снятие кольматанта ланцетом. Особенно тщательному осмотру подвергались зона примыкания фильтров к водоносному грунту, поры по всей толщине фильтра и в двухслойном фильтре зона соприкосновения слоев гравия. Поверхность фильтров, находящаяся в контакте с водоносным слоем, обмывалась водой, чтобы избавиться от случайно налипших частиц грунта. Была использована также цветовая дифференциация, которая дала возможность определить состав материала, закупоривающего фильтры. Так, при высушивании образцов и последующем растирании их в ступе цветовая гамма проявляется наиболее ярко. Это позволяет выделить водоносный грунт, имеющий золотисто-желтый цвет, солевые отложения, имеющие беловатый цвет с сероватыми и желтоватыми оттенками и гравийный материал фильтров, который подбирался темных тонов. Гравийные двухслойные фильтры, представляющие ящики, засыпанные фильтрационным материалом, боковая сторона которых выдвигалась подобно крышке пенала, осматривались путем извлечения гравия частями по вертикали и горизонтали фильтра.

Гранулометрический анализ проводился по общепринятым методам [2], [3].

Для химических исследований кольматанта фильтров проводились водная и солянокислая вытяжки с последующим пересчетом ионов в основные соли [4], способные кольматировать фильтры.

Результаты исследований. Визуальный осмотр показал, что поры и отверстия двухслойных гравийных фильтров оказались в разной степени заполненными мельчайшими частицами водоносного грунта, цементированного солями беловатого цвета с желтоватыми и сероватыми оттенками.

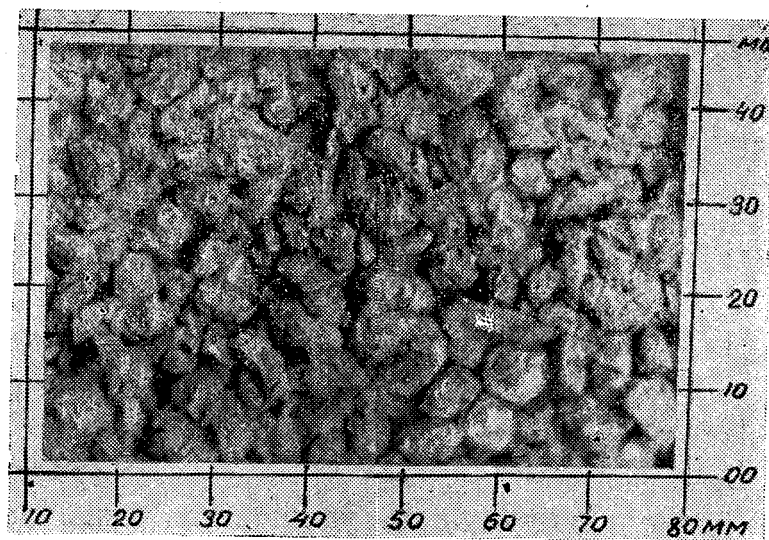
Наибольшее скопление кольматанта и его цементированность солями наблюдается между слоями фильтра и на границе контакта его с водоносным грунтом. Здесь поры нередко только прослеживаются или представляют волосяные отверстия. Наименьшее количество кольматанта было в средней части каждой фракции гравийного материала.

Во входных отверстиях в фильтр и около них кольматант имеет вид труднососкабливаемых наплывов.

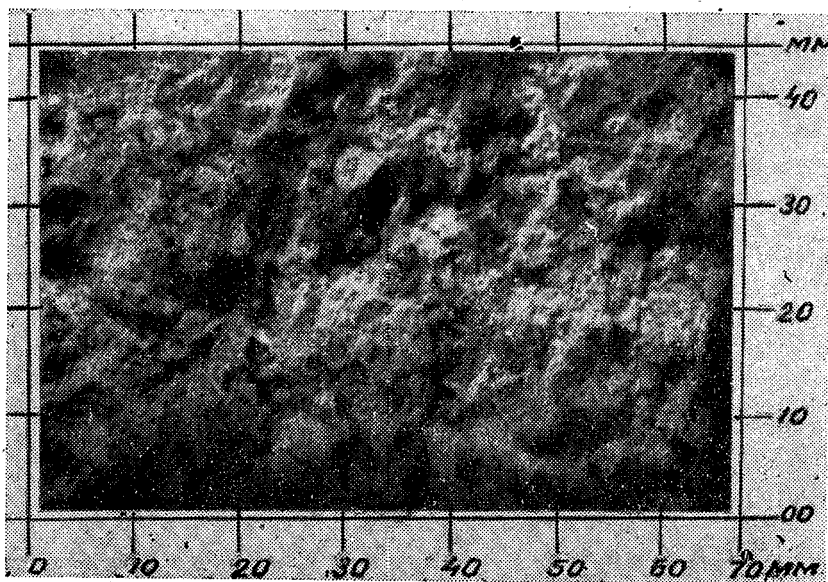
Цементированный гравий представляет собой жесткий каркас, но от легких ударов он рассыпается на мелкие части и при этом сильно пылит.

При осмотре фильтров во влажном состоянии кольматант оказался мягким, пастообразным. Он свободно удалялся из отверстий и пор с помощью металлической щетки или путем постукивания.

Визуальный осмотр фильтров из пористого бетона показал, что кольматант их имеет вид, аналогичный описанному выше. Однако



А



Б

Рис. 1. Поверхность фильтров (натурные размеры частиц фильтра и пор увеличены в 1,7 раза): А — при установке, В — закольматированный фильтр.

в области пор фильтра, на изломе и шлифах белый налет прослеживается более ярко.

Кольматант, извлеченный из пор фильтров с помощью ланцета, при растирании в ступе образует порошок или пудру, имеющую беловатый цвет с желтоватыми и сероватыми оттенками.

Об изменении пористой структуры поверхности фильтра из пористого бетона после потери водопрпускной способности на 91,2% можно судить по представленным на рисунке 1 фотоснимкам, сделанным до и после работы фильтра на фильтрационной установке № 1.

Гранулометрический анализ показал, что состав двухслойных гравийных фильтров за два года работы в колодце изменился (табл. 1). В нем оказалось до 12,6% фракций, внесенных из водоносного грунта. Кольматант такого типа почти полностью закупорил поры фильтра, так как он состоит из разнородных фракций (песок мелкий, пыль, глина, микро- и ультра-муль), которые, как показал визуальный осмотр, распределяются по фильтру неравномерно.

Таблица 1

Изменение гранулометрического состава двухслойного гравийного фильтра после двух лет эксплуатации в колодце

Размеры фракции, мм	Содержание фракций в фильтре по весу, %		
	после 2 лет эксплуатации	в том числе	
		до установки его в колодец	поступило грунта из водоноса
7—5	55,00	55,00	—
2—1	13,80	13,80	—
1—0,5	10,60	10,60	—
0,5—0,06	8,00	8,00	—
0,06—0,01	3,68	—	3,68
0,01—0,001	4,39	—	4,39
Менее 0,001	4,53	—	4,53
Итого . . .	100,00	87,40	12,60

Химический состав коьматанта фильтров. Исследования двухслойных гравийных фильтров показали, что на них за два года эксплуатации в колодце адсорбировалось более 14,2% солей. В таблице 2 приведены данные содержания солей в фильтрах до установки в колодец и после двух лет их работы, а также содержание солей в окружающем колодец естественном грунте (в момент строительства колодца).

Самую большую часть коьматанта гравийных фильтров составляют труднорастворимые соли в виде кальцита CaCO_3 и магнезита

$MgCO_3$. Они, вероятно, и цементируют частицы фильтра с внесенным в него водоносным грунтом. Если провести сопоставление с окружающей фильтр средой, то можно сказать, что этих солей адсорбировалось в фильтре в полтора-два раза больше, чем имеется в водоносном слое. Однако в водоупорном горизонте и в сцементированных прослойках песчаника, который размещается в виде пропластков в водоносном слое и достигает нескольких десятков сантиметров, кальцита в два раза больше, чем в закольматированном фильтре, а магнезита — несколько меньше. Среднерастворимых солей в фильтре оказалось в два с лишним раза больше, чем в водоносном грунте, и несколько меньше, чем в водоупоре. Легкорастворимых солей в фильтре в 14 раз больше, чем в водоносном горизонте, и почти одинаковое количество с водоупором и пропластками.

Таблица 2

Химический состав кольматанта фильтров и окружающей среды

Наименование солей	Содержание солей, %			
	в гравийном двухслойном фильтре		в грунтах	
	до установки в колодец	после двух лет эксплуатации	водоноса	водоупора и в сцементированных прослойках
Легкорастворимые соли в виде $NaCl$, Na_2SO_4 , $NaHCO_3$, $Mg(HCO_3)_2$, $Ca(HCO_3)_2$	нет	1,05	0,076	1,0
Среднерастворимые соли в виде $CaSO_4 \cdot 2H_2O$	"	0,27	0,12	0,3
Труднорастворимые соли	"	12,9	7,77	23,0
В том числе:	"	9,4	6,04	20,0
кальцит $CaCO_3$	"	3,5	1,73	3,5
магнезит $MgCO_3$				

Сопоставим полученные данные физико-химических свойств кольматанта фильтров с имеющимися исследованиями. В обобщающей работе по этому вопросу В. М. Гаврилко [1] выделяет четыре вида осадков: рыхлые пористые, рыхлые слоистые, мягкие пастообразные и конгломератообразные. По химическому составу все эти виды осадков содержат большое количество железа, достигающее 70%, и значительно меньше кальция и магния. Если по физическим свойствам кольматант фильтров шахтных колодцев имеет сходство с выше приведенными, то по химическим — между ними нет ничего общего. Это вызвано тем, что в работе В. М. Гаврилко в основном описаны осадки сетчатых фильтров трубчатых колодцев, устраиваемых в железистых водах городских и промышленных водозаборов. В рассматриваемых нами условиях содержание железа в фильтрах не превышает 0,06%. Это объясняется тем, что в водах пустынь оно вообще содержится в незначительном количестве [5].

Следовательно, кольматант фильтров шахтных колодцев отличается от описанного в литературе.

Проведенные исследования химического состава кольматанта фильтров шахтных колодцев, построенных в пылеватых мелко-тонкозернистых грунтах пустынь, показали, что основной частью кольматанта являются соли кальция и магния в сочетании с пылеватыми и глинистыми частицами водоносного слоя.

ЛИТЕРАТУРА

- Гаврилко В. М.* Фильтры водозаборных, водопонижительных и гидрогеологических скважин. Изд-во по строительству и архитектуре, М., 1962.
- Васильев А. М.* Основы современной методики и техники лабораторных определений физических свойств грунтов. Изд-во «Минстройсредмаш», М., 1949.
- Чаповский Е. Г.* Лабораторные работы по грунтоведению и механике грунтов. Гостехиздат, М., 1958.
- Указания по определению засоленности грунтов. ВНИИ ВОДГЕО, 1956.
- Перельман А. И.* Геохимия ландшафта. Изд-во «Высшая школа», 1966.

**ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ КОЛИЧЕСТВЕННОГО
СПЕКТРАЛЬНОГО АНАЛИЗА К ОПРЕДЕЛЕНИЮ
ХИМИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ КОЛЬМАТАНТА ФИЛЬТРОВ**

И. М. ЗАГРАНИЧНАЯ, *научный сотрудник*, Ф. Г. ГЕРР, *инженер*

УДК 628.112.1:551.49:543.25

Водозаборные сооружения, в частности шахтные и трубчатые колодцы, подвержены значительному влиянию химизма подземных вод и процессам химической кольматации фильтров и прифильтровых зон.

Химизм подземных вод характерен преобладанием в них шести основных ионов: среди катионов — Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ и среди анионов — HCO_3^- , SO_4^{2-} , Cl^- .

Химическая кольматация прифильтровых зон сказывается в том, что, кроме ионов, в этой области увеличивается количество растворенных веществ в форме молекул и коллоидных частиц, а также миграция веществ в виде ультра- и микромути и более крупных частиц.

Кроме того, водоносные горизонты, несмотря на наличие перекрывающих их толщ пород, в общем хорошо связаны с атмосферой и поверхностными водными источниками, которые также пополняют их химический состав.

Опыт эксплуатации водозаборных сооружений, наблюдаемый авторами и отраженный в работах исследователей [1, 2], показывает, что их дебит существенно снижается во времени вследствие зарастания фильтров и прифильтровых зон водозаборных сооружений гидратами окиси различных элементов, карбонатными и силикатными образованиями, а также механическими примесями: пылеватых, глинистых и песчаных частиц.

Для определения компонентов химических соединений, забивающих фильтры, применяются химические методы анализа.

Однако для одновременного определения комплекса нескольких элементов удобнее и экономически выгоднее использовать спектральный анализ.

Преимущество метода спектрального анализа привносимых в фильтр элементов над химическим заключается в том, что для него можно использовать небольшую навеску пробы, до 2 г.

Это обстоятельство очень важно при исследованиях фильтров шахтных колодцев, так как с пластин обрастания, помещенных в колодец, из пор клееных или блочных фильтров и из фильтрующей воды, в которой содержатся взвешенные частицы, не всегда можно отобрать большую навеску.

В почвенной лаборатории Казахского научно-исследовательского института водного хозяйства была проведена работа по применению спектрального метода для количественного определения химических элементов, входящих в соединения кольматанта фильтров: кремния, магния, кальция, железа и алюминия.

Исследования проводились на фильтрах шахтных колодцев, построенных в центральной части пастбищ пустыни Муонкумы, после двухлетней эксплуатации колодцев.

Приведем краткие сведения о распространении анализируемых элементов в пустынной зоне [3, 4].

Кремний входит в состав кварца и силикатов, он мало растворим в воде, зоны пустынь. Основными носителями кремния являются частицы песка и вторичные силикаты.

Магний входит в состав многочисленных вторичных силикатов и накапливается в грунтовых водах. Магний в условиях пустынного климата оказывается более подвижным элементом, чем кальций.

Кальций в аналогичных природных условиях не всегда успевает выщелачиваться, что приводит к накоплению этого элемента в грунтах.

Алюминий в этом случае играет роль, аналогичную кремнию. В районах, обогащенных кальцием, способность алюминия к миграции резко падает.

Железо слабо мигрирует в пустынных грунтах, отсюда низкое его содержание в грунтовых водах. Но в коре выветривания происходит относительное накопление железа за счет выноса более подвижных элементов.

Перечисленные выше элементы являются валовыми компонентами соединений, забивающих поры фильтров.

Отбор проб для анализа проводился вручную, ланцетом, с пластин обрастания и из пор отработавших в колодцах фильтров, забитых солями и механическими частицами.

Серии эталонов для анализа готовились на основе, близкой по валовому составу к отобраным пробам, разнообразным по составу [5; 6; 7].

При анализе проб, разнообразных по составу и свойствам, невозможно приготовить одну серию эталонов на несколько элементов. Поэтому для каждого элемента готовилась отдельная основа с преобладанием валовых элементов.

Например, для эталона на кальций:

Na — 3%	Mg — 37%
Al — 5%	Fe — 5%
Si — 20%	

Для эталона на железо:

Na — 3%	Ca — 15%
Al — 5%	Mg — 37%
Si — 20%	

Для эталона на кремний:

Na — 3,3%	Mg — 26,6%
Al — 5,5%	Fe — 3,3%
Ca — 16%	

Для эталона на алюминий:

Fe — 5%	Ca — 15%
Si — 20%	Mg — 35%

Эталоном для магния служат эталоны на кремний, где магний просматривается в обратном порядке, то есть в основе его количество наибольшее, а в головном эталоне — наименьшее.

Общей исходной основой служит следующий состав:

MgSO ₄ — 42%	SiO ₂ — 20%	CaSO ₄ — 15%
Fe ₂ O ₃ — 15%	Na ₂ SO ₃ — 3%	Al ₂ O ₃ — 5%

Пределы концентраций для элементов в эталонах были выбраны согласно данным о среднем содержании элементов в исследуемом объекте:

для кремния от 4,5 до 0,1%
для железа от 10 до 0,01%
для алюминия от 20 до 0,1%
для кальция от 30 до 0,5%
для магния от 26,6 до 1%

В качестве буферной смеси использовали угольный порошок. Пробы смешивались с буферной смесью в отношении 4 : 1.

Спектрограммы получали на кварцевом спектрографе ИСП-28 с трехлинзовой конденсорной системой освещения щели, при ширине щели 0,01 мм.

Для анализа применялись спектрально-чистые угольные электроды: верхний затачивался на конус, в нижнем высверливался кратер диаметром и глубиной 4 мм. В качестве фотоматериала при съемке использовали фотопластинки типа П. Промежуточная диафрагма 2.

Количественное определение содержания элементов производилось по графикам, построенным в координатах ΔS , lgC , где ΔS представляет собой разность между почернением аналитической линии определяемого элемента, а lgC — логарифм концентрации определяемого элемента.

Авторами была сделана попытка ввести в буферную смесь элементы сравнения, которая не дала положительных результатов ввиду большой разницы в значениях ионизационных потенциалов аналитических элементов. По этой причине пришлось ограничиться фоном.

Для аналитических целей были использованы следующие спектральные линии:

Определяемый элемент	Длина волны в А°	Примечание
Кремний	2577,1	—
Железо	2819,3	—
Алюминий	2378,0	—
Кальций	2721,6	Для больших концентраций
	2997,3	Для малых концентраций
Магний	2936,9	Для малых концентраций
	2915,5	Для больших концентраций

Относительная ошибка метода составила 10—15% и проверялась по сходимости результатов, полученных на различных спектрограммах.

Если искомые элементы в пробах по содержанию значительно выше, чем допускает рабочая часть градуировочного графика, то пробы разбавляли соответствующей основой. При небольшом превышении концентрации использовали трехступенчатый ослабитель.

ВЫВОДЫ

1. Использование и совершенствование спектрального метода исследования кольматанта фильтров позволит выявить более широкий комплекс элементов, входящих в его состав.

2. Преимущество спектрального метода по сравнению с химическим заключается в том, что для спектрального анализа нужна небольшая навеска, до 2 г, по которой можно получить результаты одновременно на ряд элементов.

ЛИТЕРАТУРА

- Алексеев В. С. Об особенностях подземных вод, склонных к осадкообразованию в прифильтровых зонах скважин. Труды института ВодГЕО, вып. 13, 1966.
Гаврилко В. М., Алексеев В. С. О некоторых результатах вскрытия фильтров скважин горными выработками. «Разведка и охрана недр», 1965, № 6.

- Виноградов А. П.* Геохимия редких и рассеянных химических элементов в почвах. Изд. АН СССР, М., 1957.
- Перельман А. И.* Геохимия ландшафта. Изд-во «Высшая школа», М., 1966.
- Боровик-Романов Т. Ф.* Спектрально-аналитическое определение щелочных и щелочноземельных элементов. Изд-во АН СССР, М., 1956.
- Катченков С. М.* Спектральный анализ горных пород. Изд-во нефтяной и горно-топливной литературы, Л., 1957.
- Белькевич Я. П.* Руководство по спектральному анализу металлов. Изд-во судостроительной литературы, Л., 1950.

**ИЗУЧЕНИЕ ГРУНТОВ В ПУСТЫНЕ МУЮНКУМЫ С ЦЕЛЬЮ
УЛУЧШЕНИЯ ВОДОЗАБОРА ШАХТНЫХ КОЛОДЦЕВ**

Ф. Г. ГЕРР, инженер

УДК 628.112.1

Освоение пастбищ песчаных массивов зависит в основном от их полного обводнения. По данным У. М. Ахмедсафина [2], пастбища в песках имеют колоссальное количество грунтовых вод. Эти воды можно использовать для сельскохозяйственного водоснабжения с помощью шахтных колодцев. Однако в условиях пустыни Муюнкумы большинство из построенных колодцев снижает дебит в первые же 2—3 года эксплуатации и перестает обеспечивать водой даже одной отары овец.

С целью выявления причин снижения дебита шахтных колодцев нами изучены имеющиеся работы по этому вопросу, затем в 1963 г. были выбраны площадки для строительства опытно-производственных колодцев, исследованы водно-физические свойства, гранулометрический, химический и минералогический состав грунтов и проведены соответствующие исследовательские работы по продлению срока службы колодцев.

Исследованиями мелко-тонкозернистых грунтов, обладающих пльвунными свойствами, занимались многие ученые, в частности, Ю. М. Абелев [1], У. М. Ахмедсафин [2], М. И. Евдокимов-Рокотовский [6], А. Ф. Лебедев [8], Н. В. Михаличенкина [10], В. М. Спирина [14], В. Г. Травиц [16] и другие.

Несмотря на сравнительно большое количество исследований, проведенных в области пылеватых мелко-тонкозернистых песков, обладающих пльвунными свойствами, достаточного внимания выявлению основных свойств, способствующих кольматации фильтров и разработке метода восстановления дебита колодцев в этих условиях не уделялось. Поэтому нами в КазНИИВХ были проведены работы в этом направлении. Настоящая статья посвящена исключительно изучению грунтов.

Краткая программа и методика исследований. При исследовании грунтов пустыни Муюнкумы определялся гранулометрический

состав, водно-физические свойства, химический состав кольматанта грунтов и минералогический состав отложений.

Выработки закладывались в виде буровых скважин и шурфов. Скважинами проходились грунты прикрывающего, водоносного и водоупорного слоев. Бурились они с помощью агрегата типа УГБ-50. Шурфы рыли до уровня грунтовых вод.

Пробы грунта отбирались из буровых скважин и шурфов по общепринятой методике с интервалами через 0,5 м по глубине, а монолиты — только из шурфов.

Гранулометрический состав определялся пипеточным методом микроагрегатного анализа [4, 15]. Этот метод в свое время был принят для выполнения инженерно-геологических работ институтами ВНИИ «ВОДГЕО» и ВСЕГИНГЕО. По данным анализа строились суммарные кривые механического состава в полулогарифмическом масштабе, по которым определялись d_{10} , d_{50} , d_{60} и коэффициент неоднородности грунта. Определения разновидности грунта производились по классификации В. В. Охотина и Е. М. Сергеева [11, 13].

Водно-физические свойства грунтов изучались как в полевых, так и в лабораторных условиях. В полевых условиях использовалась лаборатория И. М. Литвинова [7, 9], в стационарной лаборатории — методика Е. Г. Чаповского [15].

Удельный вес и влажность определялись весовым способом, пористость — методом насыщения и расчетным путем.

При химических исследованиях грунтов пробы в стационарной лаборатории подвергались водной и солянокислой вытяжкам, затем по существующей методике [17] определялось содержание основных солей, способных кольматировать прифилтровую зону и фильтры.

Содержание углекислого газа изучалось на кальциметре газоволюметрическим методом.

Валовой анализ был выполнен спектральным методом [3].

Для характеристики грунтов по минералогическому составу сведения заимствованы из работы У. М. Ахмедсафина [2].

Результаты исследований. Опытно-производственные колодцы были заложены в центральной части песков Муюнкумы под инвентаризационными номерами 189, 190, 191, 192 и 193.

Гранулометрический состав грунтов определялся для водоносного горизонта, прикрывающего слоя и водоупора. Средние значения данных представлены на рисунках в виде кривых гранулометрического состава (рис. 1, 2, 3, 4, 5). Обобщая и анализируя эти данные, можно отметить следующее:

1. Среднее содержание пылеватых и глинистых частиц, ультра- и микромути варьирует в пределах: в прикрывающем слое от 13 до 22,5%, в водоносном горизонте от 14 до 19%, в водоупоре от 26 до 56,8%.

2. В водоносных горизонтах площадок строительства колодцев

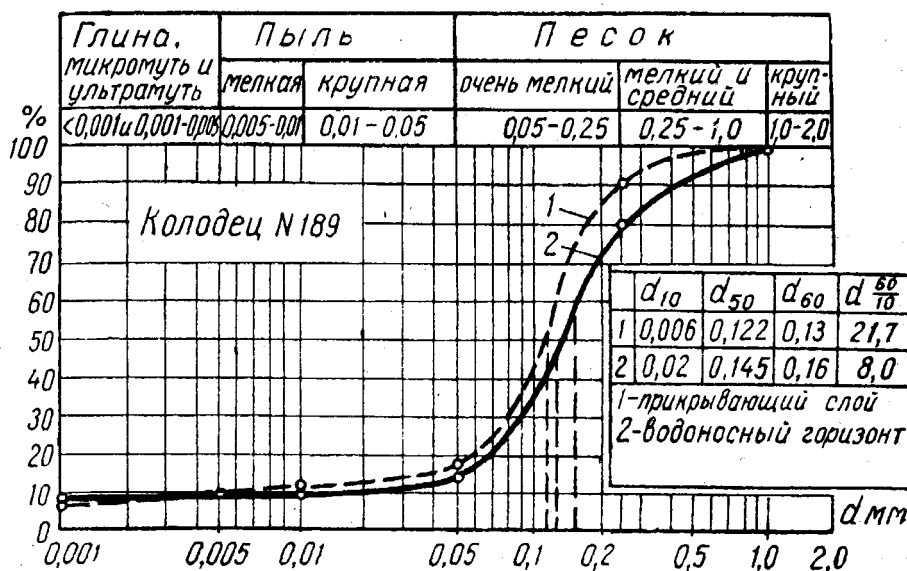


Рис. 1. Кривые гранулометрического состава грунтов на площадке колодца № 189.

можно заметить закономерное увеличение глинистых фракций в зависимости от порядка (номера расположения колодца). Так, например, в водоносном горизонте колодца № 189 глинистых частиц наименьшее количество, 14%, а на других площадках происходит их увеличение, и в колодце № 193 оно достигает 19,06%. В прикрывающем и водоупорном слоях эта закономерность наблюдается не повсеместно. Небольшое содержание глинистых и пылеватых частиц в прикрывающем слое указывает на достаточную проницаемость его инфильтрующимися атмосферными осадками.

3. Средние значения эффективного диаметра частиц d_{10} и d_{60} и коэффициентов неоднородности грунта $\frac{d_{60}}{d_{10}}$ изменяются в пределах:

	в водоносном горизонте	в прикрывающем слое
d_{10}	0,007—0,02 мм	0,0008— 0,02 мм
d_{60}	0,15 —0,23 мм	0,11 — 0,34 мм
$\frac{d_{60}}{d_{10}}$	8,0 —24,5	10,0 —27,5

Из вышеприведенных данных видно, что грунт обладает большой неоднородностью.

В дополнение к сказанному следует отметить, что мы оперировали средними данными, а на отдельных участках и в прослойках

19*

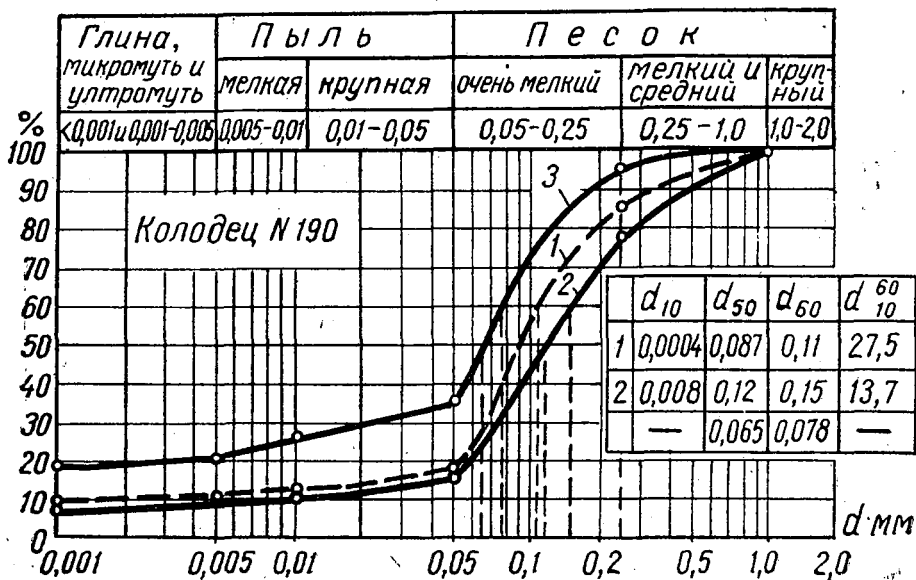


Рис. 2. Кривые гранулометрического состава грунтов на площадке колодца № 190: 1 — прикрывающий слой; 2 — водоносный горизонт; 3 — водоупор.

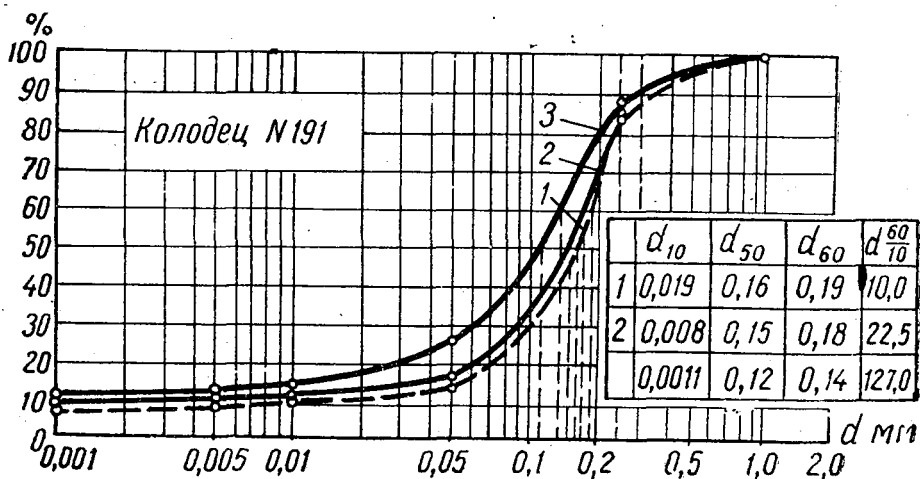


Рис. 3. Кривые гранулометрического состава грунтов на площадке колодца № 191: 1 — прикрывающий слой; 2 — водоносный горизонт; 3 — водоупор.

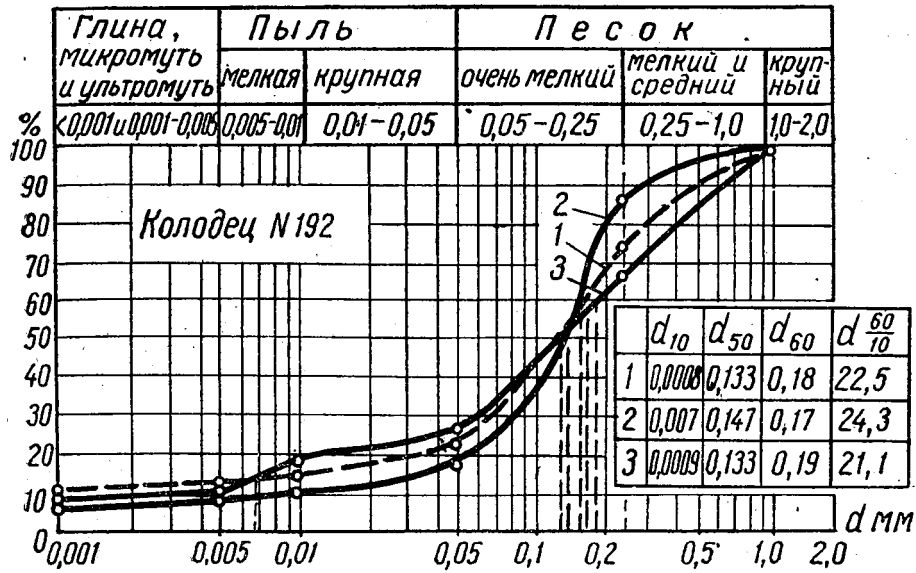


Рис. 4. Кривые гранулометрического состава грунтов на площадке колодца № 192: 1 — прикрывающий слой; 2 — водоносный горизонт; 3 — водоупор.

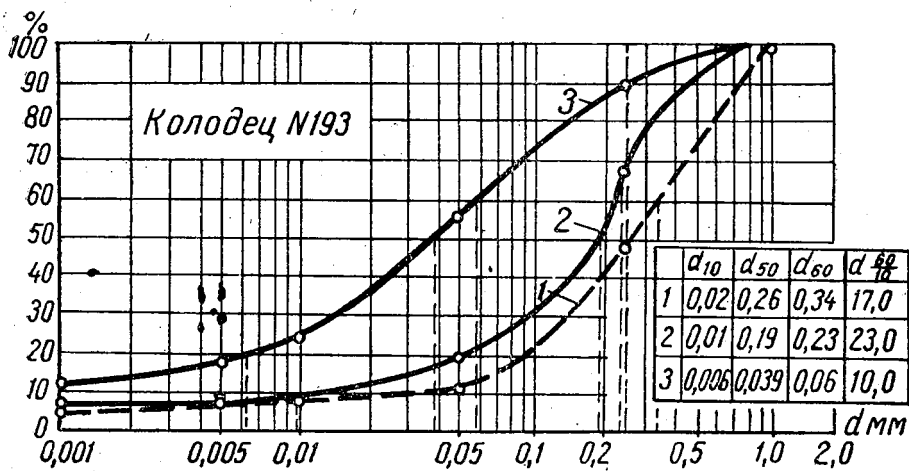


Рис. 5. Кривые гранулометрического состава грунтов на площадке колодца № 193: 1 — прикрывающий слой; 2 — водоносный горизонт; 3 — водоупор.

грунта коэффициенты неоднородности значительно выше и ниже полученных средних.

В соответствии с классификацией В. В. Охотина [11], грунты всех выбранных площадок колодцев относятся к следующим группам и разновидностям: водоносный горизонт относится к супесям тяжелым, мелким; прикрывающий слой на площадках колодцев № 189, 190, 191 — также супесь тяжелая, мелкая, на площадках № 192 — суглинок легкий, № 193 — супесь тяжелая, крупная; водоупор представляет собой суглинки средние, легкие и пылеватые.

По классификации Е. М. Сергеева [13], прикрывающий и водоносный горизонты относятся к классу пылеватых, к виду мелкозернистых песков.

Водно-физические свойства грунтов. Результаты исследований водно-физических свойств грунтов приведены в таблицах 1 и 2. Грунт обладает следующей физической характеристикой: вода в шурфах слабомутная, с оседающей мутью, грунт оплывает, оструктуренность отсутствует, цвет грунта желтовато-серый (золотистый), во влажном состоянии грунт находится в связанном состоянии, при высыхании он иногда слегка цементируется, затем теряет связность и переходит в сыпучее состояние.

Таблица 1

Основные показатели водно-физических свойств грунтов из шурфов (монолиты)

Площадки опытно-производственных колодцев	Глубина взятия образца, м	Объемный вес в естественном состоянии грунта, г/см ³	Удельный вес, г/см ³	Естественная влажность, %	Угол естественного откоса		Коэффициент фильтрации, м/сут	Пористость средняя, %	Максимальная молекулярная влагоемкость, %
					сухого грунта	мокрого грунта			
№ 191	0,5	1,65	2,52	3,55	30	27	0,084	27,1—38,7	3—6
	1,0	1,68	2,59	6,70	34	31			
	1,5	1,89	2,60	16,50	35	30			
	2,0	2,10	2,72	19,09	36	29			
№ 189	0,5	1,60	2,55	3,46	33	32	0,125	29,6—38,9	2—4
	1,0	1,69	2,59	6,16	33	31			
	1,5	1,96	2,63	19,98	35	29			
	2,0	2,04	2,68	21,40	34	32			
№ 193	0,5	1,77	2,63	8,51	32	30	0,016—0,047	30,9—37,2	3—5
	1,0	1,85	2,65	12,13	38	31			
	1,5	2,20	2,85	21,15	36	32			

Грунт, полученный с площадок опытно-производственных колодцев, согласно классификации А. Ф. Лебедева и других авторов, можно отнести к псевдоплывунам по следующим основным при-

Таблица 2

Средние показатели основных водно-физических свойств грунтов,
отобранных из скважин (водоносный слой)

Площадки опытно-произ- водственных колодцев, №	Объемный вес в высушенном сос- тоянии, г/куб. см	Удельный вес, г/куб. см	Угол естествен- ного откоса, градусы		Полная влагоем- кость, %	Максимальная молекулярная влагоемкость, %	Водоотдача, %	Пористость грун- тов, %	Уплотняемость песков	Коэффициент по- ристости
			сухого грунта	мокрого грунта						
189	1,68	2,75	33,0	22,5	20,34	6,9	13,5	34,27	0,50	0,55
190	1,63	2,69	34,0	21,5	18,40	7,9	10,5	30,40	0,50	0,49
191	1,66	2,61	33,0	22,5	21,47	7,1	14,3	33,70	0,37	0,44
192	1,69	2,68	33,0	22,1	15,40	5,2	10,2	29,35	0,30	0,41
193	1,69	2,76	34,0	21,5	20,10	8,5	11,6	34,05	0,37	0,55

знакам. Объемный вес сухого грунта составляет 1,63—1,69 г/куб. см, в то время как у истинных плавунцов он значительно выше и равен 1,8—2,2 г/куб. см; угол естественного откоса мало зависит от влажности грунта и не снижается до нуля при насыщении водой; вода в шурфах слабомутная, со сравнительно быстро выпадающей в виде осадка мутью.

Для выявления характеристик выбранных нами площадок опытно-производственных колодцев сопоставим наши данные с исследованиями У. М. Ахмедсафина, который проводил исследования грунтов в песках Муюнкумы и Южного Прибалхашья [2]. Сопоставление проведем по таким основным показателям, как гранулометрический состав грунта (класс и вид грунта, преобладающий размер фракций, содержание пылеватых и глинистых частиц) и пористость.

Для удобства сопоставления по гранулометрическому составу грунтов отдельных массивов песков южной части Казахстана с площадками опытно-производственных колодцев сведем эти данные в сокращенную таблицу 3.

Из материалов таблицы следует, что почти все сопоставляемые песчаные массивы можно отнести по Е. М. Сергееву [13] к классу пылеватых песков, к виду мелко- и тонкозернистых.

Пористость грунтов массивов песков Муюнкумы варьирует в пределах от 30—33% до 38—41%. В песках Южного Прибалхашья она колеблется от 28—32% до 38—42%.

Из сопоставления данных видно следующее.

Согласно гранулометрической классификации грунты опытно-производственных колодцев и песчаных массивов Муюнкумы и Южного Прибалхашья в целом идентичны и соответствуют классу пылеватых, виду мелко- и тонкозернистых.

Таблица 3

**Гранулометрический состав грунтов песков Муюнкумы,
Южного Прибалхашья и опытно-производственных колодцев (осреднены)**

Наименование массивов места отбора проб	Процентное содержание фракций			Коэффициент неоднородности грунта $\frac{d_{60}}{d_{10}}$
	песок мелкий	песок очень мелкий	пылеватые и глинистые фракции	
	1—0,25 мм	0,25—0,05 мм	0,05—0,001 мм	
<i>Пески Муюнкумы (по данным У. М. Ахмедсафина)</i>				
Восточная и центральная части	8,0—30,0	50,0—75,0, иногда менее 45,0	5,0—25,0	6,0—35,0
Западная часть	до 15,0	60,0—70,0	20,0—30,0	12,0—26,0
Отложения современных рек Чу и Таласа	7,0, иногда достигает 30,0	40,0—70,0	30,0—40,0, варьирует от 5,0 до 70,0	14,0
<i>Пески Южного Прибалхашья (по данным У. М. Ахмедсафина)</i>				
(Сары-Ишик-Отрау, Таукумы и Джуанкумы)	8,0—15,0, достигает 30,0	70,0—80,0	10,0—20,0	4,0—44,0 в среднем 14,0
<i>Опытно-производственные колодцы (по данным автора)</i>				
Прикрывающий горизонт	8,6—53,2	34,0—75,4	13,0—22,5	10,0—27,5
Водоносный горизонт	13,3—32,0	49,0—70,0	14,0—19,0	8,0—24,3
Водоупор	5,0—33,5	32,0—61,3	25,0—56,0	—

Как в грунтах опытно-производственных колодцев, так и по основным частям песчаных массивов наблюдается преобладающее содержание фракций диаметром 0,05—0,25 мм, но удельное значение их на различных участках заметно меняется. Например, в западной части песков Муюнкумы и в Южном Прибалхашье содержание их несколько выше, чем в восточной части песков Муюнкумы.

Удельное значение фракций диаметром 0,25—1,0 мм на всех участках песчаных массивов и опытно-производственных площадках идентично.

Существенно колеблется содержание пылеватых и глинистых частиц диаметром 0,001—0,05 мм. Так, например, если на площадках опытно-производственных колодцев в восточной части песков Муюнкумы и в Южном Прибалхашье оно в основном идентично и изменяется от 10 до 20%, то в отложениях современных рек Чу и Таласа и в западной части Муюнкумов оно несколько выше, достигает 30—40%.

Коэффициенты неоднородности грунтов на рассматриваемых участках песчаных массивов и на площадках опытно-производственных колодцев варьируют в сравнительно больших пределах и в основном идентичны.

Пористость грунтов опытно-производственных колодцев численно более близка к пористости равнинных террас. Это естественно, так как обычно колодцы устраиваются в равнинных местах, а не на барханах.

Сопоставление основных данных по грунтам площадок опытно-производственных колодцев с данными исследований У. М. Ахмедсафина по пустыням Муюнкумы и Южного Прибалхашья свидетельствует о типичности выбранных площадок строительства колодцев для этих массивов.

Химические исследования грунтов площадок опытно-производственных колодцев проводились с целью определения содержания растворимых химических элементов (солей), способных перемещаться грунтовыми водами и вызывать кольматацию прифилтровой зоны и фильтров шахтных колодцев.

При исследовании выявлено, что грунты водоносного и прикрывающего горизонтов по химическому составу в основном не имеют между собой отличий. Однако в водоносном горизонте встречаются прослойки грунта, сцементированного солями до слабого песчаника. Эти сцементированные прослойки имеют местное название «керч», залегают пропластками толщиной от нескольких сантиметров до 0,5 м, содержат идентичные соли с водоупором. Образуются они в результате длительного процесса обменных реакций и концентрации солей вследствие большого испарения в верхней зоне капиллярного пояса.

Но чаще всего керч погружен под уровень грунтовых вод, что свидетельствует об изменении условий залегания грунтовых вод. По данным У. М. Ахмедсафина [2] и В. Н. Кунина, такие же явления наблюдаются по всей территории песков Муюнкумы и в песках Каракумы и Южного Прибалхашья.

Результаты химического анализа грунтов приведены в таблице 4, а данные о среднем содержании солей — в таблице 5.

Валовой анализ грунтов показывает сравнительно небольшое содержание в прикрывающем и водоносном горизонтах элементов кальция и магния (2,2%; 0,56%), в то время как в водоупорном слое и прослойках их содержится в 3,0—36,0 раз больше (7%; 20,4%). Содержание алюминия и марганца в этих слоях почти равное. Кремния и железа несколько больше содержится в прикрывающем и водоносном слоях — 19%; 0,41%, в то время как в водоупоре и прослойках — только 13,5 и 0,15%.

Высокое содержание алюминия и кремния указывает на содержание в грунтах большого количества глины, так как эти химиче-

Таблица 4

**Данные химического анализа грунтов площадок
опытно-производственных колодцев**

Вид анализа	Химические элементы и соединения	Содержание в абсолютно сухой навеске, %		
		водоносный и прикрываю- щий горизон- ты	водоупор и прослойки грунта, цементированного солями, в водоносе	
			верхние слои водоупора и прослойки	в толще водоупора (1,3 м)
Валовой анализ (спект- ральный метод, коли- чественный)	Алюминий	22,90	14,10	23,44
	Кремний	19,00	12,00	13,50
	Кальций	2,20	7,90	7,00
	Магний	0,56	3,90	20,40
	Железо	0,41	0,06	0,15
	Марганец	0,03	—	0,05—0,10
Полуколичественный Кальциметрический анализ	Углекислый газ (CO ₂)	2,89	10,08	5,33

ские элементы входят в основном в состав глин и в наименьшем количестве встречаются в ряде минералов.

Наибольшее содержание углекислого газа наблюдается в цементированных прослойках водоносного грунта и в верхнем слое водоупора (10%), в то время как в толще водоупора его в два раза меньше (5,3%), а в основной толще прикрывающего и водоносного грунтов — в 3 раза (2,9%).

Таблица 5

Содержание солей в грунтах площадок опытно-производственных колодцев

Наименование солей	Водоносный и прикрывающий горизонты, %	Водоупор и цементированные прослойки грунта в водоносе, %
Легкорастворимые соли	0,076	1,0
Среднерастворимые соли	0,12	0,3
Труднорастворимые соли	7,77	23,0
В том числе:		
кальцит	6,04	20,0
магнезит	1,73	3,0

Данные химического анализа грунтов указывают на большое содержание солей в цементированных прослойках водоносного горизонта и водоупора (23%) и значительно меньшее — в прикрывающем и водоносном горизонтах (до 8%). По отдельным группам

солей оно выглядит так: в прикрывающем и водоносном слоях легкорастворимых солей в 13 раз меньше, чем в сцементированных прослойках и в водоупоре; среднерастворимых — в 25 раз.

Приведенные выше данные указывают на основную концентрацию солей в сцементированных прослойках водоносного грунта и водоупора и на достаточную промытость грунтов прикрывающего и водоносного горизонтов.

Таким образом, в грунтах площадок опытно-производственных колодцев можно отметить сравнительно высокое содержание солей.

На основании исследований Н. Н. Веригина [5], А. Е. Орадовской и Ф. М. Бочевера [12] и других, соли, которые содержатся в грунтах под сооружениями или вокруг них, при омывании грунтовыми водами подвергаются медленному растворению и переносу. Растворение и перенос солей в грунтах вокруг шахтных колодцев возрастают в связи с интенсивными откачками воды, в результате чего возникает опасность химической кольматации прифилтровой зоны и фильтров колодцев солями кальция, магния и другими, которые имеются в исследуемых грунтах в сравнительно больших количествах.

Таблица 6

Минералогический состав отложений песков Муюнкумы и Южного Прибалхашья

Наименование пастбищ	Содержание, %			
	кварц	полевой шпат	обломки пород	кремень
<i>Пески Муюнкумы</i>				
Восточная и центральная части	45—71	14—24	10—29	До 8—10, редко
Древняя терраса и западная часть	44—80	7—18	6—21	До 2—12, редко
Современная терраса рек Чу и Таласса	46—68	12—27	4—17	До 4—24, редко
<i>Пески Южного Прибалхашья</i>				
Джакум	65—48	3—8	0,7—35	—
Сары — Ишик — Отрау	50—60	7—21	11—35	—
Древняя равнинная терраса р. Или	49—67	10—11	20—40	—
Современная равнинная терраса р. Или	57—63	13—28	11—26	—

Минералогический состав. Отложения песков Муюнкумы и Южного Прибалхашья не отличаются сложностью минералогического состава. По данным исследований У. М. Ахмедсафина [2], их главными компонентами являются кварц, полевой шпат, обломки пород, реже кремний и слюда.

Обломки пород состоят из агрегатов тонких глинистых частиц амфибола, эпидола, полевого шпата, кварца и слюды.

Процентное содержание основных компонентов приведено в таблице 6.

Почти во всех образцах присутствует карбонатное вещество в виде тонкой пыли, обволакивающее минеральные зерна или же цементирующее их. В очень незначительном количестве встречаются такие минералы, как слюда (биотит, мусковит), хлорит, амфиболы, апатит, ильменит, а в некоторых образцах — циркон и гранаты.

Пески Муюнкумы и Южного Прибалхашья имеют полевошпатово-кварцевый состав, более или менее выдержанный на всем протяжении песчаных массивов, что подтверждает генетическое единство этих песчаных образований.

Полевые шпаты представлены розовым, красным и зеленым микроклином, обладают значительной окатанностью. Зерна кварца, наоборот, отличаются слабой окатанностью, часто прозрачностью.

ВЫВОДЫ

В результате анализа данных, полученных при проведении работ на площадках строительства опытно-производственных колодцев в центральной части песков Муюнкумы, и использования исследований других авторов можно сделать следующие выводы:

1. Грунты прикрывающего и водоносного горизонтов имеют коэффициент неоднородности порядка 8—27,5, обладают свойством псевдоплывунов, относятся к супесям тяжелым или суглинкам легким, к классу пылеватых, к виду мелко-тонкозернистых.

2. В грунтах содержится сравнительно большое количество солей, которые способны растворяться, выщелачиваться и перемещаться грунтовыми водами. Так, легкорастворимых солей содержится от 0,08 до 1%, среднерастворимых солей — от 0,12 до 0,3% и труднорастворимых солей кальция и магния — от 7,8 до 23%.

3. Содержание в грунтах сравнительно большого количества пылеватых и глинистых частиц, а также воднорастворимых солей вызывает опасность физико-химической коагуляции фильтров и прифилтровой зоны колодцев.

4. Выбранные участки для строительства опытно-производственных колодцев являются репрезентативными с точки зрения грунтовых условий громадной территории пастбищ песков Муюнкумы и даже Южного Прибалхашья.

5. Физические свойства исследованных грунтов зависят прежде всего от гранулометрического и химико-минералогического состава. Кроме того, они находятся в исключительно большой зависимости от природы содержащихся в них обменных катионов.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Абелев Ю. М.* Плывуны как основание сооружений и методы их исследования на месте постройки. Стройиздат, 1947.
2. *Ахмедсафин У. М.* Подземные воды песчаных массивов южной части Казахстана. Изд-во Академии наук КазССР, 1951.
3. *Боровик-Романов Т. Ф.* Спектрально-аналитическое определение щелочных и щелочноземельных элементов. Изд-во Академии наук СССР, 1956.
4. *Васильев А. М.* Основы современной методики физических свойств грунтов. Изд-во Минстройсредмаш, 1949.
5. *Веригин Н. Н.* О растворении пластов горных пород в подземных водах. Труды ВНИИ «ВОДГЕО», вып. 6, 1964.
6. *Евдокимов-Рокотовский М. Н.* Строительство на пльвунах. Стройиздат, 1941.
7. Инструкция по исследованию строительных свойств грунтов в полевой лаборатории И. М. Литвинова (П.Л.Л.—9). Харьков, 1963.
8. *Лебедев А. Ф.* Природа истинных пльвунов. «Москва — Волгострой», № 9, 1935.
9. *Литвинов И. М.* Исследования грунтов в полевых условиях. 1951.
10. *Михаличенкина Н. В.* Органические пльвуны. Диссертация, библиотека им. Ленина, 1958.
11. *Охотин В. В.* Физические и механические свойства грунтов в зависимости от их минералогического состава и степени дисперсности. Изд-во Гущосдора НКВД, 1937.
12. *Ородовская А. Е., Бочевер Ф. М.* Приближенный расчет растворения пластовых солей в основании гидротехнических сооружений. Труды ВНИИ «ВОДГЕО», вып. 6, 1964.
13. *Сергеев Е. М.* К вопросу о классификации песков по гранулометрическому составу. Ученые записки МГУ, вып. 149, книга вторая, 1951.
14. *Спирина В. М.* Возможность использования вод пльвунов на юге УССР для улучшения с.-х. водоснабжения. Бюлл. Н. Т. Инф. Укр. НИИГИМ, № 5, 1958.
15. *Чаповский Е. Г.* Лабораторные работы по грунтоведению и механике грунтов. Гостехиздат, 1958.
16. *Травин Э. Г.* Физико-технические свойства пльвунных грунтов и способы устройства крупных коллекторов в них. Тезисы докладов конференции. Ташкент, 1964.
17. Указания по определению засоленности грунтов. ВНИИ «ВОДГЕО», 1956.

**ПРИМЕНЕНИЕ КРИВЫХ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ
К ОПРЕДЕЛЕНИЮ РАСЧЕТНЫХ РАСХОДОВ В СИСТЕМАХ
СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ**

А. А. КЕМЕЛЕВ, кандидат технических наук,
К. Ш. АШИРЯЕВ, инженер

УДК 628.18

Все возрастающий объем работ по развитию и совершенствованию сельскохозяйственного водоснабжения, значительные капитальные вложения, выделяемые государством на эти цели, заставляют все больше уделять внимания вопросам экономики сельскохозяйственного водоснабжения, и в особенности вопросам эффективности капитальных вложений в этой области. Повышение экономической эффективности использования производственных фондов и капитальных вложений имеет важное значение для крупных групповых систем водоснабжения, стоимость которых исчисляется десятками миллионов рублей. Успешное решение данной задачи зависит от ряда условий, основным из которых является правильное установление водопотребления сельскохозяйственными объектами, обслуживаемыми данной системой.

Водопотребление в системе водоснабжения складывается из расходов воды потребителями различных категорий на самые разнообразные нужды. Так, в сельском населенном пункте вода расходуется населением на питьевые и бытовые нужды, для водопоя и содержания в чистоте животных общественного стада и находящихся в индивидуальном пользовании, полив приусадебных участков, на мойку и заправку автомашин, тракторов, комбайнов и других сельхозмашин, на нужды различных промышленных предприятий и т. п. В зависимости от ряда причин, связанных с режимом жизни населения, сезонностью сельскохозяйственного производства, погодными факторами и т. д., суточный расход воды в населенном пункте в течение года сильно колеблется. Многообразие факторов, определяющих величину суточного расхода воды, и их сложное взаимодействие обуславливают эти колебания, придают величинам случайный характер.

Из теории вероятностей известно, что основным признаком случайных величин является множественность и независимость

друг от друга определяющих их факторов. Вторым признаком является независимость двух смежных и следующих друг за другом в хронологическом порядке значений этих величин.

Наши исследования показали, что эти оба признака имеют место в годовом распределении суточных расходов воды. Случайный характер величин суточного водопотребления открывает широкие возможности для применения теории вероятности и математической статистики при обработке данных о водопотреблении. Одним из методов обработки является применение теоретической кривой распределения, которая по своему характеру наиболее близко подходит бы к распределению интересующей величины. В наших исследованиях такой величиной является суточный расход воды.

Кривая распределения показывает, какова повторяемость суточного расхода заданной величины в долях или процентах от общего числа суточных расходов. Так, например, если речь идет о повторяемости одинаковых суточных расходов в течение года, то можно сказать, что под повторяемостью понимается число дней в году, в течение которых наблюдается тот или иной расход.

В практических расчетах гораздо больший интерес представляет интегральное выражение кривой распределения — кривая продолжительности суточных расходов. Под продолжительностью понимают длительность периода времени, в течение которого наблюдаются величины, превышающие заданную. Продолжительность так же, как и повторяемость, выражается в долях или процентах от общего периода наблюдений.

Как показали исследования, кривые распределения суточных расходов воды имеют асимметричный характер.

Асимметричная кривая распределения характеризуется следующими параметрами:

среднее арифметическое значение суточного расхода

$$\bar{x} = \frac{\sum_1^n x_i}{n}, \quad (1)$$

среднее квадратичное отклонение от x (стандарта)

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_1^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}}, \quad (2)$$

коэффициент вариации

$$c_v = \frac{\sigma}{\bar{x}} = \sqrt{\frac{\sum_1^n (k_i - 1)^2}{n-1}}, \quad (3)$$

где модульный коэффициент

$$k = \frac{x_l}{x}$$

коэффициент асимметрии

$$c_s = \frac{\sum_1^n (k_l - 1)^3}{n \cdot c_v^3} \quad (4)$$

Кривая распределения или продолжительности суточных расходов воды может быть построена графически по имеющимся опытным данным, или ординаты ее могут быть вычислены с помощью аналитического выражения. Наши исследования показали, что фактическим данным лучше всего удовлетворяет уравнение асимметричной биномиальной кривой, которое в дифференциальной форме и при начале координат в точке моды имеет следующий вид:

$$y = y_0 \cdot e^{-x/d} \left(1 + \frac{x}{a}\right)^{a/d} \quad (5)$$

или в интегральном виде (уравнение кривой продолжительности)

$$y_1 = \int y_0 e^{-x/d} \left(1 + \frac{x}{a}\right)^{a/d} \cdot dx, \quad (6)$$

где x — суточные расходы воды;

y — соответственные значения частоты (ординаты кривой распределения);

y_1 — соответственные значения продолжительности;

y_0 — наибольшая частота (максимальная ордината кривой распределения, или мода);

d — радиус асимметрии (расстояние от центра распределения до моды);

a — расстояние от моды до начала кривой распределения;

n — общее число членов ряда суточных расходов воды.

Ординаты биномиальной асимметричной кривой в интегральном виде или кривой продолжительности устанавливаются по известной в водохозяйственных расчетах таблице С. Рыбкина. Эта таблица дает нормированные отклонения от средних значений, приведенных к значению коэффициента вариации $C_v = 1$, то есть значений

$$\Phi = \frac{k-1}{C_v}$$

в зависимости от коэффициента асимметрии и обеспеченности P , где Φ известное число Фостера.

Практикой установлено, что значения коэффициента асимметрии для рассматриваемой кривой заключаются между следующими пределами:

$$2C_v \leq C_s \leq \frac{2C_v}{1 - k_{\min}}$$

где k_{\min} — минимальное значение модульного коэффициента.

Величина ординаты кривой продолжительности в относительном выражении (модульный коэффициент) определяется по выражению

$$k = \Phi C_V + 1.$$

Таким образом, для установления ординат биномиальной кривой необходимо определить значения среднесуточного расхода, коэффициента вариации и коэффициента асимметрии.

В математической статистике для определения соответствия того или иного вида теоретической кривой эмпирическим кривым распределения пользуются аналитическим и графическим способами. Аналитический способ заключается в использовании так называемых «критериев согласия». Наиболее употребительны в практике критерий χ^2 (К. Пирсона) и критерий λ (А. Колмогорова и Н. Смирнова).

В наших исследованиях был использован более простой графический способ установления соответствия теоретической кривой (биномиальной асимметричной) эмпирическим кривым распределения. Единственным критерием теоретической кривой распределения при этом способе является близкое расположение эмпирических точек около выбранной кривой.

На основании анализа годовых графиков водопотребления нами было выделено два сезона — «летний» и «нелетний», — отличных по характеру водопотребления и генетическим факторам, его определяющим.

Для назначения режима работы сооружений системы водоснабжения с целью определения их оптимальных размеров наибольший интерес представляет «летний» сезон, как наиболее напряженный, лимитирующий по водопотреблению.

Для облегчения построения, и особенно экстраполяции, за пределы полученных значений используются специальные виды клетчатки, спрямляющие кривую. Нами была использована клетчатка с умеренной асимметричностью (с обыкновенной вертикальной шкалой).

Коэффициент асимметрии, вычисленный при коротких рядах наблюдений, имеет большие погрешности. Поэтому на практике он обычно подбирается из условия наилучшего соответствия теоретической кривой эмпирическим точкам.

Коэффициент вариации, характеризующий среднюю изменчивость водопотребления, за «летние» сезоны для исследуемых нами объектов по годам исследований колебался от 0,3 до 0,6. Среднесуточные расходы воды для этих же объектов по годам колебались от 50 до 600 м³.

Общий суточный расход воды в групповой системе водоснабжения складывается из суточных расходов воды всех объектов, подключенных к данной системе. Анализ графиков водопотребления показывает, что в колебаниях суточных расходов воды исследуе-

мых объектов не наблюдается синхронности. Следовательно, суммарное водопотребление в групповой системе водоснабжения будет характеризоваться меньшей изменчивостью и, очевидно, чем больше будет объектов даже с примерно одинаковым составом потребителей, тем меньше будет изменчивость.

Коэффициент вариации, подсчитанный для суммарного водопотребления, характеризуется большей устойчивостью. Его значения колеблются от 0,2 до 0,4.

Асинхронность в колебаниях суточного расхода воды для различных объектов имеет важное значение при определении расчетного суточного расхода в групповых системах водоснабжения. В настоящее время расчетный расход определяется как сумма максимальных суточных расходов всех объектов

$$Q_{\text{макс.сут}} = \sum_1^n q_{\text{макс.сут.}}$$

где $Q_{\text{макс.сут}}$ — максимальный суточный расход воды в групповой системе;

$\sum_1^n q_{\text{макс.сут}}$ — сумма максимальных суточных расходов всех объектов групповой системы.

В данном случае предполагается, что в какие-то сутки максимальные суточные расходы совпадут во времени у всех потребителей. Такой принцип расчета сразу же обуславливает значительные резервы мощностей сооружения системы водоснабжения. Вычисления максимального суточного расхода, проведенные с помощью кривой распределения суммарного суточного расхода, показывают, что его величина составляет 70—80% от максимального расхода, подсчитанного по существующей методике. Следует отметить, что максимальный расход воды имеет малую повторяемость в году (1—2 суток).

Для определения оптимального расчетного расхода воды суточные расходы воды целесообразно представлять не в однозначной форме, а в виде обобщенной кривой продолжительности суточных расходов воды, которая в данном случае имеет характер кривой обеспеченности. Такая форма представления расхода воды дает возможность судить о вероятных колебаниях его значений и позволяет выбрать оптимальный расчетный расход воды путем технико-экономических расчетов.

ЛИТЕРАТУРА

- Абрамов Н. Н. Водоснабжение. Стройиздат. М., 1967.
Аширьев К. Ш. Исследования неравномерности водопотребления в системах сельскохозяйственного водоснабжения. В настоящем сборнике.

- Вентцель Е. С.* Теория вероятностей. Изд-во «Наука», М., 1964.
- Кемелев А. А.* Исследование режима водопотребления на групповых системах сельскохозяйственного водоснабжения. Труды ТСХА, 1962. вып. 54.
- Леви И. И.* Инженерная гидрология. Изд-во «Высшая школа», М., 1968.
- Оводов В. С.* Сельскохозяйственное водоснабжение и обводнение. Сельхозгиз, М., 1960.
- Смирнов Н. В., Дунин-Барковский И. В.* Курс теории вероятностей и математической статистики для технических приложений. Изд-во «Наука», М., 1965.

ГИДРОЛОГИЯ

**К ВОПРОСУ РАСЧЕТА ВЕТРОВЫХ НАГОНОВ В СЕВЕРНОЙ
ПРИБРЕЖНОЙ ЧАСТИ КАСПИЯ (междуречье Волга-Урал)**

В. С. БУРУМЕНСКИЙ, *кандидат технических наук,*
С. К. ФИЛИМОНОВ, *инженер*

УДК 551.481.2

В связи с отступлением береговой линии Каспийского моря площади тростниковых угодий в приморской полосе Гурьевской области непрерывно сокращаются, что наносит значительный ущерб сельскому хозяйству этого района.

Вымирание растительности в зонах, где она была ранее обильной, идет быстрее, чем образование новой в районах, освободившихся от морских вод. При этом все большее значение для урожайности тростника имеют нагоны воды ветром на прибрежную полосу, приобретающие иногда катастрофический характер и приводящие к разрушению гидротехнических сооружений.

Почти полное отсутствие данных о характеристике нагонных явлений в некоторой степени затрудняет более интенсивное сельскохозяйственное использование пастбищных массивов приморской полосы.

Отделом гидрологии Казахского научно-исследовательского института водного хозяйства в 1964—1965 гг. был проведен комплекс гидрометеорологических исследований, целью которых являлось получение фактического материала, характеризующего величины скорости, высоты нагонов, ширину зоны затопления береговой суши в зависимости от действия ветров различного направления и силы, уклонов побережья и ориентации берегов.

Указанный комплекс исследований проводился в междуречье Волга-Урал, на участке побережья от Атаманского полуострова до урочища Жамбай.

Следует отметить, что в специальной литературе указанный вопрос освещен очень слабо и ограничивается несколькими рекомендациями с целым рядом неопределенных коэффициентов, затрудняющих их практическое применение.

Для исследования взаимосвязанности сгонно-нагонных явлений

с вызывающими их ветрами было построено 9 свайных водомерных постов (6 вспомогательных, 2 основных и 1 контрольный).

Протяженность постов колебалась в пределах от 1 до 13 км, при принятом превышении оголовков свай 5—20 см и расстоянии между ними 250—500 м. Среднее расстояние между водопостами принято равным 10 км. Контрольный гидроствор в районе урочища Жамбай оборудован самописцем уровня, установленным в специально сконструированном металлическом колодце, и дистанционной метеорологической станцией ДМС-53.

В период интенсивных нагонов, кроме фиксирования уровней на контрольном посту, измерение их проводилось на двух основных постах по обе стороны от контрольного, что позволило охватить фактически непрерывными наблюдениями 20-километровую полосу побережья. После спада воды и подсыхания почвы максимальное положение уровня по отношению к сваям остальных водопостов определялось путем контрольных объездов всего опытного участка.

С целью оценки характеристик нагонных ветров статистической обработке были подвергнуты все имеющиеся метеорологические данные по станциям, расположенным в междуречье Волга-Урал. При этом предполагалось, что и средняя скорость, являющаяся наиболее удобной характеристикой, и продолжительность нагонного ветра являются независимыми статистическими переменными.

В связи с этим вероятность образования наиболее сильных нагонов определяется благоприятной комбинацией двух факторов: максимальной продолжительностью нагонного ветра и максимальной его средней скоростью. Таким образом, вероятность образования нагонов при определенных скоростях и продолжительности ветров оценивается соотношением $P = P_V \cdot P_T$, где P — вероятность образования нагона при средней скорости ветра вероятностью P_V и его продолжительности вероятностью P_T .

При этом необходимо отметить, что вероятность появления нагонов определенной повторяемости теоретически может вызываться всевозможными комбинациями средних скоростей и продолжительности нагонных ветров. На практике это положение, как правило, наблюдается лишь при определенных верхних пределах скоростей и продолжительности нагонных ветров.

В таблице 1 приводится пример подобного расчета для ветров южного направления.

В такой же форме получены результаты обработки сведений о ветрах и для юго-восточных и юго-западных румбов.

Осредненные данные по ветрам южного направления, полученные при обработке всего имеющегося ряда наблюдений, показывают, что для обеспеченности в 1% средняя скорость и продолжительность нагонных ветров южного направления соответственно равны 21 м/сек и 105 часов.

В период полевых исследований наиболее резкий нагон зафик-

Таблица 1

Продолжительность и средние скорости нагонных ветров южного направления различной обеспеченности

Месяцы	Обеспеченность, %		
	1	20	50
Март	59 <u>13,7</u>	46 <u>8,9</u>	36 <u>6,5</u>
Апрель	92 <u>18,5</u>	60 <u>11,1</u>	42 <u>7,4</u>
Май	70 <u>11,1</u>	52 <u>7,5</u>	40 <u>6,0</u>
Сентябрь	84 <u>10,3</u>	62 <u>6,8</u>	48 <u>5,1</u>
Октябрь	61 <u>12,7</u>	46 <u>7,5</u>	36 <u>5,2</u>
Ноябрь	84 <u>10,6</u>	62 <u>7,3</u>	48 <u>5,5</u>

Примечание. В числителе — продолжительность в часах, в знаменателе — скорость в м/сек.

сирован 10—12/VIII 1965 г. Высота его достигла 80 см. Причем этому явлению предшествовал устойчивый стон с общим понижением уровня на 76 см. Таким образом, амплитуда колебаний уровня в этот период достигла 1,56 м. В остальное время наблюдались менее значительные нагоны и стоны, высотой в среднем 20—30 см.

Приведенные выше результаты обработки данных по нагонным ветрам, полученных в период экспедиционных работ, позволили в первом приближении установить связь высоты подъема уровней и ширины зоны затопления прибрежной суши при действии ветров различного направления и скорости в зависимости от уклонов побережья и общей ориентации береговой линии.

Для характеристики высоты нагонов получено 4 кривых (рис. 1). Как видно из этого рисунка, зависимость высоты нагонов от скорости и продолжительности ветра является криволинейной. Причем в начале нагона интенсивность подъема уровней выше, затем она постепенно замедляется в связи с тем, что усиливается действие силы тяжести и развивающегося градиентного течения, направленного в сторону, противоположную дрейфовому течению. В определенный момент времени повышение уровня достигает максимума, затем вообще прекращается. Это происходит в тот момент, когда приток воды за счет дрейфового течения становится равным оттоку воды за счет градиентного течения.

При различных скоростях ветра, но одной и той же продолжительности его максимальная величина подъема уровней будет различной. Это наглядно отражается зависимостью на рисунке 1.

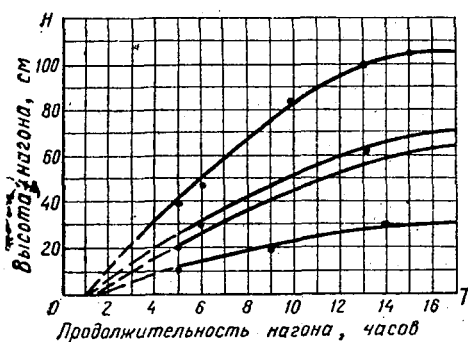


Рис. 1. Зависимость высоты нагона от средней скорости и продолжительности ветра. Скорость ветра: первая кривая снизу 3,5 м/сек, вторая — 6,5, третья — 7,0, четвертая — 10,0 м/сек.

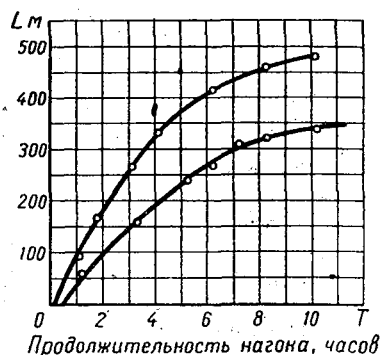


Рис. 2. Зависимость ширины зоны затопления от средней скорости и продолжительности нагонного ветра. Скорость ветра: первая кривая снизу 8,0 м/сек, вторая — 12,8 м/сек.

В связи с тем, что в приморской полосе Гурьевской области направление и скорость ветра меняется очень быстро, не удалось найти максимальные точки подъема уровней при действии ветров различной продолжительности и средней скорости. В связи с этим зависимость на рисунке отражает какие-то средние условия. Аналитическим выражением связи, приведенной на рисунке 1, является уравнение:

$$H_n = H_0 + 7,71 V_{\text{ср}} (\lg T)^{5/3} \text{Cos } \alpha, \quad (1)$$

где H_n — высота подъема уровня в см;
 H_0 — уровень в начале нагона;
 $V_{\text{ср}}$ — средняя скорость ветра за период нагона;
 T — продолжительность действия нагонного ветра в часах;

$\text{Cos } \alpha$ — косинус угла между перпендикуляром к береговой линии и направлением действия ветра.

В этом случае, разумеется, не учитываются детали, связанные с микроизгибами береговой линии.

Другим важным вопросом является расчет возможной ширины зоны затопления прибрежной суши в зависимости от действия ветров различного направления и силы. Высота нагона и ширина зоны затопления должны быть определенным образом связаны между собой через уклон местности.

Установить такую связь для рассматриваемых условий позволили перечисленные выше эксперименты и специальная обработка полученных материалов (рис. 2).

Следует отметить, что на экспериментальном участке повышение уровней и затопление суши происходит плавно в связи со значительной шириной прибрежных тростниковых зарослей.

Как видно из рисунка 2, при одной и той же продолжительности, но разной средней скорости ветра ширина зоны затопления будет различной. Связь, как и предыдущая, является криволинейной и удовлетворительно описывается следующей формулой:

$$L = 10^{3,0 - 571i} V_{\text{cp}} (\lg T + 0,016 V_{\text{cp}} - 0,27) \cos \alpha, \quad (2)$$

где L — ширина зоны затопления в м;
 V_{cp} — средняя скорость ветра за период нагона в м/сек;
 T — продолжительность нагона в часах;
 i — уклон местности;
 $\cos \alpha$ — имеет то же значение, что и в уравнении (1).

Как видно из формулы 2, максимальная скорость продвижения фронта нагона в рассматриваемых условиях равна 0,3 м/сек. Эта скорость замедляется с увеличением уклона.

В таблице 2 приведена ширина зоны затопления приморской полосы Гурьевской области различной повторяемости, рассчитанная по формуле 2 при уклоне $i=0,0002$, наиболее характерном для этого участка побережья.

Таблица 2

Ширина затопления приморской полосы Гурьевской области при действии ветров южного направления различной обеспеченности

Месяцы	Ширина затопления, км		
	при обеспеченности		
	1%	5%	50%
Март	17,7	14,8	6,90
Апрель	28,3	23,1	8,70
Май	15,1	13,0	6,50
Сентябрь	14,4	12,0	5,80
Октябрь	16,8	13,0	5,40
Ноябрь	14,9	13,6	6,02

Таким образом, имея заблаговременный прогноз погоды, по приведенным рекомендациям можно рассчитать возможную высоту нагона и ширину зоны затопления рассматриваемого участка побережья. Полученные рекомендации, хотя и обеспечивают достаточно точность расчета, носят характер приближенных.

С целью уточнения расчетных связей необходимо дальнейшее развитие постоянной наблюдательной сети со специальной программой исследований.

ЛИТЕРАТУРА

Караушев А. В. Исследование и расчет стонно-нагонных явлений на водохранилищах. Труды III Всесоюзного гидрологического съезда, т. IV, Гидрометиздат, Л., 1959.

Маккавеев В. М. Некоторые вопросы теории ветрового волнения. Труды III Всесоюзного гидрологического съезда, т. IV, Гидрометиздат, Л., 1959.

**МЕТОДЫ РАСЧЕТА ВЕСЕННЕГО СТОКА МАЛЫХ
И СРЕДНИХ ВОДОТОКОВ ЗАСУШЛИВЫХ ОБЛАСТЕЙ
КАЗАХСТАНА ПО ДАННЫМ ОСЕННЕГО УВЛАЖНЕНИЯ
БАССЕЙНА**Ф. В. ШҚАЛИКОВ, *научный сотрудник.*

УДК 551.482.4 (574)

Использование местных поверхностных вод, в частности малых временных водотоков (логов), в связи с дальнейшим освоением целинных земель и новых пастбищ приобретает большое значение. Особенно это важно в пустынно-степных районах Казахстана, где постоянно действующих водных источников почти нет. Пересыхающие лога являются здесь главнейшими объектами водохозяйственного строительства для обводнения и водоснабжения, а также мелководного (склонового) лиманного орошения. Однако более широкое и рациональное использование указанных источников затруднено отсутствием надежных методов расчета норм стока.

В связи с этим нами была проведена работа по изысканию более совершенных методов расчета стока малых временных водотоков, в том числе полностью пересыхающих логов. Вместе с тем в процессе исследований были найдены новые методы расчета и для средних рек всей северной равнинной части Казахстана. Эта территория тоже относится к районам недостаточного увлажнения.

В основу исследований положены материалы наблюдений Западно-Казахстанской стоковой станции за 1951—1963 гг.

Стоковая станция расположена в зоне полупустыни, в верховьях р. Ащеуила Актюбинской области. Рельеф территории станции холмисто-увалистый, сильно расчлененный сухими логами и оврагами. Климат резко континентальный. Годовая сумма осадков — 200—300 мм. Сток на станции изучался на 10 логах, с площадями водосборов от 0,5 до 248 кв. км.

Использованы также наблюдения УГМС Казахской ССР в бассейнах малых и средних рек всей северной равнинной части Казахстана.

В Северном Казахстане были использованы водотоки с площадями водосборов от 500 до 60 000 и даже до 200 000 кв. км. Средние

высоты их водосборов находятся в пределах 200—1000 м. Все эти реки относятся к самым различным географическим районам и речным бассейнам (бассейны Урала, Эмбы, Тургая, Ишима, Нуры, Сарысу и пр.).

В результате проведенных исследований нами разработаны новые графо-аналитические методы расчета стока малых временных водотоков и средних рек, основанные на связи стока с метеоэлементами — осенним увлажнением и снегозапасами, а также с коэффициентом потерь талых вод. Кроме того, несколько усовершенствован существующий метод гидрологической аналогии.

Осеннее увлажнение площади водосбора, определяющее потери влаги весной на инфильтрацию, является одним из главнейших факторов формирования весеннего стока не только пересыхающих логов, но и всех других водотоков засушливой зоны Казахстана. Поэтому за последние годы изучению этого вопроса уделялось большое внимание и получено много данных о зависимости между ними (главным образом за отдельные годы в целях прогноза) для различных районов СССР. О большой роли осеннего увлажнения в формировании стока можно судить по тому обстоятельству, что в условиях Западного Казахстана малая его величина (до 60 мм) является одной из причин полного отсутствия весеннего стока в логах.

Величина осеннего увлажнения оценивалась нами количеством осадков, выпавших на водосбор с 1/IX до даты установления постоянного снежного покрова.

По нашему мнению, рекомендуемые методы могут найти широкое практическое применение в малоисследованных, особенно в засушливых пустынно-степных районах Казахстана. Они позволяют определять сток с достаточной для практики точностью и имеют ряд преимуществ перед другими методами. Так, при использовании некоторых из этих методов (в отличие от графического или аналитического способа) отпадает необходимость в подборе рек-аналогов, что для логов в малоисследованных областях связано с большими трудностями. Кроме того, нормы метеоэлементов, входящих в расчетные зависимости (формулы), при этих способах определяются более достоверно, так как сеть метеостанции имеет большую густоту и продолжительность наблюдений. Карты метеоэлементов, в отличие от карт гидрологических элементов, обычно более обоснованы и точны.

Величины осеннего увлажнения могут быть использованы для расчета норм стока как при коротких рядах наблюдений (удлинение по метеорологическим данным), так и при полном отсутствии их (метод гидрологической аналогии).

Основным затруднением при использовании рекомендуемых методов может быть отсутствие хороших карт (особенно районных), для получения норм метеоэлементов, а также гидрологическая

нерепрезентативность (нехарактерность) положения метеостанций или их отсутствие в бассейнах неизученных водотоков.

Как показала проверка этих методов, они дают более точные результаты по сравнению с другими способами (табл. 1). При их

Таблица 1

Результаты расчета весеннего стока (мм) и характеристик потерь различными методами

Метод расчета или вид функций	Формула, №	Средние реки Казахстана				Малые реки и лога Казахстана				
		Нура с Романовское (F=48100 кв. км)	Уил, аул Талтугай (F=16500 кв. км)	Илек, Актобинск (F=10900 кв. км)	Чаглинка, Павловка (F=1750 кв. км)	Моинты, ст. Кинк (F=836 кв. км)	лог Терексай Н. (F=54,0 кв. км)	лог Кыяксай (F=6,0 кв. км)	в среднем по всем логам сточной станции (F=248 кв. км)	
а) Слой стока										
$U=f(u)$	(1)	8,0	16,0	42,4	12,0	—	23,2	20,0	22,4	
$U=f(\eta_p)$	(2)	—	—	—	—	9,8	17,0	20,0	(16,0)	
Аналитический метод (аналитические формулы)	(4)	9,0	14,9	47,9	11,3	—	22,0	19,6	20,8	
	(3)	—	—	—	11,4	—	19,4	17,6	18,5	
	(7)	8,3	15,0	49,0	11,4	—	24,0	19,0	21,6	
	(8)	—	—	—	11,7	—	20,2	17,4	19,3	
Метод аналогии	(14)	9,9	12,8	53,0	13,0	—	20,0	15,2	18,0	
	(10)	11,5	17,6	43,5	12,8	10,9	18,0	22,0	21,0	
б) Характеристики потерь										
$\eta = f(u)$	(15)	0,11	0,16	0,44	0,13	—	0,22	0,20	0,21	
$\eta_p = f(u)$	(6)	0,89	0,84	0,56	0,87	0,96	0,78	0,80	0,79	
$\eta_p = f(\eta)$	(5)	—	—	—	—	0,92	—	—	—	
Фактические нормы										
U	—	9,5	14,2	42,0	14,0	10,4	17,0	21,0	20,0	
η_p	—	0,90	0,82	0,64	0,86	0,91	0,81	0,72	0,77	
η	—	0,10	0,18	0,36	0,14	0,09	0,19	0,28	0,23	
u	—	51	60	93	55	32	69	65	68	

Примечания: 1. Стоковые характеристики малых рек и логов вычислялись по своим собственным связям (формулам). Приведены также данные по общим формулам для всей гидрографической сети равнинного Казахстана.

2. Для метода $U=f(u)$ в знаменателе дан сток, снятый по самостоятельным графикам $U=f(u)$, построенным для каждого лога в отдельности.

3. Сток реки Моинты, относящейся к южным склонам Казахского мелко-сопочника, рассчитывался по своим зависимостям.

4. При расчете стока по методу аналогии в качестве аналогов использовались: для логов сточной станции р. Уил в районе Аула Талтугай и сел. Алтыкарасу, для рек — ближайшие речные бассейны. В качестве фактора взято осеннее увлажнение.

5. Имеющиеся отклонения стока и коэффициентов потерь от нормы (для всех методов) связаны главным образом с неточностью определения осеннего увлажнения и снеготпасов. При более правильном их определении для бассейнов, точность расчета стока указанными методами намного увеличится.

использовании лучше пользоваться районными зависимостями, построенными для отдельных географических районов, как более конкретными и точными. Расчет нормы производится как по графикам, так и с помощью соответствующих им формул. В обоих случаях при наличии криволинейной связи, если зависимость построена для отдельных лет, величина стока рассчитывается за каждый год, а затем находятся нормы.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ОСЕННЕГО УВЛАЖНЕНИЯ ДЛЯ РАСЧЕТА СТОКА ПРИ НЕДОСТАТОЧНОСТИ НАБЛЮДЕНИЙ

Расчет слоя стока по его зависимости от осеннего увлажнения. В целях определения степени влияния осеннего увлажнения на сток различных по размеру водотоков и изыскания расчетных методов были испытаны различные графические зависимости между стоком и осенним увлажнением. Следует отметить, что по малым рекам и пересыхающим логам эта зависимость в отдельные годы менее тесная, чем на средних реках. Основной причиной этого является многофакторность стока малых водотоков, формирование их стока

связано не только с общеклиматическими для зоны факторами, но и с большим количеством местных факторов. Поэтому в отдельные годы влияние общего главного фактора стока — осеннего увлажнения — уменьшается, сглаживается влиянием других факторов.

На юге Казахстана, где нет резкого различия между сезонами года, связь стока с осенним увлажнением вообще нарушается, так как в увлажнении бассейна здесь участвуют не только осенние, но и зимние осадки. Правильное определение величины увлажнения в этих условиях еще более затрудняется.

На рисунке 1 показана зависимость между слоем весеннего стока ($У$) и осенним увлажнением (u). Как видно, сток по логу Теректысай Нижний весьма близок к стоку р. Уила. Это обусловлено как тем,

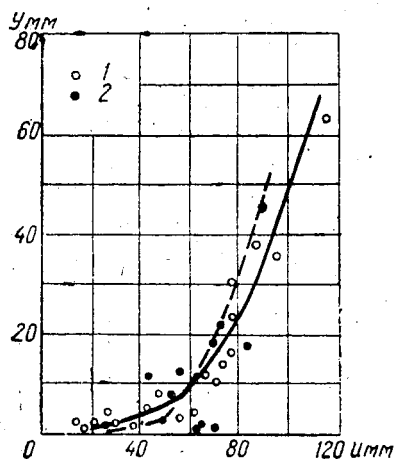


Рис. 1. Зависимость между слоем весеннего стока и осенним увлажнением речных водосборов Западного Казахстана. 1 — р. Уил, аул Талтугай; 2 — лог Теректысай Н.

что лог Теректысай входит в гидрографическую сеть Уила, так и наличием общих условий формирования стока. Подобная зависимость имеется и на других реках Западного Казахстана. На графике можно видеть, что осенние осадки величиной до 50—60 мм ока-

зывают меньшее влияние на сток (кривая в нижней части идет более полого), чем при больших их значениях. Больше в этой зоне и рассеивание точек (главным образом по логу Теректысай). Сток в эти годы обуславливается преобладающим влиянием других факторов. По р. Уилу это преимущественно грунтовый сток.

Зависимости данного вида могут быть использованы для расчета нормы стока не только малых и средних рек с постоянным стоком, но и пересыхающих логов (с определенным приближением). В последнем случае расчет нормы может быть произведен двумя путями:

1. По связи $U=f(u)$, построенной для каждого малоизученного лога на основании имеющегося короткого ряда наблюдений за его стоком (но чтобы эти годы освещали всю амплитуду колебания стока водотока) и более длительного периода наблюдений за осенним увлажнением. Сток по графику определяется за каждый год, по которому имеются данные об осеннем увлажнении (если связь криволинейная), затем по полученному ряду выводится средняя арифметическая его величина — норма.

2. Методом аналогии. Он менее точен, но приемлем для расчета нормы пересыхающих логов. Основанием к его использованию является почти полное совпадение линий связи стока с осенним увлажнением, построенных за отдельные годы для пересыхающих логов и рек-аналогов (рис. 1). Это говорит о том, что данный фактор оказывает одинаковое влияние на потери воды и величину стока обоих источников. Кроме того, в условиях недостаточного увлажнения Западного Казахстана годовой сток рек весьма близок к весеннему, то есть к стоку логов. Важно здесь правильно подобрать аналог. В качестве последнего выбирается река, имеющая одинаковые условия формирования количественных характеристик стока и отдельных его факторов, близкое географическое положение, а также достаточный ряд наблюдений. Для пересыхающих логов аналог удобнее подбирать из водотоков местного стока.

Кривая связи строится по данным реки-аналога, а осеннее увлажнение для вычисления стока берется не по аналогу, а в бассейне неизученного лога. Использование увлажнения, наблюдаемого в бассейне неизученного водотока, позволяет определить сток, более близкий к действительному. Как раз за счет различных величин осеннего увлажнения полученная норма неизученного водотока будет отличаться от таковой для реки-аналога. Проверка расчета стока пересыхающих логов этим методом дала приемлемые результаты.

Указанная зависимость $U=f(u)$ строится для одного водотока по его данным за отдельные годы. Но лучше и легче для расчета использовать связь, построенную по многолетним данным. Тем более, что она получается единой, однозначной для рек различного характера и в том числе пересыхающих логов. Такая зависимость

между нормами слоя стока и осеннего увлажнения автором получена для рек всего равнинного Казахстана (рис. 2). Эта зависимость основана на материалах 40 бассейнов. Аналитическое ее выражение имеет вид:

$$U = 0,80u - 32. \quad (1)$$

Сюда вошли и малые постоянные и временные реки с площадями водосборов менее 3000—4000 кв. км, а также пересыхающие лога стоковой станции. Исключением явились малые реки южных склонов хребта Улутай и Казахского мелкосопочника, например, реки Северного Прибалхашья — Моинты, Токрау и др. Они дали свою зависимость (рис. 3), которая лежит несколько выше линии связи на рисунке 2. Аналитическое выражение этой зависимости представлено следующей формулой:

$$U = 0,70u - 12,6. \quad (2)$$

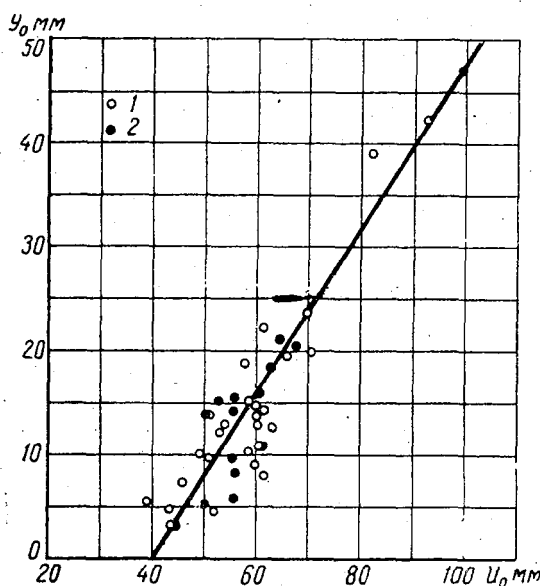


Рис. 2. Зависимость нормы весеннего стока от осеннего увлажнения (реки равнинного Казахстана). 1 — реки средние; 2 — малые реки и лога.

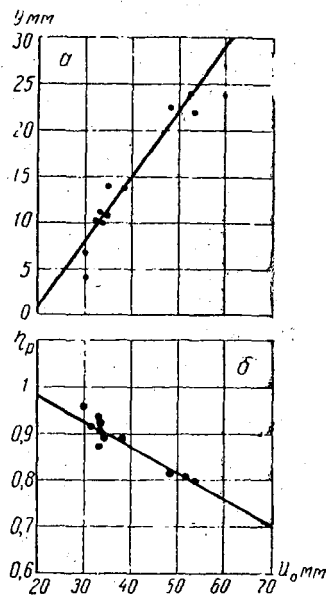


Рис. 3. Зависимость норм стока (а) и коэффициента потерь весеннего стока (б) от осеннего увлажнения (малые реки северного Прибалхашья и южных склонов хр. Улутай).

Разброс точек на поле графиков обусловлен главным образом неточностью данных об осеннем увлажнении, так как вычислены они с известной условностью периода его определения и различной

исходной влажностью почвы к началу осеннего увлажнения по различным водосборам, а также гидрологической нерепрезентативностью положения метеостанций в бассейнах рек.

Данные зависимости (их формулы) могут быть рекомендованы для расчета стока неизученных средних и малых рек с постоянным и временным течением, а также с допустимой погрешностью для полностью пересыхающих логов. Необходимо только иметь норму осеннего увлажнения по этим водотокам (табл. 1). Полученные результаты расчета с помощью указанных графиков незначительно отличаются от расчета стока по связям $Y=f(\eta_p)$, где $\eta_p=f(u)$.

Использование этих зависимостей облегчается наличием наблюдений за осенними осадками на сети станций системы Гидрометслужбы.

Зависимости вида $Y=f(u)$ могут быть использованы и для ориентировочных долгосрочных прогнозов весеннего стока средних и малых рек главным образом с постоянным стоком. Прогноз стока по таким зависимостям имеет большую заблаговременность и не требует знания максимальных снегозапасов. Тем более, что последние определяются в настоящее время неточно (по треугольникам) и не отражают действительных запасов воды на водосборе. Поставленные нами опытные прогнозы стока по р. Уилу (аул Талтугай) на 1960 и 1961 гг. оправдались. Особенно важен такой прогноз для пересыхающих логов, на которых имеются искусственные водоемы. В условиях сильной изменчивости стока по годам, зависящей от закономерных и случайных причин, помимо нормы стока, очень важно знать прогноз ежегодно ожидаемого стока. Водохозяйственные организации и потребителя интересует прежде всего вопрос — будет ли колхозный или совхозный пруд наполнен водой или останется сухим.

Тесная связь слоя стока с одним осенним увлажнением, вне зависимости от такого главнейшего фактора, как максимальные снегозапасы, возможна, по-видимому, только в зоне недостаточного увлажнения. Дефицит влажности почвы здесь настолько велик, что даже сравнительно большие снегозапасы ею поглощаются. «Стоко-активность» снегозапасов и величина стока почти целиком определяются здесь инфильтрационной способностью почв в данном году. А это, в свою очередь, зависит главным образом от осеннего увлажнения. Хотя инфильтрационная способность почв в этой зоне связана еще с глубиной промерзания, степенью цементации и ходом оттаивания почвы, но и эти факторы зависят прежде всего от величины осеннего увлажнения. Таким образом, для засушливой зоны осеннее увлажнение выступает одним из главнейших, интегральных факторов, определяющих размер весеннего стока. Оно определяет основные потери на водосборе — потери на инфильтрацию и поверхностную аккумуляцию. Как показали исследования, если имеется хорошая связь элемента с каким-либо одним фактором, то

это значит, что он превалирует над всеми другими факторами и даже в какой-то мере учитывает их. Зависимость $Y=f(u)$ отражает уже сложившееся в данной местности количественное влияние основных факторов на формирование стока.

Может возникнуть вопрос, будет ли сток и как вести расчет по рекомендуемым зависимостям при полном отсутствии осеннего увлажнения, но при наличии снеготпасов. В этом случае все равно стока не будет, так как снеготпасов в засушливых районах обычно едва хватает только на насыщение почвы до предельной полевой влагоемкости, не считая расходовании их на другие потери. Кроме того, кривые на рисунках 2 и 3 показывают, что поверхностный сток на территории равнинного Казахстана начинается лишь при выпадении осенних осадков более 20—40 мм (отрезки на осях абсцисс). Меньшая начальная величина осеннего увлажнения, необходимая для образования стока на малых реках Северного Прибалхашья и южных склонов хребта Улугтау, объясняется близким залеганием, а нередко и выходом коренных пород, в связи с чем резко сокращается инфильтрация и поверхностная аккумуляция.

Расчет слоя весеннего стока по связи с коэффициентом потерь. Как уже отмечалось, в условиях засушливой зоны потери талых вод определяются в основном степенью осеннего увлажнения. Последнее же тесно коррелируется с коэффициентом потерь талых вод (η_p) который, в свою очередь, обуславливает размер весеннего стока. Указанное обстоятельство дало возможность установить зависимость между этими элементами и рекомендовать ее для расчета нормы весеннего стока. Таким образом, увлажнение бассейна дает возможность рассчитывать нормы стока по зависимости

$$Y=f(\eta_p), \text{ где } \eta_p=f(u).$$

В этом методе расчета учитываются все основные факторы формирования стока: суммарные влагозапасы, потери и осеннее увлажнение. Он дает несколько лучшие результаты, нежели расчет по зависимости $Y=f(u)$.

Суммарные влагозапасы ($X_{з+в}$) представляют собой максимальные запасы воды в снеге, сложенные с осадками за период таяния. Суммарные потери (ΣP) определялись как разность между суммарными снеготпасами на водосборе и слоем весеннего стока. Коэффициент потерь в долях единицы (η_p) представляет собой отношение суммарных потерь талых вод к суммарным влагозапасам в период таяния

$$\eta_p = \frac{\Sigma P}{X_{з+в}} = 1 - \eta.$$

Эта величина является дополнением до единицы коэффициента стока (η).

Зависимость $Y=f(\eta_p)$ оказалась тесной, что особенно важно для расчета, и устойчивой (однозначной) не только во времени по

годам (рис. 4), но и по территории в нормах (рис. 5) для различных по величине водотоков и даже склонового стока. Причем связь $Y=f(\eta_p)$ по каждому логу точно совпадает со связью на рисунке 4. Исследование этого вида связи на реках лесной зоны показало, что она действительно и для них. Это свидетельствует о том, что потери воды и максимальные ее запасы в снеге $\eta_p = \frac{\Sigma P}{x_{3+B}}$ являются главнейшими факторами стока вообще, особенно для зоны недостаточного увлажнения.

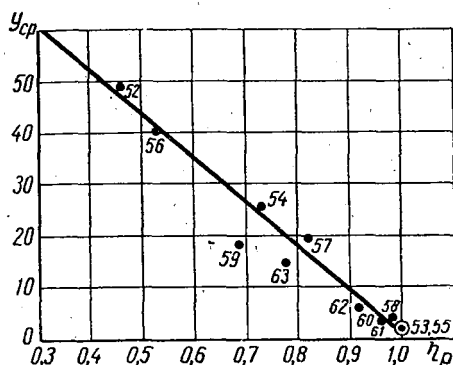


Рис. 4. Зависимость слоя стока логов от коэффициента потерь (средние по территории).

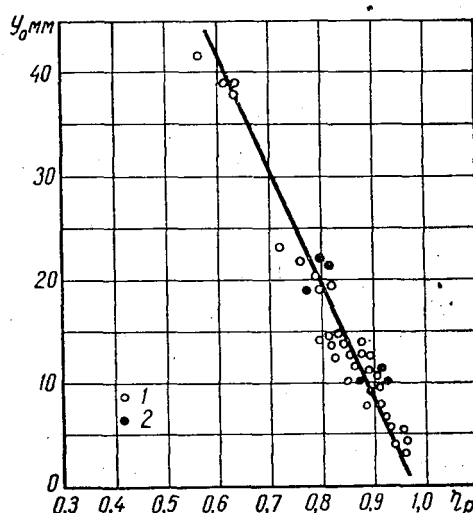


Рис. 5. Зависимость нормы весеннего стока от коэффициента потерь (реки равнинного Казахстана): 1 — средние реки; 2 — малые реки.

Данный вид зависимостей выгодно отличается от приводимых в литературе связей, где из потерь учтены только инфильтрация и поверхностная аккумуляция. В наших же построениях, помимо максимальных снегов запасов, учитываются еще общие, суммарные потери — все виды испарения, инфильтрация и поверхностная аккумуляция. Именно этим объясняется большой коэффициент корреляции связи — 0,95 (рис. 5).

Предложенные нами зависимости являются более приемлемыми для практики расчета и прогноза стока. Суммарные потери здесь могут рассчитываться легче и с достаточной точностью, нежели раздельное определение инфильтрации и поверхностной аккумуляции талых вод, по методам, рекомендуемым другими авторами.

Приведенные выше связи (их формулы) можно использовать для расчета нормы стока различных по величине и режиму водо-

токов. Норму стока малых пересыхающих логов Западного Казахстана можно рассчитать по рисунку 4, имея норму коэффициента потерь. Уравнение этой связи имеет вид

$$U = 88(1 - \eta_p). \quad (3)$$

Как показала проверка этой формулы, она пригодна и для малых рек всего равнинного Казахстана. Среднее отклонение вычисленных значений стока от фактических составляет $\pm 15\%$. Для расчета нормы стока всех остальных рек равнинного Казахстана используется зависимость, приведенная на рисунке 5. Последняя построена по данным 40 бассейнов различных по величине и географическому положению рек указанной территории. Эта зависимость может быть применена с допустимой погрешностью и для малых временных и пересыхающих водотоков. Математическая интерпретация ее имеет вид:

$$U = 114 - 118 \eta_p. \quad (4)$$

Вычисленные по этой формуле величины стока отклоняются от фактических в среднем до $\pm 20\%$.

Определение коэффициента потерь для решения уравнения $U = f(\eta_p)$ больших затруднений не представляет. Среднее его многолетнее значение для неизученных рек и пересыхающих логов определяется по специальным связям (рис. 3 б и 6) или по их формулам:

$$\eta_p = 1,10 - 0,0057 u \quad (5)$$

(реки Северного Прибалхашья),

$$\eta_p = 0,97 + 0,002 u - 0,00007 u^2. \quad (6)$$

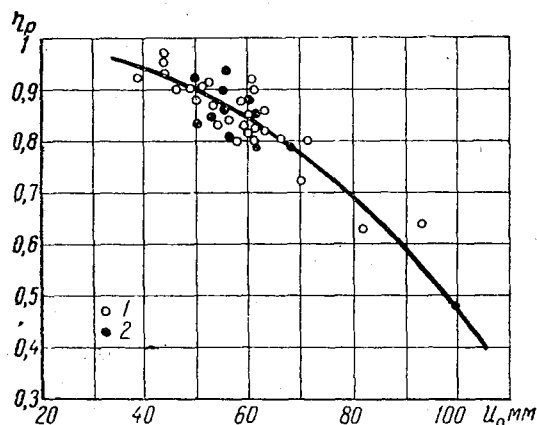


Рис. 6. Зависимость коэффициента потерь от осеннего увлажнения (речные бассейны равнинного Казахстана). 1 — средние реки; 2 — малые реки и лога.

Формула (6) может быть использована для малых рек и логов равнинного Казахстана.

Осеннее увлажнение, входящее в расчетные построения, для того или иного водосбора берется по данным сети гидрометслужбы. Важно здесь правильно выбрать метеостанцию, по данным которой будут приняты осенние осадки для бассейна неизученной реки. Положение метеостанции должно быть репрезентативным в бассейне с точки зрения формирования

стока. Одним из условий этого является близость их средних высот. Могут быть случаи, когда правильной величиной осеннего увлажнения будет средняя величина из нескольких метеостанций в бассейне.

Зависимость, приведенная на рисунке 6, построена по многолетним данным 40 бассейнов средних и малых рек, а также логов стоковой станции, расположенных по всей территории равнинного Казахстана. Для вычисления η_p брались максимальные суммарные водозапасы на период таяния. Запасы воды в снеге речных бассейнов измерялись по треугольникам. Осеннее увлажнение вычислено за период с 1/IX до установления постоянного снежного покрова. Имеющийся на графике разброс точек обусловлен следующими причинами: существующей неточностью наблюдений над снегозапасами и за жидкими осадками, неодинаковой репрезентативностью метеостанций по бассейнам рек, условностью периодов подсчета осеннего увлажнения. Оказывают влияние на сток рек и различные агротехнические мероприятия в их бассейнах. Несмотря на указанный разброс точек, коэффициент корреляции связи (рис. 6) остается достаточно большим ($r=0,82$). Результаты расчета по этому методу приводятся в таблице 1. Отклонение вычисленных значений коэффициентов потерь для средних и малых водотоков от фактических не превышает $\pm 5-10\%$.

Подставив в формулу (4) значение коэффициента потерь (6), получим новую расчетную формулу стока рек:

$$U = -0,46 - 0,24 u + 0,0083 u^2. \quad (7)$$

Эта формула, очевидно, является более обоснованной, так как, помимо осеннего увлажнения, она в какой-то степени (через то же осеннее увлажнение и коэффициент потерь) учитывает и такие факторы, как суммарные влагозапасы и потери. Кроме того, формула (7) выведена по речным бассейнам малых и средних рек всей территории равнинного Казахстана.

Проверка расчета стока по этой формуле показала удовлетворительные и хорошие результаты. Отклонение вычисленных значений стока от фактического составляет $\pm 20-30\%$ и лишь в отдельных случаях, в основном на малых реках, оно достигает 40% и более.

Все эти отклонения объясняются главным образом неточностью определения осеннего увлажнения (по причине нерепрезентативности положения метеостанции в бассейне или отсутствие ее в последнем) и фактических норм стока различных рек. Оказывает влияние и зарегулированность некоторых рек. Причиной отклонения могут служить различные местные особенности водосборов. Как и формула (1), формула (7) применима для расчета малых и средних водотоков засушливых областей Северного Казахстана, кроме малых рек южных склонов хребта Улутау и тех же склонов

Казахского мелкосопочника, например, рек Северного Прибалхашья.

Для логов Западного Казахстана при том же значении η_p , подставив его в формулу (3), получим

$$U = 2,64 - 0,176 u + 0,0062 u^2. \quad (8)$$

Результаты расчета стока рек и логов по указанным двум формулам представлены в таблице 1.

Величина стока малого водосбора по формуле (7) в определенной мере учитывается самим осенним увлажнением. Действительно, меньшим водосборным площадям обычно свойственны большие средние высоты. А чем больше высоты, тем больше и осадки, включая осеннее увлажнение, которые дают больший сток по сравнению со средними реками.

Устранение неточности расчета осеннего увлажнения намного увеличивает точность расчета стока по формулам (7) и (8).

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ОСЕННЕГО УВЛАЖНЕНИЯ ДЛЯ РАСЧЕТА СТОКА В УСЛОВИЯХ ПОЛНОГО ОТСУТСТВИЯ НАБЛЮДЕНИЙ

Расчет стока по методу гидрологической аналогии. Как метеофактор осеннее увлажнение может быть использовано и для расчета стока различных водотоков по методу гидрологической аналогии. Как известно, этот метод заключается в том, что норма стока неизученного водотока определяется по данным реки-аналога с введением поправки на ее норму за счет различия в величинах факторов, главным образом климатических, обуславливающих их сток.

Применение метода гидрологической аналогии особенно важно в пустынно-степных районах Казахстана, имеющих слабую гидрологическую изученность, где недостаточное осеннее увлажнение бассейна является важнейшим фактором потерь талых вод. Данный метод используется при полном отсутствии наблюдений за стоком по интересующему нас водотоку, но при наличии одновременных длительных или кратковременных наблюдений за климатическими факторами в бассейнах неизученного водотока и реки-аналога.

При расчете стока по этому методу обычно рекомендуется использовать выражение

$$U_n = U_a \frac{X_n}{X_a}, \quad (9)$$

где U_n — норма стока неизученного водотока, мм,
 U_a — норма стока реки-аналога, мм,

X_n, X_a — нормы годовых осадков в бассейнах неизученного водотока и реки-аналога, мм.

Обозначив $\frac{X_n}{X_a}$ через K , получим $Y_n = Y_a \cdot K$.

При вычислении по данному методу в качестве фактора для корректировки стока реки-аналога в настоящее время используются главным образом годовые осадки. Это ограничивает его применение. В последние годы в формировании стока выявлена большая роль ряда других факторов и, в частности, осеннего увлажнения. Исходя из указанного, общее расчетное выражение для годового и весеннего стока по методу гидрологической аналогии, по нашему мнению, следует писать в такой форме (для факторов, прямо связанных со стоком):

$$\frac{Y_n}{Y_a} = \frac{\Phi_n}{\Phi_a}, \quad (10)$$

то есть вместо нормы годовых осадков подставить нормы факторов (Φ_n и Φ_a), соответствующие неизученному и изученному водотокам. В такой форме это расчетное выражение представляет собой соотношение стока с главнейшими его климатическими факторами.

Норма неизученного водотока определяется по уравнению

$$Y_n = Y_a \frac{\Phi_n}{\Phi_a}.$$

Выразив отношение $\frac{\Phi_n}{\Phi_a}$ через K , получим $Y_n = Y_a \cdot K$.

Такое же выражение можно использовать и для расчета нормы стока по одновременным кратковременным наблюдениям за осенним увлажнением в бассейнах обеих рек, но только в том случае, если соотношение факторов за этот период равно или близко к соотношению норм стока обеих рек. Тогда расчетное выражение примет такой вид:

$$Y_n = Y_a \frac{\Phi_{\text{ср.н}}}{\Phi_{\text{ср.а}}}.$$

Проверка метода гидрологической аналогии на пересыхающих логах стоковой станции и на других реках равнинного Казахстана с использованием в качестве фактора показателя осеннего увлажнения показала, что он дает удовлетворительные результаты. Причем гораздо лучше, чем при введении поправок на норму аналога за счет других климатических факторов (табл. 1). Точность расчета по этому способу зависит главным образом от правильности подбора реки-аналога и метеостанций для получения величин осеннего увлажнения. Но использование метода гидрологической аналогии может быть затруднено отсутствием метеостанций в бассейнах малых неизученных источников, а также отсутствием картирования соответствующих метеоэлементов.

Вывод формулы для расчета коэффициента стока. Как известно, для расчета стока используется уравнение водного баланса. Общее его выражение для многолетнего периода имеет вид

$$V_0 = X_0 - E_0, \quad (11)$$

где V_0 , X_0 , E_0 — соответственно годовые нормы стока, осадков и испарения в речных бассейнах.

Для условий засушливой зоны, где сток формируется не в течение всего года, а главным образом в осенне-зимний период, наиболее приемлемым видом уравнения водного баланса будет

$$V = X_{з+в} - \Sigma P, \quad (12)$$

где $X_{з+в}$ — суммарные влагозапасы на водосборе, ΣP — суммарные потери талых вод в период формирования и прохождения стока.

Найдем из формулы (6) и выражения $\eta_p = \frac{\Sigma P}{X_{з+в}}$ значение ΣP , оно выразится:

$$\eta_p = \frac{\Sigma P}{X_{з+в}} = 0,97 + 0,002u - 0,00007u^2,$$

откуда

$$\Sigma P = X_{з+в} (0,97 + 0,002u - 0,00007u^2). \quad (13)$$

Подставив найденное выражение в формулу (12), получим

$$V = X_{з+в} - X_{з+в} (0,97 + 0,002u - 0,00007u^2) \quad \text{или}$$

$$V = X_{з+в} (0,03 - 0,002u + 0,00007u^2). \quad (14)$$

Формула (14) дает отклонения вычисленных норм весеннего стока от фактических в среднем до $\pm 20\%$, иногда до 30—40%.

Разделив обе части формулы (14) на $X_{з+в}$, получим

$$\frac{V}{X_{з+в}} = \eta = 0,03 - 0,002u + 0,00007u^2. \quad (15)$$

Это новая формула для расчета коэффициента весеннего стока по данным того же осеннего увлажнения. При необходимости расчета слоя стока выведенное по формуле (15) значение η подставляется в выражение $V = X_{з+в} \cdot \eta$.

Проверка новой формулы расчета коэффициента стока показала, что она дает приемлемые результаты главным образом для средних рек северной части равнинного Казахстана. Отклонение вычисленных значений коэффициентов от фактических составляет $\pm 20\%$. Так как формулы (6) и (12) относятся в какой-то мере к малым рекам и логом, то формула (15) может быть использована также и для них.

Если сложить формулы (6) и (15), то получим единицу, то есть $\eta_p + \eta = 0,97 + 0,03 = 1$. Это подтверждает правильность вывода указанных формул η_p и η , являющихся дополнением друг друга до единицы. А полученные величины 0,97 и 0,03 соответственно

будут средними значениями коэффициента потерь и коэффициента стока для всей северной части Казахстана при отсутствии осеннего увлажнения.

ВЫВОДЫ

1. Осеннее увлажнение бассейна является главнейшим фактором формирования стока не только пересыхающих логов, но и всех других водотоков засушливых областей Казахстана. Оно определяет основные потери талых вод на инфильтрацию, а также на поверхностную аккумуляцию. Помимо этого, осеннее увлажнение оказывает влияние на другие факторы — на промерзание и степень цементации почвы, уровень грунтовых вод и др., — а через них и на сток.

2. Существующие методы расчета нормы весеннего стока малых водотоков, особенно временных и полностью пересыхающих, засушливой зоны не дают требуемой точности.

3. В процессе исследования влияния осеннего увлажнения на сток были найдены территориально обобщенные расчетно-прогностические зависимости характеристик стока от осеннего увлажнения $U = f(u)$, $u = f(\eta_p)$, $\eta_p = f(u)$.

Они позволяют вести расчет нормы стока водотоков, различных по размеру, характеру (с постоянным стоком, плесовых и полностью пересыхающих источников) и высотному положению.

4. Автором рекомендуются новые графо-аналитические методы расчета стока средних, малых и полностью пересыхающих водотоков, основанные на связи стока с осенним увлажнением и коэффициентом потерь. Они позволяют определять сток с достаточной для практики точностью и могут быть использованы для расчета стока как при недостаточности наблюдений, так и при полном отсутствии их. Использование этих методов облегчается наличием более густой сети метеостанций, ведущих наблюдения за осадками, в отличие от гидрологической сети.

5. Рекомендуемые методы могут быть широко применимы в малоисследованных, особенно в засушливых пустынно-степных районах Казахстана, где часто нельзя использовать существующие методы расчета, основанные на принципе аналогии.

6. Успешное применение указанных методов определяется наличием хороших карт, особенно районных, для получения норм осеннего увлажнения и снегозапасов, а также наличием метеостанций и репрезентативным их положением в бассейнах неизученных водотоков.

**РАСЧЕТ ВЕСЕННЕГО СТОКА МАЛЫХ И СРЕДНИХ РЕК
ПУСТЫННО-СТЕПНЫХ РАЙОНОВ КАЗАХСТАНА
МЕТОДОМ ВОДНОГО БАЛАНСА**

Ф. В. ШКАЛИКОВ, *научный сотрудник*

УДК 551.48(282.25).574

Предлагаемая работа написана по материалам исследований Западно-Казахстанской стоковой станции за 1951—1963 гг. Используются также материалы гидрометеорологических наблюдений на сети станций УГМС Казахской ССР.

Известно, что для засушливых зон северной равнинной части Казахстана расчет стока по картам и другим существующим методам вообще затруднен, особенно для малых рек и логов. Объясняется это слабой гидрометеорологической изученностью этих территорий и водотоков, разреженностью изолиний стока на картах, временным характером стока, наличием обратной связи между стоком и площадью водосбора, большим варьированием стока по годам и трудностью удлинения коротких рядов (в частности, из-за сложности подбора аналогов). Для малых рек и логов затруднение в расчете их стока вызывается также малыми их размерами, так как сток таких водотоков зависит от многих местных факторов, учет которых затруднен. Кроме того, для малых водотоков требуется относительно большая точность расчета вообще, в то время как существующие методы расчета не могут этого обеспечить.

Метод расчета стока, а также прихода и расхода влаги по различным уравнениям водного баланса является в настоящее время широко распространенным. Он используется в гидрологии для расчета талого и ливневого (дождевого) стока, в агрометеорологии — при расчете испарения влаги с почвы и в других геофизических науках.

Как известно, получение нормы стока по уравнению водного баланса основано на разности средних многолетних годовых значений осадков и испарения в речных бассейнах.

Уравнение водного баланса в его «классической» форме для многолетнего периода имеет следующий вид:

$$Y_0 = X_0 - E_0, \quad (1)$$

где Y_0 , X_0 , E_0 — соответственно годовые нормы стока, осадков и испарения в речных бассейнах.

В практике гидрологических расчетов этот метод рекомендуется меньше других отчасти из-за недостаточной изученности и точности измерения компонентов уравнения водного баланса. Это относится как к конкретным бассейнам, в частности к бассейнам малых рек и пересыхающих логов, так и отдельным районам СССР (особенно для зон недостаточного увлажнения), по которым до сих пор нет точного картирования осадков и испарения с поверхности бассейнов.

Кроме того, исследования показали, что для засушливых зон Казахстана и, в частности, для расчета весеннего стока малых водотоков уравнение (1) вообще неприменимо, так как расчет по нему дает большую неточность. Это связано с особой специфичностью формирования стока пустынно-степных районов. Для рек более увлажненных северных зон, имеющих постоянное течение, эта формула дает удовлетворительные результаты. В бассейнах этих рек осадки значительно превышают испарение, например, в лесной зоне. В засушливых же районах СССР — Средняя Азия, Казахстан, Заволжье и т. п. — способ водного баланса и для средних рек, сток которых является в основном временным, весенним, удовлетворительных результатов не дает. Годовая величина испарения здесь намного превышает осадки (тем более последние измеряются неточно в сторону занижения), в результате чего по этому уравнению может получаться заниженный и даже отрицательный сток. Кроме того, в зоне недостаточного увлажнения сток рек, включая пересыхающие лога, вообще определяется не годовым, а преимущественно осенне-зимне-весенним приходом и расходом влаги в бассейне.

Что касается неприменимости этого метода для расчета стока малых водотоков, то это объясняется еще следующими причинами: «классическое» уравнение водного баланса (1) было разработано и применимо для расчета годового стока средних и больших рек, полностью дренирующих грунтовый поток, постоянный сток которых изменяется по территории плавнозонально, в соответствии с изменением основных климатических элементов — осадков и испарения. Сток же малых водотоков в большей мере обуславливается не общеклиматическими, а многими местными, а зональными факторами. Особенно это относится к пересыхающим логом с их временным весенним и даже эпизодическим, не ежегодным стоком. Наблюдения за осадками и испарением в конкретных бассейнах малых рек и полностью пересыхающих логов, как правило, отсутствуют. Районы распространения логов с этой точки зрения вообще изучены очень слабо.

Метод водного баланса для малых бассейнов может дать большие погрешности и по причине существующего неточного измерения указанных компонентов водного баланса на фоне общей малой величины нормы стока пересыхающих логов, а также потому, что на таких водотоках более часты случаи несовпадения границ поверхностного и подземного водоразделов.

В бассейнах пересыхающих логов часть осадков уходит на питание грунтовых вод, которые здесь не дренируются, а следовательно, и не учитываются. По этой причине рассчитанный сток будет, очевидно, несколько завышенным и пр.

В обоснование указанного вывода о неприменимости «классического» уравнения водного баланса в рассматриваемых районах могут служить, например, результаты проверки уравнения для расчета стока пересыхающих логов. При этом за величину X_0 испытывались не только годовые, а и зимне-весенние величины осадков и испарения. В первом случае сток логов получался сильно заниженным отчасти из-за общего неточного учета осадков в сторону занижения, во втором — завышенным за счет недоучета ряда специфических потерь в бассейнах логов.

Основываясь на изложенном выше, для засушливых зон вообще и малых пересыхающих, а также постоянных водотоков, в частности, это уравнение неприменимо и должно быть видоизменено. Сток в этих зонах и особенно на пересыхающих логах формируется не в течение всего года, а главным образом в осенне-зимне-весенний период (в течение гидрологического года). По этой причине его распределение в году резко неравномерно. Его размер определяется количеством осадков и условиями потерь в указанный период. Вот почему составляющие расчетного уравнения водного баланса следует брать не за весь год, а за сезоны формирования стока.

Чтобы использовать уравнение водного баланса для данных условий, необходимо коренным образом изменить обе его составляющие. В качестве первой составляющей следует брать не годовую норму жидких осадков, измеренных осадкомером Третьякова (X_0), а зимние максимальные снеготзапасы, относящиеся к началу таяния (X_3) или лучше — суммарные зимне-весенние влагозапасы на водосборе в период таяния, представляющие собой максимальные снеготзапасы к началу таяния (X_3), сложенные с осадками за период таяния (X_{3+v}).

Для территории равнинного Казахстана суммарные влагозапасы составляют в среднем 25—40% от общегодовой суммы осадков. Несмотря на это, они играют основную роль в формировании стока всей гидрографической сети засушливых зон северной части Казахстана. Это почти единственные стокообразующие осадки. Они же являются главным источником увлажнения почвы и урожая. Осадки летнего периода в формировании стока не участвуют, все они испаряются. Так, на территории Западно-Казахстанской стоковой

станции суммарное испарение за теплый период года (IV—X) в среднем за 1956—1963 гг. составило 200 мм, что превысило количество выпавших осадков в этот период на 33%.

Указанная величина суммарных влагозапасов (25—40%) является несколько заниженной, так как максимальные снегозапасы измерялись на метеостанциях по постоянным треугольникам (пентадные снегосъемки). Последние же дают обычно преуменьшенные значения. Так, по Западно-Казахстанской стоковой станции (1952—1959 гг.) показания пентадных снегосъемок по треугольникам оказались заниженными относительно измерений по маршрутам на водосборах в среднем на 15—20%. То же отмечают и другие авторы [12].

Нельзя брать в качестве составляющей и осадки по осадкомеру Третьякова только за холодный период (XI—III). Подсчетные нами нормы этих осадков для Северного Казахстана (Западно-Казахстанская, Актюбинская, Кустанайская, Северо-Казахстанская, Кокчетавская, Акмолинская, Павлодарская, Карагандинская и Семипалатинская области) по отношению к той же годовой сумме осадков составили 25—30%. Как видим, данные осадкомера оказались заниженными на 5—10% и более против снегозапасов, измеренных на участках пентадных снегосъемок. Если же сравнивать данные осадкомера Третьякова за период с ноября по март с данными маршрутных снегосъемок, проведенных на Западно-Казахстанской стоковой станции, то эта разность будет еще больше. Осадкомер в зимний период недобирает около 20—30% осадков по отношению к максимальным снегозапасам, определенным маршрутными снегосъемками. Разность показаний осадкомера и снегосъемок объясняется главным образом выдуванием твердых осадков из ведра осадкомера.

Отсюда хорошо видно, какую большую погрешность можно допустить при расчете стока по существующему уравнению водного баланса, если использовать показания осадкомера.

На недостаточную точность показаний осадкомера Третьякова (особенно в зимнее время) не раз указывалось в литературе. По данным ряда авторов [2, 10, 11, 12], недоучет осадков в зимнее время по отношению к эталонным (контрольным) методам — маршрутные снегосъемки, осадкомер Третьякова, установленный в защищенном от ветра месте, для различных районов СССР достигает 50—100% в зависимости прежде всего от скорости ветра. Причем, надо сказать, что снегозапасы, измеренные по маршрутным снегосъемкам, сами являются заниженными за счет испарения со снега в зимний период, которое, например, в засушливых областях Казахстана достигает относительно значительных величин.

Что касается дождемера Нифера, которым проводилось измерение твердых осадков в прошлые годы, то последний дает еще большие погрешности в сторону занижения. Так, по данным ряда исследова-

дований [1, 9, 13], отношение максимальных запасов воды в снеге, измеренных по постоянным треугольникам, к сумме твердых осадков по показаниям дождемеров (от даты образования устойчивого снежного покрова до даты, отвечающей максимальному запасу воды в снеге) колеблется для Заволжья и Казахстана от 1 до 4.

Существующие в настоящее время способы уточнения данных о количестве осадков, полученных измерением — пересчет от показаний дождемера к показаниям осадкомера Третьякова, введение поправок на выдувание осадков из ведра осадкомера и на смачивание последнего и т. д. — очень трудоемки и не всегда выполнимы. Использование же неправильных данных об осадках (заниженных величин) обуславливает большие неточности в расчете характеристик стока: завышение коэффициента, занижение слоя стока, приводит к отрицательному балансу влаги на водосборе и пр. Особенно если эти характеристики рассчитываются с помощью уравнения водного баланса. В конечном итоге все это ведет к неверным научным выводам в геофизических науках (в гидрологии, агрометеорологии, океанографии и др.) Вот почему необходимо уделить особое внимание разработке более совершенной конструкции приборов для измерения осадков при различных метеорологических и местных морфометрических условиях, исключающих необходимость указанных поправок.

Правильные данные о количестве осадков позволили бы более широко использовать уравнение водного баланса для расчета стока, особенно в малоисследованных пустынно-степных районах. В настоящее же время использование уравнения (1) даже для средних рек ограничено.

Подлежит замене в уравнении и вторая составляющая — годовая норма потерь на испарение с речного бассейна. Как отмечалось выше, в условиях засушливых зон, особенно для временной гидрографической сети (например, пересыхающих логов), сток, стокообразующие осадки и сами потери талых вод формируются не в течение всего года, а главным образом в осенне-зимне-весеннее время. За этот период надо брать и потери. В основном это будут потери талых вод. Они состоят не только из испарения, но включают в себя еще и потери на поверхностную аккумуляцию (для логов — включая затраты снега на русловые снеготаносы); а также на инфильтрацию в недонасыщенную почву и в русла пересыхающих логов, что является основным видом потерь, и др. Испарение в эти периоды происходит с различных сред: со снега, с воды и почвы в период таяния. Все эти виды потерь надо учитывать. Однако учет каждого вида всех указанных потерь методически и технически в настоящее время затруднен, поэтому более целесообразно при расчете стока оперировать суммарными потерями в период таяния.

Таким образом, вместо годового суммарного испарения (E_0)

для засушливых зон следует брать суммарные весенние потери талых вод в период формирования и прохождения стока (ΣP). По отношению к максимальным снегозапасам (X_z) они обычно составляют около 90%, а по отношению к суммарным влагозапасам — около 80% (данные для территории Западно-Казахстанской стоковой станции).

После указанных замен составляющих в «классическом» уравнении водного баланса оно примет вид:

$$Y = X_{z+v} - \Sigma P. \quad (2)$$

Данный вид балансового уравнения является более правильным для расчета нормы стока пересыхающих логов, а также весеннего стока малых и средних рек засушливых зон Казахстана. При полном отсутствии стока на пересыхающих логах ($Y=0$) все суммарные влагозапасы идут на потери, то есть $X_{z+v} = \Sigma P$. На реках с постоянным стоком $\Sigma P \neq X_{z+v}$.

Для решения нового уравнения водного баланса данные о снегозапасе на водосборе берутся по показаниям фактических (лучше маршрутных) измерений на гидрометеорологических станциях или по специальным картам.

Для определения норм максимальных снегозапасов в бассейнах рек равнинного Казахстана имеются следующие карты:

карта максимальных запасов воды в снеге в бассейнах рек Западного Казахстана. Составлена в 1957 г. Е. В. Андреевой в Казахском научно-исследовательском гидрометеорологическом институте по материалам пентадных снегоъемок и постоянных рек [1];

карта запасов воды в снежном покрове к началу снеготаяния на территории Северного Казахстана. Составлена К. Б. Шергиной в 1956 г. в Институте энергетики АН КазССР по материалам пентадных снегоъемок и постоянных рек, но с учетом изменения запасов с высотой местности и выпавших в период таяния осадков [13];

карты максимальных запасов воды в снежном покрове северных областей Казахстана, составленные в 1952—1959, 1961 и 1966 гг. и помещенные в монографиях «Ресурсы поверхностных вод СССР» по каждой области в отдельности [5, 6, 7].

К сожалению, других более точных карт максимальных и суммарных снегозапасов пока нет. Это ограничивает использование уравнения водного баланса и приводит к неточности расчета по нему.

Более трудным является определение суммарных весенних потерь. Для их расчета мы рекомендуем следующие методы: по зависимостям $\Sigma P = f(\Sigma t + \text{макс})$ и $\Sigma P = f(X_{z+v})$, а также через коэффициент потерь по связям $\eta_p = f(u)$ и $\eta_p = f(\Sigma t + \text{макс})$. Нами фактические потери определялись по разности между суммарны-

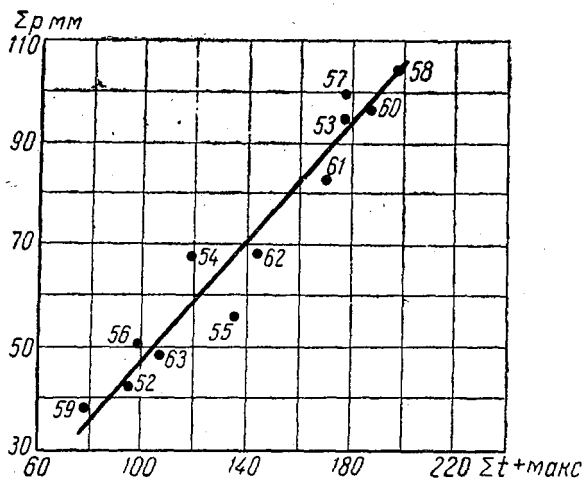


Рис. 1. Зависимость суммарных потерь талых вод от сумм максимальных положительных температур на поверхности почвы (снега) за период таяния (средние по всем логам).

ми влагозапасами на водосборе и слоем весеннего стока. Более подробно о потерях талых вод и факторах их обуславливающих изложено в специальной работе автора [4], а также в других источниках [3, 8].

На рисунке I показана зависимость суммарных потерь талых вод (ΣP) от суммы максимальных положительных температур на поверхности почвы (снега) за период таяния ($\Sigma t + \text{макс}$). Она получена по средним данным для всех девяти логов террито-

рии Западно-Казахстанской стоковой станции. Аналогичные связи имеются и для каждого лога в отдельности. Все они оказались близкими по расположению и устойчивыми во времени. Эта прямая зависимость выражается формулой:

$$\Sigma P = 0,58 \Sigma t + \text{макс} - 10,8. \quad (3)$$

Наличие прямой связи потерь с температурой объясняется тем, что ход последней определяет интенсивность снеготаяния и время пребывания талых вод на водосборе. А величина потерь в засушливой зоне как раз и зависит от этих факторов. Вместо температуры поверхности почвы можно использовать для связей с потерями температуру воздуха, наблюдаемую в 13 часов.

Исходя из того, что температурный режим весны является важным фактором в формировании стока для всей засушливой зоны, надо полагать, что такая форма связи будет иметь место и в пространстве между отдельными малыми и средними бассейнами. Подтверждением этому является связь за отдельные годы на р. Илек (г. Актюбинск). Отсутствие необходимых исходных материалов не позволяет, к сожалению, в настоящее время построить такие связи для других рек и районов. Данные связи могут быть использованы для расчета норм потерь и стока различных по величине водотоков, например, по уравнению водного баланса $U = X_{з+в} - \Sigma P$. Полученная автором зависимость $\Sigma P = f(\Sigma t + \text{макс})$ будет пригодна для расчета стока не только пересыхающих логов территории стоковой

станции, но, по-видимому, и для логов других аналогичных районов Западного, Северного и Центрального Казахстана.

Для отдельных лет и периодов наблюдений формула (3) дает хорошие и удовлетворительные результаты. В маловодные же годы она нередко дает несколько завышенные потери и меньший сток. Результаты расчета могут быть еще более точными, если все элементы для построения связей и расчета стока брать в форме среднелетних значений или норм. Например, за 1952—1959 гг. средняя сумма $\Sigma t + \text{макс}$ в период таяния составила 135° . Снятые с графика $\Sigma P = f(\Sigma t + \text{макс})$ средние за период суммарные потери оказались равными 68 мм. При суммарных запасах воды в снеге 87 мм, слой весеннего стока (Y) по уравнению $Y = X_{3+v} - \Sigma P$ будет равен 9 мм, а фактически наблюдаемый слой составил 19,3 мм. Температура должна наблюдаться в репрезентативном месте для каждого речного бассейна в отдельности.

Суммарные потери талых вод хорошо коррелируются с суммарными влагозапасами на водосборе. Такие однозначные связи $\Sigma P = f(X_{3+v})$ нами получены по многолетним данным для рек всего равнинного Казахстана (рис. 2) и логов Западного Казахстана (рис. 3).

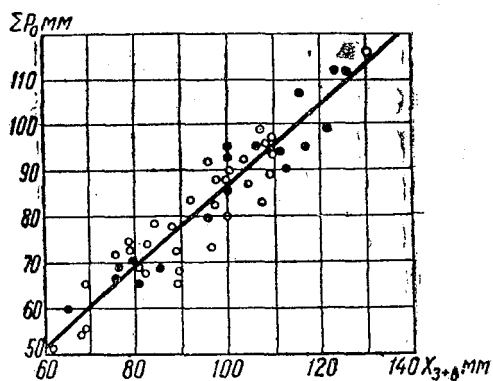


Рис. 2. Связь между суммарными величинами потерь талого стока и снегозапасов (бассейны рек равнинного Казахстана):

1 — средние реки; 2 — малые постоянные и временные водотоки.

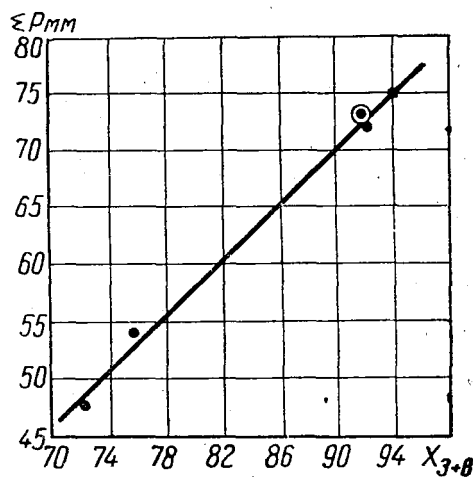


Рис. 3. Связь между суммарными величинами потерь весеннего стока и снегозапасов в бассейнах логов (средние многолетние значения).

Для построения графика (рис. 2) максимальные и суммарные влагозапасы на водосборах взяты из литературных источников [5, 6, 7, 13]. Они получены преимущественно по съемкам на треугольниках. Данные по малым рекам с постоянным или более или

менее постоянным стоком тоже совпали с этой линией связи. Отклонились (легли ниже линии связи) лишь точки рек Урала, Илека и Чагана, которые здесь не приведены. Повышенные их снегозапасы и относительно малые потери объясняются, очевидно, передовым положением бассейнов этих рек на пути западных влагоносных ветров. Формула указанной связи для рек имеет вид:

$$\Sigma P = 0,87X_{з+в} - 0,3. \quad (4)$$

Эта формула дает удовлетворительные и хорошие результаты для средних рек всего равнинного Казахстана. С допустимым приближением она может быть использована для расчета потерь и стока малых рек с более или менее постоянным стоком (малые реки плесового характера).

Пересыхающие лога истоковой станции — Теректысай В. и Н. Кенсай, Теренсай, Кияксай и Кишкентайсай — дали свою линию связи (рис. 3), лежащую несколько ниже линии связи рек, приведенной на рисунке 2. Потери на логах оказались меньшими, чем на средних реках, на 15%. Аналитическое выражение указанной зависимости для логов имеет вид:

$$\Sigma P = 1,2X_{з+в} - 37,6. \quad (5)$$

Заметим, что при построении связи $\Sigma P = f(X_{з+в})$ по логам за отдельные годы образуется две разобщенные линии — одна для лет со стоком, вторая для бессточных лет. Во втором случае все влагозапасы идут на потери и линия связи становится прямой функциональной, проходящей через начало координат. Если же используются многолетние данные, как в нашем случае, то связь получается, как и на реках, однозначной. При этом среднепогодные снегозапасы на логах оказываются больше соответствующих потерь. За счет этой разности формируется сток.

Формула (5) используется прежде всего для расчета потерь талых вод пересыхающих логов Западного Казахстана и дает хорошие и удовлетворительные результаты как для отдельных логов, так и для отдельных лет. Она применима только для полностью пересыхающих логов с площадями водосборов до 100—300 кв. км. Проверка этой формулы на малых реках Казахстана с более или менее постоянным стоком показала, что она не всегда дает приемлемые результаты. Это связано с тем, что она выведена для сухих логов, имеющих сравнительно с другими малыми реками очень малые водосборные площади.

Таким образом, все указанные выше зависимости можно рекомендовать в качестве расчетных графиков для определения норм потерь средних и малых рек равнинного Казахстана, а также пересыхающих логов. Они могут быть использованы не только при расчете стока по уравнению водного баланса, но и по различным

другим зависимостям стока, включающим суммарные потери, например, по связи $U=f(\eta_p)$ и др.

Проверка расчета норм потерь и стока различных водотоков по новому уравнению водного баланса с использованием графиков (рис. 2 и 3) или их формул дала удовлетворительные и хорошие результаты (табл. 1). Имеющиеся и могущие встретиться отклонения вычисленных величин стока от фактических объясняются, в частности, неточностью определения максимальных и суммарных снегозапасов для конкретного бассейна.

Таблица 1

Результаты расчета суммарных потерь талых вод и величины стока различными методами (мм)

Метод расчета или вид функции	Формула, №	Средние и малые реки Казахстана						Пересыхающие лога				
		Ишим-с. Карменный карьер	Тургай-пески Тусум	Тобол-с. Гришенка	Селеты-с. Ильицкое	Темир-п. Ленинский	Жиланды-1,9 км от устья	среднее по всем логам сточковой станции	Мулайды	балка Бегалинская	Теректысай Н.	Кияксай
$U=X_{з+в}-\Sigma P$	(2)	14;18	9;6	13;11	11;10	15;19	10	18;20 18;20	10;11	24;17	23;19; 20;21 (68)	22;15
$\Sigma P=f(\Sigma t+_{\text{макс}})$	(3)	—	—	—	—	—	—	68	—	—	—	—
$\Sigma P=f X_{з-в}$	(4)	94	62	82	70	95	66	—	66	—	—	—
	(5)	—	—	—	—	—	—	66	—	44	72	54
Эмпирические формулы	(8)	90	65	84	71	91	—	68	65	51	71	61
Фактические нормы	(10)	—	—	—	—	—	—	66	—	—	70	—
	U	13,5	4,6	12,4	12,5	22,0	10,0	22,0	9,1	(22,0)	17,0	21,0
	ΣP	94	66	83	69	88	66	66	67	46	74	54
	$X_{з+в}$	108	71	95	81	110	76	86	76	68	91	76

Формулы (4) и (5) применимы для рек, не имеющих регулирования стока и большой распаханности водосборов. Так, например, по р. Тургаю фактическая норма стока (4,6 мм) занижена за счет регулирования. Для малых рек с родниковым питанием, имеющих постоянный сток (в частности для районов Мугоджарских гор), обе эти формулы дают завышенные потери, особенно формула (5). Сток получается заниженным. Поэтому они для таких водотоков непригодны.

Суммарные потери могут быть рассчитаны и через коэффициент потерь по следующей формуле:

$$\Sigma P = X_{з+в} \cdot \eta_p \quad (6)$$

где $X_{з+в}$ — суммарные влагозапасы на водосборе; η_p — коэффи-

циент потерь в долях единицы, представляющий собой отношение

$$\eta_p = \frac{\Sigma P}{X_{з+в}}.$$

Формула (6) как раз следует из данного отношения.

Значение коэффициента потерь нами получено из графической зависимости $\eta_p = f(u)$ (в данной статье не приводится), построенной по 40 малым и средним речным водосборам. В аналитическом виде она выражается формулой:

$$\eta_p = 0,97 + 0,002 u - 0,00007 u^2, \quad (7)$$

где u — осеннее увлажнение почвы, представляющее собой сумму осадков по осадкомеру Третьякова за период с 1/IX до установления постоянного снежного покрова.

В условиях засушливых зон с большим недо насыщением почвы осеннее увлажнение является одним из главнейших факторов потерь талых вод. Формирование весеннего стока здесь осуществляется на фоне той влажности почвы, которая была с осени, так как в последующий зимний период влажность почвы практически не изменяется. Бывает она постоянной и в летний период. В это время влажность почвы ежегодно падает до нижнего своего предела (непродуктивной влажности). Отметим, что такое уменьшение влаги в почве летом наблюдается и в пустынях Туркмении [4]. Таким образом, исходной влажностью почвы, от которой зависят величины весенних потерь и стока, является осенняя влажность.

Подставляя значение формулы (7) в выражение (6), получим:

$$\Sigma P = X_{з+в}(0,97 + 0,002 u - 0,00007 u^2). \quad (8)$$

Потери по этой формуле определяются в зависимости от суммарных влагозапасов и осеннего увлажнения. Следовательно, точность их расчета целиком зависит от точности определения указанных факторов.

Так как на линию территориальной связи $\eta_p = f(u)$ легли и точки малых рек Северного Казахстана, то логично предположить, что формула (7), а следовательно, и (8) пригодны для расчета весеннего стока не только средних, но и малых рек, включая пересыхающие лога (последние — с допустимым приближением). Действительно, проверка формулы (8) показала, что она пригодна и для средних и для малых временных водотоков равнинного Казахстана. Результаты расчета весеннего стока получаются хорошими и удовлетворительными. Среднее отклонение рассчитанных по этой формуле величин потерь от фактических составляет $\pm 3-5\%$. Лишь иногда оно увеличивается до 10% (табл. 1). Однако для малых рек с родниковым питанием и малых рек южных склонов Казахской складчатой страны указанные формулы непригодны.

Из указанных выше формул (4) и (8), используемых для расчета потерь средних и малых рек, предпочтение, по-видимому, следует отдавать формуле (8), учитывающей два основных фактора — снеготопы и осеннее увлажнение водосбора. Что касается логов, то в настоящее время для расчета потерь наиболее приемлемой будет формула (5).

Аналогично выводу формулы (8) можно получить эмпирическую формулу специально для расчета суммарных потерь на пересыхающих логах. С этой целью для логов территории Западно-Казахстанской стоковой станции нами получена графическая зависимость коэффициента потерь отдельных лет от температуры на поверхности почвы в период таяния (рис. 4). Зависимость оказалась прямой. С увеличением сумм положительных температур увеличивается коэффициент потерь. Это связано с удлинением периода таяния, а следовательно, с меньшей его интенсивностью. Аналитическое выражение линии регрессии имеет вид:

$$\eta_p = 1,72 \lg \Sigma t + \text{макс} - 2,9. \quad (9)$$

Подставляя значение η_p в выражение (6) получим:

$$\Sigma P = X_{з+в} (1,72 \lg \Sigma t + \text{макс} - 2,9). \quad (10)$$

Для пересыхающих логов Западного Казахстана формула (10) в целом дает удовлетворительные результаты расчета потерь. Однако для отдельных лет могут быть значительные отклонения, в результате чего рассчитанный сток будет отличаться от фактического. Объясняется это тем, что при выводе формулы (10) использована связь, построенная по данным отдельных лет различных логов. Для всех этих логов температура измерялась на одной метеостанции, в то время как коэффициент потерь по различным логам зависит еще от других факторов, в частности от площади водосбора. Однако если брать температуру, измеренную в бассейне каждого лога (реки), и связывать не годовые, а много-

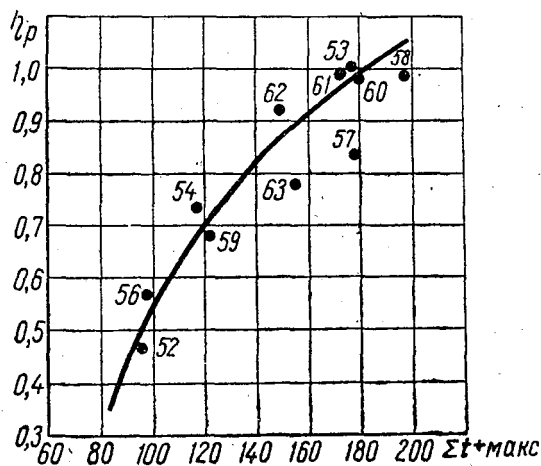


Рис. 4. Зависимость коэффициента потерь весеннего стока логов от сумм максимальных положительных температур на поверхности почвы (снега) за период таяния (средние для всех логов).

летние величины (нормы) температуры и коэффициенты потерь, то результат расчета значительно уточняется.

Проверка вычисления стока различных водотоков пустынно-степных районов Казахстана по новому уравнению (2) показала, что оно дает удовлетворительные и хорошие результаты (табл. 1). Имеющиеся расхождения между вычисленными и фактическими величинами стока связаны с некорректностью определения снегозапасов и факторов потерь. Попытка использовать при расчете стока и осенние осадки (в сумме с $X_{з+в}$) при тех же способах определения потерь хороших результатов не дала. Сток получается сильно завышенным. Это объясняется тем, что осеннее увлажнение уже учитывается через потери. Испытан также расчет, когда вместо $X_{з+в}$ была взята сумма осадков по осадкомеру за холодный период (XI—III). Результаты расчета при этом улучшились, однако сток получился заниженным, а в ряде случаев отрицательным. Это естественно, так как показания осадкомера Третьякова являются заниженными.

В таблице 1 приведены результаты расчета слоя стока по уравнению водного баланса $У = X_{з+в} - \Sigma P$. В первой строке таблицы для каждого водотока дано несколько величин стока. Они вычислены по различным значениям ΣP , полученным рекомендуемыми методами. Порядок расположения цифр, показывающих величины слоя стока, в первой строке соответствует принятым для их расчета потерям, идущим в нижерасположенных строках таблицы сверху вниз.

ВЫВОДЫ

1. Для расчета нормы весеннего стока малых и средних рек пустынно-степных районов Казахстана известное «классическое» уравнение водного баланса $У_0 = X_0 - E_0$ неприменимо. Оно было разработано и применимо для расчета годового стока средних и больших рек более увлажненных северных зон СССР.

Вся речная сеть засушливых зон Казахстана, включая средние, и особенно малые постоянные и временные водотоки — лога, имеет свой особый гидрологический режим и условия формирования стока. Наиболее правильным видом уравнения для этих условий следует считать уравнение $У = X_{з+в} - \Sigma P$, где $X_{з+в}$ и ΣP — соответственно суммарные влагозапасы и потери на водосборе.

2. Для обеспечения достаточной точности расчета стока по новому уравнению в качестве первой составляющей необходимо использовать максимальные снегозапасы на водосборе, измеренные по маршрутным снегосъёмкам или приведенные к ним.

3. При расчете весеннего стока практически более целесообразно оперировать не каждым видом потерь в отдельности, а суммарными потерями за период таяния (ΣP).

4. Для расчета норм суммарных потерь автором рекомендуются методы, основанные на связи потерь с суммарными влагозапасами, осенним увлажнением площади водосбора и максимальной положительной температурой на поверхности почвы (снега). При этом потери для пересыхающих логов рассчитываются по формулам (3), (5) и (10), а для средних и малых рек — (4) и (8). Все рекомендуемые формулы дают удовлетворительные и хорошие результаты расчета.

ЛИТЕРАТУРА

1. Андреева Е. В. Водный режим рек Западного Казахстана. Труды КазНИГМИ, вып. 9, 1957.
2. Каулин В. Н. О методах учета зимних осадков в Каменной степи. «Метеорология и гидрология», 1959, № 10.
3. Паршин В. Н. Композиционный метод построения функции распределения вероятностей стока рек зоны недостаточного увлажнения. «Метеорология и гидрология», 1964, № 4.
4. Протасьев М. С., Алюшинская Н. М., Максимова И. А. Сток в пустынных районах Юго-Западной Туркмении. Труды III Всесоюзного гидрологического съезда, т. II, Л., 1959.
5. Ресурсы поверхностных вод районов освоения целинных и залежных земель. Под ред. В. А. Урываева. Северные области Казахстана: Кустанайская, Акмолинская, Кокчетавская и Павлодарская. Гидрометеоздат, Л., 1958—1959.
6. Ресурсы поверхностных вод СССР, т. 12, вып. 3. Под общей редакцией М. С. Протасьева, Актыбинская область. Гидрометеоздат, Л., 1961.
7. Ресурсы поверхностных вод СССР, т. 13, вып. I. Карагандинская область. Гидрометеоздат, Л., 1966.
8. Романенко В. А. Исследование потерь талых вод. Труды Укр. НИГМИ, вып. 39, Л., 1963.
9. Салов М. С. Весенний сток в зоне недостаточного увлажнения и возможность его прогнозирования. Труды ЦИПа, вып. 34(61), 1954.
10. Струзер Л. Р., Нечаев И. Н., Богданова Э. Г. Систематические погрешности измерения атмосферных осадков. «Метеорология и гидрология», 1965, № 10.
11. Струзер Л. Р., Нечаев И. Н., Богданова Э. Г., Федорова Е. А. Методика корректирования многолетних норм осадков «Метеорология и гидрология», 1965, № 11.
12. Субботин А. И. Использование наблюдений на малых репрезентативных водосборах для расчетов и прогнозов стока рек «Метеорология и гидрология», 1965, № 9.
13. Шергина К. Б. К методике расчета воды в снежном покрове на территории равнинной части Казахстана. Вестник АН КазССР, 1956, № 12 (141).
14. Шкалик Ф. В. Потери талых вод на водосборах и в руслах малых пересыхающих водотоков в условиях полупустыни. Сборник работ Алма-Атинской Гидрометеорологической обсерватории, вып. I. Алма-Ата, 1965.

**РЕЖИМ И ПРОГНОЗ УРОВНЕЙ ГРУНТОВЫХ ВОД
НА ОРОШАЕМЫХ ЗЕМЛЯХ**

Н. С. ГОРЮНОВ, кандидат технических наук,
Б. М. ЖАРМУХАМЕДОВ, инженер

УДК 551.495 : 631.117

Орошаемые земли являются ценным фондом нашей республики. В Директивах XXIII съезда КПСС по новому пятилетнему плану указывается, что площадь орошаемых земель в Казахстане возрастет за пятилетие на 300 тыс. гектаров. Сейчас в республике имеется более 1,100 тыс. гектаров ирригационно подготовленных земель. Занимая немногим более 3% площади пашни в республике, они дают до 20% продукции земледелия в стоимостном выражении.

Однако в силу нарушения водно-солевого режима часть орошаемых земель в республике засоляется и заболачивается, отчего снижается их продуктивность или они выпадают из сельскохозяйственного оборота. В настоящее время свыше 22% ирригационного фонда республики в той или иной степени засолено и заболочено. Для успешной мелиорации орошаемых земель требуется осуществлять комплекс мероприятий — агротехнических, мелиоративных и водохозяйственных. Все эти мероприятия эффективны при их одновременном действии.

К водохозяйственным мероприятиям относится рациональная постановка эксплуатации оросительных систем. Она во многих случаях может ослабить или устранить причины, вызывающие подъем грунтовых вод выше их критического уровня.

Отсюда знание закономерностей режима грунтовых вод на орошаемых землях, и в особенности прогнозирование их уровня, поможет службе эксплуатации оросительных систем и специалистам хозяйств своевременно принимать меры к ликвидации опасного подъема минерализованных грунтовых вод. Поэтому КазНИИВХ проводятся исследования для разработки различных мелиоративных мероприятий по борьбе с засолением и заболачиванием орошаемых земель. В частности, проводятся большие наблюдения за водным балансом грунтовых вод на орошаемых массивах в пред-

горной зоне Заилийского Алатау, в зоне Арысь-Туркестанского канала и Кызыл-Ординского массива орошения. В результате проведенных исследований получены материалы, позволяющие сделать определенные выводы. В данной статье мы остановимся на результатах исследований, проведенных в предгорной зоне Заилийского Алатау Алма-Атинской области.

Полевые исследования проводились на опорном пункте института в Илийском районе (ст. Байсерке), где наиболее достоверные данные получены в 1964—1965 гг. Для изучения режима грунтовых вод был организован балансовый участок, оборудованный 36 наблюдательными скважинами и 45 пьезометрами.

Согласно имеющемуся материалу грунты на участке и прилегающей территории литологически представлены покровными суглинками (мощностью до 1,5 м), легкими и тяжелыми цементированными супесями (мощность их более 20 м), плотными пылеватыми суглинками значительной мощности (более 40 м). Далее наблюдается частое переслаивание супесей, суглинков, песков и галечников. Общая изученная глубина разреза составляет 100—110 м. Гидрогеологически опытный участок и прилегающие территории характеризуются наличием двух основных водоносных горизонтов: I — грунтовые, безнапорные и II — пластовые, напорные воды.

Первый водоносный горизонт приурочен к верхней части толщи супесей — легким супесям, средняя и нижняя часть которых практически являются водоупором в силу значительной плотности сложения, цементирования и тяжелого механического состава грунтов. По данным пьезометрических наблюдений, общая глубина залегания грунтовых вод на опытном участке составляет 10 м от поверхности земли. Общая мощность потока грунтовых вод на участке колеблется от 7,5 до 9,5 м за вегетационный период.

Второй водоносный горизонт приурочен к разнозернистым пескам и галечникам, переслаивающимся с супесями и суглинками. Этот водоносный горизонт встречен ниже глубины 80—90 м. Значительная мощность водоупорного слоя из супесей и суглинков

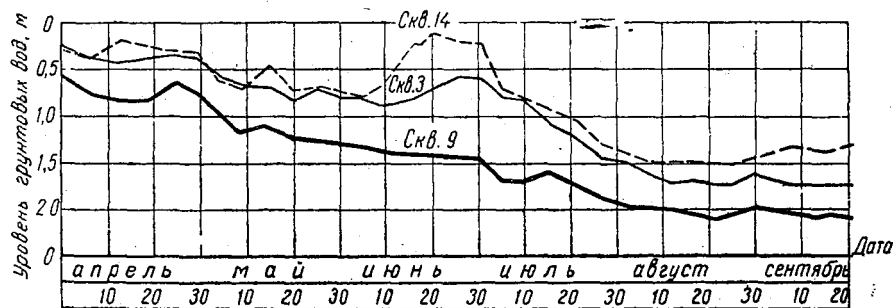


Рис. 1. Динамика уровней грунтовых вод, за 1964—1965 гг.

(более 70 м), химический состав и температура подземных вод обоих горизонтов свидетельствуют об отсутствии их взаимосвязи (рис. 1).

Таким образом, пополнение запасов грунтовых вод за счет ниже лежащих пластовых напорных вод не происходит. Поэтому наше основное внимание было сосредоточено на изучении других факторов водного баланса, могущих влиять на режим грунтовых безнапорных вод, а именно: атмосферных осадков, испарения и транспирации, оросительных вод и подземного водопритока извне. О правильности такого подхода говорят результаты экспериментальных исследований.

Экспериментальные исследования динамики уровня в полевых условиях и теоретический расчет баланса грунтовых вод по уравнению Г. Н. Каменского для неустановившегося движения в конечных разностях позволили выделить четыре этапа (периода) в режиме грунтовых вод на исследуемом массиве (табл. 1).

Таблица 1

Баланс грунтовых вод

Условные периоды	Грунтовые воды				Накопление, Δq		Питание (испарение), w		Баланс воды мм
	приток, q_1		отток, q_2		мм/сут	мм	мм/сут	мм	
	мм/сут	мм	мм/сут	мм					
I—апрель	6,38	191,4	3,20	96,0	3,18	95,4	-2,77	-83,1	12,3
II—май	6,33	253,2	3,48	139,2	2,85	114,0	-5,70	-228,0	-114,0
III—июнь	7,90	237,0	4,73	141,9	3,17	95,1	-3,79	-113,7	-18,6
IV—июль—сентябрь	6,88	509,1	2,91	215,3	3,97	293,8	-7,10	-525,4	-241,6
Всего за четыре периода	27,49	1190,7	14,32	592,4	13,17	598,3	19,36	-950,2	-361,9

Первый период характеризуется относительным постоянством высокого весеннего уровня грунтовых вод. Происходит интенсивная фильтрация талых вод за счет весеннего снеготаяния, испарение грунтовых вод и пополнение их запасов за счет водопритока извне.

Второй период характеризуется постепенным и постоянным понижением уровня грунтовых вод, так как усиливается испарение, а восполнение происходит только за счет водопритока извне. Поскольку испарение резко превышает приток, происходит понижение уровня грунтовых вод. К началу поливного периода уровень грунтовых вод снижается в среднем на 0,6—0,7 м по сравнению с его наивысшим положением весной. Общая конфигурация водного зеркала не изменяется.

Третий период характеризуется резким повышением уровня грунтовых вод вследствие пополнения их запасов за счет инфильт-

рации поливных вод. Подтверждением этому — баланс грунтовых вод, подсчитанный по методу Г. Н. Каменского (табл. 1). В этот период грунтовые воды поднимаются на 0,2—0,4 м в сравнении с уровнем грунтовых вод за дополивной (II) период.

Четвертый период характеризуется понижением уровня грунтовых вод, вследствие сработки их запасов на продолжающееся интенсивное испарение. Пополнения запасов грунтовых вод в этот период почти не происходит, только наблюдается небольшой приток их извне. Согласно карте гидроизогипс величина изменения уровня в сравнении с поливным (III) периодом равняется 0,20—0,80 м с максимальным значением в средней и южной частях опытного участка.

В положении гидроизогипс на картах для всех периодов существенного различия не наблюдается. Общее направление движения грунтовых вод во все периоды на опытном поле наблюдается в стороны дрен и коллектора, то есть на северо-запад. При приближении к дренам наблюдается изменение направления потока, вследствие влияния этих дрен. Основная разгрузка грунтовых вод происходит в коллекторе и в меньшей степени — в дренах, что говорит о малой глубине последних, так как они были построены как временные.

По направлению основного движения, то есть с юга на север, величина уклона зеркала грунтовых вод колеблется от 0,01 (весной) до 0,008—0,009 (осенью). Уклоны потоков, движущихся к дренам и разгружающихся в них, несколько больше, чем центрального потока, и составляют около 0,02 для восточной дрены и 0,012—0,15 для западной. Амплитуда колебаний уровня в период наблюдений в различных скважинах составляла 1—2 м, а в среднем по территории — 1,5 м. За вегетационный период амплитуда колебаний равняется в среднем 1,5 м: к концу года она несколько уменьшается по сравнению с весенним периодом.

Экспериментальные исследования режима уровня грунтовых вод дали возможность выявить основные факторы, влияющие на его изменение во времени. Этими факторами являются: атмосферные осадки, снеготаяние, подземный водоприток со стороны, поливные воды и испарение. Влияние этих факторов, как было описано выше, проявляется в каждый период по-разному. Так, в осенне-зимний период происходит основное пополнение запасов грунтовых вод за счет инфильтрации атмосферных осадков, талых вод и подземного водопритока со стороны. Поэтому в этот период происходит подъем уровня грунтовых вод.

Анализ режима и водного баланса дает возможность заключить, что на рассматриваемой территории имеют место разновидности климатическо-ирригационного типа режима грунтовых вод.

Причем преобладание их в течение года, как показано выше, меняется. Они вызывают накопление запасов грунтовых вод, которые в течение года претерпевают изменения в ту или иную сторону, но в

многочисленном разрезе неуклонно увеличиваются, что вызывает засоление корнеобитаемого слоя почвы, если дренаж недостаточен и отсутствуют на его фоне регулярные капитальные промывки.

Для проектирования мелиоративных мероприятий, а также для организации правильной эксплуатации оросительных систем необходимо прогнозировать уровень грунтовых вод на орошаемых массивах. В этом случае служба эксплуатации может заранее предпринять соответствующие меры по предотвращению их опасного поднятия. Прогнозирование можно осуществлять такими методами: методом Г. Н. Каменского, основанном на использовании уравнения неустановившегося движения в конечных разностях; приближенным методом прогнозирования А. А. Коноплянцев; упрощенным методом прогнозирования А. В. Лебедева; методом корреляционных зависимостей М. Е. Альтовского и др.

Авторы остановились на методе установления корреляционных зависимостей уровней грунтовых вод предыдущего и последующего месяцев, разработанном М. Е. Альтовским («Методическое руководство по изучению режима подземных вод», М., 1954.). Сущность метода заключается в оценке точности связи и установлении корреляционных зависимостей между уровнями грунтовых вод предшествующего и последующего месяцев.

Прогнозирование уровня грунтовых вод последующего месяца в зависимости от предыдущего по методу корреляции произведено по данным режимных наблюдений на балансовом участке опорного пункта за 1964 и 1965 гг.

Для составления наиболее приемлемых уравнений корреляционных зависимостей предварительно был произведен гидрогеологический анализ природного процесса, выявлены основные природные и искусственные факторы, влияющие на режим грунтовых вод. Поэтому были составлены четыре уравнения, охватывающие следующие периоды наблюдений:

- 1) полный вегетационный период (29/IV—2/X 1964 г.);
- 2) доливной период (8/V—24/VII 1964 г.);
- 3) послеливной период (1/VIII—2/X 1964 г.);
- 4) полный вегетационный период (1/IV—21/IX 1965 г.).

Согласно методике были составлены два графика зависимостей средних значений уровней грунтовых вод последующего и предыдущего месяцев по результатам наблюдений за 1964 и 1965 гг. Для иллюстрации приводится лишь один из них (рис. 2). Изучая графики, выясняем, что связь между уровнями грунтовых вод последующего и предыдущего месяцев — прямолинейная, что дает возможность использовать уравнения М. Е. Альтовского, выведенные им для прямолинейной зависимости. По данным составленных корреляционных таблиц, были определены коэффициенты корреляции для определения достоверности связи и сами уравнения корреляции

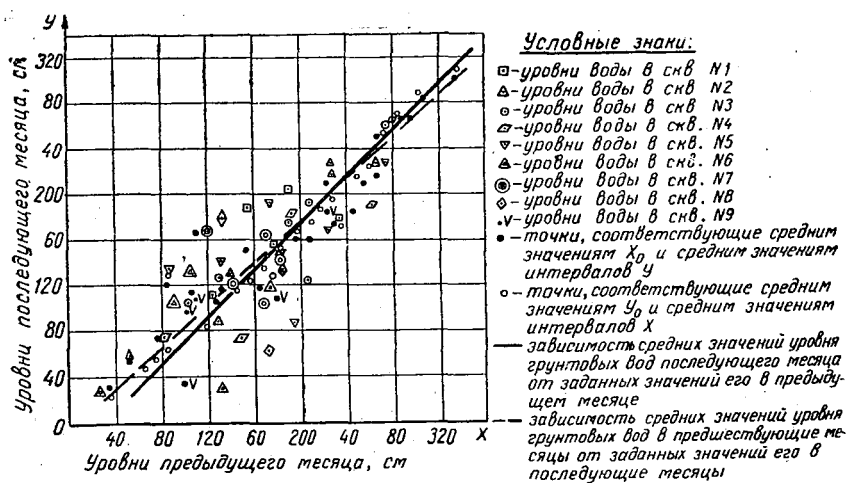


Рис. 2 — График связи уровней грунтовых вод предыдущего и последующего месяцев за 1964 г.

ляционных зависимостей (регрессии). После составления уравнений корреляционных зависимостей были определены величины возможного отклонения вычисленной средней величины уровня от действительных по соответствующей зависимости, приведенной в методике, и эти величины были отражены в каждом составленном уравнении регрессии.

Составленные уравнения имеют вид:

- 1) $Y = 0,844x + 1,8 \pm 3,3$;
- 2) $Y = 0,766x + 20,34 \pm 2,7$;
- 3) $Y = 0,703x + 8,89 \pm 11,2$;
- 4) $Y = 0,926x + 33,42$,

где Y — среднемесячный уровень грунтовых вод последующего месяца, см;

x — среднемесячный уровень грунтовых вод предыдущего месяца, см.

Составление не одного, а нескольких уравнений корреляционных зависимостей произведено для того, чтобы выбрать из них наиболее подходящее для производственных условий. Для выявления оптимального (точного) уравнения были произведены контрольные расчеты по определению прогнозируемых величин среднемесячных уровней грунтовых вод на последующий месяц по известному среднемесячному уровню предшествующего месяца и сравнению с фактическими наблюдаемыми уровнями. Наиболее точным оказалось четвертое уравнение, полученное по наблюдениям за 1965 г.

При прогнозировании по данному уравнению уровней грунтовых вод последующего месяца в зависимости от его фактических значений в предыдущем месяце при сопоставлении их с фактически наблюдаемыми уровнями в скважинах № 3, 9, 14, 19 получены следующие расхождения: из 20 произведенных наблюдений 16 имеют расхождения в пределах от 0,5 до 18,6%, 2 определения — 24,6 и 26,9%, одно определение — 31,5%. Из всего количества определений средний процент составляет 10,7%. Отсюда видно, что уравнение (4) является пригодным при использовании его для ориентировочного прогнозирования уровня грунтовых вод в производственных условиях. Причем его можно применять для вегетационного периода культур с небольшим числом поливов (3—5) в зоне исследований.

Приводим пример использования этого уравнения. Например, по данным наблюдений за 1965 г. средний уровень грунтовых вод в мае в скважине № 9 был равен 117,3 см, тогда, подставляя это значение в уравнение (4), получим значение среднего уровня грунтовых вод в той же скважине на последующий месяц (июнь), равное: $У = 0,926 \times 117,3 + 33,42 = 142,04$ см. Зная заранее положение уровня грунтовых вод, служба эксплуатации может корректировать сроки и нормы поливов сельскохозяйственных культур, а в случае необходимости и другие мероприятия.

ЛИТЕРАТУРА

Методическое руководство по изучению режима подземных вод (под редакцией Коноплянцева А. А., Альтовского М. Е.). Москва, Госгеолтехиздат, 1954.

Лебедев А. В. Прогноз изменения уровня грунтовых вод на орошаемых территориях (гидрогеологические расчеты). Москва, Госгеолтехиздат, 1957.

Каменский Г. Н. Гидродинамические принципы изучения режима грунтовых вод. В книге «Вопросы гидрогеологии и инженерной геологии». Москва, Госгеолтехиздат, 1953.

Коноплянцев А. А., Ковалевский В. С., Семенов С. М. Естественный режим подземных вод и его закономерности. Москва, Госгеолтехиздат, 1963.

**РАСЧЕТНЫЕ ПАРАМЕТРЫ ГОДОВОГО СТОКА РЕК
ЮГО-ЗАПАДНОГО КАЗАХСТАНА**

З. Т. БЕРКАЛИЕВ, В. С. БУРУМЕНСКИЙ,

кандидаты технических наук

УДК 551.482.4 (574)

Возрастающая из года в год потребность в воде для нужд народного хозяйства и разнообразие форм ее потребления требуют более тщательного изучения закономерностей формирования стока. Одно из главных мест в этом занимает уточнение методов расчета характеристик стока, его изменчивости и внутригодового распределения при отсутствии или недостаточности наблюдений.

Для территории Юго-Западного Казахстана — горные и предгорные районы Джамбулской и Чимкентской областей — эта задача важна как с методической, так и с практической точек зрения. С методической точки зрения затронутые вопросы представляют интерес вследствие большой сложности, слабой изученности, а также ввиду разнообразия условий формирования стока в этом районе, с практической — в связи с тем, что Юго-Западный Казахстан относится к районам интенсивного развития орошаемого земледелия, где ощущается острый недостаток воды, что требует максимального и высокоэффективного ее использования.

Имеющиеся гидрологические обобщения в большинстве случаев затрагивают другие горные районы или относятся ко всей территории Средней Азии и охватывают, как правило, реки с водосборами более 100 км². Малые же горные реки Юго-Западного Казахстана нуждаются в более индивидуальном подходе к их изучению. В связи со своеобразием условий формирования стока рек рассматриваемого района некоторые из широко известных связей и расчетных зависимостей, установленных для территории Средней Азии, в применении к малым рекам Юго-Западного Казахстана носят лишь ориентировочный характер. Кроме того, имеющиеся гидрологические наблюдения не всегда отвечают требованиям водохозяйственного расчета. Гидрометрическая сеть, несмотря на ее относитель-

ную густоту по сравнению с равнинными районами Казахстана, по своему расположению не может осветить водный режим рек на всех участках.

Наряду с климатом, который признается определяющим фактором стока, на режим рек прямо или косвенно влияют другие факторы, в частности геологическое строение водосборов, пересеченность рельефа и т. д. Однако определение степени влияния на сток отдельных факторов при современной гидрологической изученности Юго-Западного Казахстана является чрезвычайно сложной, а в ряде случаев и невыполнимой задачей. Несмотря на это, при решении некоторых задач в настоящей статье особое внимание уделено геологическому строению водосборов, подземному питанию рек, гипсометрическим характеристикам бассейнов и связанности их с речным стоком.

К природным особенностям формирования стока рек рассматриваемого района относятся следующие. Из наиболее крупных орографических образований на территории Юго-Западного Казахстана выделяются хребты Угамский, Каржан-Тау, Баролдай-Тау, Каратау и Киргизский.

Характерной чертой территории является то, что в строении ее принимают участие породы, различные как по возрасту, так и по водно-физическим свойствам. По характеру водно-физических свойств горных пород, в частности водопроницаемости и степени трещиноватости, здесь выделяются три крупные зоны, сложенные слабо-, средне- и сильнопроницаемыми породами. Границы этих зон охватывают, как правило, последовательно плоские предгорные равнины, конусы выноса и зоны формирования стока.

Главными факторами, формирующими климат рассматриваемой территории, являются низкие широты, большая пересеченность рельефа, соседство с огромными пустынными пространствами и особенности циркуляции атмосферы. Климат Юго-Западного Казахстана носит в целом континентальный характер. Особенностью термического режима является возможность наступления резких зимних оттепелей до высот 2000 м, что ведет к образованию зимних паводков на реках и усложняет гидрограф стока.

Разнообразие орографических условий Юго-Западного Казахстана предопределяет неравномерное распределение осадков на территории. Наиболее пестрая картина в распределении осадков отмечается в районе хребта Каратау. Юго-западные склоны его, обращенные в сторону основного пути движения циклонов, получают осадков на 100—150 мм в год больше, чем северо-восточные. Хребты Угамский и Каржан-Тау, являющиеся первой мощной преградой на пути движения циклонов, находятся в наиболее благоприятных условиях увлажнения. Поэтому здесь выпадает наибольшее количество осадков, до 1000 мм в год. На юго-западном склоне хребта Каржан-Тау, обращенном в сторону господствующего на-

правления движения воздушных масс, выпадает осадков на 400—500 мм в год больше, чем на северо-восточном.

Несмотря на сложность орографического строения и атмосферной циркуляции, распределение годовых осадков по территории Юго-Западного Казахстана подчиняется определенным закономерностям и в первую очередь закону вертикальной поясности. Зависимость годовых сумм осадков от высоты местности не является здесь однозначной, а проявляется лишь для сравнительно небольших районов, главным образом склонов хребтов, определенным образом ориентированных к направлению движения влажных воздушных масс. По характеру возрастания годовых сумм осадков с высотой местности вся территория Юго-Западного Казахстана делится на 5 районов: I — северный склон Киргизского хребта и северо-восточный склон хребта Каратау; II — юго-восточный склон хребта Каратау; III — хребет Боролдай-Тау; IV — северный склон Угамского хребта; V — хребет Каржан-Тау (рис. 1).

Выделенные районы различаются прежде всего по связи и интенсивности возрастания годовых сумм осадков с высотой местности.

Сеть гидрометрических наблюдений на территории Юго-Западного Казахстана довольно густа. Однако в силу сложности условий формирования стока рек рассматриваемой территории (о чем можно судить из вышесказанного) и низкого качества наблюдений на постах органов эксплуатационной гидрометрии Минмеливодхоза КазССР норма среднегодового стока и его параметры в ряде случаев не могут быть определены по данным наблюдений с достаточной степенью достоверности.

Исследования показали, что при наличии ряда наблюдений в качестве расчетного периода для определения нормы среднегодового стока может быть принят период с 1936 по 1962 г. длительностью 27 лет. Анализ разностных интегральных кривых отклонений модульных коэффициентов среднегодового стока от единицы позволил установить, что выбранный ряд отвечает современным требованиям, предъявляемым к расчетным периодам: дает допусти-

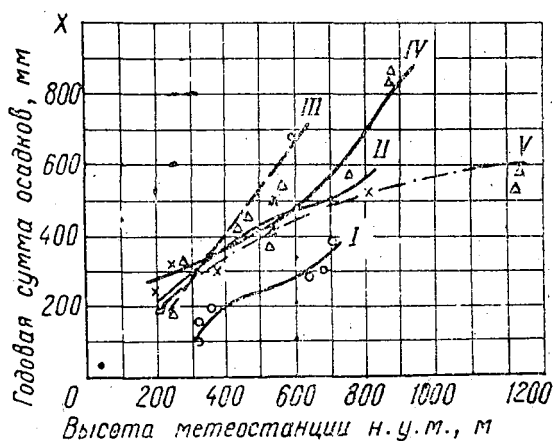


Рис. 1. Сводный график зависимости годовых сумм осадков от высоты местности.

Особенностью построенной карты является наличие разрывов в изолиниях равных модулей в районе хребта Каратау. Причиной образования разрывов является различие климатических условий на противоположных склонах хребта Каратау и его асимметричное строение, вследствие чего водность рек на северо-восточном склоне его для сравнимых высот гораздо меньше, чем на юго-западном. Кроме того, уменьшение подземной составляющей стока рек северо-восточного склона по сравнению с юго-западными усиливается за счет соседства с огромным пустынным массивом Муонкумы.

Все это и приводит к образованию обрывов в изолиниях равных модулей.

Средняя точность вычисления нормы среднегодового стока по предлагаемой карте не превышает $\pm 10\%$. Однако для практических расчетов необходимо применение в основном зависимостей $M_o = f(H_{cp})$.

В отдельных случаях значительные ошибки (до 70—80%), даваемые картой изолиний и графиками $M_o = f(H_{cp})$, объясняются, в первую очередь, различиями в геологическом строении водосборов и возможным несовпадением поверхностных и подземных водоразделов. Такое явление характерно для районов, сложенных сильно проницаемыми породами (хребет Каратау). Для Угамского хребта (по отдельным водосборам) характерно развитие карстовых явлений. Для таких районов возможно несоответствие стока, замеренного в руслах, полному климатическому стоку. При построении карты из поля зрения выпала категория водотоков со слабо выраженными водоразделами, имеющих мощное подземное питание. Но именно такие реки могут иметь повышенный сток в результате дренирования соседних водосборов. В связи с этим ясно представляется, что для водосборов такого типа могут быть получены значительные расхождения между модулями, определенными по карте или кривой $M_o = f(H_{cp})$ и полученными из наблюдений. При внимательном рассмотрении внутригодового хода стока тех рек, которые дали значительные отклонения модулей от линий связи $M_o = f(H_{cp})$, выяснилось, что для них характерно резкое несоответствие величин меженного и весеннего стоков на общем фоне гидрологического режима. В одних случаях меженный сток относительно завышен, в других, наоборот, занижен. Нетрудно понять, что решающую роль в этом играют не климатические условия, а факторы, связанные с геологическим строением водосборов. Для учета этих явлений, следовательно, нужна определенная система поправок к карте при определении истинной величины нормы среднегодового стока.

Если предположить, что между данным водосбором и соседними нет значительного водообмена подземным путем, то между полным модулем минимального стока и модулем, замеренным в руслах, должно существовать соотношение, соответствующее кривым

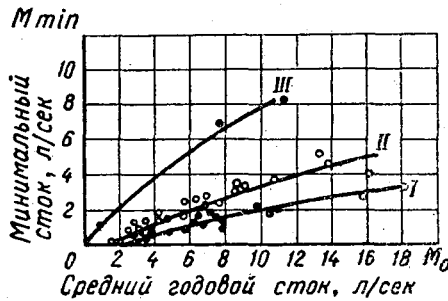


Рис. 3. Связь минимального среднего месячного и среднего годового стоков.

I. Реки северного склона Киргизского хребта, хребтов Каржан-Тау и Угамского.
 II. Реки хребтов Каратау и Боролдай-Тау.
 III. Реки бассейна Машатсу.

$M_m = f(M_0)$ (рис. 3). Определив по карте или графикам связи $M_0 = f(H_{ср})$ норму среднегодового стока, можно найти M_m , который должен быть близок к истинному значению минимального стока по данным гидрометрических наблюдений. В том случае, когда данные гидрометрии дают заметно отличающуюся величину, определенная по карте изолиний или зависимости $M_0 = f(H_{ср})$ норма имеет какую-то погрешность. Величина этой погрешности определяется из уравнения:

$$\pm \Delta M_0 = M_m - M'_m, \quad (1)$$

где M_m — истинный модуль минимального среднемесячного стока;

M'_m — модуль минимального среднемесячного стока, определенный по графикам $M'_m = f(M_0)$, соответствующий полному климатическому стоку.

Уравнение (1) является основным для введения поправок на рассматриваемой территории.

Формулы поправок для отдельных гидрологических районов Юго-Западного Казахстана имеют вид:

для рек хребтов Угамского и Боролдай-Тау

$$\pm \Delta M_0 = M_m - 0,36(M_k - 1,5)^{0,75}; \quad (2)$$

для рек северного склона Киргизского хребта, хребтов Каржан-Тау и Угамского

$$\pm \Delta M_0 = M_m - 0,56(M_k - 1,2)^{0,75}; \quad (3)$$

для рек бассейна Машатсу

$$\pm \Delta M_0 = M_k^{0,86}. \quad (4)$$

Интересно отметить, что система поправок такого же вида получена и А. Н. Важновым [3] для рек Армянской ССР. Система поправок дает положительные результаты для тех рек, где имеются двух-трехлетние наблюдения, недостаточные для определения нормы среднегодового стока, но достаточные для приближенного определения минимального среднемесячного стока, более устойчивого по годам. Эффективность поправок снижается для рек с высоко расположенными водосборами, где определяющее значение в формировании среднего годового стока имеют факторы климатические. Попытка получения более точных связей нормы стока с густотой

речной сети, чем $M_0 = f(H_{cp})$, закончилась неудачей. Вероятно, в этом случае густота речной сети не является показателем дренированности водосбора, кроме того, указанная связь нарушается разнообразием почвенно-геологических факторов.

Известно, что в бассейнах рек, особенно с низкими водосборами, гидрографическая сеть наиболее развита в верховьях. Горные водосборы в подавляющем большинстве случаев вряд ли являются исключением. Для горных водосборов чрезвычайно важным моментом в формировании среднегодового стока, не говоря уже о его внутригодовом ходе, является распределение высот в водосборе, так как при одной и той же средней взвешенной высоте водосборов такое распределение может быть различным. Примером этого могут служить реки Актекен и Жол-Ойранды, стекающие с северного склона Киргизского хребта и, следовательно, находящиеся в одинаковых условиях увлажнения. Средние высоты водосборов этих рек соответственно равны 1890 и 1814 м, то есть примерно одинаковы. Несмотря на это, характер распределения высот в водосборах у них различный. Анализ гипсометрических кривых показал, что 30% площади водосбора (считая от истоков) в бассейне р. Жол-Ойранды расположено в зоне высот от 2300 до 3700 м, в бассейне р. Актекен — ниже 2900 м. Естественно полагать, что в бассейне р. Жол-Ойранды условия для накопления осадков в твердом виде в связи с действием вертикального положительного градиента осадков будет лучше, чем в бассейне р. Актекен. Следует оговориться, что такое положение может и не относиться к очень высоким водосборам и их верхним зонам. В связи с вышеизложенным, гипсометрический показатель, указывающий, в зоне каких высот расположены верхние части водосборов, может быть определенным образом связан со средним годовым стоком.

С целью проверки сказанного были вычислены гипсометрические кривые по ряду рек Юго-Западного Казахстана. В качестве гипсометрического показателя брались отметки, выше которых расположено 50, 40 и 30% площади водосбора. Наиболее тесная связь нормы среднегодового стока получена с высотой, выше которой расположено 30% площади водосбора (H_{30}). Связь однозначна и имеет место лишь для рек с половодьем в весенне-летний период и с водосборами, расположенными на высотах более 2000 м. Аналитическим выражением ее является уравнение

$$M_0 = 0,045 H_{30}^{5,0}, \quad (5)$$

где M_0 — норма среднегодового стока, л/сек с км²;
 $H_{30}^{5,0}$ — гипсометрический показатель, км.

Точность вычисления нормы среднегодового стока по формуле (5) равна $\pm 8\%$. В связи с тем, что при расчете нормы среднегодового стока по формуле (5) требуется построение гипсометрической кривой, применение ее целесообразно в тех случаях, когда требует-

ся повышенная точность вычислений. Необходимо также иметь в виду, что применение формулы (5) ограничено средними высотами водосборов от 2000 до 2700 м.

Таким образом, введение поправок для низкорасположенных водосборов и использование гипсометрического показателя для более высоких водосборов позволяет уточнить вычисление нормы среднегодового стока для рек Юго-Западного Казахстана.

Известно, что средний годовой сток является величиной переменной и колеблется из года в год в зависимости от изменений определяющих его факторов. Наряду с климатическими факторами на колебания среднего годового стока рек рассматриваемой территории прямо или косвенно влияют и другие, в частности геологическое строение водосборов и зарегулированность стока подземными водами, которые смягчают эти колебания.

У рек с высоко расположенными водосборами, где большое развитие имеют вечные снега и ледники, изменчивость термических факторов оказывает существенное влияние на колебание годового стока. Для территории Юго-Западного Казахстана роль вечных снегов и ледников в питании рек мала, а в подавляющем большинстве случаев вообще не имеет значения. Поэтому использование здесь для расчета коэффициентов вариации рекомендаций, содержащих в качестве основного показателя только среднюю высоту водосборов, не дает должного эффекта. В первую очередь это относится к малым, низко расположенным водосборам, обладающим почти индивидуальным режимом. Особенности геологического строения водосборов в условиях Юго-Западного Казахстана иногда полностью затушевывают влияние их средней высоты на колебания годового стока. Анализ возможностей применения в рассматриваемом районе широко известных рекомендаций для определения коэффициентов вариации годового стока (В. Л. Шульца, Д. Л. Соколовского, С. Н. Крицкого и М. Ф. Менкеля и др.) не дал положительных результатов. Из этих предложений лучшие результаты дает формула В. Л. Шульца [6] и то лишь для рек с площадями водосборов более 100 км².

Влияние площади водосбора на колебания среднего годового стока в условиях Юго-Западного Казахстана менее значительно, чем для равнинных рек. Это подтверждается и отсутствием связи $C_V = f(F_{\text{вод}})$. Все сказанное привело к необходимости оценки колебаний годового стока рек рассматриваемой территории в связи с его естественной зарегулированностью.

В связи с тем, что все водосборы рек Юго-Западного Казахстана сложены сильно проницаемыми породами (особенно зоны формирования стока), подземные воды, имеющие здесь почти повсеместную гидравлическую связь с поверхностными, принимают очень активное участие в питании рек и играют большую роль в уменьшении колебаний годового стока. Это обстоятельство усиливается

тем, что подземные воды в горных районах, обладая повышенными скоростями движения в водосборах рек, почти никогда не переходят в категорию вечных запасов.

Выявление регулирующего влияния на колебания среднего годового стока геологического строения водосборов и связанного с ним подземного питания рек является трудной задачей. Сложность ее заключается прежде всего в установлении категории подземного питания, оказывающего регулирующее влияние на средний годовой сток. В условиях Юго-Западного Казахстана наибольшей регулирующей способностью обладают глубокие подземные воды, гидравлически связанные с речными потоками. «Поверхностные» подземные воды, то есть воды первых горизонтов, имеют меньшую регулирующую способность. Они осуществляют сезонное регулирование.

На современном этапе гидрологической изученности рек рассматриваемой территории естественную зарегулированность годового стока подземными водами можно характеризовать «базисной» частью стока, численно выражаемой по Д. Л. Соколовскому через коэффициент естественной зарегулированности $\varphi = \int_0^1 Pdk$.

В условиях Юго-Западного Казахстана «базисный» сток осуществляет не только сезонное, но и годовое регулирование.

Анализ разностных интегральных кривых отклонений модульных коэффициентов от единицы среднегодового и «базисного» стока по целому ряду рек Юго-Западного Казахстана показал, что в годы с водностью выше нормы относительное увеличение «базисного» стока, выраженное через φ , оказывается нулевым или даже отрицательным. В годы с водностью ниже нормы тангенсы углов наклона соответствующих участков кривых имеют в большинстве случаев противоположный знак. В циклы очень длительного одностороннего изменения водности регулирующая роль «базисного» стока в связи с истощением ресурсов подземных вод или, наоборот, заполнением подземных аккумулярующих емкостей водосборов несколько понижается.

Органическая взаимосвязанность «базисного» стока с колебаниями годового стока позволила получить для рассматриваемой территории расчетные зависимости и формулы. При определении коэффициента вариации среднего годового стока в эти зависимости в качестве основного параметра входит коэффициент естественной зарегулированности.

Для низких хребтов Каратау и Боролдай-Тау зависимость имеет вид:

$$C_v = 2,96 - 1,43 \lg(100\varphi + 1), \quad (6)$$

для более высоких хребтов Угамского, Каржан-Тау и северного склона Киргизского хребта —

$$C_v = 3,01 - 0,05 H_{cp} - 1,43 \lg(100\varphi + 1), \quad (7)$$

где C_V — коэффициент вариации среднегодового стока;
 $H_{\text{ср}}$ — средняя взвешенная высота водосборов, км;
 φ — коэффициент естественной зарегулированности, который в рассматриваемом случае может быть определен по формуле $\varphi = \sqrt[3]{K_m}$. Здесь K_m — модульный коэффициент минимального среднемесячного стока. Коэффициент φ может быть определен и по фактическому ряду наблюдений продолжительностью от 2 до 5 лет.

Внутригодовое распределение стока рек Юго-Западного Казахстана зависит от климатических элементов года, особенно таких из них, как осадки и температура воздуха.

Кроме основных климатических факторов, на характер внутригодового распределения стока здесь большое влияние оказывает подстилающая поверхность, в первую очередь рельеф и геологическое строение водосборов.

Влияние рельефа на внутригодовое распределение стока сказывается двояким образом, во-первых, в направлении изменения климатических элементов в зависимости от высоты и ориентации водосборов; во-вторых, в изменении времени стекания талых и дождевых вод в русла. Длительность весеннего половодья, его высота, время начала, максимума и окончания зависят не только от высоты, но и от вертикальной протяженности водосбора. В связи с более затяжным характером таяния снега в горах талые воды поступают в русла одновременно сравнительно с небольшой площади водосбора, называемой В. Л. Шульцем «площадью одновременного снеготаяния».

В результате этого половодье оказывается сильно растянутым и относительно невысоким. Время наступления среднемесячных максимумов половодья также в значительной мере зависит от высотного положения водосбора.

В зависимости от вариации отдельных факторов могут наблюдаться и отдельные отклонения во внутригодовом распределении стока, характерном для данной высотной зоны. Однако общие черты внутригодового распределения стока, связанные с видом гидрографа, во всех случаях сохраняются.

По характеру внутригодового распределения стока на территории Юго-Западного Казахстана встречаются в основном две группы рек: 1 — реки с половодьем в весенне-летний период; 2 — реки с весенним половодьем.

На рисунке 4 показаны гидрографы стока рек рассматриваемой территории в виде интегральных кривых относительного среднемесячного стока.

По таблицам средних многолетних месячных расходов в процентах от годового были составлены графики интегральных кривых стока для 39 рек Юго-Западного Казахстана с площадями водосбо-

ра от 20 до 500 км² и средними взвешенными высотами их от 400 до 2700 м. Полученное таким путем относительное внутригодовое распределение стока удобно для сравнения рек с различными абсолютными его значениями.

При построении интегральных графиков месячные величины стока последовательно суммировались в календарном порядке, начиная с января. За начало координат принято начало января.

Ордината первой абсциссы, таким образом, оказывается равной величине объема стока за январь месяц, ордината второй абсциссы — сумме относительных величин январского и февральского стока и т. д. В результате таких подсчетов получается ломаная кривая, началом которой является нуль координат. Кривые монотонно возрастают до значения ординаты, равного 100%.

Различие между интегральными кривыми в принятых координатах состоит, как видно из рисунка 4, в крутизне подъема и плавности нарастания ординат. На всех кривых можно выделить участки относительно слабого нарастания ординат, приближающихся к прямым. Эти участки расположены в начале и в конце кривых и соответствуют зимней и осенней межени. Периоду половодья отвечают участки наиболее резкого возрастания ординат в средних частях кривых. Различия в очертаниях кривых соответствуют определенному типу внутригодового распределения стока, зависящего, в свою очередь, от высотного положения водосбора, или определенному значению внутригодовой неравномерности стока.

Величиной, характеризующей внутригодовую неравномерность стока, может быть коэффициент δ или отношение площади, расположенной выше интегральной кривой стока, к площади ниже нее, предложенные В. Л. Шульцем, или центр половодья, предложенный П. М. Машуковым. Однако перечисленные показатели в силу целого ряда причин не дают полного представления о внутригодовой неравномерности стока.

На рисунке 4, начиная от нуля координат, проведена прямая, соответствующая идеальному случаю внутригодового распределения стока, когда сток по месяцам не меняется. Всякое отклонение ординат ломаных кривых стока от прямой указывает прежде всего на наличие внутригодовой неравномерности в стоке. Очевидно, внутригодовая неравномерность стока тем больше, чем большее

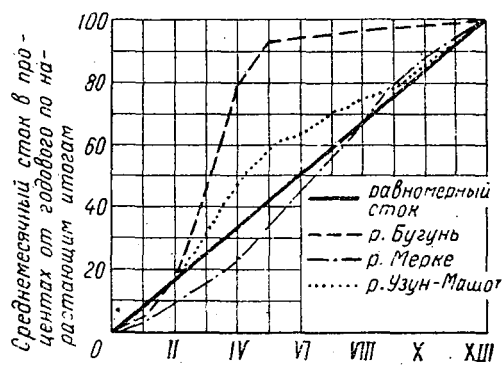


Рис. 4. Интегральные кривые среднемесячного стока рек Юго-Западного Казахстана.

отклонение имеют ординаты ломаной кривой от ординат прямой линии. Это, разумеется, справедливо лишь для рек со средними высотами водосборов, возрастающими до определенного предела. В данном случае верхний предел средних высот водосборов равен 2700 м.

Одним из показателей отклонения ординат ломаной от ординат прямой может служить относительное среднее квадратическое отклонение ординат интегральных кривых стока от ординат прямой, названное нами коэффициентом неравномерности среднемесячного стока. Показателем внутригодовой неравномерности может служить также и первая степень отклонения указанных величин.

Подсчет коэффициента неравномерности среднемесячного стока, произведенный по 39 рекам Юго-Западного Казахстана, показал, что величина коэффициента неравномерности среднемесячного стока (β) на рассматриваемой территории изменяется в довольно значительных пределах, от 0,12 до 0,69.

Наибольшими значениями коэффициента неравномерности среднемесячного стока обладают реки с половодьем в весенний период, меньшими — реки с половодьем в весенне-летний период, а минимальными — реки, в питании которых исключительно большую роль имеют подземные воды — реки Кельте-Машат, Узун-Машат и Машатсу.

Реки с малыми значениями коэффициента неравномерности среднемесячного стока имеют, как правило, большие высоты водосборов, с большими значениями β — малые высоты водосбора.

Выше было дано подробное описание взаимосвязанности внутригодового распределения стока и высотного положения водосборов рек. Следовательно и коэффициент неравномерности среднемесячного стока также должен зависеть от высоты водосбора. На рисунке 5 приведен график зависимости β от средних взвешенных высот водосборов для рек Юго-Западного Казахстана, из которого видно, что с увеличением $H_{\text{ср}}$ коэффициент неравномерности среднемесячного стока уменьшается, что подтверждает ранее сказанное.

Уравнением связи на приведенном графике является выражение

$$\beta = K \sqrt[3]{H_{\text{ср}}}, \quad (8)$$

где $H_{\text{ср}}$ — средняя взвешенная высота водосборов, км;

K — коэффициент, учитывающий вертикальную протяженность бассейна.

Дальнейшая математическая обработка данных показала, что коэффициент K формулы (8) с достаточной степенью точности может быть учтен через показатель рассеивания высот в водосборе, предложенный В. Л. Шульцем,

$$\sigma_h = \sqrt{\frac{\sum[(h_i - H_{cp})^2 f_i]}{100}}$$

Общая зависимость для определения коэффициента неравномерности среднемесячного стока рек Юго-Западного Казахстана имеет вид:

$$\beta = 0,3 \left\{ 2 - \sqrt{\frac{\sum[(h_i - H_{cp})^2 f_i]}{100}} \right\} \sqrt[3]{H_{cp}} \quad (9)$$

Выше было сказано, что широко известны в настоящее время зависимости для определения коэффициентов внутригодовой неравномерности и связанных с ним величин среднемесячного стока для условий Юго-Западного Казахстана дают в некоторых случаях значительные погрешности. Эти же погрешности сказываются и при определении среднемесячного стока.

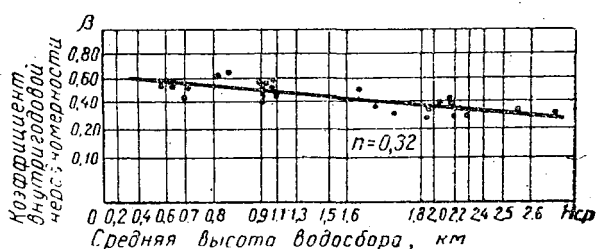


Рис. 5. Зависимость коэффициента неравномерности среднемесячного стока от H_{cp} .

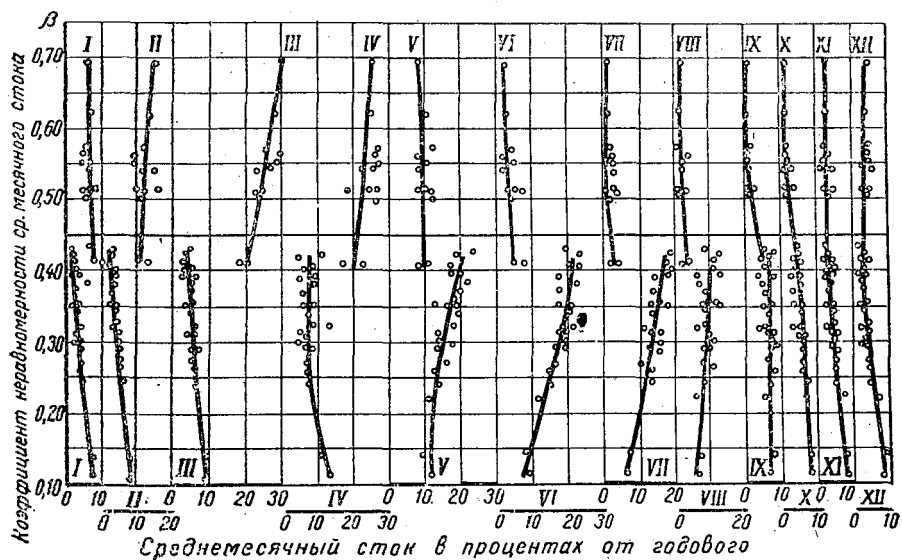


Рис. 6. Связь относительного среднемесячного стока с β для рек Юго-Западного Казахстана.

Лучшие результаты дает применение зависимостей норм среднемесячного стока (в процентах от годового) от коэффициента неравномерности среднемесячного стока β . Из графика на рисунке 6 видно, что внутригодовое распределение стока существенно различно для рек разных районов, с разным высотным положением и неравномерностью среднемесячного стока. Верхние кривые на графиках (рис. 6) объединяют реки с низко расположенными водосборами и с половодьем в весенний период, то есть реки хребта Каратау. Нижние зависимости применимы для рек северного склона Киргизского хребта, хребтов Угамского и Каржан-Тау.

Переходная зона ($\beta=0,40$) дает наиболее яркую картину различия во внутригодовом распределении стока между этими группами рек. У рек с половодьем в весенний период, например, в марте средний месячный сток достигает 30% от годового, уменьшаясь для рек с более низкими значениями β . У рек с половодьем в весенне-летний период в это время продолжается фаза межени. Разница в стоке марта месяца для рек разных групп и с различными значениями коэффициента неравномерности среднемесячного стока достигает 16% от годового. Максимальная разница в среднемесячном стоке рек этих групп бывает в июне месяце и достигает примерно 18% от годового стока. Это понятно, так как реки с половодьем в

Таблица 1

Среднемесячный сток рек Юго-Западного Казахстана
(в процентах от годового) в зависимости от β

Коэффициент неравномерности среднемесяч- ного стока β	Норма среднемесячного стока в процентах от годового											
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
<i>Реки подрайона Ia, II и III гидрологических районов</i>												
0,70	6,5	15,0	31,0	25,0	8,0	2,5	2,0	1,5	1,0	1,0	3,0	3,5
0,65	6,5	14,0	29,5	24,5	9,0	3,0	2,0	2,5	1,0	1,0	3,0	4,0
0,60	7,0	13,5	27,5	24,0	9,5	3,5	2,5	2,5	1,5	1,5	3,0	4,0
0,55	7,0	13,0	26,0	23,5	9,5	4,0	3,0	3,0	2,0	2,0	3,0	4,0
0,50	7,5	12,0	23,5	23,0	10,0	4,5	3,0	3,5	3,0	3,0	3,0	4,0
0,45	8,0	11,5	21,5	22,0	10,0	5,0	3,0	4,0	4,5	4,0	3,0	3,5
0,40	8,0	11,0	19,5	21,5	10,0	6,5	4,0	6,0	5,0	3,0	3,0	2,5
<i>Реки подрайонов Ia, Ib, IV и V гидрологических районов</i>												
0,45	1,0	1,0	3,0	5,0	21,0	24,0	19,5	11,0	7,0	4,0	2,0	1,5
0,40	2,0	2,5	4,0	6,0	20,0	21,5	17,5	10,0	6,5	4,5	3,0	2,5
0,35	3,0	3,5	5,0	7,0	17,5	19,0	15,5	9,5	7,0	5,5	4,0	3,5
0,30	4,0	4,5	5,5	8,0	16,0	17,0	14,0	9,0	7,0	6,0	4,5	4,5
0,25	5,0	5,5	6,5	8,5	14,0	15,0	12,5	8,5	7,0	7,0	5,0	5,5
0,20	6,0	6,5	7,5	9,0	12,5	13,0	10,5	7,0	7,5	7,5	7,5	8,0
0,15	7,0	7,5	8,5	9,5	10,5	10,5	9,0	7,0	7,5	7,5	7,5	8,0
0,10	8,5	8,5	9,5	9,5	9,0	8,0	6,5	6,0	7,5	9,0	9,0	9,0

весенний период в этом месяце фактически вступают в фазу межени. На реках же с весенне-летним половодьем наблюдается максимум среднемесячного стока. Различие в среднемесячном стоке рек обеих групп постепенно уменьшается и в ноябре — декабре фактически исчезает.

Для целей практической оценки величин среднемесячного стока по коэффициенту неравномерности среднемесячного стока рек Юго-Западного Казахстана можно пользоваться таблицей 1.

ЛИТЕРАТУРА

1. Беркалиев З. Т., Буруменский В. С. Изменчивость годового стока рек Южного Казахстана. Тр. КазНИИВХ, т. IV, изд-во «Кайнар», Алма-Ата, 1964.
2. Буруменский В. С. О поправке к карте среднегодового стока в условиях Джамбулской и Чимкентской областей. «Вестник сельскохозяйственной науки». Алма-Ата, 1965, № 11.
3. Важнов А. Н. Средний многолетний сток рек Армянской ССР и его внутригодовое распределение. Изд. АН Арм. ССР, Ереван, 1956.
4. Машуков П. М. и Мурза Л. М. Центр половодья горных рек Средней Азии. Тр. САНИГМИ, вып. 7(22), 1961.
5. Соколовский Д. Л. Речной сток. Гидрометеиздат, Л., 1952.
6. Шульц В. Л. Реки Средней Азии. Гидрометеиздат, Л., 1956.

АВТОМАТИКА
И ГИДРОТЕХНИКА

ПРИБОР ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ АЭРАЦИИ ПОТОКА ВОДЫ

В. И. НИКОЛЕНКО, инженер

УДК 532:537.3

В основе известных приборов, используемых для измерения аэрации потока воды, лежат следующие методики: 1 — разделение водовоздушной смеси на воду и воздух, 2 — учет изменения давления в замкнутой воздушной полости с пониженным давлением в зависимости от количества поступающих в нее пузырьков воздуха, 3 — учет изменения интенсивности пучка γ -лучей, проходящих через поток аэрированной воды. Недостатки этих приборов заключаются в том, что они громоздки и не пригодны для проведения полевых исследовательских работ. Все они используются только в лабораторных условиях [1, 2, 5].

Прибор предлагаемой автором конструкции портативен, конструктивно прост и может быть изготовлен силами любой лаборатории. Портативность и конструктивная простота прибора расширяют область применения его в полевых условиях, не ограничиваясь стенами лаборатории. Прибор основан на методике учета изменения величины гидростатического давления аэрированной воды пневматическим трубчатым датчиком.

Сущность принципа измерений прибором коротко сводится к следующему. Как известно, процесс аэрирования заключается в обогащении потока воды пузырьками воздуха. При этом уменьшается объемный вес и, соответственно, гидростатическое давление столба аэрированной воды. Из этого следует, что по гидростатическому давлению столба потока воды можно судить о степени аэрирования последнего.

На рисунке 1 изображена принципиальная схема прибора. Прибор состоит из следующих трех частей: источника сжатого воздуха 1, двоянного U-образного манометра 2 и пневматического трубчатого датчика 3.

Прибор работает следующим образом. Сжатый воздух из источника 1 продувается через трубчатый датчик 3, который погружен в

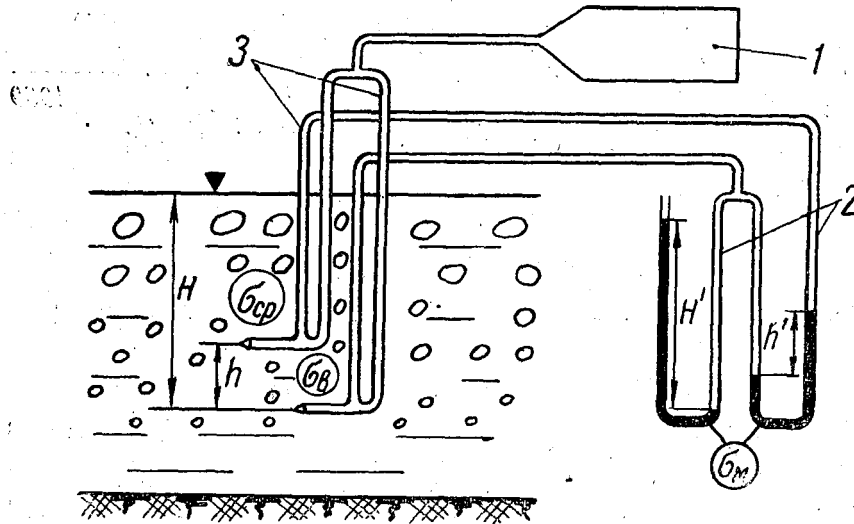


Рис. 1. Принципиальная схема прибора для измерения аэрации потока воды.

Условные обозначения:

- 1 — источник сжатого воздуха; 2 — двойной U-образный манометр;
 3 — трубчатый пневматический датчик.
- σ_{cp} — средний объемный вес аэрированной воды в столбе между горизонтом и нижней трубкой датчика, $г/см^3$;
 σ_v — средний объемный вес аэрированной воды в столбе между трубками датчика, $г/см^3$;
 σ_m — объемный вес жидкости в манометре, $г/см^3$;
 H — высота столба воды от горизонта до нижней трубки датчика, $см$;
 h — высота столба воды между трубками датчика, $см$;
 H' — высота столба воды в колене манометра, сообщающегося с атмосферой и показывающего давление столба воды от горизонта до нижней трубки датчика, $см$;
 h' — высота столба воды в колене манометра, показывающего разность давлений в верхней и нижней трубках датчика, $см$;

аэрированный поток воды. При этом продуваемые струи воздуха преодолевают сопротивления внутренних каналов трубок пневматического датчика 3 и гидростатические давления столбов воды, действующих на выходные отверстия трубчатого датчика. Установившееся давление воздуха в трубках датчика измеряется двойным U-образным манометром 2.

Колебания давления сжатого воздуха, подаваемого из источника 1, не искажают показаний прибора, так как давление воздуха распределяется одновременно по обеим трубкам датчика и величина разности давлений сохраняется.

Рассмотрим краткое математическое обоснование методики измерений этим прибором и обработки полученных результатов. Для этого обратимся к принципиальной схеме прибора, приведенной на рисунке 1.

Схему прибора можно рассматривать как состоящую из двух частей:

1) нижняя трубка датчика с левым манометром служат для определения гидростатического давления столба аэрированной воды H ;

2) совокупность обеих трубок датчика с правым манометром служит для определения местного градиента гидростатического давления столба аэрированной воды h .

При проведении измерений прибором в системе трубок пневматического датчика устанавливается динамическое равновесие между действующими гидростатическими давлениями столбов воды на отверстия датчика и давлениями струй воздуха, продуваемых через эти отверстия. Это установившееся динамическое равновесие можно рассматривать как статическое. Согласно введенным обозначениям равновесное состояние системы прибора по законам гидростатики запишется в таком виде:

$$\sigma_{cp} \cdot H = \sigma_m \cdot H'; \quad (1)$$

$$\sigma_b \cdot h = \sigma_m \cdot h'. \quad (2)$$

Рассмотрим сначала вторую часть схемы. Из уравнения 2 следует:

$$\sigma_b = \sigma_m \cdot \frac{h'}{h}, \quad (3)$$

в котором σ_m и h величины постоянные. Следовательно, их отношение $\frac{\sigma_m}{h} = k_1$ также является величиной постоянной. Кроме коэффициента k_1 , в уравнение (3) необходимо ввести еще один коэффициент k_2 , зависящий от конструктивных особенностей прибора. Как сказано выше, при продувании струй воздуха к статическому давлению в системе трубок пневматического датчика прибавляется динамическое, зависящее от сопротивления проходу воздуха через выходные отверстия и внутренние каналы датчика. Изготовление датчика с равным сопротивлением трубок выполнить очень трудно. Поэтому при работе прибора имеют место отличные по величине потери напора воздуха в трубках датчика за счет разного сопротивления в них. Коэффициент k_2 определяется по показаниям манометра, когда датчик погружен в неаэрированный поток воды. Численно $k_2 = \frac{h_0}{h'_0} \geq 1$ и в самом идеальном случае при $h'_0 = h_0$ может быть равен единице. Здесь h_0, h'_0 — значения h, h' для неаэрированной воды. Вводя произведение коэффициентов $k_1 \cdot k_2 = k$ в уравнение (3), получим:

$$\sigma_b = k \cdot h', \quad (4)$$

где k — постоянная прибора.

Практическое использование уравнения (4) сводится к снятию показаний манометра h' и перемножению его с постоянным коэффициентом прибора k , в результате чего произведение дает величину σ_b , то есть средний объемный вес аэрированной воды в слое потока, проходящего между трубками датчика. По найденному объемному весу воды σ_b определяется коэффициент аэрации $K_{аэр}$ (воздухонасыщения) этого слоя потока по уравнению:

$$K_{аэр} = \frac{d - \sigma_b}{a}, \quad (5)$$

где d — удельный вес неаэрированной воды, $г/см^3$.

Таким образом, эта часть схемы прибора позволяет производить изучение послойного распределения аэрации в толще потока. Кроме этого, изменение расстояния h между трубками датчика дает возможность измерять аэрацию в различных по толщине слоях потока воды.

По уравнениям (4) и (5) строят график зависимости отсчетов по шкале манометра h' и коэффициентов аэрации $K_{аэр}$ как показано на рисунке 2. В уравнении (5) с достаточной степенью точности принимаем $d = 1 г/см^3$.

Пример пользования графиком. На оси абсцисс из точки $h' = 30 мм$ (показание манометра) восстанавливаем перпендикуляр до пересечения с наклонной прямой, соединяющей предельные значения $K_{аэр}$ и h' . Из полученной точки А проводим прямую параллельно оси абсцисс до пересечения с осью ординат. В точке пересечения по оси ординат отсчитываем значение $K_{аэр} = 0,25$.

Перейдем теперь к рассмотрению первой части схемы, то есть нижней трубки датчика с левым манометром. Она служит для определения среднего коэффициента аэрации в толще потока от горизонта воды до нижней трубки датчика. Из уравнения (1) получаем:

$$\sigma_{ср} = \sigma_m \cdot \frac{H'}{H}. \quad (6)$$

Учитывая то, что при погружении датчика на заданную глубину H множитель $k_3 = \frac{\sigma_m}{H}$ является величиной постоянной для данной глубины H , и вводя поправочный коэффициент k_4 , подобно тому, как это мы сделали для второй части схемы (коэффициент k_2), получим рабочее уравнение:

$$\sigma_{ср} = k_5 \cdot H', \quad (7)$$

где $k_5 = k_3 \cdot k_4$.

При этом вследствие индивидуальных особенностей прибора может оказаться, что $k_4 \neq k_2$ и $k_5 \neq k$. Коэффициенты k_3 вычисляются для различных глубин H и для удобства пользования ими сводятся

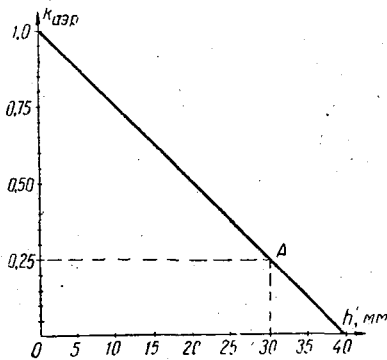


Рис. 2. График зависимостей отсчетов по шкале манометра h' и коэффициентов аэрации $K_{аэр}$ ($k_1=0,2$; $k_2=1,25$; σ и $d=1 \text{ г/см}^3$).

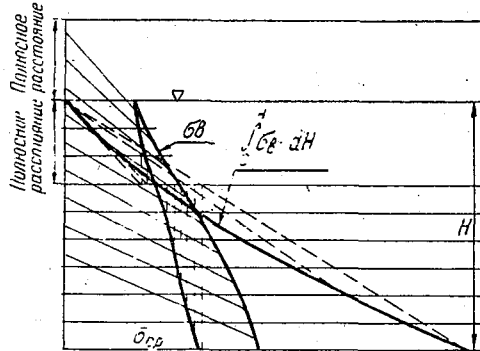


Рис. 3. Контрольное построение графиков распределения в потоке σ_v и σ_{cp} .

в таблицу, а коэффициент k_4 — постоянный, не зависит от глубины погружения датчика H . Маневрируя обеими частями схемы прибора, можно для целого потока получить независимо интегральную и дифференциальную кривые распределения аэрации, что позволяет подвергнуть их взаимному контролю по уравнению:

$$\sigma_{cp} = \frac{1}{H} \cdot \int_0^H \sigma_v \cdot dH. \quad (8)$$

Соответствующее графическое построение показано на рисунке 3.

В случае, если аэрация во всей толще потока окажется однородной (редкий случай), будет иметь место равенство $\sigma_{cp} = \sigma_v$. На показаниях прибора это отразится в виде равенства

$$\frac{h'}{H'} = \frac{k_2}{k_4} \cdot \frac{h}{H}.$$

По найденному значению σ_{cp} определяется средний коэффициент аэрации толщи потока по уравнению:

$$K_{аэр. ср} = \frac{d - \sigma_{cp}}{d}. \quad (9)$$

По значению $K_{аэр. ср}$ вычисляется коэффициент набухания аэрированного потока $K_{наб}$

$$K_{наб} = \frac{1}{1 - K_{аэр. ср}}. \quad (10)$$

В физическом истолковании коэффициент набухания $K_{наб}$ [4] показывает, во сколько раз при данной степени аэрации увеличи-

вается глубина аэрированного потока воды H по сравнению с глубиной неаэрированного потока H_0 , то есть

$$K_{\text{наб}} = \frac{H_0}{H}.$$

Во время испытаний для оценки достоверности результатов измерений описываемым прибором в одних и тех же точках потока коэффициент аэрации определялся по методике разделения водовоздушной смеси на воздух и воду при помощи большого калиброванного шприца. Коэффициент аэрации в этом случае вычислялся по отношению объемов воды и воздуха. Для улучшения качества измерений шприцем скорость втягивания аэрированной воды по подводящей трубке подбиралась равной скорости потока.

Каждым прибором было произведено по пять измерений. Получены следующие коэффициенты аэрации:

Прибором	Шприцем
0,20	0,21
0,25	0,24
0,13	0,13
0,08	0,08
0,50	0,50
0,62	0,62

Сравнение результатов измерений, проведенных двумя различными методами, показало, что они почти не отличаются друг от друга.

Тарирование прибора заключается в определении постоянных k и k_5 в уравнениях (4) и (7). Постоянные прибора k и k_5 зависят от объемной плотности жидкости в манометре σ_m , расстояния между трубками датчика h , глубины погружения нижней трубки H и показаний манометров h^1 и H^1 в неаэрированном потоке. Первые две величины, σ_m и h , определяются конструкцией прибора, а H — величиной погружения нижней трубки датчика. И только показания манометров h^1 и H^1 при погружении датчика в неаэрированный поток требуют проведения тарирования. Техника определения показаний манометров h^1 и H^1 осуществляется просто и не требует сложных тарировочных установок.

ВЫВОДЫ

1. Для измерения аэрации потока воды разработана методика, основанная на учете изменения гидростатического давления аэрированной жидкости пневматическим датчиком. На основе этой методики изготовлен и опробован прибор.

2. Предложенный прибор дает возможность получить интегральную и дифференциальную кривые распределения аэрации потока

воды независимо друг от друга и подвергнуть их взаимному контролю.

3. Исключение попадания жидкости в отверстия трубок пневматического датчика позволяет применять прибор для определений объемного веса жидкости в потоках со взвесями.

4. Портативность прибора позволяет производить определения не только в лаборатории, но и в полевых условиях.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Дмитриев Г. Г., Русаков В. Е.* Прибор для замера аэрации потока. Научные записки МИИВХ, т. 20, 1958.
2. *Русаков В. Е.* Исследование процесса аэрации струй, поступающих в нижний бьеф гидросооружений. Автореферат диссертаций на соискание ученой степени кандидата технических наук. МИИВХ, М., 1959.
3. *Агроскин И. И., Дмитриев Г. Т.* Гидравлика. Госэнергоиздат, 1954.
4. *Жулаев Р. Ж.* Водозаборные сооружения с донной решетчатой галереей и методика их гидравлического расчета. Диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук. АН КазССР Институт энергетики, Алма-Ата, 1958.
5. *Ромадин В. А.* Измерение степени аэрации потока методом гаммаскопии. Доклады ТСХА, Гидротехника и мелиорация. Выпуск 87, 1963.

МИНИСТЕРСТВО МЕЛИОРАЦИИ И ВОДНОГО ХОЗЯЙСТВА СССР
ТРУДЫ

КАЗАХСКОГО НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОГО ИНСТИТУТА
ВОДНОГО ХОЗЯЙСТВА

Том V

1969

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЛАЖНОСТИ ПОЧВО-ГРУНТА НЕЙТРОННЫМ МЕТОДОМ И ПЛОТНОСТИ — ГАММА-МЕТОДОМ

В. И. НИКОЛЕНКО, инженер

ИЗМЕРЕНИЕ ВЛАЖНОСТИ ВЕРХНЕГО СЛОЯ ПОЧВО-ГРУНТА ГЛУБИННЫМ НЕЙТРОННЫМ ВЛАГОМЕРОМ

УДК 631.43

Определение влажности верхнего слоя почво-грунтов нейтронным глубинным влагомером представляет большие трудности. Практикой установлено, что наименее надежны сведения о влажности верхнего слоя почво-грунтов у дневной поверхности (0—25 см). Обусловлено это влиянием границы раздела воздух — почво-грунт на показания нейтронного влагомера.

Отсутствие достоверных сведений о влажности верхнего слоя почво-грунта не позволяет подсчитывать влагозапас в почве и затрудняет назначение сроков и необходимой нормы полива.

С целью преодоления этих трудностей автором статьи под руководством В. А. Емельянова (ВНИИГиМ) решена задача, которая позволяет наметить пути получения достоверных сведений о влажности верхнего слоя почво-грунтов при измерениях нейтронным глубинным влагомером. Решение задачи проведено с учетом общих положений нейтронного метода измерений влажности почво-грунтов. Из этих положений следует, что основным фактором, влияющим на варьирование плотности облака тепловых нейтронов вокруг источника быстрых нейтронов, является количественное содержание влаги (воды) в исследуемом объеме почво-грунта [1]. Пространственное распределение медленных (тепловых) нейтронов с энергетическим уровнем, соответствующим тепловому равновесию с окружающей средой, определяется диффузионными свойствами среды.

Теория диффузии нейтронов основывается на допущении, что поведение нейтрона как электрически нейтральной частицы можно считать аналогичным поведению молекулы, описываемому теорией диффузии газов. В частности, уравнение Больцмана для диффузии

в газах можно применить непосредственно к диффузии нейтронов. В среде, где сечение поглощения мало по сравнению с сечением рассеяния, нейтроны имеют возможность диффундировать среди ядер среды почво-грунта так же, как атомы и молекулы в газе. Выражение, обычно называемое дифференциальным уравнением диффузии нейтронов, определяет условие непрерывности после установления равновесия, когда плотность нейтронов является постоянной во времени в любой произвольной точке среды. В общем диффузионное уравнение описывает скорость изменения числа нейтронов в единице объема с учетом скорости их генерирования источником и скорости их поглощения и ухода из объема:

$$S_0 + D\Delta^2 n - \sum_a n v = \frac{\partial n}{\partial t}, \quad (1)$$

где S_0 — скорость генерирования нейтронов источником в единице объема (*нейтр/см³сек.*);

D — коэффициент диффузии тепловых нейтронов в среде (*см²/сек.*);

n — плотность тепловых нейтронов (*нейтр/см³*);

Σ_a — макроскопическое сечение поглощения тепловых нейтронов среды (*см⁻¹*);

v — скорость тепловых нейтронов (*см/сек*);

Δ^2 — оператор Лапласа, представляющий дивергенцию градиента плотности тепловых нейтронов.

В зависимости от геометрии источника нейтронов существуют и соответствующие решения диффузионного уравнения. Так как в нейтронных влагомерах, выпускаемых отечественной промышленностью, применяется точечный источник нейтронов, то в дальнейших теоретических проработках используется решение диффузионного уравнения (1) для стационарного точечного источника нейтронов активностью S , находящегося в однородной бесконечной среде $\frac{\partial n}{\partial t} = 0$:

$$G = \frac{SV}{4\pi a} \cdot \frac{e^{-kr}}{r}, \quad (2)$$

где G — скалярный нейтронный поток, выраженный в единицах (*нейтр/см²сек*), имеющий ту же размерность, что и векторный нейтронный поток;

S — активность источника нейтронов, *нейтр/сек*;

k — обратная величина диффузионной длины, *см⁻¹*;

r — расстояние по прямой от источника нейтронов до рассматриваемой точки, *см*.

Из уравнения (2) видно, что процессы рассеяния и поглощения при диффузии обуславливают уменьшение плотности тепловых нейтронов обратно пропорционально расстоянию от источника. Это соотношение заменяет закон обратной пропорциональности квадра-

ту расстояния, который является, например, характерным для электромагнитной радиации. Решение дифференциального уравнения диффузии (2) позволяет вычислять стационарную плотность тепловых нейтронов в каждой точке вокруг источника, если заданы величины S, v, d, e, r . При постоянных значениях S, v, d, e плотность тепловых нейтронов зависит от r и от влажности почво-грунта.

Необходимо отметить, что однопольная диффузионная теория нейтронов пренебрегает замедлением быстрых нейтронов до тепловых, что тепловые нейтроны имеют максвелловское распределение скоростей, предполагает скорость, одинаковую для всех нейтронов.

Решение уравнения (2) позволяет получить общие аналитические выражения определения плотности тепловых нейтронов при влиянии резко выраженной границы раздела сред разной влажности. Использование полученных аналитических выражений делает возможным решение наиболее простой задачи — определение влажности верхнего слоя почво-грунта. Задача формулируется так: два полупространства, заполненные средами с коэффициентами диффузии D_{H_2O} (водой) и D_1 (почво-грунтом), разделены плоской границей раздела $g-g^1$, перпендикулярно которой перемещается зонд общей длины R , состоящий из цилиндрического детектора нейтронов длиной l и диаметром $2a$ и точечного источника нейтронов A , находящегося на расстоянии $R-l$ от нижнего торца цилиндрическо-

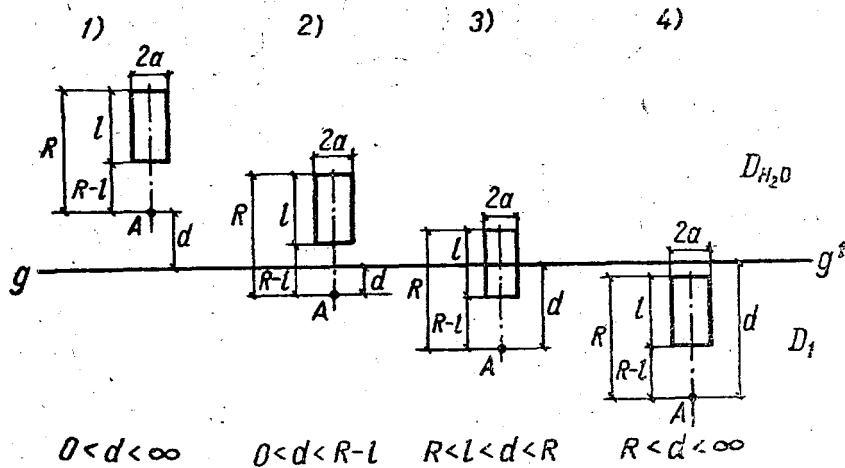


Рис. 1. Положения зонда относительно границы раздела.

го детектора (рис. 1). В скважине измерений, пересекающей двухслойную среду с коэффициентами диффузии D_{H_2O} и D_1 , вышеописанный зонд глубинного нейтронного влагомера, как нетрудно пред-

видеть, может занимать следующие четыре положения относительно границы раздела $g-g^1$:

- 1) зонд находится в среде с коэффициентом диффузии D_{H_2O} ;
- 2) источник нейтронов A находится в среде с коэффициентом диффузии D_1 , а детектор в среде с коэффициентом диффузии D_{H_2O} ;
- 3) источник нейтронов A и часть детектора находится в среде с коэффициентом диффузии D_1 , а другая часть детектора находится в среде с коэффициентом диффузии D_{H_2O} ;
- 4) зонд находится в среде с коэффициентом диффузии D_1 .

Нейтронный влагомер представляет собой датчик тепловых нейтронов с радиотехнической схемой, которая регистрирует число тепловых нейтронов, поступающих в детектор за единицу времени из облака нейтронов, сформировавшегося вокруг источника. Из физической природы взаимодействия тепловых нейтронов с детектором зонда типа (п — п) следует, что регистрируемая величина скорости счета тепловых нейтронов находится в прямой зависимости от интенсивности их потока, создаваемой точечным источником в той или иной среде в области детектора. Детектор регистрирует только те тепловые нейтроны, которые образуют поток, направленный внутрь активного (рабочего) объема детектора и участвуют при этом в его возбуждении. Общее число тепловых нейтронов, регистрируемых нейтронным влагомером с зондом вышеуказанной конструкции, будет определяться интегралом функции интенсивности потока по поверхности цилиндрического детектора. В результате интегрирования получим выражение для определения общего количества тепловых нейтронов N , участвующих в возбуждении детектора в единицу времени, характеризуемое размерностью нейтронов в секунду и выдаваемое пересчетной схемой нейтронного влагомера как скорость счета импульсов в единицу времени.

Если расстояние между источником нейтронов A и границей раздела $g-g^1$ обозначить буквой d , соответственно четырем указанным положениям зонда (рис. 1), выражения для определения общего числа тепловых нейтронов, участвующих в возбуждении детектора, будут иметь следующий вид:

первое положение

$$N = \frac{Sa}{2D_{H_2O}} \cdot \int_{R-l}^R \left(\frac{e^{-kr}}{r} + C \frac{e^{-kr'}}{r^1} \right) dr, \quad (3)$$

r — функция от a и z ; r^1 — функция от a , d и z ;

второе положение

$$N = \frac{Sa}{2D_{H_2O}} (1 + C) \cdot \int_{R-l}^R \frac{e^{-kr}}{r} \cdot dr, \quad (4)$$

r — функция от a и z ;

третье положение

$$N = \frac{Sa}{2D_{H_2O}} (1 + C) \left[\frac{1}{1-C} \int_{R-l}^{R-l(1-m)} \left(\frac{e^{-kr}}{r} + C \frac{e^{-kr'}}{r'} \right) dr + \int_{R-l(1-m)}^R \frac{e^{-kr}}{r} dr \right], \quad (5)$$

r — функция от a и z ; r^1 — функция от a , d и z ;
четвертое положение

$$N = \frac{Sa}{2D_{H_2O}} \cdot \frac{1+C}{1-C} \int_{R-l}^R \left(\frac{e^{-kr}}{r} - C \frac{e^{-kr'}}{r'} \right) dr, \quad (6)$$

r — функция от a и z ; r^1 — функция от a , d и z ;

$$C = \frac{D_{H_2O} - D_1}{D_{H_2O} + D_1}.$$

В выражении для третьего положения через ml обозначена часть детектора, находящаяся в среде с коэффициентом диффузии D_1 при $R-l < d < R$ и $0 < m < 1$.

Формулы (3—6) можно использовать при построении семейства теоретических калибровочных кривых для интерпретации результатов измерений глубинным нейтронным влагомером влажности верхнего слоя почво-грунта с использованием искусственного слоя воды. Для практических измерений влажности верхнего слоя почво-грунта требуется создание у устья скважины измерений искусственного слоя воды с плотным контактом с дневной поверхностью.

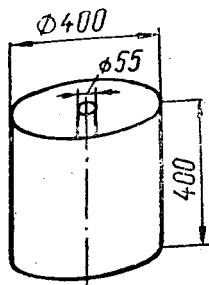


Рис. 2. Цилиндрический сосуд.

Приспособление для создания искусственного слоя воды изготавливается из листового дюралюминия в виде цилиндрического сосуда высотой и диаметром 40 см (рис. 2). В центре этого сосуда имеется сквозная труба диаметром 5,5 см, которой сосуд одевается на обсадную трубу скважины измерений (рис. 3).

Выбор сорокасантиметровой высоты и диаметра цилиндрического

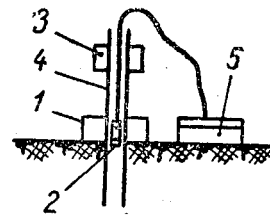


Рис. 3. Схема установки цилиндрического сосуда.

1 — цилиндрический сосуд; 2 — зонд с соединительным кабелем; 3 — контрольно-транспортное устройство; 4 — обсадная труба; 5 — пересчетное устройство.

сосуда обусловлен тем, что при таких размерах среду из воды можно рассматривать как бесконечную среду для пространственного распределения тепловых нейтронов вокруг точечного источника. Во время проведения измерений влажности верхнего слоя почво-грунта с искусственным слоем воды цилиндрический сосуд залива-

ется водой. По окончании измерений и переходе на другую скважину вода из сосуда выливается. В качестве заполнителя сосуда может быть использовано любое вещество с высоким содержанием водорода, например, парафин, плексиглас и др.

Построив семейство теоретических кривых изменения скоростей счета для заданных условий неоднородной среды (прямая задача) и сопоставив их с кривыми, построенными по замерам в скважинах, можно с той или иной степенью точности (зависящей от точности исходных данных для расчета прямой задачи) изучать распределение влажности в верхнем слое почво-грунта (обратная задача).

ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ НЕЙТРОННОГО МЕТОДА ИЗМЕРЕНИЯ ВЛАЖНОСТИ И ГАММА-МЕТОДА ИЗМЕРЕНИЯ ПЛОТНОСТИ ПОЧВО-ГРУНТОВ

В почвенных, гидромелиоративных, агрономических и агрометеорологических исследованиях, а также в практике гидротехнического строительства влажность и плотность почво-грунтов определяют термо- и объемно-весовым способами, основанными на выборке образцов (проб) и последующих аналитических манипуляциях с ними. Эти простые по своей физической сущности и техническим приемам способы были разработаны в конце прошлого столетия. Их применение при разработке и осуществлении гидротехнических мелиораций способствовало формированию основ гидромелиоративной науки, инженерно-геологических изысканий и геотехнического контроля. В наши дни, когда требуется осуществление мелиоративных мероприятий на научной основе не только в практике исследовательских работ, но и в производственных условиях возникла необходимость в поисках и разработке более совершенных способов массовых определений влажности и плотности почво-грунтов.

Термо-весовой и объемно-весовой способы определений влажности и плотности почво-грунтов трудоемки, неоперативны, не обеспечивают воспроизводимости определений в одном и том же объеме почвогрунта, в результате чего невозможно выполнение некоторых важнейших исследований. Кроме того, они позволяют только приблизительно характеризовать действительные показатели почво-грунтов. Погрешности определений этими способами объясняются особенностями конструкции и техническим состоянием устройств для выборки образцов и последующей их транспортировки в лабораторию, которые значительно нарушают первоначальные (естественные) значения показателей. Хотя показатели физико-химических свойств образцов почво-грунтов в лаборатории устанавливаются с большой точностью, они не идентичны показателям определяемого почво-грунта в натуре. Свойства доставленного в лабораторию образца очень редко оказываются совершенно идентичными

свойствам того объема почво-грунта, для которого определяются показатели.

Из большого числа новых физических методов определения влажности и плотности почво-грунтов в полевых условиях современным требованиям, в частности требованию выполнять определения без выборки образцов, в наибольшей мере соответствуют нейтронные и гамма-методы, основанные на использовании проникающих ядерных излучений. По технике выполнения эти методы малотрудоемки.

Нейтронный и гамма-метод обеспечивают быстрые определения абсолютной влажности и плотности на всех гранулометрических разновидностях почво-грунтов независимо от их влажности и плотности. Особенно удобны они для сухих сыпучих, водонасыщенных сыпучих и пластичных почво-грунтов, где определения плотности объемно-весовым и влажности термо-весовым способами, как правило, не удаются.

Нейтронные методы основаны на использовании эффекта замедления быстрых нейтронов ядрами сильнеешего замедлителя их — водорода.

Облако медленных нейтронов вокруг источника формируется главным образом в результате столкновений нейтронов, испускаемых источником, с ядрами водорода молекул воды.

При 5%-ной объемной влажности почво-грунта практический радиус облака медленных нейтронов приблизительно равен 40 см, при 20%-ной — 25 см и при 40%-ной — 20 см.

Гамма-метод основан на использовании эффектов рассеяния и поглощения гамма-квантов атомами элементов объектов определения плотности. Количественное проявление процессов рассеяния и поглощения гамма-квантов обуславливается плотностью среды, влажностью и, отчасти, химическим составом. Но при регистрации плотности рассеянных гамма-квантов с энергией не менее 0,15 Мэв получается четко выраженная зависимость скорости счета рассеянных гамма-квантов от плотности почво-грунта, на которую вариации химического состава и влажности почво-грунтов практически не влияют. Использование этой зависимости и положено в основу гамма-метода.

Среднеквадратичная абсолютная ошибка единичного измерения влажности нейтронным влагомером НИВ-1 следующая:

влажность, $г/см^3$	квадратичная ошибка, $г/см^3$
0,05	$\pm 0,01$
0,20	$\pm 0,02$
0,35	$\pm 0,03$

Среднеквадратичная абсолютная ошибка единичного измерения плотности поверхностным гамма-плотномером ППП-1 равна $\pm 0,05$ и $\pm 0,1 г/см^3$ при плотности $2,0 г/см^3$.

В результате хронометража, проделанного во время полевых работ в осенне-зимний период в колхозе имени Я. М. Свердлова Свердловского района Джамбулской области, установлено, что для определения влажности почво-грунтов термо-весовым способом в пяти горизонтах по скважине глубиной 1 м (по общепринятой методике), затрачивается следующее количество времени и рабочей силы (табл. 1).

Таблица 1

Виды работ	Количество занятых людей	Затраты рабочей силы, чел.-час	Затраты времени, час
Бурение скважины глубиной 1 м для отбора проб с вырубкой верхнего мерзлого слоя	2	2,0	1,0
Взвешивание образцов	1	0,5	0,5
Высушивание образцов	1	8,0	8,0
Взвешивание сухих образцов	1	0,5	0,5
Подсчеты процентной влажности	1	1,5	1,5
Итого		12,5	11,5

Если принять, что в среднем на участок 10 га орошаемой площади приходится одна скважина для определения влажности, то на ежегодно поливаемой площади (1 млн. га) в Казахстане должно закладываться 100 тыс. таких скважин. Для выявления характера динамики влажности в почво-грунтах в течение года определения влажности в этих точках должны повторяться минимум 10 раз. Общее количество измерений в год будет составлять около 1 млн. При средней затрате рабочей силы на одну скважину измерений 12 чел.-час., ежегодные затраты составят 12 млн. человеко-часов.

Затраты рабочей силы на производство измерений влажности нейтронным методом по скважине глубиной 1 м в пяти горизонтах равны 0,5 чел.-час. (без учета рабочей силы, требующейся для закладки скважины), с учетом последней 2,5 чел.-час. Сопоставление затрат рабочей силы на одной скважине измерений при использовании нейтронного метода определения влажности с затратами рабочей силы, имеющими место при определении влажности термо-весовым способом, показывает бесспорное преимущество нейтронного метода — затраты рабочей силы снижаются почти в пять раз.

При массовых измерениях влажности и плотности почво-грунтов в наутрних условиях применение радиометрических влагомеров и плотномеров вместо технических средств, основанных на использовании термо-весового и объемно-весового способов, значительно уменьшает затраты времени, труда и денежных средств, требуемых для выполнения таких измерений. Это наглядно видно из табли-

цы 2, составленной по данным института Гипроводхоз, кафедры инженерной геологии и грунтоведения МГУ и ВНИИГИМ.

Таблица 2

Способы измерений	Стоимость одного определения влажности и плотности почво-грунта (с расчетом пористости), руб		Затраты времени на одно определение плотности и влажности почво-грунта (с расчетом пористости), чел.-дней	
	по скважинам до глубины 25 м	в шурфах и естественных обнажениях	по скважинам до глубины 25 м	в шурфах и естественных обнажениях
Определение техническими средствами, основанными на использовании термо-весового и объемно-весового способов с выборкой монолитов и доставкой их в стационарные лаборатории	3,93	4,11	1,76	1,63
То же, по отобраным образцам в полевых лабораториях	2,35	0,71	0,13	0,24
Измерение нейтронными методами влажности и гамма-методами плотности почво-грунтов	0,25	0,36	0,04	0,10

Примечание. Стоимость и затраты времени на закладку скважин, а также затраты времени на транспортировку монолитов в лаборатории не учитывались.

Преимущество нейтронного и гамма-метода не только в их меньшей трудоемкости и экономичности, но и в том, что они позволяют и в научно-исследовательских работах и в практике контроля различных производственных процессов производить измерения влажности и плотности почво-грунтов в натуральных условиях в любое время и в необходимом количестве, что трудно выполнимо при применении термо- и объемно-весового способов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Емельянов В. А. Гамма-лучи и нейтроны в полевых почвенно-мелиоративных исследованиях. Госатомиздат, М., 1962.
2. Справочник по ядерной физике (под редакцией академика Л. А. Арцимовича), Госиздат, физ. мат. лит. М., 1963.

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ ВОЛНОВОГО ДВИЖЕНИЯ В КАНАЛАХ-БЫСТРОТОКАХ

Р. И. ВАГАПОВ, инженер

УДК 532.543

При исследованиях волнообразования и волнового движения в каналах-быстротоках возникает ряд трудностей в измерении быстроизменяющихся параметров потока, как глубина и скорость. Быстрая изменчивость параметров волнового потока предъявляет ряд требований к измерительной аппаратуре. Во-первых, датчики должны быть малоинерционными. Малой инерционностью должен обладать и регистрирующий прибор. Во-вторых, датчики для измерения уровня и скорости потока должны занимать малую площадь живого сечения и обладать хорошей обтекаемостью.

Для измерения и записи колебания уровня и скорости потока автором была разработана специальная аппаратура — восьмиканальный электроволнограф, вертушка с преобразованием числа оборотов в электрические показания и электромеханический волнограф.

Восьмиканальный электроволнограф с двухэлектродными датчиками уровня предназначен для одновременной записи колебаний уровня в 8 створах. Запись производится на осциллограмму осциллографом Н-700 (гальванометры М 001,2). Принципиальная схема прибора электроволнографа показана на рисунке 1. Принцип действия этого прибора заключается в измерении падения напряжения на резисторе R_1 , вызванного изменением сопротивления датчика. Сопротивление датчиков изменяется пропорционально глубине их погружения в воду. Датчик представляет собой два стальных провода диаметром 0,5 мм, натянутых на расстоянии 2,0 см друг от друга. При лабораторных исследованиях использовались датчики с расстоянием между электродами 10 мм.

В схеме предусмотрена возможность подгонки масштаба записи с помощью резистора R_1 . Питание схемы производится переменным напряжением 2—5 в и частотой 400 гц от двухтактного преобразо-

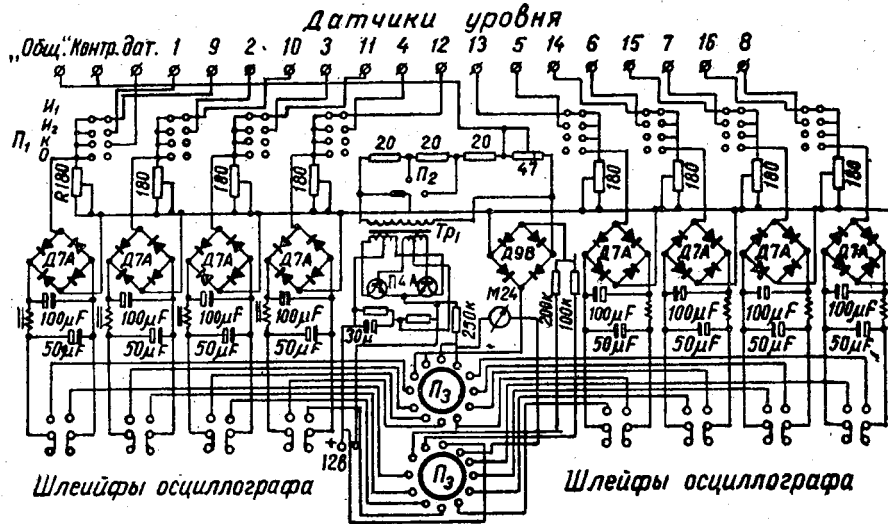


Рис. 1. Принципиальная схема электроволнографа.

вателя напряжения на транзисторах П4Б. Питание датчиков осуществляется переменным током для уменьшения напряжения поляризации на электродах. Напряжение поляризации при слабых концентрациях электролита (0,01 г-моль/л) равно 0,1 в [1].

Концентрация солей в воде, в которой проводится измерение, заведомо меньше. Однако с большим запасом можно предположить, что при изменении электропроводности воды напряжение поляризации ΔU изменяется в пределах от 0—0,1 в. Погрешность измерений, вызванная ΔU при питании схемы постоянным напряжением, составит

$$\Delta = \frac{\Delta U}{U} \cdot 100 = 5\%,$$

где U — наименьшее напряжение на электродах.

При питании датчиков переменным током ΔU сдвигается по фазе на 90° и погрешность составит:

$$\Delta = \frac{1}{2} \left(\frac{\Delta U}{U} \right)^2 \cdot 100 = 0,12\%.$$

Для контроля изменения электропроводности воды имеется контрольный датчик. Тарировка датчиков производится в потоке, движущемся со скоростью, близкой к скорости потока в исследуемом канале. Как показывают эксперименты, в потоке, движущемся с большой скоростью, показания датчиков на 10% меньше, чем в покоящейся жидкости. Это объясняется тем, что за электродами

датчика, установленными в движущемся потоке, образуются воздушные прослойки. Для корректировки прибора при изменениях электропроводности воды включается контрольный датчик, изменением напряжения питания (P_2 и R_2) по стрелочному прибору устанавливается отсчет контроля. Таким образом, показания датчиков сводятся к одной и той же тарировочной кривой независимо от электропроводности воды. Погрешности в геометрических размерах в пределах 0,5 мм при изготовлении датчиков не вызывают существенных отклонений в показаниях датчиков ($\pm 0,5\%$), так как удельное сопротивление датчика зависит от логарифма отношения расстояния между электродами к их диаметру ($\rho = A \ln \left(\frac{d}{r} - 1 \right)$).

Однако идентичности показаний по всем каналам электроволнографа нам не удалось добиться ввиду больших отклонений чувствительности имеющихся гальванометров. Поэтому для каждого канала электроволнографа были получены свои тарировочные кривые. Тарировочные кривые имеют нелинейную зависимость при малых наполнениях, для лабораторных датчиков при $h_{нзм} < 10$ мм и для полевых датчиков $h_{нзм} < 50$ мм. При больших наполнениях тарировочные кривые имеют вид

$$h_{нзм} = a + \nu h_2,$$

где $h_{нзм}$ — глубина воды в канале;
 a, ν — коэффициенты;
 h_2 — отсчет гальванометра осциллографа.

Электромеханический волнограф предназначен для записи колебания уровней в 6 створах в лабораторных условиях. Принципиальная схема прибора показана на рисунке 2. Диапазон измерений 0 ÷ 70 мм. Принцип измерения заключается в следующем. При увеличении горизонта воды в лотке поплавков-плоскость, установленный под некоторым углом к дну лотка, поднимается на высоту

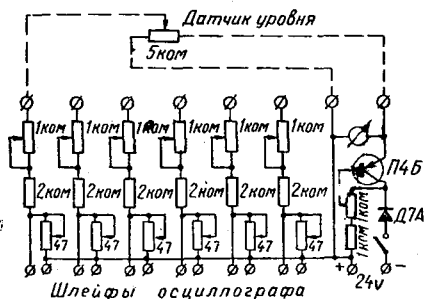


Рис. 2. Принципиальная схема электромеханического волнографа.

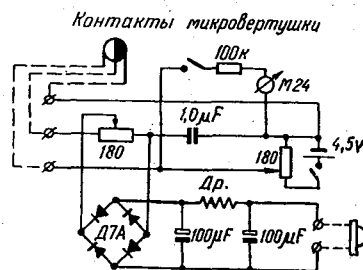


Рис. 3. Принципиальная схема включения двухконтактной вертушки.

Δh . Поплавок жестко закреплен на рычаге, центром вращения которого является ось потенциометра. При уменьшении глубины потока опускание поплавка происходит за счет собственного веса. Изменение глубины потока приводит к изменению напряжения на потенциометре по закону

$$\Delta v = \frac{U}{250} \left(\arccos \frac{H \cdot h}{l} - \arccos \frac{H}{l} \right),$$

где U — напряжение питания;
 H — расстояние от оси потенциометра до дна лотка;
 l — длина рычага датчика;
 h — глубина воды в лотке.

Для предотвращения влияния изменения напряжения питания от переменной нагрузки в схеме предусмотрен делитель напряжения на одном транзисторе П4Б.

Показания датчика нелинейны при больших наполнениях, при малых наполнениях $0 \div 20$ мм зависимость $h_{\text{изм}} = f(h_2)$ можно принять линейной. Вследствие подъема поплавка за счет скоростного напора плоскость поплавка заглубляется в поток на 1,0—1,5 мм и срезают мелкие пульсационные колебания. Измерение колебаний горизонтов с помощью потенциометрического датчика данной конструкции возможно только при скоростях потока свыше 1,0 м/сек, при меньших скоростях поплавок сильно заглубляется в поток. Точность измерений данным способом несколько ниже, чем восьмиканальным электроволнографом и составляет $\pm 5\%$.

Двухконтактная микровертушка предназначена для измерения и записи скорости потока в полевых условиях (при скоростях свыше 1,5 м/сек). Микровертушка чашечного типа подобна вертушке Бахерева, диаметр ее лопасти 20 мм. В основу принципиальной схемы (рис. 3) положено преобразование постоянного тока в переменный с частотой, пропорциональной частоте вращения микровертушки, то есть измеряемой скорости. Преобразование постоянного тока в переменный происходит с помощью контактов микровертушки. Как видно на рисунке 3, ось микровертушки, к которой через цепь $R_1 C_1$ подключен полюс источника питания, замыкается поочередно с контактами 1 и 2, при этом заряжается или разряжается конденсатор C_1 . Постоянная времени $\tau = R_1 C_1$ принята в 5 раз меньше полупериода вращения вертушки при максимальной измеряемой скорости. При выполнении этого условия можно считать, что конденсатор C будет полностью заряжаться и разряжаться за время T одного оборота вертушки. Изменение напряжения на сопротивлении R_1 за один полупериод будет выражаться зависимостью

$$U_1 = U \cdot e^{-\frac{t}{R_1 C_1}}$$

Напряжение, снимаемое с сопротивления R_1 , выпрямляется и подается на сглаживающий фильтр $C_2 D_p, C_3$. Осредненное напряжение на выходе фильтра пропорционально осредненному напряжению на R_1 за один полупериод и равно

$$U_{изм} = KU_{1cp} = \frac{2k}{T} \int_0^{\frac{T}{2}} U e^{-\frac{t}{C_1 R_1}} dt = \frac{2kC_1 R_1}{T} U \left(1 - e^{-\frac{T}{2C_1 R_1}}\right).$$

Так как $\frac{T}{2} \gg C_1 R_1$, то

$$U_{изм} = 2kC_1 R_1 U n,$$

где $T = \frac{1}{n}$ — время одного оборота вертушки;

n — число оборотов в секунду;

U — напряжение питания.

Таким образом, напряжение на выходе прибора прямо пропорционально числу оборотов вертушки. Показания вертушки стабильны при скорости свыше 1,0—1,5 м/сек. При малых скоростях сильно возрастает пульсирующая составляющая напряжения на выходе, поэтому требуется несколько сглаживающих фильтров.

Двухконтактная микровертушка с преобразованием числа оборотов в электрические показания удобна при одновременной записи скорости и глубины потока при неустановившемся режиме движения и значительно облегчает обработку осциллограмм.

Кроме этой вертушки, при полевых исследованиях для записи скорости использовались вертушки Жестовского (МЖ-8). Контакты вертушки соединялись последовательно с сопротивлением 200 ком и источником питания 6 к шлейфу осциллографа. В результате

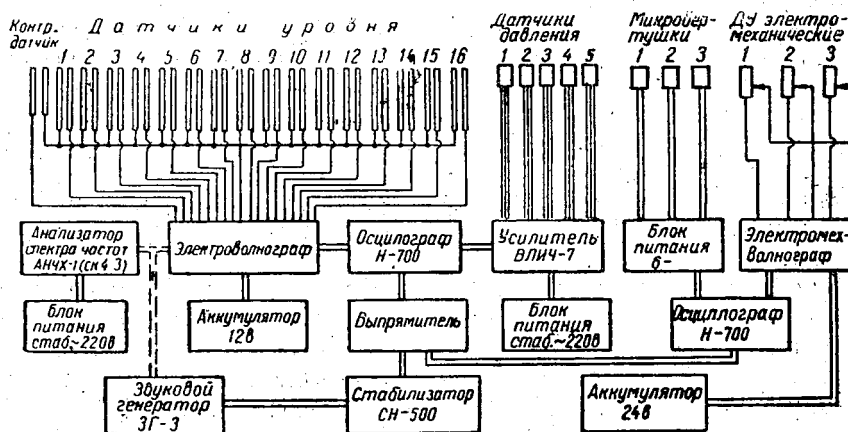


Рис. 4. Блок-схема измерительной аппаратуры при проведении лабораторных исследований.

через каждые 20 оборотов вертушки на осциллограмме записывались всплески в момент замыкания контактов.

При лабораторных исследованиях для записи скорости потока использовались микровертушки Х-6 конструкции А. А. Херхеулидзе (ТНИСГЭИ).

Лабораторные исследования проводились на модельной установке, имеющей прямоугольное сечение $b=21,5$ см, коэффициент шероховатости стенок $n=0,010$, уклон дна — 0,15; 0,10; 0,075; 0,05 и длину лотка от 30 до 56 м. Общая блок-схема измерительной аппаратуры представлена на рисунке 4. Запись колебаний уровня производилась с помощью двухэлектродных датчиков уровня, установленных через 4 м. Одновременная запись на одну осциллограмму производилась 8 датчиками, затем записывались показания 7 остальных датчиков. Микровертушка устанавливалась с датчиками уровня на постоянной глубине z . Для установления связи между скоростью, записанной в одной точке створа, со средней скоростью по сечению по результатам записи в створе равномерного режима были построены графики зависимости:

$$\varphi = \frac{v_0}{v_{\text{изм}}} = f\left(\frac{z}{n}\right),$$

где V_0 — средняя скорость потока при равномерном режиме;

$V_{\text{изм}}$ — скорость измерения микровертушкой на глубине z в створе равномерного движения;

φ — коэффициент связи измеренной скорости со средней скоростью по сечению, зависящий от относительного погружения вертушки.

При обработке результатов записи в створах волнового режима приняли, что эпюра распределения скоростей по глубине при неустановившемся движении близка к эпюре равномерного режима и для определения поправочного коэффициента использовались графики

$$\varphi = f\left(\frac{z}{n}\right).$$

Для анализа распределения частоты пульсаций свободной поверхности потока использовался анализатор спектра частот АНЧХ-1.

Методика проведения полевых исследований аналогична лабораторной. Запись колебаний уровня производилась на участке образования роста волн длиной 1000 м. Датчики устанавливались через 100 м. Для передачи сигналов датчиков регистрирующему прибору пользовались 8-жильным контрольным кабелем.

ЛИТЕРАТУРА

1. Новые методы измерений и приборы для гидравлических исследований. Изд-во АН-СССР, 1961.
2. Гамбарян А. О., Маилан Н. Н. Методика экспериментов при исследовании катящихся волн на быстроходах. Аннотации законченных в 1958 г. н.и. работ по гидротехнике. Госэнергоиздат, 1959.
3. Туричин А. М. Электрические измерения неэлектрических величин. Энергоиздат, изд. 3-е, 1959, изд. 4-е, 1966.

НАТУРНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ РАБОТЫ СБРОСНЫХ СООРУЖЕНИЙ ЛИМАНОВ

М. Т. БЕКМУХАМЕДОВ, С. Н. НОСЕНКО, *научные сотрудники*

УДК 626.8 (26.05)

Сбросные сооружения на системах лиманного орошения по условию своей работы значительно отличаются от сооружений подобного назначения на системах правильного орошения. Главными их отличиями являются кратковременность работы (в период паводка); работа с переменным горизонтом воды как в верхнем, так и нижнем бьефах; отсутствие бытовой глубины в начальный период опорожнения верхней секции лимана и отводящего русла в нижнем бьефе. Выходящий из сбросных сооружений поток имеет относительно свободное растекание в нижнем бьефе, тогда как у сооружений на оросительных системах поток ограничивается шириной отводящего русла, что обуславливает благоприятные условия для гашения энергии.

В связи со сказанным, перенос в системы лиманного орошения конструкции сооружений, принятых для ирригационных систем правильного орошения, без учета указанных особенностей работы сооружений лиманов приводит к деформациям и разрушениям последних. Необходимо отметить, что до настоящего времени отсутствует проверенная практикой методика гидравлического расчета сбросных сооружений лиманов. В частности, расчеты сопряжения с нижним бьефом этих сооружений выполняются для открытых шлюзов или водовыпусков оросительной сети, что заведомо приводит к неверным результатам. Из-за такого искажения фактической схемы сопряжения применяемые типы гасителей сбросных сооружений, наибольшее распространение среди которых имеют водобойные колодцы, не обеспечивают в полной мере гашение избыточной энергии потока, не устраняют сбойность и боковые течения, а следовательно, и размывы нижнего бьефа.

Поскольку причины разрушения нижнего бьефа сбросных сооружений в определенной степени связаны с характером и формой

растекания потока, то возникла необходимость постановки специальных исследований для изучения этого явления в процессе работы сооружений в натуре. В задачу исследований входило установление общей картины сопряжения потока в нижнем бьефе при различных горизонтах воды, изучение изменения характеристик потока (z, v) вдоль пути движения и распределения скорости потока в зоне боковых вальцов.

Исследования проводились в 1964 г. на двух сбросных сооружениях (открытого и закрытого типов) Тамды-Кульской системы лиманного орошения в Актюбинской области.

Первое из этих сооружений — четырехщитовый шлюз-регулятор — выполнено из каменной кладки на цементном растворе и служит для впуска воды на первый ярус лимана. Основные размеры его: ширина в свету — 4,2 м; общая длина вместе с рисбермой — 23,5 м и высота стенок над водобоем — 2,2 м; превышение порога над рисбермой — 0,75 м; максимальная глубина в верхнем бьефе — 0,92 м и максимальный (измеренный) расход равен 5,2 м³/сек.

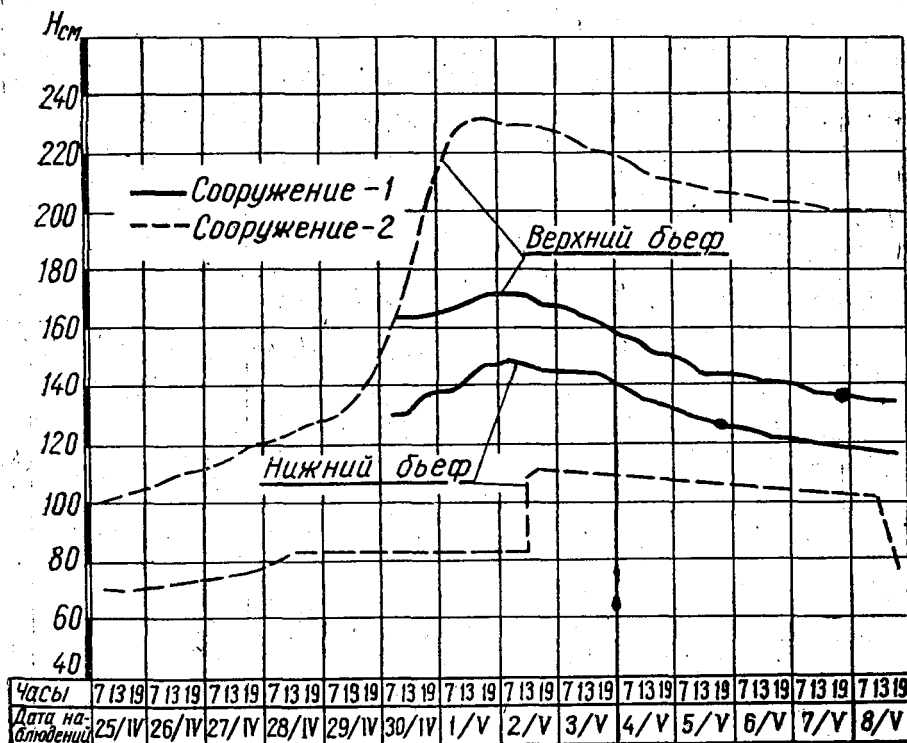


Рис. 1. График горизонтов воды в бьефах сбросных сооружений.

Второе сооружение — трубчатый двухочковый водовыпуск, предназначенный для сброса воды с первого во второй ярус лимана. Размеры его следующие: диаметр железобетонных труб равен 0,95 м и длина — 10,0 м, превышение порога над рисбермой — 0,6 м, максимальная глубина в верхнем бьефе — 1,5 м и расход — 6,0 м³/сек.

Сопряжение потока с нижним бьефом на этих сооружениях осуществляется с помощью двухступенчатого перепада трапециевидной формы в плане. Суммарная длина колодцев перепада на первом сооружении составляет 9,2 м (длина рисбермы 3,0 м), а на втором — 7,2 м (рисберма из каменной наброски длиной 2,6 м).

Для наблюдения за колебаниями уровней воды в бьефах сооружений были установлены реечные водомерные посты, а для измерения скоростей — выбраны створы с разбивкой на вертикали. Перед затоплением секции лиманов производилась тщательная инструментальная съемка нижних бьефов выбранных сооружений с охватом возможного района образования обратных течений. Наблюдения за горизонтом воды производились по водомерным постам три раза в сутки. Графики изменения горизонтов воды по времени на исследованных нами сооружениях приводятся на рисунке 1. Скорости потока замерялись при помощи вертушки с лодки в трех точках вертикали (0,2 h , 0,6 h , и 0,8 h , где h — глубина воды на вертикали). Промеры глубин производились штангой.

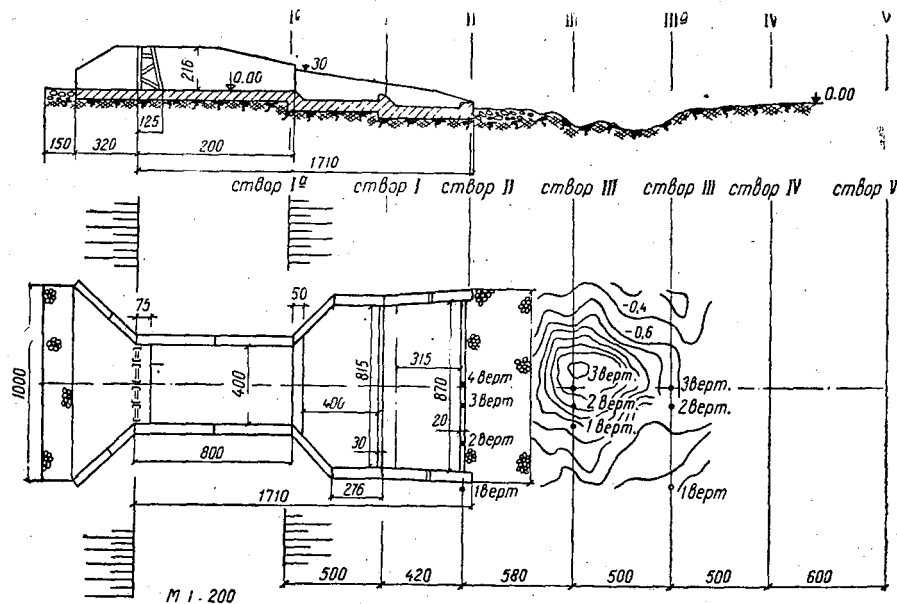


Рис. 2. Продольный разрез сооружения

Изменение скоростей по глубине, ширине и вдоль пути движения потока фиксировалось на выбранных створах — поперечниках. Расстояния между смежными створами определялись с учетом наличия поперечных элементов водобойного колодца, размеров рисбермы и воронки размыва. Схемы расположения створов и вертикалей для открытого шлюза показаны на рисунке 2.

Наблюдения за изменением горизонтов и измерения расходов продолжались от начала до конца паводка. После опорожнения лиманов были произведены промеры глубин в воронках размыва и определены деформации нижнего бьефа сооружения.

Изучение режима потока в нижнем бьефе. Колебание горизонтов воды в бьефах сбросных сооружений вносит значительные изменения в режим потока — способствует увеличению удельного расхода, вызывает изменения величины и направления скоростей, что является одной из причин образования сбойного течения.

Измерение скоростей на обоих сооружениях показало, что в начальный период пуска воды наибольшие скорости имели место в придонной части потока и достигали величины 1,26 м/сек (трубчатое сооружение), что больше допускаемой скорости на размыв. В последующие дни за счет подъема горизонта воды в нижнем бьефе и изменения величины расхода картина распределения скоростей по глубине потока изменилась — скорости в придонной части уменьшились, а ближе к поверхности увеличились. Наиболее интенсивное перераспределение скоростей по глубине потока отмечено в створах II и III — область образования максимальной глубины размыва (рис. 2). Далее, в створе III^a, расположенном в конце воронки размыва и ниже его, перераспределение скоростей по глубине было незначительным и поток заметно расплывался. По результатам замеров для всех створов и вертикалей на них были построены эпюры скоростей и подсчитаны их средние значения. Изменение скоростей по глубине и вдоль движения потока иллюстрируется рисунком 3.

Из анализа материалов исследований видно, что изменение средних скоростей ($V_{ср}$) по вертикали происходит по определенной закономерности. Во-первых, интенсивность уменьшения $V_{ср}$ в транзитном потоке вдоль течения небольшая, следовательно, на определенном участке поток еще сохраняет свою размывающую способность. Совершенно иная картина распределения скоростей для вертикалей, расположенных в зоне водоворота. В этом случае с удалением от оси потока $V_{ср}$ заметно уменьшается и на некотором расстоянии l доходит до нуля и далее снова возрастает, имея уже отрицательный знак (течение меняет свое направление).

В пределах створов II и III транзитный поток сжимается с двух сторон боковыми вальцами, а при дальнейшем передвижении постепенно расширяется.

Таким образом, при выходе из сооружения часть струи благода-

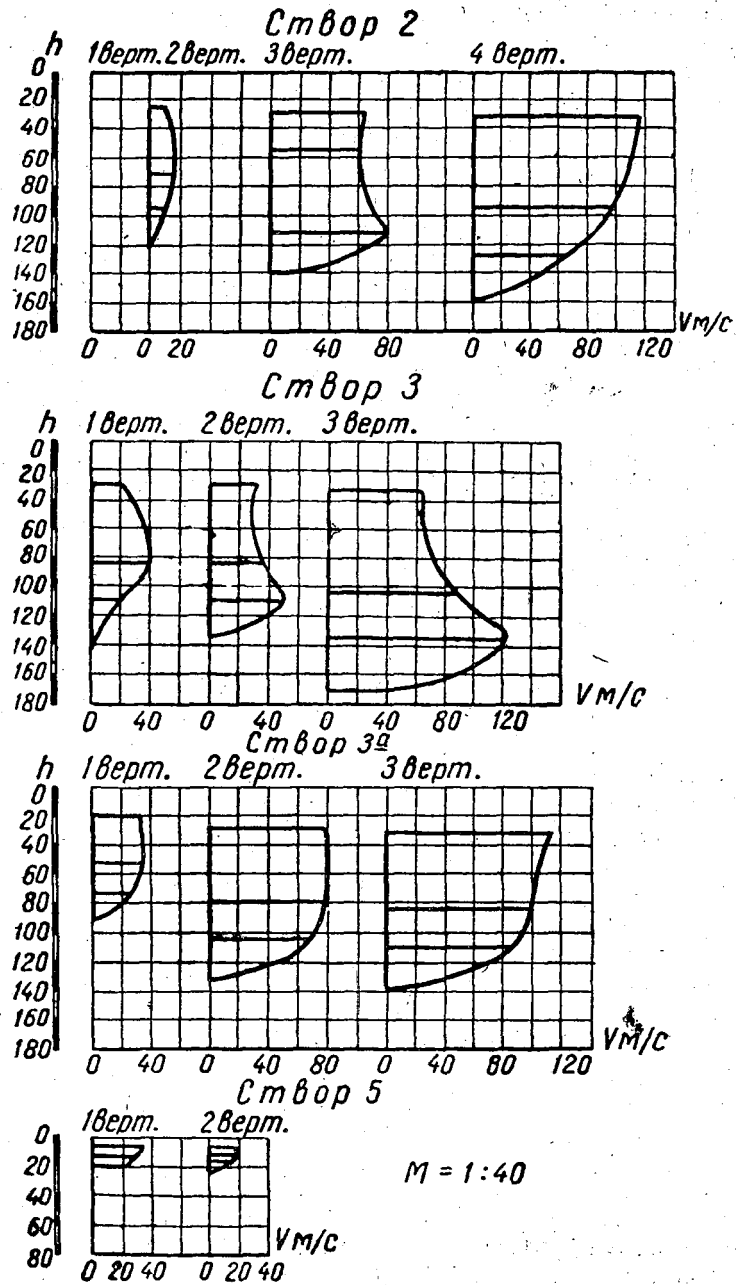


Рис. 3. Эпюры скоростей.

ря наличию свободного растекания отклоняется от основного потока и, соприкасаясь с массой воды в нижнем бьефе, образует по обе стороны оси потока зоны с обратным течением, направленным в сторону сооружения. Между основным потоком и обратным током воды образуется водоворотный валец, который постоянно вращается. Центр вращения вальца в зависимости от глубины воды в нижнем бьефе, напора, общего расхода, формы и размеров гасителя может находиться на различном расстоянии от оси потока.

По данным лабораторных исследований, это расстояние —

$$L = (1,0 \div 1,6)B,$$

где B — ширина отверстия сооружения.

На исследуемых сооружениях оно составляло:

$$L = (1,1 \div 1,4)B.$$

Подсчет измеренных расходов показывает некоторые увеличения общего расхода, проходящего через створы II и III. Это свидетельствует о том, что на участках с водоворотными зонами нарушается постоянство расхода. Увеличение расхода на этих створах происходит за счет присоединения дополнительного расхода Q_d из водоворотных зон, который, по нашим измерениям, составлял 20—25% основного расхода потока. Очевидно, величину общего расхода на этих створах можно определить как сумму:

$$Q_{\text{общ}} = Q + \int_{\omega} v_{\text{ср}} \cdot d_{\omega},$$

где Q — основной расход потока;

$v_{\text{ср}}$ — средняя скорость обратного течения, отнесенная к течению в месте слияния его с основным потоком;

d_{ω} — элементарная площадь живого сечения, для которого определена средняя скорость.

При расходе, проходящем через сооружение, равном $4,32 \text{ м}^3/\text{сек}$, расход створа II составил $5,36 \text{ м}^3/\text{сек}$, створа III — $5,10$ (табл. 1).

Скорости обратного тока постепенно увеличиваются с приближением к дамбе и резко возрастают в местах слияния его с основным потоком. Например, средняя скорость обратного течения в створе II (открытое сооружение) составляла $0,26—0,3$ средней осевой скорости ($V_{\text{ср}}$) потока, а в створе I она составляла уже $0,36—0,40 V_{\text{ср}}$. Такое изменение величины скоростей в зоне обратного течения приводит к подмыву низового откоса дамбы. В наших наблюдениях длина участка, подверженного подмыву, достигала $2,0—2,5$ ширины сооружения.

Из таблицы и рисунка 3 видно, что в створах II и III происходят резкие увеличения донных и придонных скоростей с последующим выравниванием их ординат на нижерасположенных створах. В результате такого перераспределения скоростей по глубине потока

Таблица 1

Расстояние от постоянного начала, м	Глубина на вертикали, м	Средняя глубина между вертикалями, м	Площадь между вертикалями, кв. м.	Средняя скорость на вертикали, м/сек	Средняя скорость между вертикалями, м/сек	Расход через площадь между вертикалями, м куб./сек	Полный суммарный расход створа ($Q_{\text{ств}}$) м куб./сек
Створ II							
5,0	1,00	1,03	1,03	0,00	0,02	0,02	0,04
6,0	1,07	1,11	1,11	0,05	0,11	0,12	0,24
7,0	1,15	1,23	1,23	0,17	0,32	0,38	0,76
8,0	1,27	1,31	1,31	0,47	0,66	0,86	1,72
9,0	1,36	1,38	1,38	0,80	0,94	1,30	2,60
10,0	1,40			1,08			
—	—	—	—	—	—	2,68	5,36
Створ III							
5,0	1,18	1,23	1,23	0,08	0,10	0,12	0,24
6,0	1,28	1,30	1,30	0,12	0,16	0,21	0,42
7,0	1,32	1,38	1,38	0,19	0,28	0,39	0,78
8,0	1,45	1,50	1,50	0,38	0,45	0,67	1,34
9,0	1,55	1,88	1,88	0,51	0,62	1,16	2,32
10,0	2,20			0,72			
—	—	—	—	—	—	2,55	5,10

нижний бьеф шлюза-регулятора за каменным креплением претерпел сильное изменение: после пропуска паводка существовавшая ранее воронка размыва увеличилась как по ширине, так и по глубине. В частности, в створе III ширина воронки увеличилась на 2,0 м и составила 6,0 м, а максимальная глубина размыва увеличилась на 0,41 м.

ВЫВОД

1. Натурные исследования выявили специфику работы сбросных сооружений лиманных систем (отсутствие организованного отводящего русла, свободное растекание потока в нижнем бьефе и др.) и крайнюю необходимость применения более рациональной схемы сопряжения потока с руслом большой ширины.

2. Установлено, что интенсивность изменения средней скорости в транзитном потоке вдоль течения небольшая, однако в зонах водоворота в некотором удалении от оси потока $V_{\text{ср}}$ уменьшается до нуля, затем снова возрастает, имея отрицательный знак. С этого места направление течения изменяется на противоположное.

3. Скорости обратного тока в местах слияния его с основным потоком резко возрастают и являются причиной разрушения от-

крылков устоев и подмыва дамб. Средняя скорость обратного течения в створах составляет 0,25—0,40 величины средней осевой скорости в тех же створах.

4. Резкое увеличение донных и придонных скоростей с последующим выравниванием ординат отмечено на участке непосредственно за гасителем. Измеренное максимальное значение придонной скорости составляло 1,26 м/сек, что больше величины $V_{доп}$ для данного грунта.

5. При существующих формах сопряжения с нижним бьефом имеют место сбойные и обратные течения, а также увеличение расхода до 20—25% за счет поступления из водоворотных зон.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ВОЛНОВОГО ДВИЖЕНИЯ НА КАНАЛАХ-БЫСТРОТОКАХ

Р. И. ВАГАПОВ, инженер

УДК 532.543

В бетонированных каналах с уклоном дна более 0,03 нередко наблюдается неустойчивость равномерного режима движения, переход в волновой. Это явление приводит к уменьшению пропускной способности канала. Серьезные затруднения волны вызывают при водораспределении и гашении избыточной кинетической энергии потока.

Вопросы прогнозирования волнообразования и волновых параметров потока имеют большое значение при проектировании бетонированных каналов, расположенных в предгорных районах.

Теоретические исследования проблемы устойчивости бурного потока ($Fr_0 > 1$) были проведены В. В. Ведерниковым [3], Н. А. Картвелишвили [6] и Т. Г. Войнич-Сяноженцким [4, 5].

Экспериментальные исследования «сверхбурного» потока с целью изучения волновых параметров, критериев волнообразования были проведены К. И. Арсенишвили [1], Е. П. Федоровым [11], А. О. Гамбаряном [2]. Однако это явление все еще недостаточно изучено, особенно в натуральных условиях на каналах значительной протяженности.

В 1963—1966 гг. в гидротехнической лаборатории КазНИИВХ были проведены натурные исследования волнового движения на 6 каналах с различными формами поперечного сечения (прямоугольное, трапецидальное, параболическое) протяженностью от 3,5 до 21,0 км и уклонами дна 0,03—0,10. В 1965—1966 г. были проведены лабораторные исследования в экспериментальном лотке прямоугольного сечения длиной 30—60 м при уклонах 0,15—0,05. Ниже приводятся некоторые результаты этих исследований.

Пульсационные колебания свободной поверхности бурного потока и зарождение волн. Известно, что волны в канале-быстротоке зарождаются из пульсационных колебаний свободной поверхности,

вызванных турбулентностью потока. Изучение этих колебаний при равномерном режиме движения представляет значительный интерес как для выявления условий зарождения волн, так и для установления начальных условий при решении задачи о росте высоты гребня волн по длине канала.

До сих пор считалось, что для образования волн в быстотоке достаточно выполнения одного условия — гидродинамической неустойчивости равномерного режима движения [3, 4, 6]. Т. Г. Войнич-Сяноженцкий [5] в результате математического анализа уравнений неустановившегося движения, полученных из общих уравнений гидродинамики с учетом членов высшего порядка, пришел к выводу, что длинные волны («катящиеся волны») образуются только из начальных волн-возмущений большой длины, а все колебания с длиной $\lambda \ll 30 h_0$ воздействуют только на поверхностные слои и образуют короткие волны.

Экспериментальные исследования, проведенные нами в лабораторных и натуральных условиях, показали, что волны действительно зарождаются из отдельных колебаний с наибольшей амплитудой, притом эти колебания имеют наибольшую длину.

Пульсационные колебания свободной поверхности потока вызваны вертикальными составляющими пульсации скорости. Можно считать, что кинетическая энергия пульсации скорости на свободной поверхности переходит в потенциальную, то есть амплитуда колебаний свободной поверхности в этом случае равна

$$A_i = \frac{V_y^2}{2g}. \quad (1)$$

Среднеквадратичная пульсация скорости V'_y линейно зависит от динамической скорости V_* и равна [9]

$$V'_y = K \sqrt{g R_0 j_0}. \quad (2)$$

Коэффициент K , по данным измерений Лауфера и Р. С. Клебанова [9], в трубах и в пограничном слое обтекаемой пластинки при $\frac{xv_*}{y} > 50$ равен 0,9. Аналогичные значения K получены А. С. Гуревичем и С. А. Зубковским [9] для вертикальной составляющей пульсации скорости в атмосфере вблизи стенки. По формуле В. С. Кнороза [7] значение K у поверхности турбулентного потока равно 0,88. Поэтому коэффициент K можно принять равным 0,9.

Для определения средней амплитуды пульсационных колебаний свободной поверхности потока используем зависимость (1). Так как плотность распределения пульсации скорости подчиняется нормальному закону, то предположив, что все пульсационные колебания скорости от 0 до ∞ вызывают колебания свободной поверхности

с амплитудой $A_i = \frac{V_y^2}{2g}$, можно принять плотность вероятности значений A_i равным [12]

$$P(A_i) = R(V_y) \frac{dv_y}{dA_i}$$

Примем

$$x = \frac{v_y}{\sigma},$$

где $\sigma = V'_y$ — среднеквадратичное значение вертикальной составляющей пульсации скорости.

Тогда

$$y = A_i = \frac{V_y^2}{2g} = (ax)^2; \quad \frac{dx}{dy} = \frac{1}{2a^2\sqrt{y}}, \quad (3)$$

где $a^2 = \frac{\sigma^2}{2g}$.

Для нормального закона распределения имеем

$$P(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{x^2}{2}}. \quad (4)$$

Из (2) и (3) зависимостей получим:

$$P(y) = \frac{1}{2a^2\sqrt{2\pi y}} e^{-\frac{y}{2a^2}}. \quad (5)$$

Определим среднее значение амплитуды колебаний поверхности потока

$$A_{\text{ср}} = \frac{\int_0^{\infty} P(y)y dy}{\int_0^{\infty} P(y) dy} = \frac{\int_0^{\infty} e^{-\frac{y}{2a^2}} y^{\frac{1}{2}} dy}{\int_0^{\infty} e^{-\frac{y}{2a^2}} y^{-\frac{1}{2}} dy}. \quad (6)$$

Приняв

$$\frac{y}{2a^2} = tu \quad y = 2a^2t,$$

получим

$$A_{\text{ср}} = 4a^2 \frac{\int_0^{\infty} e^{-t} t^{1/2} dt}{\int_0^{\infty} e^{-t} t^{-1/2} dt} = 4a^2 \frac{\Gamma(3/2)}{\Gamma(1/2)} = \frac{\sigma^2}{gy}, \quad (7)$$

где Γ — гамма-функция.

Из зависимостей (2) и (7), принимая $K=0,9$, получим

$$A_{\text{ср}} = 0,81R_0i_0. \quad (8)$$

Сравнение зависимости (8) с экспериментальными значениями $A_{\text{ср}}$, вычисленными по записи колебаний свободной поверхности потока, показывает, что действительно наблюдается линейная зависимость $A_{\text{ср}}$ от гидравлического радиуса (R_0) и уклона (i_0). Однако значение коэффициента K несколько выше и в среднем равно 1,0, то есть

$$A_{cp} = R_0 i_0. \quad (9)$$

Это объясняется тем, что мелкие пульсации давления, соизмеримые с силами поверхностного натяжения, ограничены этой силой и вызывают колебания свободной поверхности с малой амплитудой. Поэтому средняя амплитуда колебаний смещается по сравнению с вычисленной по зависимости (8) в сторону увеличения. Влияние силы поверхностного натяжения можно оценить по соотношению ее с возмущающей силой. Предположив, что возмущающая сила должна быть больше силы поверхностного натяжения, чтобы вызвать колебание свободной поверхности, найдем минимально возможную амплитуду:

$$A_{min} = \frac{T}{\gamma r} = \frac{2\pi}{\gamma \lambda}, \quad (10)$$

где π — поверхностное натяжение, равное при $t = 20^\circ$ 0,075 г/см;

r — радиус кривизны поверхности при $\frac{\lambda T}{A_i} \gg 1$, $r \approx \frac{\lambda}{2}$;

λ — длина колебания.

Таким образом, возможный спектр распределения амплитуд колебаний свободной поверхности ограничивается со стороны малых амплитуд.

Другой важной стороной случайного процесса пульсационных колебаний является плотность распределения возможных значений амплитуд.

Для установления фактических кривых распределения были составлены статистические ряды и определены обеспеченности для всех значений каждого ряда. Фактические кривые обеспеченности для модульных коэффициентов $\frac{A_i}{A_{cp}}$ показывают, что действительно наблюдается положительная асимметрия с коэффициентом асимметрии $C_s = 2C_v$.

Результаты вычислений коэффициентов вариации C_v показывают, что с уменьшением глубины потока C_v уменьшается. Особенно резкое уменьшение C_v начинается с глубин 3 ÷ 5 см (рис. 1). Это объясняется тем, что с уменьшением глубины все резче сказывается влияние ограничения спектра возможных амплитуд, вызванное поверхностным натяжением, со стороны малых значений A_i . Для определения C_v получена эмпирическая зависимость в виде

$$C_v = 0,6 + 0,18 \lg h_0, \quad (11)$$

где h_0 — глубина потока, м.

Второй характеристикой пульсационных колебаний является их частота (ω). Средние значения частоты колебаний, по данным исследований в широком диапазоне числа Рейнольдса $5 \cdot 10^3 \div 2 \cdot 10^6$, находятся в пределах 10 ÷ 15 гц. Следовательно, ω_{cp} можно принять постоянной и равной 12,5 гц.

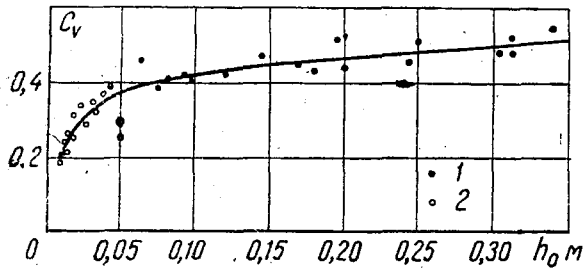


Рис. 1. Зависимость коэффициента вариации от нормальной глубины потока:
1 — натурные данные, 2 — лабораторные данные.

При обработке осциллограмм была замечена связь между амплитудой и периодом колебаний. Для установления этой зависимости были вычислены коэффициенты корреляции r между амплитудой и периодом. Значения коэффициента корреляции r лежат в пределах $0,75 \div 0,9$, что указывает на существование

линейной зависимости между этими величинами. С помощью уравнений прямой регрессии была получена зависимость

$$T_i = T_{cp} \frac{A_i}{A_{cp}} \quad (12)$$

При выполнении критерия гидродинамической неустойчивости равномерного режима движения в канале возникает возможность образования «катящихся» волн из пульсационных колебаний свободной поверхности, вызванных турбулентностью потока. Однако этого условия недостаточно, необходимо также наличие длинных колебаний. Так как критерий гидродинамической неустойчивости равномерного режима получен из уравнений неустановившегося движения, осредненного по всему сечению потока, то начальное колебание, образующее волну, должно охватывать все сечение потока. Отсюда можно заключить, что дополнительное давление, вызванное этим колебанием, по всей глубине должно быть выше среднего фона пульсации давления, вызванного вертикальными составляющими скорости. Так как пульсационные колебания свободной поверхности можно представить как синусоидальные, то изменения давления по глубине потока в створе максимальной амплитуды равно

$$\Delta P_a = \frac{A_i}{ch \frac{2\pi z}{\lambda}} \quad (13)$$

Пульсацию давления ΔP_y по глубине потока можно принять постоянной, так как, начиная с глубины z , при $\frac{zV_*}{\nu} > 50$ средняя квадратичная вертикальная пульсация скорости близка к постоянному значению $0,9 V$, тогда $\Delta P_y = A_{cp}$.

Из условия $\Delta P_a > \Delta P_y$ получаем

$$\frac{A_i}{A_{cp}} > ch \frac{2\pi h_0}{\lambda} = ch 2\pi \cdot St_0 \cdot \frac{A_{cp}}{A_i} \quad (14)$$

где $St_0 = \frac{\omega_{cp} h_0}{c_0}$ — число Струхалия;

c_0 — скорость распространения колебаний, определяемая по зависимости $c_0 = v_0 + \sqrt{g h_0}$;

$\omega_{cp} = 12,5$, 1/сек. — средняя частота колебаний;

λ — длина колебания.

Построив ряд кривых $ch \frac{2\pi h_0}{\lambda}$ при различных значениях St_0 , $\frac{A_i}{A_{cp}}$ и сравнив их с прямой $\frac{A_i}{A_{cp}}$, получим зависимость $\frac{A_i}{A_{cp}} = f(St_0)$.

Аппроксимируя эту зависимость в степенной форме, получим

$$\frac{A_i}{A_{cp}} - 1 > 3,4 St_0^{0,825} \quad (15)$$

Для дальнейшего упрощения допустим, что распределение амплитуд подчиняется нормальному закону распределения, хотя в действительности наблюдается некоторая асимметрия. Это допущение не приводит к существенным отклонениям. Тогда, пользуясь правилом трех сигм, получаем критерий:

$$St_0 < 0,9 C_V^{1,21} \quad (16)$$

Зависимость (16) является дополнительным условием волнообразования. На рисунке 2 проводится сравнение критерия (16) и критериев гидродинамической неустойчивости равномерного режима, вычисленных для канала с прямоугольным сечением $b=1,0$ м, с фактическими режимами в каналах.

Как видно из рисунка 2, критерий (16) согласуется с экспериментальными данными. В таблице 1 приводится расчет критических чисел $Fr_{кр}$ и минимальных соотношений $\frac{\lambda}{h_0}$ начальных возмущений. С уменьшением глубины потока для возбуждения волн требуются колебания с большим соотношением $\frac{\lambda}{h_0}$.

Таблица 1

h_0 , м	C_V	St_0 по критерию (16)	$\sqrt{g h_0}$, м/сек	v_0 , м/сек	$\frac{\lambda}{h_0}$	$Fr_{кр}$
0,01	0,240	0,160	0,313	0,47	10,75	2,25
0,02	0,294	0,205	0,440	0,78	9,18	3,11
0,05	0,366	0,267	0,700	1,64	7,90	5,50
0,10	0,420	0,308	0,990	3,07	7,34	9,59
0,15	0,451	0,343	1,210	4,25	7,19	12,30
0,20	0,473	0,362	1,400	5,52	6,93	15,60
0,30	0,505	0,393	1,710	7,82	6,40	20,80
0,40	0,525	0,413	1,980	10,12	6,23	26,30

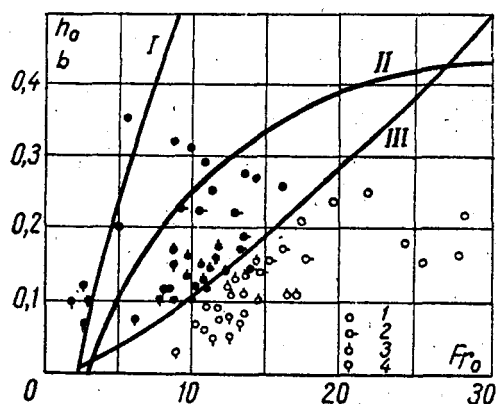


Рис. 2. Критерии волнообразования для прямоугольного русла:

I — критерий В. В. Ведерникова и Н. А. Картвелишвили, II — критерий Т. Г. Войнич-Сяноженцкого, III — критерий по автору. 1, 2 и 3 — данные автора, 4 — данные Е. П. Федорова. Светлым точкам соответствует волновой режим, зачерненным — равномерный.

Таким образом, для волнообразования в канале необходимо выполнение двух условий: критерия гидродинамической неустойчивости равномерного режима движения и критерия (16), определяющего наличие длинных начальных возмущений. Однако при расчетах каналов на устойчивый режим необходимо выполнение первого условия (гидродинамической устойчивости потока), так как в природе могут возникнуть начальные колебания, вызванные внешними силами.

Рост высоты гребня волны. Процесс измене-

ния глубины потока по длине канала при волновом режиме обычно разбивают на 4 зоны [2]. Непосредственно за первой зоной кривой спада от $h_{кр}$ до h_1 происходит образование начальных волн из пульсационных колебаний свободной поверхности потока. Начальные волны возмущения становятся заметными визуально только после некоторого их продвижения, когда крутизна у фронта большая. Этот участок канала принимают за зону ряби и формирования волн. Для определения длины первых двух участков, то есть расстояния от входа в канал до створа образования волн А. О. Гамбаряном [2] была получена эмпирическая зависимость. После несложного преобразования эту зависимость для случая прямоугольного русла можно привести к виду:

$$S_b = 4,2 Fr_0 \frac{h_0}{i_0}. \quad (17)$$

Результаты экспериментальных исследований показывают, что в зоне ряби и формирования волн роста волн не наблюдается и их амплитуда равна высоте начальных волн возмущений. Однако казалось бы, что возмущения должны расти с момента их зарождения. Это несоответствие можно объяснить тем, что на начальном участке на рост амплитуды волн влияет кривая спада. Так как для кривой спада $\frac{dH}{dS} < 0$, а изменение амплитуды волны $\frac{dA}{dS} > 0$, то рост высоты волн будет наблюдаться с момента, когда

$$\frac{dh}{dS} + \frac{dA}{dS} = 0, \quad (18)$$

то есть это условие будет определять длину кривой спада с устойчивым режимом движения.

Условие (18) выполняется при значениях $\eta = \frac{h}{h_0}$, близких к 1. Поэтому из уравнения неравномерного стационарного режима движения имеем

$$\frac{dh}{dS} = - \frac{x(\eta - 1)}{Fr_0 - 1} i_0. \quad (19)$$

Для установления закономерности роста высоты гребня волны по длине канала обычно исходят из уравнений неустановившегося движения в виде

$$\frac{\partial F}{\partial S} + \frac{u}{g} \cdot \frac{\partial u}{\partial s} + \frac{1}{\partial} \cdot \frac{\partial u}{\partial t} = i_0 - \frac{Q^2}{K^2}; \quad (20a)$$

$$\frac{\partial Q}{\partial S} + \frac{\partial F}{\partial t} = 0. \quad (20б)$$

Эта система уравнений приближена в рамках теории мелкой воды, не учитывает кривизны струй и предполагает, что распределение давления подчиняется гидростатическому закону. Система (20 а) и (20 б) аналитического решения не имеет. Поэтому эту систему уравнений линеаризируют с помощью теории волн малой амплитуды и после ряда преобразований приводят к линейному гиперболическому уравнению с двумя независимыми переменными, дальнейшее решение которого дает закономерность роста высоты гребня по длине канала в виде:

$$h_{гр} = A_0 e^{P \frac{Si_0}{h_0}}. \quad (21)$$

Результаты экспериментальных исследований показали, что на начальном участке рост высоты гребня подчиняется экспотенциальному закону вида (21), но с увеличением волновых параметров $h_{гр}$ и u значение коэффициента P стремится к нулю, то есть кривая роста высоты волн асимптотически приближается к предельному значению. Однако даже при малых значениях высоты гребня волн

$$\xi = \frac{h_{гр}}{h_0} \sim 0,2 \div 0,4, \quad \text{когда казалось бы допущения теории волн}$$

малой амплитуды правомерны, теоретические решения (то есть значения P вычисляются по теоретическим формулам) дают значительные отклонения по сравнению с экспериментальными кривыми роста. Рост высоты волн в действительности в несколько раз медленнее, чем по теоретическим зависимостям. Это можно объяснить главным образом тем, что допущения теории волн малой амплитуды не учитывают обрушения гребня волны, когда правомерность уравнения (20 а) относительно точки гребня волны нарушается.

По экспериментальным данным, на начальном участке значение коэффициента $P \approx 0,006$.

Из закономерности (21) получаем:

$$\frac{dh}{dS} = \frac{A_0 P i_0}{h_0} e^{P \frac{S i_0}{h_0}}. \quad (22)$$

Для определения расстояния от входа до створа начала роста волн, согласно условию (18), необходимо приравнять уравнения (19) и (22):

$$\frac{x(\eta - 1)}{Fr_0 - 1} = P \frac{A_0}{h_0} e^{P \frac{S i_0}{h_0}}. \quad (23)$$

Решение системы (23) проще вести графическим путем. Необходимо построить левую и правую части как функцию $\frac{S i_0}{h_0}$. Точка пересечения этих кривых даст значение $\frac{S_B i_0}{h_0}$, при котором выполняется условие (23). Это решение дает возможность установить длину кривой спада с устойчивым режимом движения. Значения S_B , вычисленные вышеизложенным методом, несколько меньше S_B , вычисленных по формуле (17).

Результаты обработки экспериментальных данных показали, что $h_{гр}$ достигает значений, близких к предельным, на расстоянии $S \approx 700 \frac{h_0}{t_0}$ от створа S_B .

Исходя из этого условия и закономерности роста на начальном участке, получена эмпирическая зависимость роста относительной высоты гребня волн в виде:

$$\begin{aligned} \xi &= \frac{\eta_{пред} - \xi_1}{2} \left[1 + th \frac{P i_0}{h_0} \left(S - 350 \frac{h_0}{t_0} \right) \right] = \\ &= \frac{\eta_{пред} - \xi_1}{2} \left[1 + th \left(P \frac{S i_0}{h_0} - 2,1 \right) \right], \end{aligned} \quad (24)$$

где $\xi = \frac{h}{h_0}$ — относительная высота гребня волны на расстоянии S от створа начала роста волн S_B ;

$\eta_{пред} = \frac{h_{пред}}{h_0}$ — предельная высота волн;

$h_1 = h_0 + A_0$ — максимальная глубина в створе S_B .

Сравнение зависимости (24) с экспериментальными данными К. И. Арсенишвили, Е. П. Федорова, А. О. Гамбаряна и автора дает удовлетворительную сходимость.

Предельная высота волн. Для практических задач большой интерес представляет предельная высота волн. Для решения этой задачи [10] обычно исходят из предположения, что движение волн в быстротоке аналогично движению бора (периодических боров).

Представим волну-возмущение свободной поверхности в начальном створе как бы состоящей из двух возмущений — волны повышения и следующей за ним волны понижения. Относительно волны повышения можно сказать, что через определенное время она перестает быть непрерывной и наступает обрушение. В точке разрыва должен наблюдаться переход движения из сверхкритического в докритическое относительно координат, движущихся со скоростью c .

В точке гребня должно удовлетворяться неравенство

$$c - u < \sqrt{gh},$$

где h — наибольшая глубина;

u — скорость за разрывом.

За волной повышения следует волна понижения, которая непрерывна и скорость распространения которой относительно движущегося потока составляет:

$$c - u > \sqrt{gh}.$$

Таким образом, на точку гребня воздействует с одной стороны волна повышения и с другой — волна понижения. Единственным решением, удовлетворяющим в этом случае обоим условиям, в точке гребня является:

$$c - u = \sqrt{gh}. \quad (25)$$

В действительности обрушение волн в канале наблюдается в виде захлестывания на гребне. Причем наблюдается картина, более близкая к обрушению уединенной волны, чем обрушение в виде бора. Сравнение замеренных скоростей распространения гребня волн и скорости потока в гребне волны показывает, что на участке роста волн $c - u > \sqrt{gh}$ движение сверхкритическое. По мере увеличения высоты волн и приближения их к стабильному значению относительная скорость распространения приближается к величине \sqrt{gh} . При установившемся волновом режиме $c - u$ незначительно больше или равно \sqrt{gh} .

Из уравнения неразрывности (20 б) в случае $c = \text{const}$ получаем [10]:

$$(c - u)h = D = \text{const}.$$

Так как колебания возникают около равновесного состояния h_0 и v_0 , то можно предположить, что существует такой створ в волне, когда $h = h_0$ и $u = v_0$.

Исходя из зависимостей (25) и (26) и принимая $D = (c - v_0)F_0$, получаем зависимость для определения предельной высоты при движении потока в прямоугольном русле

$$h_{\text{пред}} = \left[\frac{v_0^3 h_0^3}{g} \left(\frac{c}{v_0} - 1 \right)^2 \right]^{\frac{1}{3}} = h_{\text{кр}} \left(\frac{c}{v_0} - 1 \right)^{\frac{2}{3}}. \quad (27)$$

Выразив значение скорости распространения волны через v_0 по приближенной зависимости, предложенной автором ранее [13],

$$c = \frac{x}{n} u \approx \frac{x}{n} v_0,$$

получим: для прямоугольного русла

$$\eta_{\text{пред}} = Fr_0^{1/3} \left(\frac{x}{2} - 1 \right)^{2/3}; \quad (27a)$$

для параболического русла

$$\eta_{\text{пред}} = Fr_0^{1/3} \left(\frac{x}{3} - 1 \right)^{1/2}; \quad (27б)$$

для треугольного русла

$$\eta_{\text{пред}} = Fr_0^{1/3} \left(\frac{x}{4} - 1 \right)^{2/5}; \quad (27в)$$

где $\eta_{\text{пред}} = \frac{h_0}{h_0}$ — относительная предельная высота волн;

x — гидравлический показатель русла;

n — коэффициент, зависящий от формы русла: для прямоугольного равен 2, трапецидального — $2 \frac{B_{\text{зер}}}{B_0}$, параболического — 3 и треугольного — 4;

F — площадь живого сечения;

$B_{\text{зер}}$ — ширина потока поверху;

h_0 — нормальная глубина потока.

Среднеквадратичное отклонение предельных высот волн, вычисленных по формулам (27), от экспериментально данных автора и других исследователей (А. О. Гамбаряном, Е. П. Федоровым) составляет 7—9%.

ЛИТЕРАТУРА

1. Арсенишвили К. И. Воздействие волн на гидротехнические сооружения. Тбилиси, 1961.
2. Гамбарян А. О. Экспериментальные и полевые исследования катящихся волн в сверхбурном потоке. Труды координационных совещаний по гидротехнике, вып. VII, 1963.
3. Ведерников В. В., Матицкий Н. В., Патапов М. В. Неустановившиеся движения водного потока в открытом русле. Изд. АН СССР, 1947.
4. Войнич-Сяноженцкий Т. Г. Об уравнениях гидродинамики азрированных потоков и устойчивости турбулентного движения при больших числах Фруда. Изв. ТНЦСЭИ, т. 14, 1962.
5. Войнич-Сяноженцкий Т. Г. Проблема устойчивости течения потока реальной жидкости в каналах конечной глубины. Изв. ТНЦСЭИ, т. 16, 1966.
6. Картвелишвили Н. А. Волнообразование на быстротоках. «Изв. АН СССР», отд. техн. наук, № 1, 1955.

7. *Кнороз В. С.* Влияние грядовой формы дна на характеристики турбулентности безнапорных водных потоков. Изв. ВНИИГ, т. 78, 1965.
8. *Мхитарян А. С.* О волнах на быстротоке. «Изв. АН СССР», отд. техн. наук (энергетика и автоматика), № 1, 1959.
9. *Монин А. С., Яглом А. М.* Статистическая гидромеханика. Ч. I, М., 1965.
10. *Стокер Дж. Дж.* Волны на воде. Изд-во иностранной литературы, М., 1959.
11. *Федоров Е. П.* Результаты натурных исследований катящихся волн на быстротоках. Труды координационных совещаний по гидротехнике, вып. VII, 1963.
12. *Великанов М. А.* Ошибки измерения и эмпирические зависимости. Гидролитиздат, 1962.
13. *Ваганов Р. И.* Об устойчивости равномерного движения в каналах с большими уклонами дна. Сборник «Вопросы гидротехники и мелиорации», Тбилиси, 1966.

**МОДЕЛИРОВАНИЕ МЕСТНЫХ РАЗМЫВОВ
ЗА ГИДРОТЕХНИЧЕСКИМИ СООРУЖЕНИЯМИ
МЕЛКОЗЕРНИСТЫМ НАТУРНЫМ ГРУНТОМ**

С. А. САРСЕКЕЕВ, инженер

УДК 628.8:624.131.4

Моделирование местных размывов имеет большое практическое значение, так как на современном этапе изученности рассматриваемого вопроса теоретическими исследованиями не всегда удается учесть все действующие факторы и различные виды конструктивных оформлений водосбросных сооружений. Поэтому на практике часто прибегают к моделированию гидроузлов с прилегающим к нему участком реки для прогнозирования деформации русла и подробного изучения эксплуатационного режима водосброса на участке сопряжения. При этом возникает ряд трудностей: как и каким методом данные модельных исследований по глубине воронки размыва переносить в натуру, в каких пределах возможно искажение физико-механических свойств размываемого материала.

В практике лабораторного моделирования наиболее удобно за исходные параметры, определяющие весь процесс исследования на моделях, принять крупность и другие основные характеристики лабораторного грунта, которые определяются на основании физико-механического анализа размываемого материала. Поэтому представляется наиболее удобным выразить все зависимости, определяющие масштабы моделирования различных величин при заданном λ_a через линейный масштаб сооружения λ_e .

Необходимо отметить, что выбор размера частиц размываемого модельного грунта в известной мере является произвольным. Исследователь, ориентируясь на подвижность исследуемого грунта, вправе принять уменьшенные, увеличенные размеры частиц или равные натуре. Но при этом необходимо иметь в виду, что, уменьшая или увеличивая размеры частиц, нельзя перейти предел качественного состояния, который в первом случае выражается в виде сил сцепления, а во втором — неподвижностью частиц при расчетных расходах. Это особенно важно при исследовании гидроузлов, рас-

положенных на мелкозернистых грунтах. Ориентируясь на изученность руслового процесса естественных рек с относительно мелкими песчаными руслами, какими являются в большинстве случаев реки Средней Азии и Казахстана, расположенные на равнинной части этих территорий, представляется наиболее вероятным исходить из предположения, что крупность материала, из которого изготавливается размываемая часть исследуемого участка речного русла, сохраняется натурной ($\lambda_d = 1$). В этом случае, естественно, допускается искажение подобия крупности частиц, которое в дальнейшем учитывается введением соответствующих коэффициентов в критерий Фруда. Ниже на основе исследований, выполненных автором в гидротехнической лаборатории КазНИИВХ, приводятся приемы моделирования местных размывов мелкозернистым натурным грунтом.

Рекомендуемую расчетную зависимость для определения глубины воронки размыва можно записать в масштабных множителях ее составляющих следующим образом [3]:

$$\lambda_T = \lambda k_a \sqrt[3]{\left(\frac{\lambda_q}{\lambda_v}\right)^2 \frac{\lambda_\gamma}{\lambda_n}} \quad (1)$$

В условиях моделирования конкретного сооружения $\lambda k_a = 1$, так как указанный коэффициент в основном зависит от конструкции сооружения. Учитывая, что для определения допускаемой скорости в воронке размыва будем пользоваться формулой типа Эри-Дюбуа, можем записать

$$v = k \sqrt{\frac{\gamma_n - \gamma}{\gamma} g d} \quad (2)$$

Тогда соотношение (1) можно представить в следующем виде:

$$\lambda_T = \sqrt[3]{\left(\frac{q_n}{q_m}\right)^2 \frac{z_m}{z_n} \left(\sqrt{\frac{\gamma_m - \gamma}{\gamma_n - \gamma} g d_m}\right)^2 \frac{n_m}{n_n}} = \sqrt[3]{\frac{\lambda_e}{\lambda_\gamma \lambda_d \lambda_n}} \quad (3)$$

или

$$T_n = T_m \lambda_e \sqrt[3]{\frac{\lambda_e}{\lambda_\gamma \lambda_d \lambda_n}}, \quad (4)$$

- где $\lambda_d = \frac{d_n}{d_m}$ — масштаб модели размываемого материала;
 $\lambda_\gamma = \frac{\gamma_n - \gamma}{\gamma_m - \gamma}$ — масштаб удельного веса размываемого материала;
 $\lambda_n = \frac{n_n}{n_m}$ — масштаб степени неоднородности размываемого материала.

Формула (4) является основным расчетным соотношением, позволяющим производить пересчет глубины воронки размыва с модели в натуру при любом масштабе размываемого грунта.

Если грунт на модели во всех отношениях характеризуется такими же показателями, как в натуре ($\lambda_T = 1$, $\lambda_d = 1$ и $\lambda_n = 1$), то масштаб глубины воронки размыва определяется из зависимости:

$$\lambda_T = \lambda_e \sqrt[3]{\lambda_e}. \quad (5)$$

Из этой зависимости вытекает следующее принципиально важное положение: при применении на модели такого же грунта, как в натуре, что обычно имеет место при мелкозернистых грунтах, перенос глубины воронки размыва с модели в натуре не может быть осуществлен по линейному масштабу модели. Это положение подтверждается экспериментальными данными С. В. Избаша [2], Н. Н. Зрелова [1] и Н. Н. Суровой [4].

В условиях исследования местных размывов с применением натурального грунта при значительном искажении масштаба модели необходимо ввести масштабный коэффициент поправки, которым учитывается искажение относительной шероховатости русла. Ее значение может быть установлено в предположении, что величина допускаемой скорости для данного грунта определяется приближенно по зависимости

$$v = A \sqrt{g d} \left(\frac{h}{d} \right)^{1/6}. \quad (6)$$

Путем простых преобразований формулы (1) можем получить значение коэффициента поправки:

$$K_{\lambda_e} = \frac{1}{\sqrt[3]{\lambda_e}}. \quad (7)$$

В этом случае формула (5) примет следующий вид:

$$T_n = T_m \lambda_e^{1,22} \approx T_m \lambda_e \sqrt[4]{\lambda_e}. \quad (8)$$

Глубину воронки размыва можно определить и по следующей зависимости:

$$T_n = K_{\lambda_e} T_m \lambda_e \sqrt[3]{\lambda_e}, \quad (9)$$

$$K_{\lambda_e} = \sqrt[3]{\left(\frac{\lg \frac{8,8h_m}{d_m}}{\lg \frac{8,8h_n}{d_n}} \right)^2},$$

где K_{λ_e} — коэффициент, учитывающий относительную шероховатость русла.

Пересчеты по формулам (8) и (9) дают примерно одинаковые результаты.

При модельных исследованиях необходимо соблюдение следующих условий: подобие расходов, подобие структуры потока, по-

стоянство диаметра модельного и натурального грунтов, одинаковые удельные веса частиц размываемого материала на модели и в натуре, соблюдение автомодельной области.

Пересчеты модельных глубин в натуру или на модель более крупного масштаба осуществляются по формулам (8), (9) и (5).

Возможность моделирования местных размывов по рекомендуемой методике может быть проверена только на основе лабораторных и натуральных данных. Необходимо отметить, что имеющиеся натурные данные по ряду гидроузлов не могут быть использованы в качестве сравнения при пересчете модельных глубин, так как в период строительства и в условиях эксплуатации сооружения часто нарушаются те рекомендации, которые даются на основе предварительных исследований, вследствие чего данные натуре и модели становятся в большинстве случаев несопоставимыми. В этих условиях единственным возможным путем проверки рекомендуемого метода моделирования является постановка специальных лабораторных исследований на нескольких моделях. С этой целью нами были собраны и проанализированы опубликованные в литературе материалы лабораторных исследований местного размыва за водосбросными сооружениями, выполненные различными авторами за последние годы.

Исследования Н. П. Зрелова [1] выполнены на трех и четырех моделях, масштабы которых по отношению друг к другу последовательно изменялись в 2 раза. На всех моделях применялся песок постоянной крупности, то есть $\lambda_d = 1$. На самой меньшей модели число Рейнольдса было больше критического значения, а средняя скорость схода потока с рисбермы была больше размывающей скорости для исследуемого грунта. Данные о глубине воронки размыва для моделей разных масштабов приводятся в виде совмещенного графика (рис. 1, сооружения 1, 2). Аналогичные исследования выполнены Н. Н. Суровой (рис. 1, сооружение 3). Результаты сопоставления расчетных глубин воронки размыва с опытными данными приводятся в таблице 1.

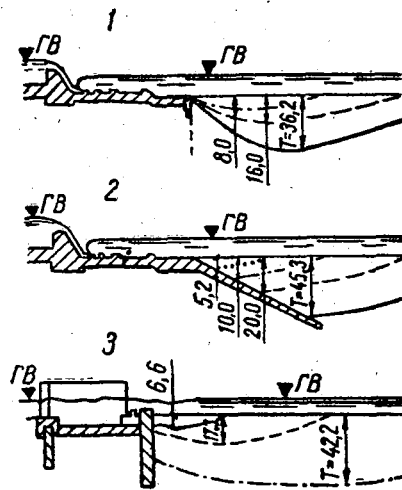


Рис. 1 Схемы экспериментальных установок и данные исследований Н. П. Зрелова (1,2) и Н. Н. Суровой (3).

Таблица 1

Модель	Замерено на модели, см				Пересчитано по формуле (5) на модель крупного масштаба, см			Пересчитано в натуру по формуле (8), м			Осредненные значения, м			
	λ_e	h	T	t	h	T	t	h	T	t	по нашим расчетам		по расчетам Н. Н. Суровой	
											T	t	T	t
1	32	52,8	36,2	89,0	52,8	36,1	89,4	16,9	27,5	44,4	26,0	43,5	26,2	43,1
	60	28,1	16,0	44,1	28,1	15,9	44,0	16,9	27,0	43,9				
	100	16,9	8,0	24,9	16,9	8,0	24,9	16,9	25,3	42,2				
2	32	52,8	45,3	98,1	52,8	44,5	97,3	16,9	34,5	51,4	32,5	49,4	34,4	51,3
	60	28,1	20,0	48,1	28,1	19,3	47,4	16,9	33,5	50,4				
	100	16,9	10,0	26,9	16,9	9,8	26,7	16,9	31,7	48,6				
	160	10,5	5,2	15,7	10,5	5,2	15,7	16,9	30,0	46,9				
3	20	17,8	42,2	60,0	17,8	41,8	59,6	3,56	17,8	21,4	17,1	20,7	19,6	23,1
	40	8,9	17,3	26,2	8,9	16,7	25,6	3,56	17,8	21,4				
	80	4,4	6,6	11,0	4,4	6,6	11,0	3,56	15,8	19,4				

Как видно из таблицы 1, на основе сравнения опытной глубины воронки размыва с расчетными данными можно выявить удовлетворительную сходимость рассматриваемых величин, несмотря на значительное увеличение большой модели по отношению к меньшей. Пересчет глубины воронки размыва с модели в натуру и сопоставление с данными Н. Н. Суровой [4] также показывают вполне приемлемую сходимость.

Считаем, что полученные расчетные зависимости могут быть использованы при моделировании местных размывов за гидротехническими сооружениями в условиях применения на модели мелкозернистого натурального грунта.

ЛИТЕРАТУРА

1. Зрелов Н. П. Моделирование движения взвешенных и донных наносов. Труды «ВОДГЕО», М., 1958.
2. Избаш С. В. Основы лабораторно-опытного дела в гидротехнике. М.—Л., ОНТИ, 1938.
3. Сарсекеев С. А. Исследование местного размыва в несвязных грунтах. Публикуется в настоящем сборнике.
4. Сурова Н. Н. Новые предложения по методике моделирования местных размывов за сооружениями, возводимыми на равнинных реках. Труды координационных совещаний по гидротехнике, вып. XV, изд-во «Энергия», 1964.

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕСТНОГО РАЗМЫВА В НЕСВЯЗНЫХ ГРУНТАХ

С. А. САРСЕКЕЕВ, инженер

УДК 626.624.131.4

Пропуск бытовых и паводковых расходов реки через гидроузлы с узким водосливным фронтом при достаточно большой удельной энергии потока почти всегда сопровождается разрушением и значительной деформацией ложа нижнего бьефа.

Возникающая воронка размыва создает значительную опасность в статической устойчивости сооружения и нередко является первопричиной катастроф или крупных разрушений.

С целью уменьшения местных деформаций русла в нижнем бьефе обычно устраиваются специальные гасители, размеры которых назначаются в зависимости от основных характеристик потока. Несмотря на это, почти все эксплуатируемые сооружения имеют в нижнем бьефе воронки размыва, которые нередко развиваются до размеров, опасных для устойчивости сооружения. В этой связи вопрос правильного прогнозирования глубины воронки размыва за гидротехническими сооружениями приобретает важное значение. Несмотря на исключительную важность правильного определения глубины воронки размыва за гидротехническими сооружениями при различных схемах сопряжения, до сих пор отсутствует теоретически выдержанный метод его расчета. Многие расчетные формулы вследствие недоучета некоторых факторов, влияющих на глубину размыва, требуют критического анализа, а структура расчетных зависимостей — уточнения.

Глубина воды в нижнем бьефе и глубина воронки размыва многими исследователями при расчетах учитываются совместно, что вызывает известные затруднения в условиях несовпадения характеристик модельного и натурального грунтов.

Имеющиеся расчетные зависимости, на наш взгляд, не в полной мере учитывают основные факторы, влияющие на глубину размыва.

В действительности при пересчете в натуру глубина воды в нижнем бьефе представляется по критерию Фруда линейно, а фактическая глубина воронки размыва не подчиняется закону гравитационного подобия. Следовательно, расчетная зависимость должна удовлетворять дополнительному требованию: подчиняться закону гравитационного подобия.

Выбор метода и составление расчетного уравнения. Сложность изучаемого явления не позволяет составить в общем виде дифференциальные уравнения, описывающие процесс движения растекающейся струи в воронке размыва.

На данном этапе изученности местных размывов представляется возможным в первом приближении составить эмпирические или полуэмпирические зависимости, правильно учитывающие основные факторы, влияющие на размыв.

Исходя из вышеизложенного, мы считаем целесообразным для решения поставленной задачи применение теории размерности, которая, как известно, в последнее время находит довольно широкое применение при решении сложных задач в различных областях техники. Применение теории размерности при правильном выборе основных факторов, участвующих в физическом процессе, и тщательной постановке лабораторных исследований дает вполне приемлемые результаты, удовлетворяющие требованиям практики.

Чтобы вывести расчетную зависимость для определения глубины воронки размыва, необходимо установить основные факторы. Таковыми факторами являются: удельный расход (q), полный напор (z), диаметр размываемого грунта (d), удельный вес материала (γ_r). Влияние конструкции сооружений, угла падения струи (α) и степени неоднородности грунта (n) на глубину воронки размыва нами рассматривается отдельно.

Учитывая указанные факторы, глубина воронки размыва несвязного однородного грунта будет функцией от многих переменных:

$$T_0 = f(K_\alpha, q, z, \gamma_r, \gamma, g, d, h). \quad (1)$$

Величины $\gamma_r, \gamma, g, d, h$ в условиях плоской задачи могут быть выражены допускаемой скоростью на размыв для данного грунта, тогда уравнение (1) можно переписать в следующем виде:

$$T = f(K_\alpha, q, z, v).$$

Эта зависимость может быть представлена равенством

$$T_0 = K_\alpha q^{x_1} z^{x_2} v^{x_3},$$

которое на основе n -теоремы приводится к виду

$$T_0 = K_\alpha \left(\frac{q}{v}\right)^{x_1} z^{1-x_1}. \quad (2)$$

Для определения численного значения x_1 достаточно исследовать закономерность изменения q от одного из трех факторов. Результаты специально проведенных экспериментов излагаются ниже.

Методика исследований. В задачу экспериментальных исследований входило изучение влияния основных факторов на глубину воронки размыва. В опытах мы стремились искусственно создать условия, в которых дополнительные факторы не влияли бы на изменяющиеся основные факторы. Это, конечно, может быть выполнено только в лабораторных опытах. Однако следует отметить, что выявление закономерностей требует обобщения таких опытов, чтобы полученные расчетные зависимости имели прикладное значение.

Влияние основных факторов на глубину воронки размыва изучалось с применением размываемого материала, характеризуемого следующими данными: $d_{cp} = 0,4 \text{ мм}$; $d_{кр} = 0,86 \text{ мм}$; $\gamma_r = 2,66 \text{ т/м}^3$.

Опыты проводились в лотке шириной 20 см, высотой 80 см и длиной 550 см. Исследования были проведены в следующей последовательности. Первоначально лоток загружался размываемым грунтом на половину его высоты; поверхность грунта после неоднократного замачивания уплотнялась и заглаживалась. После этого лоток наполнялся водой до требуемой отметки. Насосом вода подавалась в приемный успокоительный бак ($1,5 \times 0,8 \times 0,2 \text{ м}$), откуда поступала на исследуемый участок лотка. Постоянство расхода контролировалось в течение опыта по отметке горизонта воды треугольного водослива и горизонтов воды верхнего и нижнего бьефов. Опыты продолжались до момента практической стабилизации воронки размыва, который был принят для всех опытов равным 6,5 часа.

Влияние удельного расхода. При исследовании влияния удельного расхода на глубину воронки размыва опыты были проведены при постоянных значениях полного напора и глубины воды в нижнем бьефе. Результаты опытов представлены на рисунке 1. Как

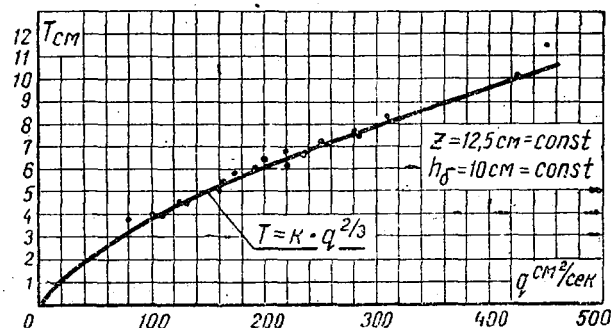


Рис. 1. График влияния величины удельного расхода на глубину воронки размыва.

видно из графика, имеется тесная связь между T_0 и q . На основании математической обработки результатов исследований получено значение степени при q , она равна $2/3$. Известный практический интерес представляет сравнение полученного результата с данными других авторов. Так, целесообразность расчета размыва, исходя из глубины воронки, поддерживал Л. Д. Кварацхелия [3]. Им в результате обработки и анализа большого опытного материала установлено, что удельный расход на глубину воронки размыва влияет в степени $2/3$. К подобным выводам пришел пакистанский исследователь Назир Ахмад [5]. Существование такой зависимости наглядно показал и А. А. Кадыров [2].

После установления величины x_1 из основной расчетной зависимости (2) могут быть определены показатели степени при z и v . Они будут иметь следующие значения: $x_2 = 1/3$ и $x_3 = -2/3$.

Принимая допускаемую скорость по формуле В. Н. Гончарова и учитывая найденные значения x_1 , x_2 и x_3 , зависимость (2) можно представить в виде

$$T_0 = K_a \frac{q^{1/3} z^{2/3}}{v^{2/3} h^{0,14}} \quad (3)$$

Отсюда видно, что, определив показатель степени при q , легко можно получить расчетную формулу. Но тем не менее мы считаем необходимым в порядке проверки независимо от x_1 определять численные значения x_2 и x_3 путем проведения специальных исследований. Соответствие значений x_2 и x_3 , найденных на основе исследований, с их значениями, вычисленными из соотношений $x_2 = 1 - x_1$ и $x_3 = x_1$ при значении $x_1 = 2/3$, явится как бы критерием для оценки надежности полученной расчетной зависимости.

Влияние полного напора. Опыты проведены при постоянных значениях удельного расхода и глубины воды в нижнем бьефе. Исследованию подвергался один и тот же грунт при различных значениях напора. Результаты опытов представлены на рисунке 2. Как видно из графика, между глубиной воронки размыва и полным напором имеется тесная связь, которая может быть выражена зависимостью

$$T_0 = K \sqrt[3]{z}$$

Влияние размываемого материала. Наиболее слабо разработанным вопросом в теории местного размыва является учет влияния свойств размываемого материала на глубину воронки. Большинство предлагаемых зависимостей влияние грунта учитывается лишь одним средним диаметром частиц грунта. Такое упрощение не отражает влияния на размыв физико-механических свойств грунтов (удельный вес, степень неоднородности и т. д.). Нам представляется более целесообразным за основу исследований принять неразмывающую скорость для данного грунта, так как она служит мерилем сопротивляемости грунта к внешним деформирующим факторам.

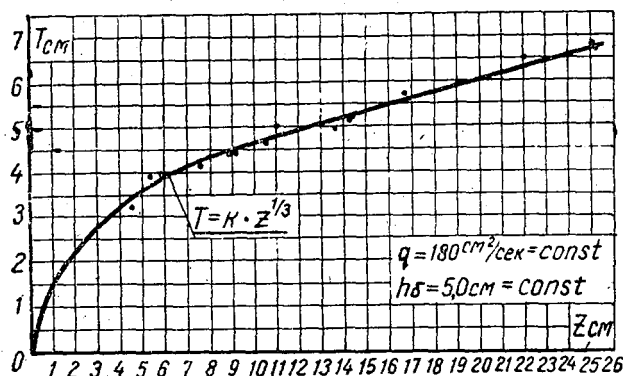


Рис. 2. График влияния величины полного напора на глубину воронки размыва.

Однако имеющиеся фактические экспериментальные материалы по исследованию неразмывающих скоростей не позволяют установить их значения, соответствующие равномерному движению потока.

Многими исследователями для определения неразмывающей скорости рекомендуются различные формулы, близкие по структуре зависимости Эри-Дюбуа. Одним из возможных путей определения v является изучение влияния диаметра размываемого материала при постоянном удельном весе грунта. В соответствии с этим нами было проведено 27 опытов при трех различных диаметрах размываемого грунта. Результаты опытов представлены на рисунке 3. Обработка данных экспериментов позволяет установить следующую зависимость:

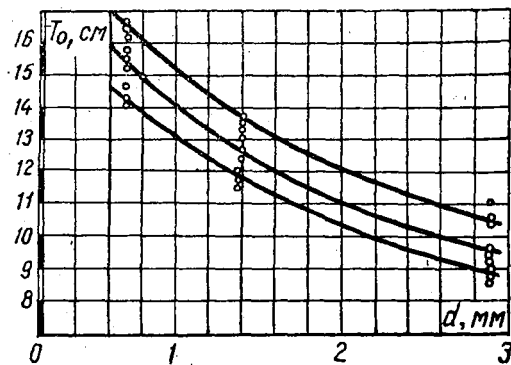


Рис. 3. График изменения глубины воронки размыва в зависимости от диаметра частиц размываемого грунта.

$$T_0 = \frac{\text{Const}}{\sqrt[3]{d}}$$

Примерно такая же зависимость рекомендуется А. Н. Набиевым.

Имея в виду, что неразмывающая скорость может быть представлена в виде $A\sqrt{gd}$, предыдущую формулу приводим к виду

$$T_0 = \frac{\text{Const}}{\sqrt{v_0^3}}$$

На основе экспериментальных данных, влияние глубины воды в нижнем бьефе на глубину воронки размыва установлено в виде зависимости

$$T_0 = \frac{\text{Const}}{h^{0,14-0,16}}$$

Теперь, зная закономерность влияния диаметра размываемого материала, а также глубины воды в нижнем бьефе на глубину воронки размыва, представляется возможным получить общую зависимость:

$$T_0 = \frac{\text{Const}}{\sqrt[3]{v_0^2 h^{0,42}}}$$

Так как подкоренное выражение представляет собой квадрат допускаемой скорости (по В. Н. Гончарову), то

$$T_0 = \frac{\text{Const}}{\sqrt[3]{v^2}}$$

Влияние степени неоднородности грунта. Водосбросные сооружения нередко воздвигаются в неоднородных грунтах, поэтому правильный учет степени неоднородности грунта при расчете возможной глубины воронки размыва является обязательным. Степень неоднородности грунта (n) определяется как отношение $d_{90\%}$ к $d_{50\%}$. На основе математической обработки результатов экспериментальных исследований А. Е. Тлеукабылова [6] установлена следующая связь:

$$T = \frac{T_0}{\sqrt[3]{n}}$$

где T_0 — глубина воронки размыва в однородном грунте;
 T — глубина воронки размыва в неоднородном грунте.

Влияние угла падения струи. Исследованиями многих авторов установлено, что угол падения струи оказывает значительное влияние на глубину местного размыва. При одних и тех же условиях с увеличением угла падения струи увеличивается глубина воронки размыва. Этого следует и ожидать, так как с увеличением угла наклона увеличивается сила динамического воздействия потока на размываемое ложе за счет уменьшения длины пути растекания. Влияние угла падения струи на глубину воронки размыва устанавливается на основе исследований Е. Я. Фроликовой и А. Е. Тлеукабылова. Значения K_a , вычисленные по уравнению (3), представлены в виде графика на рисунке 4, который показывает наличие

тесной связи между α и K_α . На основе графика нами установлены следующие соотношения для определения K_α :

а) поверхностный режим ($0^\circ < \alpha \leq 15^\circ$)

$$K_\alpha = 1,25 + \text{Sin}\alpha; \quad (4)$$

б) поверхностно-донный режим ($15^\circ < \alpha \leq 35^\circ$)

$$K_\alpha = 3,40 \text{Sin}2\alpha; \quad (5)$$

в) донный режим ($35^\circ < \alpha \leq 90^\circ$).

$$K_\alpha = 4,4 - \text{Sin}(90^\circ - \alpha). \quad (6)$$

При исследовании местного размыва М. С. Вызго было замечено, что падающая струя после входа в водяную подушку изменяет направление динамической оси. Величину угла наклона струи после входа ее в воронку размыва в зависимости от угла падения ее мы считаем возможным определить согласно рекомендации М. С. Вызго [1].

После установления влияния основных факторов на основе специально проведенных опытов считаем возможным оценить структуру основного расчетного уравнения по определению глубины воронки размыва.

Как известно, расчетное уравнение составлено из такого условия, что достаточно исследовать показатель степени при q для нахождения в общем виде его решения.

При неправильном учете некоторых факторов решение основного расчетного уравнения из этого условия было бы невозможным. Проведенные исследования свидетельствуют, что показатели степени при z и v , полученные на основе выполненных опытов, тождественны их значениям, полученным на основе решения исходного уравнения относительно показателя степени при q . Такое совпадение возможно только при правильном учете всех действующих факторов на глубину воронки размыва.

Расчет глубины воронки размыва производится по формуле:

$$T = K_\alpha \sqrt[3]{\left(\frac{q}{v}\right)^2 \frac{z}{n}}$$

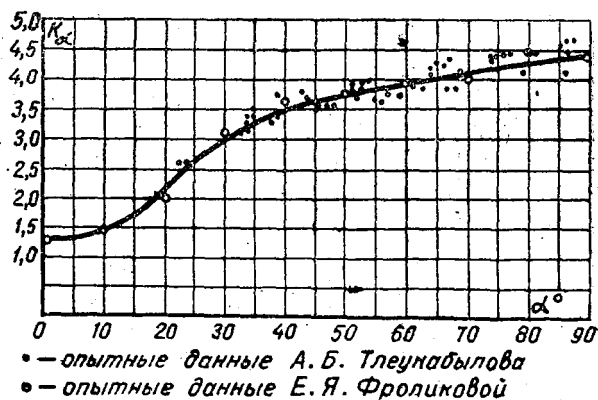


Рис. 4. График изменения размывающей способности потока в зависимости от угла падения струи.

Для грунтов с диаметром частиц $0,25 \div 1,5$ мм v определяется по формуле:

$$v = 35 \sqrt{d_{cp}} \lg \frac{8,8h}{d_{cp}} \text{ см/сек.}$$

Если диаметр размываемого грунта больше 1,5 мм, допускаемую скорость следует определять по формуле И. И. Леви:

$$\frac{h}{d} > 6; \quad v = 1,4 \sqrt{gd_{cp}} \lg \frac{12h}{d_{max}} \text{ м/сек.};$$

$$\frac{h}{d} = 10 \div 40; \quad v = 1,3 \sqrt{gd_{cp}} \left(0,8 + \frac{2}{3} \lg \frac{10h}{d_{max}} \right) \text{ м/сек.}$$

Значения K_a в зависимости от угла падения струи определяются по формулам (4), (5) и (6).

При определении глубины воронки размыва за консольными перепадами необходимо учитывать влияние аэрации потока, значение которого можно определять по данным М. С. Вызго [1].

Сопоставления фактических и расчетных глубин воронки размыва показывают вполне удовлетворительную сходимость результатов пересчета. Наряду с этим необходимо отметить, что по предлагаемой методике возможно моделирование местных размывов за гидротехническими сооружениями.

ЛИТЕРАТУРА

1. Вызго М. С. Эксплуатационные мероприятия, прогнозы и способы уменьшения местных размывов за гидротехническими сооружениями. Изд-во «Наука», Ташкент, 1966.
2. Кадыров А. А. Некоторые особенности местных размывов за горизонтальным креплением. «Вопросы гидротехники», Ташкент, 1965.
3. Кварацхелия Л. Д. К вопросу о местном размыве за креплением нижнего бьефа низконапорных и средненапорных гидроузлов. «Известия ТНИСГЭИ», т. 15, 1963.
4. Набиев А. Н. Глубина размыва падающей струей. Доклады АН УзССР, № 4, 1966.
5. Назир Ахмад. Механизм размыва за креплениями. Труды Международного съезда по гидравлике в Минесота, 1953 (перевод с английского).
6. Глеукабылов А. Е. О глубине размыва несвязного грунта падающей струей. «Вестник АН КазССР», № 7, 1961.

**НЕКОТОРЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО
ИССЛЕДОВАНИЯ ВЕРТИКАЛЬНОЙ ЗАТОПЛЕННОЙ
АЭРИРОВАННОЙ СТРУИ**

Э. Р. ЖУЛАЕВА, научный сотрудник

УДК 532.529.5+621.032 : 53

Движение двухфазной жидкости, в частности водовоздушной смеси, встречается при рассмотрении многих гидротехнических задач. Например, при сопряжении воды, падающей через водосбросные сооружения, с нижним бьефом, при движении воды в быстротоках и т. д. Однако теоретические и экспериментальные исследования движения вертикальных аэрированных потоков применительно к гидротехническим задачам до настоящего времени все еще находятся в начальной стадии. Это относится и к изучению движения затопленной аэрированной струи. Между тем установление закономерности движения затопленной аэрированной струи имеет важное значение при решении вопроса гашения энергии в нижнем бьефе гидротехнических сооружений.

Как известно, проблеме гашения энергии за гидротехническими сооружениями посвящено большое количество работ как наших, так и зарубежных ученых. В этих работах аэрация потока рассматривается как один из факторов, влияющих на глубину воронки размыва. Вместе с тем учет его производится лишь в некоторых работах последнего периода, притом чисто качественным образом. Практически влияние аэрации на изменение гидродинамических характеристик потока (скорость, толщина, глубина проникновения и т. д.) не изучено.

Из числа работ, посвященных изучению некоторых особенностей аэрированных струй, следует отметить пока работы Е. В. Плетневой [2]. Они посвящены изучению размыва и определению глубины воронки размыва русла, сложенного из несвязного грунта, без учета степени аэрированности потока. В целом в работе рассмотрены вопросы, характеризующие влияние аэрированности потока на глубину воронки размыва с качественной стороны.

В нашей статье приводятся некоторые результаты эксперимен-

тального исследования количественного влияния воздуха на закономерности растекания вертикально ниспадающей струи.

Экспериментальная установка и методика измерений. Установка, на которой проводился эксперимент, состояла из приемного бака, напорного бачка, подводящих и отводящих устройств и компрессора.

Приемный бак имел ширину 17 см, высоту 100 см и служил для приема сформированной плоской струи. Для наблюдения картины растекания струи боковые его стенки были застеклены. В торцевые стенки бака были встроены короткие отводящие лотки.

Напорный бачок устанавливался непосредственно над приемным баком и был снабжен подъемным устройством для изменения высоты его расположения. В дно бачка монтировались плоские насадки, предназначенные для формирования плоской струи необходимой толщины. Для регулирования горизонта воды бачок был снабжен водосливом. Аэрация ниспадающей струи осуществлялась подачей воздуха из компрессора в насадок. В одной серии опытов воздух подводился к нижнему концу насадка с обеих его сторон, а в другой серии — на высоте 20 см от конца насадка. Подвод воздуха к его концу был сделан для изучения влияния воздуха на растекание струи при постоянном ее расходе. Конструкция подводящего устройства обеспечивала равномерность подачи воздуха по ширине струи, а также исключала влияние количества движения воздуха на параметры струи.

Подача воды в напорный бачок производилась из большого напорного бака гидравлической лаборатории.

Исследования производились при затопленном конце насадка, что исключало захват струей воздуха из окружающей среды.

Для измерения скорости использовалась батарея из четырех трубок типа Пито, выполненных из нержавеющей игл с внутренним диаметром 1,5 мм. Одна трубка, имеющая отверстие на боковой поверхности, фиксировала статическое давление. Три остальные трубки, расположенные друг от друга на расстоянии 3,5 мм, использовались для определения скорости в центре струи. Причем крайние трубки располагались так, чтобы они давали одинаковые показания, тогда средняя определяла осевую скорость струи.

Нужно отметить, что ввод воздуха в водный поток приводит к пульсации пьезометрического давления, но характер и величина этих пульсаций мало чем отличаются от пульсаций, наблюдаемых в сплошном водном потоке. Поэтому трубки использовались для определения осредненной скорости аэрированных потоков.

Предварительные опыты были проведены для потоков с выходной скоростью из насадка 2—2,3 м/сек. Расход воды определялся объемным способом. В наших опытах он менялся от 2 до 3 л/сек.

Для учета степени аэрированности потока использовалась методика, основанная на измерении силы тока, пропускаемого через

датчик, помещенный в водовоздушную смесь. Показания датчика записывались на ленту самозаписывающего прибора постоянного и переменного тока НЗ70М. Предварительно производилась тарировка датчика в зависимости от концентрации воздуха в смеси при постоянных условиях температуры состава испытуемой воды и отсутствии магнитных возмущений. Для избежания последствий электролиза на датчик подается напряжение 5—10 в частотой 400 гц. Нужно отметить, что электроды должны быть выполнены из некоррозирующего материала.

Результаты опытов. При изучении движения вертикально ниспадающих струй важным является нахождение закономерности изменения осевой скорости, так как именно этим определяется степень гашения энергии потока при его распространении в какой-либо среде. В наших опытах производилось прежде всего изучение осевой скорости затопленных струй.

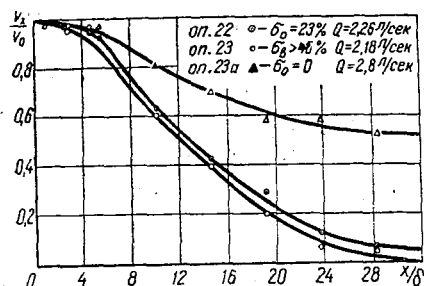


Рис. 1. Изменение относительной осевой скорости вдоль струи при различной степени азриации в начальном сечении.

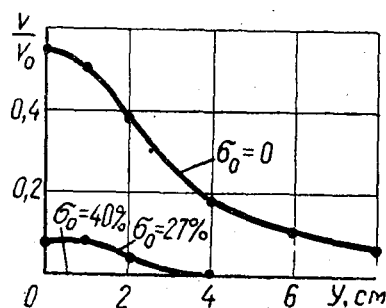


Рис. 2. Распределение скорости в поперечном сечении струи на расстоянии $x = 25,2 \text{ см}$ от начала истечения.

По данным некоторых опытов построены графики изменения осевой скорости азрированной и неазрированной струй при одинаковых расходах и скорости выхода струи из насадка (рис. 1). Из этих графиков видно, что осевая скорость азрированного потока убывает значительно быстрее, чем неазрированного потока. Достаточно сказать, что при первоначальной азрированности потока n 30—40% осевая скорость струи на расстоянии 30—35 калибров внутреннего размера щели насадка достигает нулевого значения, тогда как скорость такой же неазрированной струи составляет 50—60% от ее первоначальной величины.

Одновременно проводилось исследование струи в поперечных сечениях. За нулевое сечение в этом случае принимался уровень сопряжения струи с горизонтом воды в нижнем бьефе. При $\sigma_0 = 27,8\%$ на расстоянии $x = 20,2 \text{ см}$ от начала струи (это соответ-

ствует $\frac{ax}{\delta} = 18,34$ при $a = 1$) удается получить полное гашение энергии потока.

Для удобства сравнительного анализа законов растекания аэрированных и неаэрированных струй в поперечном сечении мы составили сводный график (рис. 2), на котором нанесены значения безразмерной скорости $\frac{v_y}{v_0}$ в сечении, отстоящем от начала струи на расстоянии $x = 25,2$ см, при различной первоначальной воздухонасыщенности. Здесь v_0 — начальная, или выходная скорость струи из насадка. Видно, что при $\sigma = 40\%$ струя не распространяется

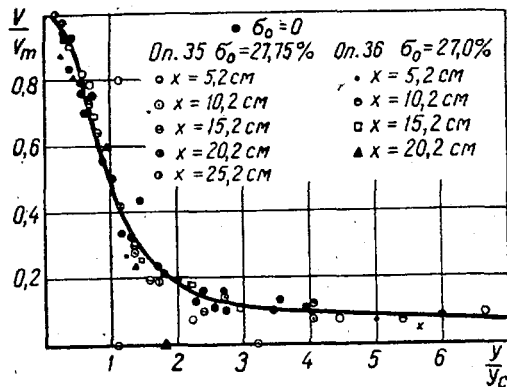


Рис. 3. Безразмерный профиль скорости в поперечном сечении струи.

далее 19 калибров от начала истечения. А это значит, что применительно к устойчивости грунта, слагающего дно бьефа, есть некоторая характерная для типа грунта степень первоначальной аэрированности потока, наиболее эффективная для гашения его энергии.

Интересным является график безразмерного профиля скорости в неаэрированной и аэрированной струе (рис. 3). Здесь y — расстояние от оси струи, а y_c — расстояние от оси до точки, в которой скорость равна половине осевой скорости v_m . Они свидетельствуют о том, что в сходных точках двух любых сечений основного участка струи безразмерные величины скорости одинаковы, то есть скоростные профили аффинны. Причем безразмерные скорости в сходных точках одинаковы для неаэрированных и аэрированных потоков. То есть можно с достаточной точностью принять, что при

$$\frac{y}{y_c} = \frac{y^a}{y_c^a} \quad \frac{v}{v_m} = \frac{v^a}{v_m^a}$$

Здесь индекс «а» относится к аэрированному потоку. Прежде чем привести данные экспериментальных исследований степени воздухонасыщенности (аэрации) струи, остановимся на некоторых качественных соображениях о закономерности изменения σ_x вдоль струи.

Рассмотрим плоскую задачу. Выделим некоторое поперечное сечение вертикальной аэрированной струи. Установим, от каких

факторов зависит степень аэрированности потока σ_x в этом сечении. Будем предполагать, что воздушные пузырьки в движущемся потоке приблизительно одного размера (φ 5—6 мм), что подтверждается нашими наблюдениями и данными других авторов [4]. Тогда можно характеризовать их движение одинаковыми параметрами. Очевидно, степень аэрации в данный момент времени в поперечном сечении будет определяться количеством оставшихся в нем воздушных пузырьков. При большей ширине струи σ_0 в начальном сечении через единицу боковой поверхности струи будет уходить меньшее по отношению к общему количеству число пузырьков.

Рассмотрим в сечении $x-x$ пузырек, отстоящий от оси ниспадающего потока на расстоянии y . Пусть \vec{v}_x — вектор скорости окружающей жидкости в точке расположения пузырька, v_b — вектор скорости всплытия пузырька в покоящейся воде; примем $v_b \approx 0,30$ м/сек. Очевидно, вектор скорости пузырька определится как

$$\vec{v}_n = \vec{v}_x + \vec{v}_b.$$

Ее проекция на ось x с учетом того, что скорость всплытия воздушного пузырька направлена перпендикулярно вверх и угол растекания струи мал ($\sim 5-6^\circ$), и что \vec{v}_b направлена почти вертикально, будет равна

$$v_{nx} = v_x - v_b.$$

Проекция этой скорости на ось y составит

$$v_{nxy} = (v_x - v_b) \cdot \sin \alpha_x.$$

Здесь α_x — угол между направлением скорости \vec{v}_n и осью x . Очевидно, что пузырек под действием этой составляющей скорости (v_{nxy}) постоянно будет перемещаться в сторону от оси струи. Чем ограниченнее в вертикальном направлении распространение струи, тем более будет выражена миграция пузырьков от оси струи. Время, необходимое для выхода пузырька от оси струи на ее наружную поверхность, составит

$$t = \frac{\delta_x - y}{v_{nxy}} = \frac{\delta_x - y}{(v_x - v_b) \cdot \sin \alpha_x}.$$

Здесь y — местоположение пузырька;

δ_x — толщина струи на расстоянии x от начала струи, равная

$$\delta_x = \delta_0 + ax,$$

где δ_0 — толщина струи в начальном сечении; a — некоторая величина, характеризующая растекание струи. С другой стороны, степень аэрации в сечении $x-x$ будет пропорциональна скорости потока, способной удержать воздушный пузырек $(v_x - v_b)$. Нижняя

граница водо-воздушной смеси будет определяться скоростью воды $\sim 0,25 \div 0,30$ м/сек.

Таким образом, в общем виде аэрацию водо-воздушной струи в поле силы тяжести можно определить как некоторую функцию вида:

$$\sigma_x = f(\delta_0, v_x - v_B, g).$$

Применяя теорию размерности, получим:

$$\sigma_x = A \left[\frac{(v_x - v_B)^2}{\delta_0 g} \right]^c.$$

Удовлетворяя граничным условиям:

$$x = 0; \sigma = \sigma_0; v_{x=0} = v_0;$$

$$x = x_0; \sigma = 0; v_{x=x_0} = v \sim 0,30 \text{ м/сек},$$

получим

$$\sigma_x = \sigma_0 = A \left[\frac{(v_0 - v_B)^2}{\delta_0 g} \right]^c.$$

Отсюда определится коэффициент A :

$$A = \sigma_0 \left[\frac{\delta_0 g}{(v_0 - v_B)^2} \right]^c,$$

тогда

$$\sigma_x = \sigma_0 \left(\frac{v_x - v_B}{v_0 - v_B} \right)^d. \quad (1)$$

При выводе зависимости (1) мы не учли диффузии воздушных пузырьков в водном потоке благодаря неоднородности скоростного поля в каждом сечении [5].

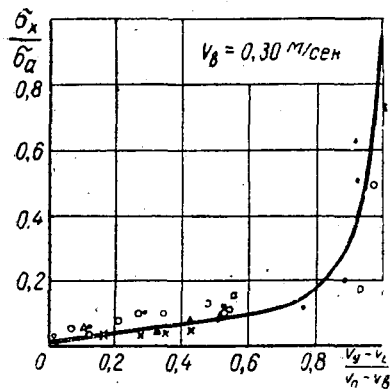


Рис. 4. Зависимость относительной степени аэрации на различной глубине от относительного изменения осевой скорости.

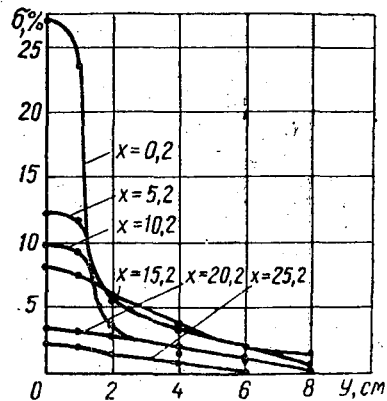


Рис. 5. Изменение степени аэрации поперек струи на различном расстоянии от начала истечения.

На рисунке 4 приведено изменение относительной аэрации струи по ее длине в зависимости от безразмерной скорости $\frac{v_x - v_B}{v_0 - v_B}$.

Обработка предварительных данных приводит к следующей эмпирической зависимости степени аэрации от скорости потока:

$$\frac{\sigma}{\sigma_0} = \frac{0,05a^{1/3}}{1,05 - a}, \text{ где } a = \frac{v_x - v_B}{v_0 - v_B}.$$

Изменение степени аэрации от сечения к сечению при растекании вертикально ниспадающего потока по ширине струи приведено на рисунке 5.

ВЫВОД

Проведенные предварительные исследования показали эффективность использования воздуха (аэрация струи) для гашения энергии вертикально ниспадающей струи водного потока.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Абрамович Г. Н.* Теория турбулентных струй. М., 1960.
2. *Плетнева Е. В.* Исследование влияния основных параметров потока на размыв несвязного грунта вертикально падающей струей. Диссертация, Институт энергетики АН КазССР, Алма-Ата, 1962.
3. *Чанишвили А. Г.* Экспериментальное исследование влияния захвата воздуха на интенсивность гашения энергии потока. «Известия», ТНИСГЭИ, т. 16, 1965.
4. *Чанишвили А. Г.* О гидравлической крупности в условиях взаимодействия между частицами. «Известия», ТНИСГЭИ, т. 13, 1961.
5. *Дементьев М. А.* Транспорт одиночного твердого тела неоднородным потоком жидкости. «Известия», ВНИИГ, т. 54, 1955.

ГИДРАВЛИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ ГАСИТЕЛЯ-РАСТЕКATEЛЯ

С. А. САРСЕКЕЕВ, кандидат технических наук,
М. Т. БЕКМУХАМЕДОВ, К. П. БЕКБЕРГЕНОВ, научные сотрудники

УДК 626.8 (26.05)

Развитие лиманного орошения призвано сыграть важную роль в выполнении программы дальнейшего подъема сельского хозяйства республики.

В настоящее время лиманное орошение в Казахстане получило широкое распространение; в 1964 г. общая площадь лиманов в республике составляла 1,4 млн. га. По наличию водоземельных ресурсов эти площади можно увеличить до 4—5 млн. га. Наиболее крупные системы лиманного орошения в настоящий момент сосредоточены в Актюбинской, Уральской, Карагандинской и ряде других северных областей Казахстана.

Высокие урожаи травосмеси и других сельскохозяйственных культур на лиманах достигаются благодаря правильному режиму затопления, который регулируется гидротехническими сооружениями. Однако, как показывает опыт эксплуатации, значительная часть систем лиманного орошения из-за неудовлетворительной работы сбросных сооружений не дает должного эффекта. Материалами обследований установлено, что из 95 осмотренных сооружений на 31 имеются значительные разрушения нижнего бьефа.

Такой большой процент случаев деформации нижнего бьефа сбросных сооружений в основном связан с применением на этих сооружениях обычных типов гасителей, методика расчета которых не учитывает особенности режима потока при сопряжении с руслом неограниченной ширины. Эти гасители в силу несовершенства их конструкций не обеспечивают в полной мере гашение избыточной кинетической энергии потока, в результате чего происходит интенсивный размыв нижнего бьефа и подмыв дамб вблизи сооружения. Необходимо отметить, что конструкции существующих типов гасителей применительно к сбросным сооружениям лиманов почти не исследованы, недостаточно изучены и обобщены причины их неудовлетворительной работы в условиях сопряжения с широким руслом.

В результате натурных исследований сбросных сооружений и лабораторных опытов на моделях представилось возможным разработать специальный тип гасителя, обеспечивающий уменьшение глубины воронки размыва при сопряжении потока с руслом большой ширины. Разработка конструкции гасителя производилась с установлением такой его формы, которая позволила бы наилучшим образом рассредоточить поток, проходящий через сооружение, и выпустить его в нижний бьеф в спокойном состоянии.

Рекомендуемый гаситель (рис. 1) представляет собой несколько приподнятый водобойный колодец с полукруглой фронтальной и двумя боковыми стенками-растекателями. Боковые стенки отделяют значительную часть транзитной струи, направляя ее против течения обратных токов, а фронтальная стенка служит препятствием в средней части транзитного потока и способствует более равномерному распределению удельных расходов по длине сливной грани. При этом транзитная струя, ударяясь о фронтальную стенку, теряет значительную часть кинетической энергии.

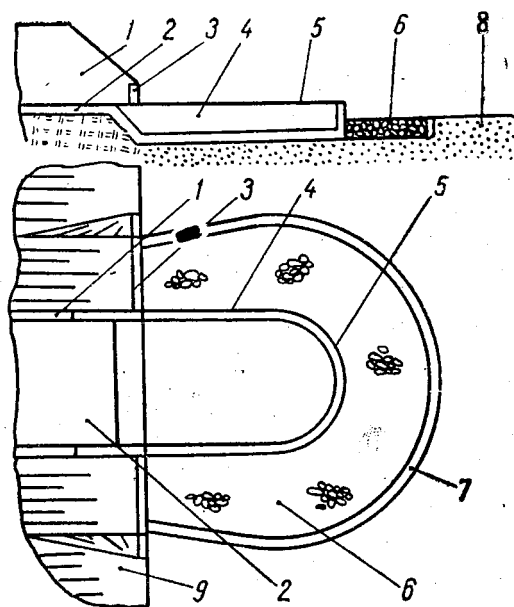


Рис. 1. Гаситель-растекатель:

1 — боковая стенка сооружения, 2 — дно водобоя, 3 — боковой отпрылок, 4 — боковая стенка гасителя, 5 — фронтальная стенка гасителя, 6 — рисберма (каменная мостовая), 7 — концевой зуб, 8 — отводящее русло.

Уменьшение размыва достигается благодаря равномерному распределению удельного расхода по всему сливному фронту гасителя и сокращению высоты вторичного перепада.

В отличие от обычных гасителей, где выходящая струя компактна, в данном случае поток рассредоточивается по всему сливному фронту.

Поэтому движение воды вдоль сливного порога будет с переменной массой.

Гидравлическим расчетом необходимо установить основные размеры предлагаемого гасителя. Для простоты рассмотрим прямо-

угольный в плане гаситель. Воспользуемся основным уравнением установившегося движения с переменным по пути расходом:

$$\frac{1}{g} \int \frac{1-m}{\omega} v \cdot dQ + \frac{\alpha v^2}{2g} + \frac{P}{\gamma} + z + h_f = \text{const.} \quad (1)$$

В приведенном уравнении [1] $m = \frac{v_1}{v}$, где v_1 и v — проекции скоростей отделяемой массы жидкости и основного потока на направление движения.

Рассматривая движение через боковые стенки гасителя как движение жидкости на участке бокового водослива [2], в первом приближении примем $m=1$. Тогда уравнение (1) в дифференциальной форме можно представить так:

$$d\left(\frac{\alpha v^2}{2g}\right) + d\left(\frac{P}{\gamma}\right) + dz + dh_f = 0. \quad (2)$$

Допустив, что потерями по длине гасителя h_f можно пренебречь, приняв дно колодца горизонтальным, то есть $z = \text{const}$, а распределение давления по гидростатическому закону $P = P_0 + \gamma h$, уравнение (2) можно записать:

$$d\left(\frac{\alpha v^2}{2g}\right) + dh = 0.$$

Интегрируя его в заданных пределах, можно привести к виду:

$$\frac{\alpha v^2}{2g} + h = \mathcal{E}_0 = \text{const.} \quad (3)$$

Как видно, получили уравнение, известное в гидравлике как постулат о постоянстве удельной энергии. Подставляя $v = \frac{Q}{\omega}$ и решая уравнение (3) относительно Q , получим:

$$Q = \sqrt{2g\omega^2(\mathcal{E}_0 - h)}. \quad (4)$$

Из анализа уравнения (4) легко установить, что расход Q в конечном сечении будет равен нулю в двух случаях: когда $h=0$ и $h=\mathcal{E}_0$.

Первый случай требует наибольшей длины крепленного участка, поэтому рассматриваться не будет. Рассмотрим второй случай. Из условия $h=\mathcal{E}_0$ проследим за изменением глубины потока на водосливном участке гасителя и определим его расчетную длину.

Сливной порог работает как водослив. Формула расхода записывается в виде:

$$Q = ml\sqrt{2g}(h-a)^{3/2}, \quad (5)$$

где l и a — соответственно длина и высота стенки гасителя;
 $(h-a)$ — глубина над порогом;
 m — коэффициент расхода.

Принимая во внимание, что в пределах элементарной длины напор над сливным порогом можно считать постоянным, запишем:

$$dQ = -m\sqrt{2g}(h-a)^{3/2}dl. \quad (6)$$

Знак минус в правой части уравнения указывает на уменьшение расхода по длине слива.

Для дальнейшего решения задачи воспользуемся основным уравнением движения жидкости с переменной массой в дифференциальной форме, которое после ряда допущений можно записать:

$$\frac{dh}{dl} = -\frac{\frac{Q}{g\omega^2} \frac{dQ}{dl}}{1 - \frac{Q^2}{g\omega^3} B}. \quad (7)$$

В уравнение (7) подставим значение Q из уравнения (4), а значение dQ — из уравнения (6), имея в виду, что $B=b$ и $\omega=b \cdot h$, и решив его относительно dl , получим:

$$dl = \frac{b}{2m} \left[\frac{3h - 2\mathcal{E}_0}{\sqrt{\mathcal{E}_0 - h(h-a)^{3/2}}} \right] dh, \quad (8)$$

где b — ширина входа в гаситель;

m — коэффициент расхода;

\mathcal{E}_0 — удельная энергия в рассматриваемом сечении.

В данном случае нас будет интересовать сечение, для которого числитель второй дроби уравнения (8) будет равен нулю, что возможно только при $\mathcal{E}_0 = \frac{3}{2}h$.

Из общего курса гидравлики известно, что такое равенство характеризует критическое состояние потока, то есть $h_{кр} = \frac{2}{3}\mathcal{E}_0$.

Отсюда приходим к заключению, что интегрирование дифференциального уравнения движения жидкости при установившемся режиме с переменным расходом вдоль боковой стенки гасителя возможно при h , отличном от $h_{кр}$.

Дифференциальное уравнение (8) после некоторого преобразования можно привести к виду

$$\frac{dh}{dl} = \frac{m}{b} \cdot \frac{\sqrt{(h-a)^2(\mathcal{E}_0-h)}}{\frac{3}{2}h - \mathcal{E}_0}. \quad (9)$$

Уравнение (9) характеризует изменение глубины потока на водосливном участке гасителя и представляет собой уравнение свободной поверхности при движении потока с переменным расходом вдоль пути. Из условия протекания жидкости через боковые стенки гасителя следует, что $h > a$ и $\mathcal{E}_0 > h$, поэтому числитель уравнения (9) всегда будет положительным числом и тип кривой свободной поверхности целиком зависит от знака знаменателя [3].

Рассмотрим знаменатель $\frac{3}{2}h - \mathcal{E}_0 \leq 0$.

Первый случай, когда $\frac{3}{2}h - \mathcal{E}_0 > 0$, то есть $h > \frac{2}{3}\mathcal{E}_0$.

Следовательно, $h > h_{кр} > a$. При этом знаменатель положительный. В пределах водосливного участка возникает кривая подпора $\Pi_k < 1$.

Второй случай — $\frac{3}{2}h - \mathcal{E}_0 < 0$, то есть $h < \frac{2}{3}\mathcal{E}_0$. Здесь знаменатель получается отрицательным, свободная поверхность потока характеризуется кривой спада $\Pi_k > 1$. Третий случай, когда $\frac{3}{2}h - \mathcal{E}_0 = 0$, поток находится в критическом состоянии. Второй и третий случаи, требующие большой длины гасителя, как экономически нецелесообразные с практической точки зрения, в дальнейшем рассматриваться не будут.

Таким образом, наиболее удачной формой сопряжения является случай, когда изменение глубины вдоль сливного участка приводит к образованию кривой подпора.

Для определения расчетной длины гасителя проинтегрируем уравнение (9) и решим его относительно l ; пределы интегрирования будут изменяться от h_1 до $h_2 = \mathcal{E}_0$ в конечном сечении

$$l = -\frac{b}{m} \left[\mathcal{E}_0 \int_{h_1}^{h_2} \frac{dh}{(h-a)^{3/2} \sqrt{\mathcal{E}_0-h}} - \frac{3}{2} \int_{h_1}^{h_2} \frac{h \cdot dh}{(h-a)^{3/2} \sqrt{\mathcal{E}_0-h}} \right]. \quad (10)$$

Интегрируя методом подстановок и вместо h_2 подставив \mathcal{E}_0 , получим

$$l = \frac{b}{m} \left[3 \left(\frac{\pi}{2} - \arcsin \sqrt{\frac{h_1-a}{\mathcal{E}_0-a}} \right) - \frac{2\mathcal{E}_0-3a}{\mathcal{E}_0-a} \sqrt{\frac{\mathcal{E}_0-h_1}{h_1-a}} \right]. \quad (10a)$$

Так как вторая производная уравнения (10 а) имеет отрицательный знак, то при некотором значении h_1 длина l имеет свой максимум. Для нахождения предельной длины гасителя вместо h_1 в уравнении (10 а) подставим $\frac{2}{3}\mathcal{E}_0$, тогда оно примет вид:

$$l_{max} = \frac{b}{m} \left[3 \left(\frac{\pi}{2} - \arcsin \sqrt{\frac{2\mathcal{E}_0-3a}{3(\mathcal{E}_0-a)}} \right) - \frac{2\mathcal{E}_0-3a}{\mathcal{E}_0-a} \sqrt{\frac{\mathcal{E}_0}{2\mathcal{E}_0-3a}} \right]. \quad (11)$$

Характер прыжка и связанные с ним условия благоприятной работы гасителя во многом зависят от высоты его фронтальной стенки. При наличии фронтальной стенки глубина воды (h_1) в начальной сливной части возрастает.

Глубину h_1 следует находить из следующего равенства:

$$\mathcal{E}_0 = h_1 + \frac{aQ^2}{2gb^3h_1^2}.$$

Это уравнение решается методом подбора, что требует значительной затраты времени. Ниже, основываясь на решении И. В. Филипповича [4], И. Н. Бронштейна и К. А. Семендяева [5], дается формула для определения этой начальной глубины (сечение 1—1):

$$h_1 = \frac{\mathcal{E}_0}{3} \left(1 + 2 \cos \frac{\varphi}{3} \right). \quad (12)$$

Вспомогательную величину $\cos \varphi$ находим из зависимости

$$\cos \varphi = 1 - 6,75 \frac{\alpha q^2}{g \mathcal{E}_0^3}. \quad (12a)$$

где \mathcal{E}_0 — удельная энергия потока в рассматриваемом сечении;
 α — коэффициент, учитывающий неравномерность распределения скоростей;
 q — удельный расход;
 g — ускорение свободного падения.

Вторая сопряженная глубина h'' (сечение 2—2) определяется по формуле:

$$h'' = \frac{h_c}{2} \left[\sqrt{1 + \frac{8\alpha q^2}{gh_c^3}} - 1 \right]. \quad (13)$$

Тогда \mathcal{E}_0 можно выразить через h'' , то есть

$$\mathcal{E}_0 = \sigma \cdot h'',$$

где σ — коэффициент затопления 1,1.

Таким образом, гидравлический режим потока над сливным порогом в целом зависит от степени затопления, которая может регулироваться изменением высоты фронтальной стенки гасителя. Как показывают лабораторные опыты, при постепенном уменьшении величины расхода наступает такой момент, когда при данной глубине воды над порогом ($h_1 - a$) и последующих ее убывающих значениях стенки гасителя будут работать как водослив. При этом удельный расход по длине стенок гасителя распределяется более или менее равномерно. Это обстоятельство имеет практическое значение, так как выбор удельного расчетного расхода сбросных сооружений лиманов не имеет еще обоснованных решений.

При работе гасителя как водослива напор над сливным порогом можно считать постоянным по всей длине, а распределение расхода — равномерным. Тогда расход определяется по формуле водослива (5). Фактическое же значение расхода, при котором гаситель начинает работать как водослив, можно подсчитать из следующего равенства:

$$a + \left(\frac{Q}{m\sqrt{2g}} \right)^{2/3} = \sigma h''. \quad (14)$$

Зная расчетный расход и глубину в начале гасителя (h), при заданной длине стенки высоту ее можно определить по уравнению (5). Однако в этом случае высота стенки получается очень большой, что экономически нецелесообразно. По данным наших опытов, диапазон изменения высоты стенки гасителя-растекателя, в котором

наблюдается благоприятный гидравлический режим (затопленный прыжок), колеблется в пределах $a = \mathcal{E}_0 - (0,6 \div 0,8) \text{ м}$.

Из уравнения (14) видно, что величина a зависит и от длины стенки. Однако надо помнить, что при чрезмерно большой длине часть слива не будет работать, а при очень малой — возрастают удельные расходы. В наших опытах как наиболее оптимальная она принята $l = (3,0 \div 3,5) B$, где B — ширина отверстия сооружения.

Окончательный выбор размеров гасителя должен решаться на основании технико-экономического сравнения вариантов, характеризующихся различными значениями a , l и др.

Порядок расчета следующий:

1. Определяем сжатую глубину:

$$h_c = \frac{q}{\varphi \sqrt{2g(T_0 - h_c)}}.$$

2. Определяем вторую сопряженную глубину гидравлического прыжка:

$$h'' = \frac{h_c}{2} \left[\sqrt{1 + \frac{8\alpha q^2}{gh_c^3}} - 1 \right].$$

3. Определяем значение \mathcal{E}_0 :

$$\mathcal{E}_0 = \sigma h''.$$

4. По формулам (12) и (12 а) определяем значение h_1 .

5. Назначаем высоту стенки гасителя a из условия затопления гидравлического прыжка с учетом глубины воды над порогом гасителя:

$$a = \mathcal{E}_0 - (0,6 \div 0,8 \text{ м}).$$

6. Определяем рабочую длину стенки гасителя:

$$l = \frac{b}{m} \left[3 \left(\frac{\pi}{2} - \arcsin \sqrt{\frac{h_1 - a}{\mathcal{E}_0 - a}} \right) - \frac{2\mathcal{E}_0 - 3a}{\mathcal{E}_0 - a} \sqrt{\frac{\mathcal{E}_0 - h_1}{h_1 - a}} \right].$$

7. Определяем значение расхода, с которого перелив будет осуществляться равномерно:

$$Q = 0,25 \left[\frac{a}{\sqrt[3]{\frac{\alpha}{gb^2} - \frac{0,4}{(ml\sqrt{2g})^2}}} \right]^{3/2} \text{ м}^3/\text{сек}.$$

ЛИТЕРАТУРА

1. Маккаев В. М. и Коновалов И. М. Гидравлика. Госэнергоиздат, 1940.
2. Руднев С. С. Боковые водосбросы. Госэнергоиздат, 1933.
3. Киселев П. Г. Справочник по гидравлическим расчетам. Госэнергоиздат, М., 1957.
4. Филиппович И. В. «Гидротехническое строительство», № 9, 1961.
5. Бронштейн И. Н. и Семендяев К. А. Справочник по математике. Изд-во «Наука». М., 1964.

УРАВНЕНИЯ ДВИЖЕНИЯ ПЛОСКОЙ АЭРИРОВАННОЙ ВЕРТИКАЛЬНОЙ СТРУИ В ПОКОЯЩЕЙСЯ ВОДЕ

Э. Р. ЖУЛАЕВА, *научный сотрудник*

УДК 532.511—532.517.4

До настоящего времени движение аэрированного потока остается одним из слабо изученных вопросов современной гидродинамики. Между тем в связи с развитием строительства высоконапорных плотин, а также бетонированных каналов с большими скоростями движения потока установление закономерностей движения аэрированного потока приобретает весьма важное значение.

В данной статье нами рассматриваются уравнения вертикально падающей затопленной аэрированной струи. В теоретическом отношении растекание аэрированной струи в массе покоящейся воды все еще не изучено. Из экспериментальных исследований следует отметить работы М. С. Вызго [2], [3], [4], [5] и Е. В. Плетневой [7], которые в основном ограничились оценкой суммарного влияния аэрации на глубину воронки размыва без каких-либо исследований закономерности изменения характеристик водовоздушной струи.

Рассмотрим особенности распространения аэрированной вертикальной струи в массе покоящейся воды.

Аэрированный поток представляет собой водо-воздушную смесь. Пузырьки воздуха имеют конечные размеры, поэтому точное описание процесса дифференциальными уравнениями, вообще говоря, невозможно. Уравнения движения аэрированного потока должны составляться лишь для конечных размеров выделенного объема жидкости, для которых уже неправомерно пренебрегать членами более высокого порядка малости. Уравнения могут быть составлены в предположении, что пузырьки воздуха весьма малы по своим размерам. Таким образом, дифференциальным уравнениям газожидкостного потока должны сопутствовать строгие условия применимости.

Будем характеризовать аэрированный поток в каждой точке пространства степенью аэрации α , дающей объемное содержание

воздуха в смеси. Насыщенность воздухом потока в каждой точке, как и остальные гидродинамические величины, характеризующие турбулентный поток, будет пульсирующей величиной.

Обозначим через σ_0 степень первоначальной аэрированности потока. В процессе растекания струи в массу воды происходит постепенное всплывание пузырьков, что приводит к уменьшению аэрированности потока вдоль струи. При скорости потока, равной средней гидравлической крупности всплытия воздушных пузырьков $v_b \approx 0,30$ м/сек, воздухонасыщенность потока равна нулю. Вместо отделяющихся пузырьков в струю поступает масса воды в объеме вытесненных пузырьков. Это явление приводит к значительным гидродинамическим потерям энергии струи.

Отделяющиеся из струи пузырьки далее попадают в зону циркуляции окружающей массы воды, вызывая уменьшение скорости жидкости в прилегающих к струе слоях вальцов. А это влечет за собой увеличение сопротивления окружающей массы жидкости движению струи.

Основными причинами миграции пузырьков, по нашему мнению, являются:

1) наличие горизонтальной составляющей вектора скорости. Эффект более выражен для струи в пространстве, ограниченном по вертикали;

2) неоднородность скоростного поля в поперечном сечении и вызванная этим разность давлений потока жидкости с боковых сторон воздушного пузырька (аналогия с возникновением подъемной силы при обтекании крыла самолета).

Уменьшение насыщенности водо-воздушного потока воздухом в продольном направлении происходит не только вследствие миграции воздушных пузырьков поперек струи. В известной мере оно будет вызвано сжатием воздуха, и на больших глубинах степень аэрации потока должна определяться через коэффициент аэрации потока у свободной поверхности (σ_0) по формуле

$$\sigma = \sigma_0 k, \quad k = \frac{1}{1 + \frac{\gamma x}{p_0}}, \quad (1)$$

где x — глубина погружения пузырьков,

p_0 — атмосферное давление,

γ — удельный вес воды.

Большое значение при изучении движения ниспадающей аэрированной струи имеет вопрос о закономерности распределения давления в зоне растекания струи. Основываясь на данных экспериментальных исследований, представляется возможным принять распределение давления (p) по глубине (x) подчиняющимся закону гидростатики, то есть $\frac{dp}{dx} = \gamma$.

Теперь с учетом вышеприведенных соображений рассмотрим уравнения, характеризующие движение плоской вертикально ниспадающей аэированной струи.

Для простоты будем рассматривать ее распространение в бесконечной среде.

Положение фиксированной точки пространства в области, занятой водо-воздушной смесью, будем определять с помощью декартовых координат x, y . Выделим в окрестности исследуемой точки элементарный параллелепипед со сторонами $\Delta x, \Delta y$. Чтобы уравнения, выведенные для этого элемента, были пригодны для описания поведения смеси в любой точке пространства, размер Δl элементарного объема ($x; x + \Delta x; y; y + \Delta y$) должен быть существенно больше размеров пузырьков с характерным размером d_* , а число n воздушных пузырьков в единице объема должно быть велико. То есть должны выполняться следующие условия:

$$d_* \leq \Delta l \ll L, \quad n \gg 1.$$

Таким образом, введение величины σ , характеризующей мгновенную степень аэрации водо-воздушного потока, возможно лишь при условии мелкой дисперсности частиц взвеси.

Уравнение неразрывности. Уравнение баланса массы для жидкого компонента аэированного потока в фиксированной точке пространства может быть представлено в виде

$$\frac{\partial}{\partial t} [\rho(1 - \sigma)] + \left\{ \frac{\partial}{\partial x} [\rho(1 - \sigma)u] + \frac{\partial}{\partial y} [\rho(1 - \sigma)v] \right\} = 0. \quad (2)$$

В частном случае, когда $\sigma = 0$, уравнение (2) переходит в уравнение неразрывности для однородного потока жидкости с плотностью ρ :

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} (\rho u) + \frac{\partial}{\partial y} (\rho v) = 0.$$

Уравнение баланса массы воздуха в водо-воздушном потоке может быть представлено в виде

$$\frac{\partial}{\partial t} \rho' \sigma + \frac{\partial}{\partial x} (\rho' \sigma u_*) + \frac{\partial}{\partial y} (\rho' \sigma v) = 0, \quad (3)$$

где ρ' — плотность воздуха;

$$u_* = u - v_v.$$

Сложив уравнения (2) и (3), получим уравнение баланса массы для неоднородного потока. Такие уравнения были получены ранее Г. И. Баренблаттом [1] для взвесенесущего потока.

При небольших глубинах проникновения воздуха в воду можно пренебречь сжатием воздуха. В гидротехнической практике глубина проникновения воздуха в массу воды может достигать 10 ÷ 30 м. В этом случае необходимо ввести поправку на сжимаемость воздуха.

Уравнение баланса массы воздуха с учетом сжимаемости воздуха для случая установившегося движения будет иметь вид:

$$\sigma \rho' \left(\frac{\partial u_*}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} \right) + \rho' \left(u_* \frac{\partial \sigma}{\partial x} + v \frac{\partial \sigma}{\partial y} \right) + \sigma u_* \frac{\partial \rho'}{\partial x} = 0. \quad (4)$$

При этом мы имеем в виду, что плотность меняется только по глубине потока.

Для определения градиента изменения плотности воздуха по глубине должны привлекаться следующие уравнения (считаем процесс изотермическим и пренебрегаем растворением воздуха в воде):

$$p\omega = p_0\omega_0 = \text{const}, \quad (5)$$

$$p = p_0 + \gamma_{\text{см}} x, \quad (6)$$

$$\rho'_0 \omega_0 = \rho' \omega, \quad (7)$$

где p_0 — атмосферное давление;

p — давление в исследуемой точке аэрированного потока;

ω_0, ω — соответственно рассматриваемый объем воздуха у свободной поверхности воды и в исследуемой точке;

ρ'_0, ρ' — плотность воздуха у свободной поверхности воды и в исследуемой точке;

$\gamma_{\text{см}}$ — удельный вес водо-воздушной смеси.

Величина $\gamma_{\text{см}}$ зависит от степени аэрированности потока, то есть $\gamma_{\text{см}} = \gamma_{\text{см}}(\sigma)$. В свою очередь, σ зависит от глубины, то есть $\sigma = \sigma(x)$, что приводит к зависимости $\gamma_{\text{см}}$ от x . Исходя из того, что в единице объема водо-воздушной смеси содержится воздуха $\sigma \cdot 1$, воды — $(1 - \sigma) \cdot 1$, определим приведенную плотность аэрированного потока:

$$\gamma_{\text{см}} = [\rho' \sigma + \rho(1 - \sigma)]g. \quad (8)$$

Решая систему уравнений (5) — (8) относительно ρ' , определим плотность воздуха в потоке:

$$\rho' = \rho'_0 \frac{1 + \frac{p}{p_0} (1 - \sigma)gx}{1 - \frac{\rho'_0}{p_0} \sigma gx}.$$

Дифференцируя вышеприведенное равенство по глубине потока и пренебрегая плотностью воздуха (ρ'_0) по сравнению с плотностью воды, получим окончательно:

$$\frac{\partial \rho'}{\partial x} = \rho'_0 \frac{\rho_0 g}{p_0} \rho_0^1 \frac{1 - \left(\sigma + x \frac{\partial \sigma}{\partial x} \right)}{1 - \frac{\rho'_0 g}{p_0} x \sigma}. \quad (9)$$

Уравнения (2), (4), (9) описывают сохранение массы взвесенесущего потока с удельным весом $\gamma_{\text{см}}$.

Уравнение переноса количества движения. В связи с тем, что поставленная нами задача исследования связана с проблемой гашения энергии потока в нижнем бьефе гидросооружений, в дальнейшем мы будем рассматривать лишь поведение жидкого компонента водо-воздушной смеси.

Подсчитаем изменение количества движения жидкого компонента аэрированного потока в фиксированном параллелепипеде с длиной ребер Δx , Δy .

Количество движения в фиксированном объеме изменяется за счёт:

- 1) входа и выхода масс через границы объема;
- 2) действия импульса внешних массовых сил;
- 3) действия импульса поверхностных сил напряжений.

В момент времени t масса жидкости, заключенная в элементе объема, имеет вектор количества движения, равный

$$[(1 - \sigma)\rho\vec{V}]_t \cdot \Delta x \cdot \Delta y \cdot 1.$$

В момент времени $t + \Delta t$ вектор количества движения данного элемента составит

$$[\rho(1 - \sigma)\vec{V}]_{t + \Delta t} \cdot \Delta x \cdot \Delta y \cdot 1 = \left\{ [(1 - \sigma)\rho\vec{V}]_t + \frac{\partial}{\partial t} [(1 - \sigma)\rho\vec{V}] \cdot \Delta t + \dots \right\} \Delta x \cdot \Delta y \cdot 1.$$

Следовательно, приращение количества движения массы воды, заключенной в элементарном объеме, будет равно

$$\frac{\partial}{\partial t} [(1 - \sigma)\rho\vec{V}] \Delta t \cdot \Delta x \cdot \Delta y \cdot 1 + \dots$$

Здесь точками помечены члены более высокого порядка малости.

Теперь проконтролируем изменение количества движения за счет входа и выхода массы через грани. Через грань, перпендикулярную оси x , входящая масса $[\rho(1 - \sigma)u] \cdot \Delta y \cdot 1 \cdot \Delta t$ внесет в элемент объема вектор количества движения

$$[\rho(1 - \sigma)u\vec{V}]_x \cdot \Delta y \cdot 1 \cdot \Delta t;$$

через противоположную грань выйдет масса с вектором количества движения, равным

$$[\rho(1 - \sigma)u\vec{V}]_{x + \Delta x} \cdot \Delta y \cdot 1 \cdot \Delta t = \left\{ [\rho(1 - \sigma)u \cdot \vec{V}]_x + \frac{\partial}{\partial x} [\rho(1 - \sigma)u \cdot \vec{V}] \cdot \Delta x + \dots \right\} \Delta y \cdot 1 \cdot \Delta t \dots$$

Следовательно, внутри элементарного объема задержится вектор количества движения, равный

$$- \frac{\partial}{\partial x} [\rho(1 - \sigma)u \cdot \vec{V}] \Delta x \cdot \Delta y \cdot 1 \cdot \Delta t + \dots$$

При прохождении через грани, перпендикулярные оси y , задержится вектор количеств движений

$$- \frac{\partial}{\partial y} [\rho(1-\sigma)v \cdot \vec{V}] \Delta x \cdot \Delta y \cdot 1 \cdot \Delta t + \dots$$

Следовательно, приращение количеств движения в элементарном объеме за счет входа и выхода масс составит

$$- \left\{ \frac{\partial}{\partial x} [\rho(1-\sigma)u \cdot \vec{V}] + \frac{\partial}{\partial y} [\rho(1-\sigma)v \cdot \vec{V}] \right\} \cdot \Delta x \cdot \Delta y \cdot 1 \cdot \Delta t + \dots$$

То есть уравнение количества движения жидкого компонента водовоздушной смеси будет выглядеть следующим образом:

$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial t} [\rho(1-\sigma)\Delta \cdot \vec{V}] \cdot \Delta x \cdot \Delta y \cdot 1 \cdot \Delta t = & - \left\{ \frac{\partial}{\partial x} [\rho(1-\sigma)u \vec{V}] + \right. \\ & \left. + \frac{\partial}{\partial y} [\rho(1-\sigma)v \vec{V}] \right\} \Delta x \cdot \Delta y \cdot 1 \cdot \Delta t + \sum \vec{F}_i \cdot \Delta x \cdot \Delta y \cdot 1 \cdot \Delta t, \end{aligned}$$

где $\sum \vec{F}_i \cdot \Delta x \cdot \Delta y \cdot 1 \cdot \Delta t$ — импульс сил.

Отнесем процесс к единице объема в единицу времени. Тогда, дифференцируя это уравнение и объединив члены при V , получим:

$$\begin{aligned} \vec{V} \left\{ \frac{\partial}{\partial t} [\rho(1-\sigma)] + \frac{\partial}{\partial x} [\rho(1-\sigma)u] + \frac{\partial}{\partial y} [\rho(1-\sigma)v] \right\} + \rho(1-\sigma) \frac{\partial \vec{V}}{\partial t} = \\ = - \left[\rho(1-\sigma)u \frac{\partial \vec{V}}{\partial x} + \rho(1-\sigma)v \frac{\partial \vec{V}}{\partial y} \right] + \sum \vec{F}_i. \end{aligned}$$

Выражение в фигурных скобках в левой части этого уравнения есть уравнение неразрывности, поэтому оно перепишется, после сокращения на $\rho(1-\sigma)$, следующим образом:

$$\frac{\partial \vec{V}}{\partial t} + u \frac{\partial \vec{V}}{\partial x} + v \frac{\partial \vec{V}}{\partial y} = \frac{1}{\rho(1-\sigma)} \sum \vec{F}_i. \quad (10)$$

Введем полный дифференциал $\frac{d\vec{V}}{dt}$, тогда

$$\frac{d\vec{V}}{dt} = \frac{1}{\rho(1-\sigma)} \sum \vec{F}_i.$$

В частном случае при $\sigma=0$ оно переходит в уравнение движения несжимаемой жидкости. Уравнение (10) аналогично уравнению, полученному Г. И. Баренблаттом для взвесенесущего потока [1].

В аэрированных потоках дополнительное изменение количеств движения будет происходить за счет воды, поступающей на место мигрирующих воздушных пузырьков. Вода, заполняющая место уходящего пузырька, в общем случае имеет скорость \vec{V}_1 , отличную от скорости потока в данной точке. Поэтому происходит постоянная трата энергии потока на преодоление инерционных сил в месте соприкосновения потока с уходящим пузырьком воздуха. Говоря

другими словами, в азированном потоке постоянно существует дополнительный источник изменения количества движения потока. Этим обуславливаются существенные гидродинамические потери в этих потоках.

Пренебрегая миграцией за счет неоднородности поперечного скоростного поля потока, рассмотрим изменение количества движения потока за счет жидкости, поступающей вместо пузырьков, мигрирующих вследствие растекания потока. Для этого определим число воздушных пузырьков, мигрирующих из единицы объема в единицу времени. Число пузырьков, уходящих в определенном направлении в единицу времени из элементарного объема в точке потока (x, y) с проекциями скорости жидкости (u, v) , можно принять пропорциональным абсолютной величине, соответствующей проекции скорости жидкости и концентрации пузырьков σ . Предположим, что частицы взвеси обладают одинаковым характерным размером d_* (при соблюдении условия мелкодисперсности частиц). Если предположить каждую частицу шарообразной, то объем каждого

пузырька равен $\frac{\pi d_*^3}{6}$. Тогда изменение массы жидкости в элементе

$(x, x + \Delta x; y, y + \Delta y)$, обуславливающее добавочное изменение количества движения вследствие миграции пузырьков, будет равно массе воды, заключенной в объеме мигрирующих пузырьков. Полное изменение количества воздушных пузырьков, мигрирующих из единицы объема благодаря растеканию струи, определяется уравнением

$$\frac{\partial n}{\partial t} = \left[\frac{\partial}{\partial x} (D_x \sigma u_*) + \frac{\partial}{\partial y} (D_y \sigma v) \right]. \quad (11)$$

Введем скорость $\vec{V}_* = \vec{V}_1 + \vec{V}$, где \vec{V}_1 — вектор мгновенной скорости жидкости, поступающей взамен мигрирующих пузырьков. Для установления ее величины требуется постановка специальных экспериментов; \vec{V} — вектор мгновенной скорости потока (жидкости) в данной точке. Тогда добавочное изменение количества движения потока вследствие миграции пузырьков составит

$$-\frac{\pi d_*^3}{6} \rho \left[\frac{\partial}{\partial x} (D_x \sigma u_* \vec{V}_*) + \frac{\partial}{\partial y} (D_y \sigma v \cdot \vec{V}_*) \right] \Delta x \cdot \Delta y \cdot 1 \cdot \Delta t$$

или, если ввести $\rho_* = \rho(1 - \sigma)$,

$$-\frac{\pi d_*^3}{6} \left[\frac{\partial}{\partial x} \left(D_x \frac{\sigma}{1 - \sigma} \rho_* u_* \vec{V}_* \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(D_y \frac{\sigma}{1 - \sigma} \rho_* v \vec{V}_* \right) \right] \cdot \Delta x \cdot \Delta y \cdot 1 \cdot \Delta t.$$

То есть изменение полного количества движения определится следующим равенством:

$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial t}(\rho_* \vec{V}) \cdot \Delta t \cdot \Delta x \cdot \Delta y \cdot 1 = & - \left[\frac{\partial}{\partial x}(\rho_* u \vec{V}) + \frac{\partial}{\partial y}(\rho_* v \vec{V}) \right] \cdot \Delta t \cdot \Delta x \cdot \Delta y \cdot 1 - \\ & - \frac{\pi d_*^3}{6} \left[\frac{\partial}{\partial x} \left(D_{x1-\sigma} \rho_* u_* \vec{V}_* \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(D_{y1-\sigma} \rho_* v_* \vec{V}_* \right) \right] \cdot \Delta x \cdot \Delta y \cdot 1 \cdot \Delta t + \\ & + \sum \vec{F}_i \cdot \Delta t \cdot \Delta x \cdot \Delta y \cdot 1. \end{aligned}$$

Относя процесс к единице времени в единице объема, переносим влево и группируя члены, получим динамическое уравнение движения аэрированного потока

$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial t} \rho_* \vec{V} + \frac{\partial}{\partial x} \left[\rho_* u \vec{V} + \frac{\pi d_*^3}{6} D_{x1-\sigma} \rho_* u_* \vec{V}_* \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[\rho_* v \vec{V} + \right. \\ \left. + \frac{\pi d_*^3}{6} D_{y1-\sigma} \rho_* v_* \vec{V}_* \right] = \sum \vec{F}_i. \end{aligned} \quad (12)$$

В правой части этого уравнения $\sum \vec{F}_i$ представляет собой сумму сил, действующих на водо-воздушную смесь в единице объема: 1 — массовая сила, в нашем случае — сила тяжести, равная $\rho(1-\sigma)g$; 2 — поверхностные силы. Принимаем распределение давления в зоне растекания струи подчиняющимся закону гидростатики, то есть

$$\frac{\partial p}{\partial x} = \rho g;$$

3 — силы гидродинамического сопротивления;

4 — реактивная сила, обусловленная замещением места мигрирующих пузырьков жидкостью, окружающей пузырек. В общем случае последняя пропорциональна скорости ухода пузырьков из единицы объема.

Вышеприведенный вывод уравнения количества движения жидкого компонента водо-воздушной смеси с учетом миграции воздушных пузырьков и замещения их жидкостью был дан в предположении изотропности распределения аэрации в потоке, а также некоторого фиктивного характерного размера пузырьков.

Ниже приводится поправка к уравнению количества движения жидкого компонента потока, учитывающая миграцию воздушных пузырьков и замещение их водой, без этих упрощающих предположений.

Дадим вывод для установившегося процесса.

Рассмотрим в момент времени t элементарный объем водо-воздушной смеси с массой жидкости $m = \rho(1-\sigma) \cdot \Delta x \cdot \Delta y \cdot 1$. Пусть за время Δt из этого объема мигрируют пузырьки воздуха с объемом $\Delta \sigma \cdot \Delta x \cdot \Delta y \cdot 1$. Вместо мигрировавших пузырьков в рассматриваемый элементарный объем поступает дополнительная масса воды

$\Delta m_\sigma = \sigma \cdot \Delta x \cdot \Delta y \cdot 1 \cdot \Delta \sigma$, вектор скорости которой равен \vec{V}_1 . Здесь и далее индекс σ обозначает поправку к некоторой величине, обусловленную миграцией воздушных пузырьков.

Количество движения водо-воздушной смеси, заключенной в элементарном объеме, в момент времени $t + \Delta t$ будет равно

$$\vec{Q}_1 = (m + \Delta m) (\vec{V} + \Delta \vec{V}_\sigma) = m \vec{V} + \vec{V} \cdot \Delta m + m \cdot \Delta \vec{V}_\sigma + \Delta m \cdot \Delta \vec{V}_\sigma.$$

Пренебрегая вследствие малости произведением $\Delta m \cdot \Delta \vec{V}_\sigma$ и имея в виду закон сохранения количества движения, будем иметь

$$m \vec{V} + \vec{V} \cdot \Delta m + m \cdot \Delta \vec{V}_\sigma = m \vec{V} + \Delta m \cdot \vec{V}_1,$$

откуда

$$\Delta \vec{V}_\sigma = \frac{\Delta m}{m} (\vec{V}_1 - \vec{V}).$$

Ускорение массы жидкости в элементарном объеме, обусловленное замещением места мигрирующих пузырьков водой, составит

$$\frac{d\vec{V}_\sigma}{dt} = \frac{\vec{V}_1 - \vec{V}}{m} \cdot \frac{dm}{dt} = \frac{\vec{V}_1 - \vec{V}}{1 - \sigma} \cdot \frac{d\sigma}{dt} \Delta x \cdot \Delta y \cdot 1.$$

Имея в виду, что $dt = \frac{dx}{u}$, перепишем данное уравнение так:

$$\frac{d\vec{V}_\sigma}{dt} = \frac{\vec{V}_1 - \vec{V}}{m} u \frac{d\sigma}{dx} \Delta x \cdot \Delta y \cdot 1. \quad (13)$$

Как видно из этой зависимости, при прочих равных условиях величина $\frac{d\vec{V}_\sigma}{dt}$ прямо пропорциональна разности скоростей $\vec{V}_1 - \vec{V}$ и интенсивности изменения $\frac{d\sigma}{dx}$.

Осреднение по методу Рейнольдса уравнения изменения количества движения жидкого компонента плоского аэрированного потока без учета миграции воздушных пузырьков с последующим замещением их места водой, приводит к уравнению для составляющей скорости движения по направлению оси x :

$$\frac{\partial \bar{u}}{\partial t} + \bar{u} \frac{\partial \bar{u}}{\partial x} + \bar{v} \frac{\partial \bar{u}}{\partial y} = \frac{1}{1 - \sigma} \left\{ \sum \bar{F}_i - \frac{\partial}{\partial x} \bar{u}'^2 (1 - \sigma) - \frac{\partial}{\partial y} \bar{u}' v' (1 - \sigma) - \bar{u} \left[\frac{\partial}{\partial x} \bar{\sigma}' u' + \frac{\partial}{\partial y} \bar{\sigma}' v' \right] \right\}. \quad (14)$$

Как видно из этого уравнения, в аэрированном потоке возникают добавочные турбулентные напряжения следующего вида (вязким, ньютоновским напряжением пренебрегаем):

$$-\frac{\partial}{\partial x} \bar{u}'^2 (1 - \sigma) - \frac{\partial}{\partial y} \bar{u}' v' (1 - \sigma) - \bar{u} \left[\frac{\partial}{\partial x} \bar{\sigma}' u' + \frac{\partial}{\partial y} \bar{\sigma}' v' \right],$$

где u' , v' — пульсационные скорости по направлениям осей x , y ;
 σ' — пульсация во времени степени аэрации потока.

Черточка над буквой означает осредненные величины по времени. Смысл первых двух членов аналогичен принятым в гидродинамике. То есть первый член представляет дополнительное давление на стенки, ограничивающие жидкость. Второй член обусловлен макропереносом количеств движения конечных объемов жидкости водо-воздушной смеси между слоями осредненного движения за счет поперечных пульсаций.

Третий член (в квадратных скобках) представляет собой изменение количества движения за счет изменения массы жидкости вследствие пульсаций степени воздухонасыщенности и скорости потока в направлении осей x , y .

С учетом миграции воздушных пузырьков и замещения их места водой, динамическое уравнение движения аэрированного потока по направлению оси x должно быть записано следующим образом:

$$\frac{\partial \bar{u}}{\partial t} + \bar{u} \frac{\partial \bar{u}}{\partial x} + \bar{v} \frac{\partial \bar{u}}{\partial y} = \frac{1}{1-\bar{\sigma}} \left\{ -g\bar{\sigma} - \frac{\partial}{\partial x} \bar{u}'^2 (1-\bar{\sigma}) - \frac{\partial}{\partial y} \bar{u}'v' (1-\bar{\sigma}) - \bar{u} \left[\frac{\partial}{\partial x} \bar{\sigma}'u' + \frac{\partial}{\partial y} \bar{\sigma}'v' \right] \right\} - \frac{V_{1x} - \bar{u}}{1-\bar{\sigma}} \bar{u} \frac{d\bar{\sigma}}{dx}. \quad (14 \text{ а})$$

При $\bar{\sigma}=0$ уравнение переходит в обычное уравнение струи несжимаемой жидкости.

Применительно к распространению аэрированного потока, происходящему с турбулентным перемешиванием, более интенсивным по сравнению с обычным турбулентным перемешиванием в однородном потоке жидкости, можно пренебречь вязким напряжением.

Пренебрегаем турбулентным напряжением, обусловленным продольной составляющей пульсации. С учетом сказанного динамическое уравнение движения аэрированного потока по его оси может быть записано так:

$$\frac{\partial \bar{u}}{\partial t} + \bar{u} \frac{\partial \bar{u}}{\partial x} + \bar{v} \frac{\partial \bar{u}}{\partial y} = \frac{1}{1-\bar{\sigma}} \left\{ -g\bar{\sigma} - \frac{\partial}{\partial y} \bar{u}'v' (1-\bar{\sigma}) - \bar{u} \left[\frac{\partial}{\partial x} \bar{\sigma}'u' + \frac{\partial}{\partial y} \bar{\sigma}'v' \right] \right\} - \frac{V_{1x} - \bar{u}}{1-\bar{\sigma}} \bar{u} \frac{d\bar{\sigma}}{dx}. \quad (15)$$

В данной стадии изученности последним членом пренебрегаем, так как определение \vec{V}_1 в функции \vec{V} требует постановки специальных исследований.

Применительно к растеканию вертикальной аэрированной струи уравнения (12) и (15) должны решаться при следующих граничных условиях:

$$x = 0, \quad \sigma = \sigma_0, \quad u = u_0; \quad (16)$$

$$x = x_0, \quad \sigma = 0, \quad u = v_B \approx 0,30 \text{ м/сек.} \quad (16 \text{ а})$$

С учетом условия (16 а) можно определить нижнюю границу проникновения воздушных пузырьков, то есть зону, где скорость потока становится равной гидравлической крупности воздушных пузырьков.

В общем случае величина v_B является некоторой функцией от относительного объема взвешенных частиц. Проведенные экспериментальные исследования дают следующую эмпирическую зависимость относительной гидравлической крупности пузырьков

$$\left(\frac{v_B}{v_{B0}}, v_{B0} = 0,27 \text{ м/сек} \right)$$

от степени аэрации [15]:

$$\frac{v_B}{v_{B0}} = 6,17\sigma^2 - 3,72\sigma + 1. \quad (16б)$$

К перечисленным условиям необходимо добавить закономерность изменения степени аэрации по глубине и ширине струи. Проведенные предварительные исследования вертикальной плоской затопленной аэрированной струи показали неравномерность распределения степени аэрации по ширине струи: она убывает к границам струи. Для изменения аэрации потока по оси струи оказывается возможным принять следующую эмпирическую закономерность:

$$\sigma = \sigma_0 \left(1 - \frac{x}{x_0} \right)^n, \quad (16в)$$

где σ_0 — степень аэрации потока в начальном сечении;

x_0 — характерный параметр струи, дающий глубину проникновения воздушных пузырьков;

Учитывая касательное напряжение, силу тяжести и поверхностное давление и принимая во внимание вышесказанное, произведем приближенное интегрирование уравнения

$$\frac{d\bar{u}}{dt} = - \frac{g\bar{\sigma}}{1-\bar{\sigma}} - \frac{\partial}{\partial y} \bar{u}'v'(1-\bar{\sigma}). \quad (17)$$

Рассматривая установившееся распространение струи, примем следующее условие ее растекания:

$$b_x = b_0 + \beta x, \quad (18)$$

где b_0 — первоначальная ширина струи;

b_x — ширина струи на глубине x ;

β — некоторая константа, характеризующая растекание струи. В реализуемых на практике условиях растекания аэрированных струй естественно предположить, что $\beta \neq \text{Const}$, а является некоторой функцией x .

Пользуясь теоремой о среднем значении и интегрируя по ширине струи, будем иметь:

$$b \frac{d\bar{u}_{\text{ср}}}{dt} = - \frac{g\bar{\sigma}_{\text{ср}}}{1-\bar{\sigma}_{\text{ср}}} b + \left[\frac{\partial}{\partial y} \bar{u}'v'(1-\bar{\sigma}) \right]_{\text{ср}} \cdot b,$$

где $\bar{u}_{\text{ср}}$, $\bar{\sigma}_{\text{ср}}$ — осредненные во времени и по сечению струи — соответственно скорость и степень аэрации потока;
 $\left. \frac{\partial}{\partial y} \overline{u'v'} (1 - \bar{\sigma}) \right|_{\text{ср}}$ — осредненное во времени и по сечению струи дополнительное ускорение за счет добавочного турбулентного напряжения.

Имея в виду, что $dt = \frac{dx}{u}$, а величина $q_x = \bar{u}(1 - \bar{\sigma}_{\text{ср}}) \cdot b$ представляет удельный расход жидкости в струе, после умножения на $(1 - \bar{\sigma}_{\text{ср}})$ приведем вышеприведенное уравнение к виду

$$q_x d\bar{u}_{\text{ср}} = -g\bar{\sigma}_{\text{ср}} b dx - \left. \frac{\partial}{\partial y} \overline{u'v'} (1 - \bar{\sigma}) \right|_{\text{ср}} \cdot b \cdot dx.$$

Исходя из классических представлений о длине пути перемещения, последний член этого уравнения можно представить в виде

$$\left(\frac{\partial \bar{\tau}}{\partial y} \right)_{\text{ср}} = \left. \frac{\partial}{\partial y} \rho \overline{u'v'} (1 - \bar{\sigma}) \right|_{\text{ср}},$$

где $\bar{\tau}$ будет представлять касательное напряжение, обусловленное поперечными пульсациями скорости в аэрированном потоке. Имея в виду это, а также условие (18), перепишем окончательно уравнение (17):

$$q_x d\bar{u}_{\text{ср}} = -g\bar{\sigma}_{\text{ср}} (b_0 + \beta x) dx - \frac{1}{\rho} \left(\frac{\partial \bar{\tau}}{\partial y} \right)_{\text{ср}} \cdot (b_0 + \beta x) \cdot dx.$$

Интегрируя его, получим:

$$\int_{u_0}^u q_x d\bar{u}_{\text{ср}} = - \int_0^x g\bar{\sigma}_{\text{ср}} (b_0 + \beta x) dx - \int_0^x \frac{1}{\rho} \left(\frac{\partial \bar{\tau}}{\partial y} \right)_{\text{ср}} (b_0 + \beta x) dx. \quad (19)$$

Произведем осреднение величин по длине струи. Имея в виду, что $q_x = Aq_0$, где $A > 1$, aq_0 — расход воды в начальном сечении струи, и проинтегрировав вышеприведенное уравнение, получим:

$$q_0 \bar{A} (u_0 - \bar{u}_{\text{ср}x}) = g\bar{\sigma}_{\text{ср}} \left(b_0 x + \frac{\beta}{2} x^2 \right) + \frac{1}{\rho} \left(\frac{\partial \bar{\tau}}{\partial y} \right)_{\text{ср}} \left(b_0 x + \frac{\beta}{2} x^2 \right).$$

Задаваясь некоторым значением скорости потока, близким к гидравлической крупности и учитывая, что в условиях растекания струй можно пренебречь первым членом в выражении $b_0 x + \frac{\beta}{2} x^2$, принимая $u_0 = \sqrt{2gz_0}$, получим следующую формулу для определения глубины проникновения струи в массу жидкости:

$$x = \frac{\sqrt{2A\sqrt{2g}}}{\sqrt{\beta g\bar{\sigma}_{\text{ср}} + \frac{\beta}{\rho} \left(\frac{\partial \bar{\tau}}{\partial y} \right)_{\text{ср}}}} \sqrt{q_0 \left(\sqrt{\frac{z_0}{2g}} - \frac{\bar{u}_{\text{ср}x}}{\sqrt{2g}} \right)} \quad (20)$$

Вводя в выражение (20) обозначения:

$$K = \frac{\sqrt{2A} \sqrt{2g}}{\sqrt{\frac{\beta}{\rho} \left(\frac{\partial \tau}{\partial y}\right)_{\text{ср}}}};$$

$$K_{\sigma} = \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{\rho g \sigma_{\text{ср}}}{\left(\frac{\partial \tau}{\partial y}\right)_{\text{ср}}}}},$$

получаем следующую зависимость:

$$x = K \cdot K_{\sigma} \cdot \sqrt{q_0 \left(\sqrt{z_0} - \frac{\bar{u}_{\text{ср.}x}}{\sqrt{2g}} \right)}.$$

Из выражения (17) видно, что глубина размыва грунта тем меньше, чем больше степень аэрации потока. Величины коэффициентов K и K_{σ} должны быть установлены на основании данных экспериментальных исследований.

Если принять $\bar{u}_{\text{ср.}x} = 0$ (что правомерно для мелкозернистого грунта), то при $\sigma_{\text{ср}} = 0$ формула (20) переходит в общеизвестную зависимость [5]:

$$x \sim \sqrt{q_0 \sqrt{z_0}}.$$

То есть сплошная водная струя проникает в толщу воды тем больше, чем больше ее первоначальные расходы q_0 и напор z_0 .

Глубина проникновения вертикально ниспадающей аэрированной струи зависит, помимо этого, и от степени воздухомыщения потока (через коэффициент K_{σ}). Струя тем меньше проникает в толщу воды в бассейне (нижнем бьефе); чем больше степень аэрации потока, вернее, средняя по всей струе воздухомыщенность $\sigma_{\text{ср}}$. Большая величина $\sigma_{\text{ср}}$ по струе означает большую степень первоначальной аэрированности σ_0 . Как показали наши наблюдения, уже относительно невысокая степень первоначальной воздухомыщенности струи (10÷15%) оказывает громадное влияние на гашение энергии потока в нижнем бьефе.

ЛИТЕРАТУРА

1. Баренблатт Г. И. О движении взвешенных частиц в турбулентном потоке. Прикладная математика и механика. Т. XVII, в. 3, 1953, стр. 261—274.
2. Вызго М. С. Уменьшение размывов и увеличение габаритов струи и глубин быстротекущих потоков. «Гидротехническое строительство», 1947, № 7.
3. Вызго М. С. Гидравлическая схема размыва за горизонтальным креплением и расчетная формула для глубины размыва. Известия АН УзССР, 1956, № 11.

4. *Вызго М. С., Филиппов Е. Г.* Растекание струи и размыв несвязного грунта. Известия АН УзССР, 1956, № 5.
5. *Вызго М. С. и Набиев А. Н.* Некоторые коррективы к формуле расчета местного размыва падающей струей. «Гидротехническое строительство», 1966, № 9.
6. *Лойцянский Л. Г.* Механика жидкости и газа. ГИТТЛ, Москва, 1957.
7. *Плетнева Е. В.* Исследование влияния основных параметров потока на размыв несвязного грунта вертикально падающей струей. Диссертация, Алма-Ата, 1962.
8. *Прандтль Л.* Гидроаэромеханика. Изд-во Иностранная литература, 1951.
9. *Синельщиков В. С.* О гидродинамических уравнениях турбулентного взвешенного потока. Известия Сибирского отделения Академии наук СССР, сер. тех. наук, 10, 1966, стр. 131—133.
10. *Синельщиков В. С.* О распределении скорости жидкости в турбулентных двухфазных (аэрированных) потоках. Изв. ВНИИГ, т. 80, 1966, стр. 207—216.
11. *Синельщиков В. С.* Открытые аэрированные потоки. Автореферат, Новосибирск, 1967.
12. *Слезкин Н. П.* Динамика вязкой несжимаемой жидкости. ГИИЛ, Москва, 1955.
13. *Тлеукабылов А. Е.* О глубине размыва несвязного грунта падающей струей. «Вестник АН КазССР», 1961, № 7.
14. *Чанишвили А. Г.* Экспериментальное исследование влияния захвата воздуха на интенсивность гашения энергии потока. Извест. ТНИСГЭИ им. А. В. Винтера, т. 16; 1965.
15. *Чанишвили А. Г.* О гидравлической крупности в условиях взаимодействия между частицами. Известия ТНИСГЭИ, т. 13, 1961.

ЭКОНОМИКА



РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ТРУДОВЫХ ЗАТРАТ НА ЭКСПЛУАТАЦИЮ СИСТЕМ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ

Ш. М. УТАРБАЕВ, инженер

УДК 628.18 : 333.93

Эксплуатация водопроводов является сложным мероприятием, требующим повседневной оперативной работы эксплуатационной службы, основной задачей которой является бесперебойная подача необходимого количества воды с установленным напором, требуемым качеством и возможно меньшей себестоимостью.

Для повышения надежности работы всей системы водопровода и поддержания технически правильного и экономически целесообразного режима работы сооружений и оборудования эксплуатационникам необходимо знать фактическое распределение трудовых затрат на эксплуатацию отдельных сооружений и всего водопроводного комплекса.

С целью определения трудовых затрат на эксплуатацию систем сельскохозяйственного водоснабжения в зависимости от типа водисточника, способа подачи воды и состава сооружений в течение ряда лет нами обследованы свыше 70 локальных систем сельскохозяйственного водоснабжения Северного Казахстана.

По типам водисточников обследованные сельскохозяйственные водопроводы Северного Казахстана распределяются следующим образом: из подземных источников — 20 водопроводов, из поверхностных источников — 25, кроме того, 27 водопроводов присоединены к групповым сельскохозяйственным водопроводам.

Общие схемы водопроводов представлены на рисунке 1.

Для определения фактических трудовых затрат на эксплуатацию водопровода был проведен хронометраж работы отдельных сооружений систем водоснабжения и хронометраж трудовых затрат на ремонтно-аварийные работы.

При определении трудовых затрат на эксплуатацию водопроводов из поверхностных водисточников нами был выбран Астраханский водопровод в Целиноградской области, имеющий весь комп-

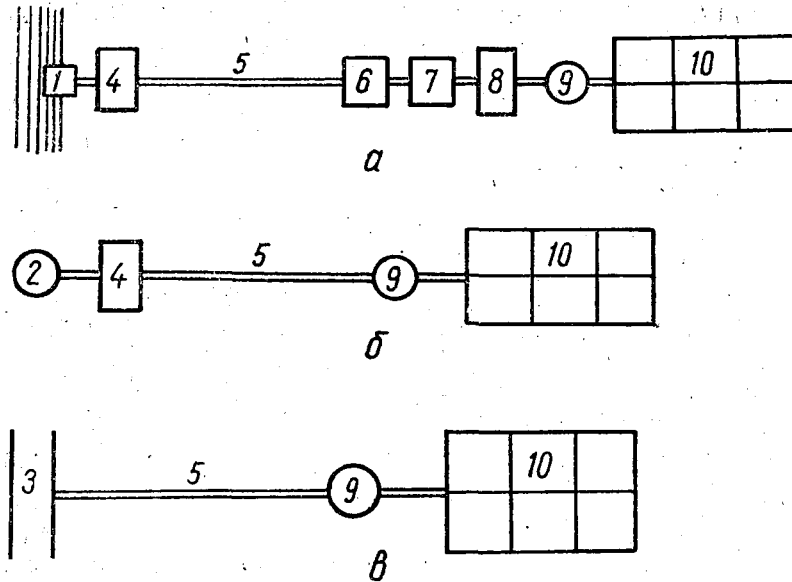


Рис. 1. Схема водоснабжения: 1 — открытый водосточник; 2 — скважина; 3 — магистральный водовод; 4 — насосная станция I подъема; 5 — нагнетательный водовод; 6 — очистительное сооружение; 7 — резервуар чистой воды; 8 — насосная станция II подъема; 9 — водонапорная башня; 10 — разводящая сеть.

лекс требуемых сооружений. Кроме того, обслуживание его находится в удовлетворительном санитарно-техническом состоянии (рис. 2).

Время работы насосной станции первого подъема взято по месяцу максимального водопотребления. За 10 суток насосная станция первого подъема работала 53 часа, или в среднем 5,3 часа в сутки. Учитывая время, необходимое на обслуживание насосов и электродвигателей, на эксплуатацию насосной станции первого подъема в летнее время принято 7 человеко-часов в сутки, а в зимнее время (когда водопотребление минимальное) — 6 человеко-часов.

В первые годы эксплуатации на водоводе аварии (разрывы труб) происходят 1—3 раза в месяц. Трудовые затраты (фактические) на ликвидацию аварий составляют 24,7 человеко-часа. Очистка медленных фильтров производится один раз в три месяца. Затраты на очистку одной камеры 5,3 человеко-часа. Так как очистное сооружение состоит из 4 фильтровальных камер, трудовые затраты на очистку всего фильтра составляют 21,2 человеко-часа.

На очистку резервуара чистой воды потребовалось 56 человеко-часов (производится один раз в год).

На эксплуатацию насосной станции второго подъема летом затрачено 7 человеко-часов в сутки, зимой — 6.

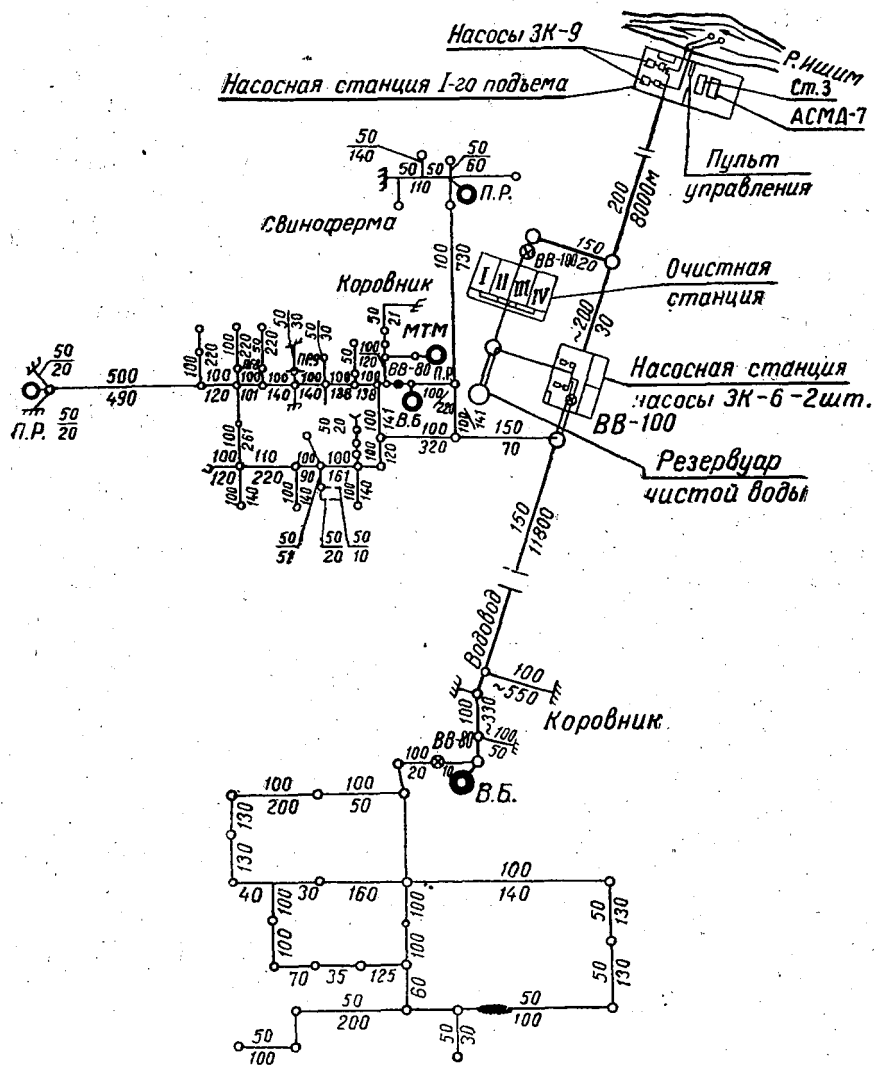


Рис. 2. Система водоснабжения зерносовхоза «Астраханский».

Водонапорная башня очищается два раза в год — после паводка и осенью. Промывка башни производится в следующем порядке. Водонапорная башня освобождается от воды, а оставшийся на дне бака ил удаляется. Затем бак заполняется водой на 30—40 см от дна. Двое рабочих в противогазах опускаются в бак, один рабочий остается у люка башни. Засыпают в бак 5—10 кг хлорной

известии (из расчета 40—50 г/л) и тщательно перемешивают (для лучшего растворения хлорной извести в воде). Потом метлами и швабрами протирают и моют все стены и днище бака. Далее башню полностью заполняют водой и оставляют на 30—40 минут для обеспечения полного контакта хлорной воды с внутренней поверхностью бака. По истечении срока воду из бака сбрасывают через отводную трубу или крышку обратного клапана. Затем вторично заполняют башню водой на 30—40 см. Затраты на очистку башни составляют 10,7 человеко-часа. Разводящую сеть обслуживает один слесарь-водопроводчик. Промывка и очистка трубопроводов не производится. Фактические величины трудовых затрат по месяцам сведены в таблицу 1.

При подсчете трудовых затрат на эксплуатацию водопроводов с питанием из подземных источников приняты данные хронометража работ на водопроводе «Александровский» Кокчетавской области (табл. 2).

Из-за выхода скважины из строя на водопроводе требовался ее капитальный ремонт. Ремонтная бригада в составе двух человек затратила на подготовительные работы (сварка водопроводной и воздухопроводной труб, обследование скважин) 28 часов, на ремонт скважины — 59 часов:

а) подготовительные работы (на месте) и демонтаж обсадных труб — 9 часов;

б) монтаж воздухопроводных и водопроводных труб — 5 часов;

в) откачка воды с измерением динамического уровня и дебита скважины — 42 часа;

г) демонтаж воздухопроводных и водопроводных труб — 3 часа.

Следовательно, общее количество затраченного времени на ремонт составило 87 человеко-часов.

Насосная станция работает 6—7 часов в сутки.

При определении трудовых затрат на эксплуатацию водовода, водонапорной башни и разводящей сети приняты те же нормативы, что и при поверхностном водозаборе.

Трудовые затраты на эксплуатацию водопроводов из групповых систем сельскохозяйственного водоснабжения складываются из затрат на ремонт водонапорной башни и обслуживание водопроводной сети (табл. 3).

Таким образом, нами определены фактические трудовые затраты для водопроводов из различных видов водоисточников по сезонам и в течение года, по которым можно планировать эксплуатационный штат и мероприятия на обслуживание водопроводных систем в первые годы эксплуатации.

На большинстве водопроводов величина эксплуатационных затрат меняется в отдельные периоды их работы. В таблице 4 приведены фактические эксплуатационные затраты локальных систем сельскохозяйственного водоснабжения. Следует отметить, что наи-

Таблица 1
Трудовые затраты на эксплуатацию водопроводов из поверхностных водонсточников (на примере Астраханского водопровода Целиноградской области)

Наименование сооружений	Затраты по месяцам, человеко-часов												Всего затрат в год	
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	чел.- час.	чел.- дней
Насосная станция I подъема	180	180	180	180	210	210	210	210	210	180	180	180	2310	330
Водовод	49,4	49,4	74,1	74,1	74,1	49,4	24,7	24,7	24,7	49,4	49,4	49,4	592,8	84,7
Очистные сооружения	—	21,2	—	21,2	21,2	—	21,2	—	21,2	—	21,2	—	127,2	18,2
Резервуар чистой воды	—	—	—	—	—	56	—	—	—	—	—	—	56	8
Насосная станция II подъема	180	180	180	180	210	210	210	210	210	180	180	180	2310	330
Водонапорная башня	—	—	—	—	—	10,7	—	—	—	10,7	—	—	21,4	3,1
Разводящая сеть	175	175	175	175	175	175	175	175	175	175	175	175	2100	300
Итого . . .	584,4	605,6	609,1	630,3	690,3	711,1	640,9	619,7	640,9	595,1	605,6	584,4	7517,4	1074,0

Таблица 3

Трудовые затраты на эксплуатацию разводящих сетей групповых систем сельскохозяйственного водоснабжения (на примере разводящей сети зерносовхоза «Ишимский» Северо-Казахстанской области).

Наименование сооружений	Затраты по месяцам, человеко-часов												Всего затрат в год	
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	чел.-час.	чел.-дн.
Водонапорное сооружение	—	—	—	—	—	—	10,7	—	—	10,7	—	—	21,4	3,1
Разводящая сеть	175	175	175	175	175	175	175	175	175	175	175	175	2100	300
Итого ...	175	175	175	175	175	175	185,7	175	175	185,7	175	175	2121,4	303,1

большие затраты приходятся на весенние месяцы, в период подготовки к паводкам. Расходы на промывку и очистку водонапорных башен, резервуаров чистой воды и медленных фильтров увеличивают общие затраты на эксплуатацию.

На водопроводах, подключенных к групповым системам, эксплуатационные затраты в течение года распределяются более равномерно, чем на локальных системах. На разводящих сетях эксплуатационные расходы слагаются в основном из заработной платы обслуживающего персонала, расходов на отопление водонапорных башен в зимний период и из затрат на содержание разводящей сети в технически исправном состоянии.

Распределение эксплуатационных затрат по отдельным сооружениям приведено на примере водопровода зерносовхоза «Комсомольский» Целиноградской области (табл. 5). Основную долю эксплуатационных затрат составляет заработная плата обслуживающего персонала — 44,3% и затраты на обслуживание насосной станции — 26,6%.

Себестоимость одного кубического метра воды определяется как частное от деления суммы годовых эксплуатационных затрат на количество фактически подаваемой потребителями воды.

Суммарные годовые эксплуатационные затраты складываются из расходов на заработную плату обслуживающего персонала, электроэнергию, отопление водонапорной башни и зданий насосных станций в зимнее время, горюче-смазочные материалы (если насосные станции оборудованы двигателями внутреннего сгорания), текущий ремонт, амортизационные отчисления, а также реагенты, используемые для очистки воды и прочих расходов, связанных с эксплуатацией водопровода.

Определение стоимости одного кубического метра воды приведено на примере водопровода зерносовхоза «Берсуатский» Целиноградской области.

Таблица 4
Фактические эксплуатационные затраты на локальных системах сельскохозяйственного водоснабжения

Наименование систем сельскохозяйственного водоснабжения	Годы включен	Затраты по месяцам, руб.											
		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
"Джаксинская"	1965	825,61	805,74	1711,70	900,00	786,21	1214,84	941,25	660,27	835,66	659,41	465,45	1129,64
"Целиноградской области"	» 1966	642,60	730,62	1638,40	1204,91	1243,54	1323,40	1362,13	1283,47	1224,54	1228,29	1381,67	1363,26
"Рентабельная"	» 1965	901,17	787,99	707,00	935,75	473,29	377,24	1080,05	441,38	645,63	517,15	669,75	652,54
"Комсомольская"	» 1965	526,00	561,28	441,51	552,00	441,80	495,10	457,00	536,13	449,40	611,15	527,00	556,00
"Невская" Кокче- тавской области	» 1965	843,03	859,87	743,85	791,46	867,49	803,10	885,80	618,37	889,10	792,60	1028,87	822,84
"Александров- ская"	» 1965	282,50	136,36	109,20	105,10	225,20	174,63	426,75	157,64	203,24	187,26	149,27	236,85
"Мосворецкая"	» 1966	190,64	109,63	179,23	139,26	136,26	174,02	139,39	—	—	—	—	—
"Северо-Казахс- тадской области"	» 1965	1197,80	1195,80	1195,90	1194,60	982,80	983,70	975,80	978,90	978,15	1103,97	1261,00	1197,00
"Лесная" Куста- найской области	» 1965	758,50	757,8	756,80	766,10	716,00	756,12	727,00	746,00	724,00	779,00	758,00	766,00
"Смирновская" Се- веро-Казахстанс- кой области	» 1965	758,50	757,8	756,80	766,10	716,00	756,12	727,00	746,00	724,00	779,00	758,00	766,00
"Ленинская"	» 1965	758,50	757,8	756,80	766,10	716,00	756,12	727,00	746,00	724,00	779,00	758,00	766,00

Примечание. По Комсомольскому водопроводу затраты даны без амортизации.

Таблица 5

Распределение эксплуатационных затрат по отдельным сооружениям на водопроводе зерносовхоза «Комсомольский»
Целиноградской области

Показатели	Затраты по месяцам, руб.												Всего затрат в год	
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	в рублях	в процентах от общих затрат
Насосная станция	230,54	496,10	199,94	22,15	133,00	9,71	301,28	44,00	342,40	38,96	20,37	313,44	2151,89	26,25
Водонапорная башня	—	96,00	51,25	25,25	57,15	—	—	—	—	36,67	49,14	31,20	346,66	4,23
Водовод	—	—	—	—	—	12,9	517,22	—	—	—	49,33	—	579,45	7,07
Разводящая сеть	147,05	10,08	—	40,21	16,56	154,93	—	56,48	92,93	139,48	134,97	—	792,69	9,66
Зарплата обслуживающего персонала	523,18	185,81	455,81	310,14	259,05	138,32	261,15	311,63	168,14	302,04	362,61	307,90	3585,78	43,72
Фильтры	—	—	—	—	7,53	26,82	—	29,27	42,16	—	—	—	105,78	1,29
Расход на ремонт плотины	—	—	—	538,00	—	—	—	—	—	—	—	—	538,00	7,79
Итого ...													8100,25	100,00

Водопровод обслуживает слесарь-водопроводчик, заработная плата его в месяц составляет 130 руб.

За зиму на отопление было израсходовано пять тонн угля и один кубометр дров общей стоимостью 76,8 руб. За месяц расход на отопление составляет 6,40 руб. На текущий ремонт затрачивается в среднем 12 руб., на расход горюче-смазочных материалов — 79,30 руб. в месяц.

Амортизационные отчисления составляют 3,5% от строительной стоимости, включая отчисления на капитальный ремонт. Строительная стоимость водопровода равна 144 000 руб.

Все эксплуатационные затраты за 1 месяц составляют 646,70 руб. ($130 + 6,4 + 12 + 79,30 + 430 = 646,70$ руб.). Фактическое водопотребление за месяц по водомеру составило 5378 м³. Отсюда стоимость кубического метра воды была равна 12 коп. ($\frac{646,70}{5378,00} = 12$ коп.).

Изучение фактических трудовых затрат, издержек на эксплуатацию, себестоимости воды дает основание для назначения комплекса оптимальной механизации и автоматизации сельских водопроводов с учетом планомерного их развития, роста потребителей, степени благоустройства поселков.

**ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ
МНОГОДНЕВНОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ НА ГРУППОВЫХ
СИСТЕМАХ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ**

А. А. КЕМЕЛЕВ, кандидат технических наук,
К. Ш. АШИРЯЕВ, инженер

УДК 628.14

Для рационального проектирования систем сельскохозяйственного водоснабжения и повышения их коэффициента использования может быть применен предлагаемый нами метод многодневного регулирования систем водоснабжения. По этому методу могут проектироваться групповые сельскохозяйственные водопроводы с резервуарами многодневного регулирования.

Многодневное регулирование, то есть регулирование суточных подач и расходов воды в период наиболее интенсивного водопотребления (летний сезон), имеет целью срезать расчетные расходы, определяющие проектную производительность водопроводных станций и водоводов, а следовательно, уменьшить их стоимость и одновременно повысить коэффициент использования водопроводных систем. Подача воды водопроводной станцией и водоводами будет производиться с меньшим, чем максимальное суточное потребление, расходом. Потребители же получают воду в соответствии с потребностью, причем в дни максимального водопотребления недостающее количество воды будет поступать из резервуаров многодневного регулирования, создаваемых на магистральных водоводах вблизи потребителей.

При многодневном регулировании благодаря срезке пиковых расчетных расходов достигается уменьшение стоимости строительства и эксплуатации водозаборных и очистных сооружений, насосных станций и водоводов. В то же время становятся необходимыми дополнительные затраты на строительство резервуаров. При определенных условиях эффект от снижения расчетных расходов будет выше дополнительных издержек на строительство резервуаров многодневного регулирования, и в конечном итоге достигается общая экономия затрат по системе водоснабжения в целом.

При проектировании систем водоснабжения с многодневным регулированием возникает необходимость решения двух основных

вопросов: 1. Определение зарегулированных расходов, на которые должны рассчитываться водозаборные и очистные сооружения, насосные станции, водоводы (до резервуаров многодневного регулирования). 2. Определение емкости резервуаров многодневного регулирования, величина которых находится в прямой зависимости от степени зарегулирования пиковых расходов.

Зарегулированные расходы выразим формулой:

$$Q_{\text{расч. сут}} = \alpha \sum Q_{\text{макс. сут}}, \quad (1)$$

где α — коэффициент регулирования, то есть коэффициент снижения максимальных (пиковых) расчетных расходов при многодневном регулировании;

$\sum Q_{\text{макс. сут}}$ — сумма максимальных суточных расходов воды в населенных пунктах и других объектах, подача воды которым регулируется данным резервуаром многодневного регулирования.

Емкость резервуара многодневного регулирования ($W_{\text{м. р}}$) выразим формулой:

$$W_{\text{м. р}} = \beta \sum Q_{\text{макс. сут}} \quad \text{или} \quad \beta = \frac{W_{\text{м. р}}}{\sum Q_{\text{макс. сут}}}, \quad (2)$$

где β — удельная регулирующая емкость в долях от суточного потребления, зависящая от коэффициента регулирования, частоты и амплитуды колебания суточных расходов в сезон наибольшего водопотребления, то есть от хода последовательного изменения во времени суточного потребления воды за сезон.

Коэффициент регулирования α теоретически может изменяться в пределах от 1 до $\frac{1}{K_{\text{сут}}}$, где $K_{\text{сут}}$ — коэффициент суточной неравномерности водопотребления (по данным фактических наблюдений, его величина колеблется в пределах 1,3 ÷ 1,5).

Таким образом, коэффициент α всегда меньше 1 и в пределе снижается до $\sim 0,7$. При $\alpha = 1$ расчетный расход становится равным максимальному, и емкости многодневного регулирования не требуется. При $\alpha = \frac{1}{K_{\text{сут}}}$ расчетный расход становится равным среднему, и нужна максимальная емкость многодневного регулирования.

Основой для определения расчетного коэффициента и емкости резервуаров многодневного регулирования должны служить многолетние данные по режиму водопотребления на групповых водопроводах, отображающие ход изменения суточных расходов воды в течение года или за летний период.

Задаваясь различными расчетными суточными расходами равной степени зарегулированности —

$$Q_{\text{расч. 1}} = \alpha_1 \sum Q_{\text{макс. сут.}}$$

$$Q_{\text{расч. 2}} = \alpha_2 \sum Q_{\text{макс. сут.}}$$

$$Q_{\text{расч. 3}} = \alpha_3 \sum Q_{\text{макс. сут.}}$$

то есть, задаваясь различными значениями коэффициента регулирования $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3 \dots \alpha_n$, можно, пользуясь графиками водопотребления, найти соответствующие значения объема многодневного регулирования ($\beta_1, \beta_2, \beta_3 \dots \beta_n$).

На основании специальной обработки методами математической статистики фактических данных наблюдений за режимом водопотребления за 33 года по объектам, расположенным в различных природных и экономических условиях страны, нами рекомендуется расчетная зависимость

$$\beta = 55 (1 - \alpha)^2. \quad (3)$$

Выбор расчетного коэффициента α зависит от конкретных условий строительства водопровода — от источника водоснабжения, в частности его дебита, от состава головных водопроводных сооружений, длины водоводов, стоимости применяемых труб и материалов, от природных условий и от других факторов, влияющих на стоимость водопроводных сооружений. Таким образом, выбор коэффициента α должен обосновываться технико-экономическими расчетами.

Значительную часть общей стоимости групповых систем водоснабжения составляют стоимости магистральных трубопроводов (до 60—80%). В свою очередь, стоимость трубопроводов зависит от их протяженности, величины диаметров и материала труб, глубины заложения, грунтовых условий, условий производства работ и ряда других факторов.

Задача технико-экономического расчета водоводов в зависимости от условий их питания может быть поставлена различно. В тех случаях, когда вода в систему подается насосами, напор которых предварительно не задан, технико-экономический расчет сводится к определению таких диаметров водоводов, при которых затраты на сооружения и эксплуатацию труб и насосных станций будут наименьшими за расчетный срок их работы.

В тех случаях, когда начальный напор в системе задан, задача технико-экономического расчета сводится к определению таких диаметров водоводов, при которых строительная стоимость их будет минимальной (при условии израсходования всего располагаемого напора на преодоление гидравлических сопротивлений).

Как уже указывалось, основными сооружениями групповых систем водоснабжения являются водоводы большой протяженности (десятки и сотни километров). Поэтому поставленная нами задача сводится к определению эффективной длины водовода ($L_{\text{эф}}$), при которой применение многодневного регулирования создает экономический эффект.

Эффективность введения многодневного регулирования возникает при такой протяженности водовода от источника до потребителя, когда фактическая длина будет больше, чем $L_{эф}$ ($L_{ф} > L_{эф}$).

Определение эффективности многодневного регулирования для самотечных водоводов. Экономически наиболее выгодным диаметром самотечного водовода будет такой диаметр, при котором представляется возможным более полно использовать располагаемый напор (H), то есть разность отметок начала и конца водовода минус требуемый свободный напор в конце водовода (при условии сохранения технически допустимых скоростей воды). Диаметр такого водовода может быть выражен на основании обычных гидравлических формул, связывающих диаметр, расход, длину и потери напора.

$$D = \left[K \frac{Q^2 \cdot l}{H} \right]^{\frac{1}{m}} = \left[K \frac{Q^2}{i} \right]^{\frac{1}{m}},$$

где i — пьезометрический уклон.

При подаче по водоводу расчетного расхода без многодневного регулирования расход будет составлять:

$$Q_1 = \frac{S \cdot 1}{86,4}.$$

При подаче по водоводу зарегулированных расчетных расходов он будет равен:

$$Q_2 = \frac{S \cdot \alpha}{86,4},$$

где α — коэффициент регулирования ($\alpha = 0,95; 0,90; \dots; 0,7$).

Величина диаметра для первого случая составит:

$$D_1 = \left[K \frac{S^2 \cdot 1}{i(86,4)^2} \right]^{\frac{1}{m}}.$$

Величина диаметра для второго случая (многодневное регулирование) составит:

$$D_2 = \left[K \frac{S^2 \cdot \alpha^2}{i(86,4)^2} \right]^{\frac{1}{m}}.$$

В общем виде стоимость строительства водовода выражается формулой:

$$C_b = \sum_{i=1}^{i=n} (a + bD_i^r) l_i, \quad (4)$$

где n — число участков водовода с разными диаметрами;

l_i — длина каждого из этих участков;

a, b, r — коэффициенты, характеризующие стоимость труб и оборудования, а также стоимость прокладки водовода.

В частном случае, при одинаковом диаметре труб на всем протяжении водовода и одинаковых условиях выполнения работ на отдельных его участках, стоимость водовода составляет:

$$C_b = (a + bD^r)L.$$

Подставив значения D_1 и D_2 в формулу стоимости водовода получим: для первого случая

$$C'_b = \left[a + b \left(\frac{k}{i} \right)^{\frac{r}{m}} \cdot \left(\frac{S \cdot 1}{86,4} \right)^{2 \frac{r}{m}} \right] \cdot L; \quad (5)$$

для второго случая.

$$C''_b = \left[a + b \left(\frac{k}{i} \right)^{\frac{r}{m}} \left(\frac{S \cdot 1}{86,4} \right)^{2 \frac{r}{m}} \right] \cdot L. \quad (6)$$

Уменьшение стоимости водовода при введении многодневного регулирования составит:

$$C'_b - C''_b = b \left(\frac{k}{i} \right)^{\frac{r}{m}} \cdot \left(\frac{1}{86,4} \right)^{2 \frac{r}{m}} \cdot (1 - \alpha)^{2 \frac{r}{m}} \cdot S^{2 \frac{r}{m}} \cdot L. \quad (7)$$

Величина ежегодных отчислений на амортизацию и текущий ремонт для этого выражения будет равна:

$$0,01 P_1 \cdot b \left(\frac{k}{i} \right)^{\frac{r}{m}} \left(\frac{1}{86,4} \right)^{2 \frac{r}{m}} (1 - \alpha)^{2 \frac{r}{m}} \cdot S^{2 \frac{r}{m}} \cdot L.$$

Величина ежегодных амортизационных затрат от строительной стоимости резервуаров может быть выражена в первом случае через $0,01 P_4 \cdot \sigma \cdot \beta_1 \cdot S$, во втором случае — $0,01 \cdot P_4 \cdot \sigma \cdot \beta_0 \cdot S$,

где σ — единичная стоимость 1 куб. м зарегулированной воды;

β_0 — коэффициент, выражающий величину емкости в долях от максимального расхода при многодневном регулировании;

β_1 — то же при суточном регулировании;

P_1, P_4 — проценты ежегодных отчислений от строительной стоимости водовода и резервуаров.

При $L_{\text{эф}}$ уменьшение стоимости водовода с введением многодневного регулирования, очевидно, должно равняться увеличению общей стоимости за счет стоимости строительства резервуаров:

$$0,01 P_1 \cdot b \left(\frac{k}{i} \right)^{\frac{r}{m}} \cdot \left(\frac{1}{86,4} \right)^{2 \frac{r}{m}} \cdot (1 - \alpha)^{2 \frac{r}{m}} \cdot S^{2 \frac{r}{m}} \cdot L = 0,01 P_4 \cdot \sigma \cdot (\beta_0 - \beta_1) \cdot S;$$

$$L_{\text{эф}} = \frac{(86,4)^{2 \frac{r}{m}} \cdot P_4 \cdot \sigma (\beta_0 - \beta_1) \cdot S^{1 - 2 \frac{r}{m}}}{P_1 \cdot b \left(\frac{k}{i} \right)^{\frac{r}{m}} \cdot (1 - \alpha)^{2 \frac{r}{m}}} \quad (8)$$

Пользуясь формулой акад. Павловского при $n=0,012$ для неных стальных и чугунных труб, принимаем следующие значения:

$$k=0,0014822; \quad r=1,8; \quad m=5,33.$$

Перейдем к рассмотрению коэффициентов β_0 и β_1 . Величина β_0 зависит от коэффициента регулирования

при $\alpha=0,95$	$\beta=0,14$
» $\alpha=0,90$	$\beta=0,55$
» $\alpha=0,85$	$\beta=1,24$
» $\alpha=0,80$	$\beta=2,2$
» $\alpha=0,75$	$\beta=3,4$
» $\alpha=0,70$	$\beta=5,0$

Под β_1 следует понимать коэффициент емкости резервуаров при варианте без многодневного регулирования водопотребления.

Как показывает опыт проектирования групповых систем водоснабжения, β_1 имеет величину $(0,4 \div 0,5) Q_{\text{макс. сут.}}$

При дальнейших расчетах принимаем следующие значения отдельных экономических коэффициентов, которые применяются при проектировании водопроводов в условиях Северного Казахстана.

Величину b принимаем равной 60,0; стоимость резервирования 1 куб. м воды $\delta=10,0$; процент отчислений от стоимости водопроводов $P_1=5\%$; процент отчислений от стоимости резервуаров $P_4=3,0\%$.

Подставив указанные величины в формулу $L_{\text{эф}}$, получим:

$$L_{\text{эф}} = \frac{(86,4)^{\frac{2 \cdot 1,8}{5,33}} \cdot 3 \cdot 10(\beta_0 - \beta_1) S^{\frac{1 - 3,6}{5,33}}}{5 \cdot 60 \left(\frac{0,0014822}{i} \right)^{\frac{1,8}{5,33}} \cdot \left(1 - \alpha^{\frac{2 \cdot 1,8}{5,33}} \right)} \quad (9)$$

После ряда преобразований данное выражение принимает окончательный вид:

$$L_{\text{эф}} = 1,14 \frac{\beta_0 - \beta_1}{1 - \alpha^{\frac{2}{3}}} \cdot S^{\frac{1}{3}} \cdot i^{\frac{1}{3}} \quad (10)$$

Уже отмечалось, что самотечные групповые сельскохозяйственные водопроводы имеют широкое распространение в предгорных и горных районах страны. На основании полученного выражения $L_{\text{эф}}$, пользуясь известными данными суточной производительности наиболее характерных групповых систем водоснабжения, была определена протяженность водопроводов, при которой введение многодневного регулирования может дать экономический эффект. Расчеты производились при различных уклонах ($i=0,01 \div 0,0005$) с разными коэффициентами регулирования расчетных расходов (рис. 1).

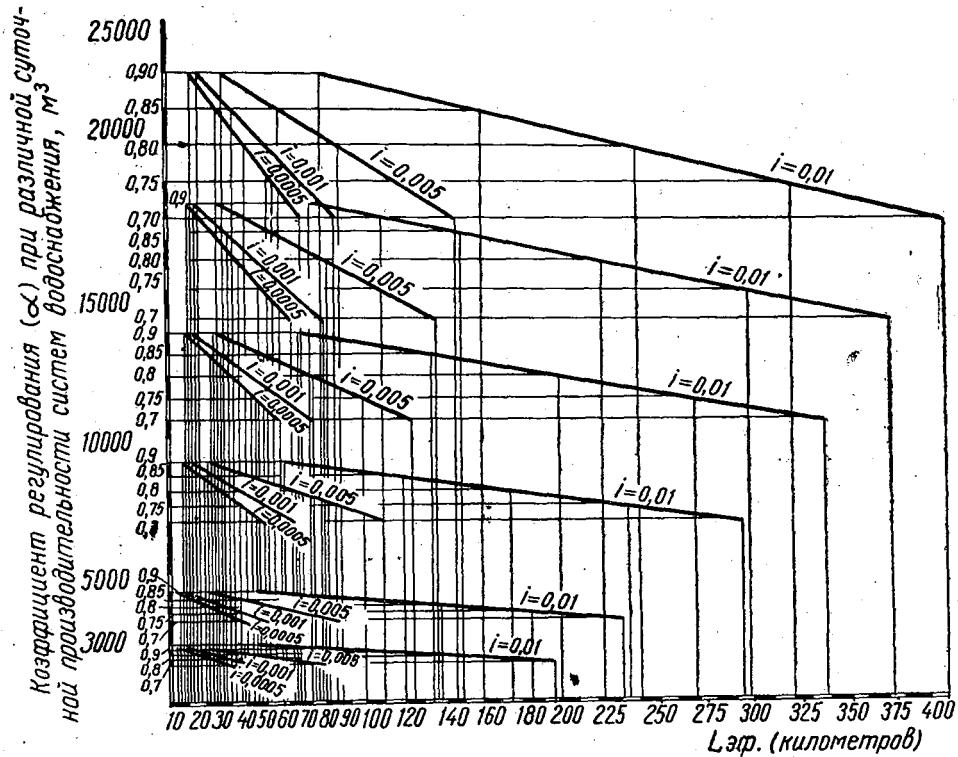


Рис. 1. Расчетный график определения эффективной длины для самотечных водоводов при многодневном регулировании.

Из графика видно, что $L_{эф}$ для рассматриваемых расходов и уклонов имеет широкие пределы изменения. Величина ее возрастает с величиной расхода, следовательно, эффективность многодневного регулирования может иметь место в системах водоснабжения с относительно небольшой производительностью, порядка 3—5 тыс. m^3 в сутки.

С увеличением уклона в самотечных водопроводах уменьшается диаметр труб, а следовательно, и стоимость. Поэтому естественно, что при значительных уклонах самотечные водоводы будут относительно дешевле, и удешевление, которое может быть получено в результате изменения их диаметра при введении многодневного регулирования, будет незначительным и не окупит увеличение стоимости резервуаров. Наоборот, при малых уклонах необходимость устройства водоводов больших диаметров делает ощутимым экономический эффект многодневного регулирования.

Определение эффективности многодневного регулирования для нагнетательных водоводов. Для упрощения вначале рассмотрим метод нахождения $L_{эф}$ без учета изменения стоимости насосных и очистных станций. Для расчетов примем лишь изменение стоимости водоводов и резервуаров.

Стоимость водовода выражается известной формулой:

$$C_b = (a + bD^r) \cdot L.$$

Для определения величины экономически наиболее выгодного диаметра водовода обычно принимается выражение:

$$D_{эк} = \mathcal{E}^{0,14} \cdot Q^{0,42} \quad \text{или} \quad D_{эк} = \mathcal{E}^{0,14} \left(\frac{S \cdot \alpha}{86,4} \right)^{0,42}.$$

Подставляя по водоводу незарегулированный расход, в формулу введем коэффициент $\alpha_0 = 1$, при зарегулированных расчетных расходах — α_n .

$$D_{эк} = \mathcal{E}^{0,14} \left(\frac{S \cdot 1}{86,4} \right)^{0,42}; \quad D_{эк} = \mathcal{E}^{0,14} \left(\frac{S \cdot \alpha}{86,4} \right)^{0,42},$$

где $\alpha = 0,95; 0,90; \dots 0,70$.

Подставив значение $D_{эк}$ в формулу стоимости водовода, получим:

$$C'_b = \left[a + b \cdot \mathcal{E}^{0,14} \left(\frac{S \cdot 1}{86,4} \right)^{2 \cdot 0,42} \right] \cdot L;$$

$$C''_b = \left[a + b \cdot \mathcal{E}^{0,25} \left(\frac{S \cdot \alpha}{86,4} \right)^{2 \cdot 0,42} \right] \cdot L.$$

Анализ формул показывает, что значение величины r довольно стабильно и может быть принято равным 1,8.

$$C'_b = \left[a + b + \mathcal{E}^{0,25} \cdot 1 \cdot S^{0,75} \left(\frac{1}{86,4} \right)^{0,75} \right] \cdot L;$$

$$C''_b = \left[a + b + \mathcal{E}^{0,25} \cdot \alpha^{0,75} \cdot S^{0,75} \cdot \left(\frac{1}{86,4} \right)^{0,75} \right] \cdot L.$$

Величина ежегодных отчислений на амортизацию и текущий ремонт для этих выражений составит:

$$0,01 P_1 (a + b + \mathcal{E}^{0,25} \cdot 1 \cdot S^{0,75} \cdot 0,035) \cdot L;$$

$$0,01 P_1 (a + b + \mathcal{E}^{0,25} \cdot \alpha \cdot S^{0,75} \cdot 0,035) \cdot L.$$

Уменьшение стоимости водовода при введении многодневного регулирования будет равно:

$$C'_b - C''_b = 0,01 P_1 (a + b \cdot \mathcal{E}^{0,25} \cdot 1 \cdot S^{0,75} \cdot 0,035) \cdot L -$$

$$- 0,01 P_1 (a + b \cdot \mathcal{E}^{0,25} \cdot \alpha^{0,75} \cdot S^{0,75} \cdot 0,035) \cdot L$$

$$\text{или} \quad C'_b - C''_b = 0,01 P_1 \cdot b \cdot \mathcal{E}^{0,25} \cdot S^{0,75} \cdot 0,035 (1 - \alpha^{0,75}) \cdot L.$$

Величина ежегодных амортизационных отчислений от строительной стоимости резервуаров может быть выражена:

без многодневного регулирования — $0,01 P_4 \cdot \sigma \cdot \beta_1 \cdot S$;

при введении многодневного регулирования — $0,01 P_4 \cdot \sigma \cdot \beta_0 \cdot S$.

При $L_{эф}$ уменьшение стоимости эксплуатации водовода с введением многодневного регулирования, очевидно, должно равняться увеличению стоимости эксплуатации резервуаров, равной:

$$0,01 P_1 \cdot b \cdot \mathcal{E}^{0,25} \cdot S^{0,75} \cdot 0,035 (1 - \alpha^{0,75}) L = 0,01 P_4 \cdot \sigma S (\beta_0 - \beta_1).$$

Отсюда может быть получено в общем виде выражение для определения $L_{эф}$:

$$L_{эф} = \frac{P_4 \cdot \sigma \cdot S (\beta_0 - \beta_1)}{P_1 \cdot b \cdot \mathcal{E}^{0,25} S^{0,75} \cdot 0,035 (1 - \alpha^{0,75})}. \quad (13)$$

Величина экономического фактора \mathcal{E} , характеризующая местные технико-экономические условия устройства водовода, входящая в выражение $L_{эф}$, может быть определена по формуле профессора Н. Н. Абрамова:

$$\mathcal{E} = \frac{C \cdot K_0}{P_1 \cdot b^m}; \quad C = \frac{f \cdot t \cdot P_2 \cdot 6450 \sigma}{75 \eta},$$

где f — строительная стоимость насосной станции на единицу установленной мощности;

η — средний КПД насосной установки;

t — коэффициент резерва насосного оборудования;

P_2 — процент амортизационных отчислений со стоимости насосной станции;

σ — стоимость электроэнергии (в коп. за 1 квт · ч).

В дальнейшем принимаются конкретные технико-экономические условия строительства трубопроводов в северных областях Казахстана, так как именно здесь намечается наибольшее строительство групповых водопроводов:

$$f = 20 \text{ руб.}; \quad \eta = 0,7; \quad t = 2; \quad P_2 = 3; \quad \sigma = 1 \text{ коп.}$$

Подставляя принятые значения и производя ряд несложных преобразований, получим следующее выражение для $L_{эф}$:

$$L_{эф} = 270 \cdot S^{0,25} \frac{\beta_0 - \beta_1}{1 - \alpha^{0,75}} \quad (\text{в метрах}). \quad (14)$$

На основании полученного выражения $L_{эф}$ для систем различной производительности при различных коэффициентах регулирования (α) определена протяженность водоводов, при которой введение многодневного регулирования может дать экономический эффект (рис. 2).

В дальнейшем найдем выражение $L_{эф}$ с учетом изменения стоимостей насосных и очистных станций при многодневном регулировании.

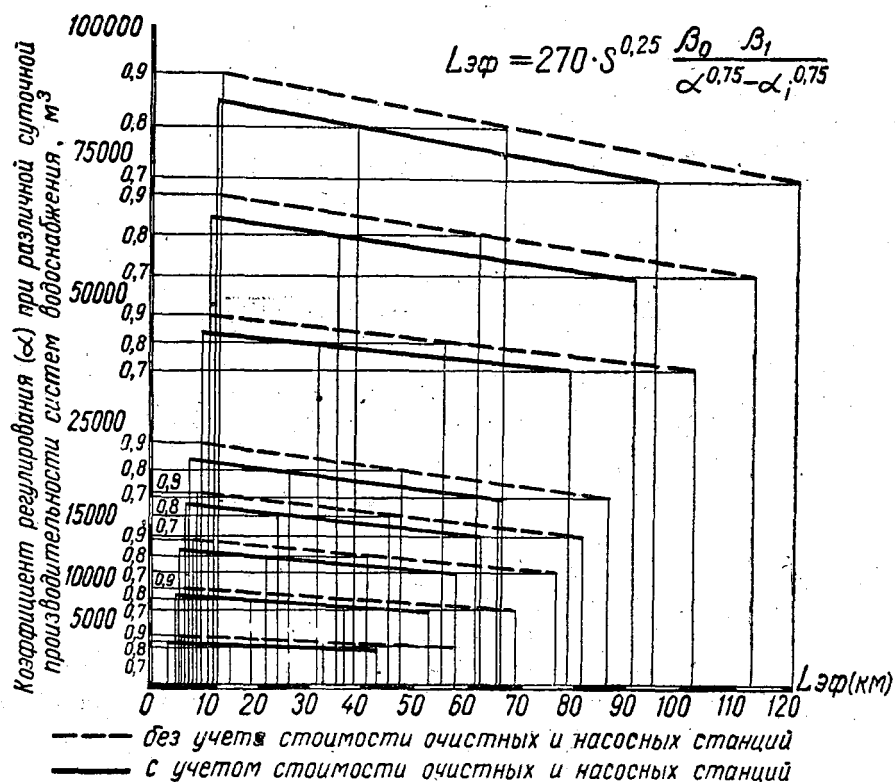


Рис. 2. Расчетный график определения эффективной длины для нагнетательных водоводов при многодневном регулировании.

Изменение стоимости эксплуатации водоводов и резервуаров с введением многодневного регулирования будет определяться для водоводов $0,01 \cdot P_1 \cdot b \cdot S^{0,25} \cdot S^{0,75} \cdot 0,035 (1 - \alpha^{0,75})$, а резервуаров — соответственно $0,01 \cdot P_4 \cdot \delta \cdot S \cdot (\beta_0 - \beta_1)$.

Введение многодневного регулирования приведет к снижению производительности, а следовательно, и эксплуатационных затрат насосных и очистных станций.

Разность в эксплуатационных затратах на очистных станциях составит: $0,01 [P_3 (1 - \alpha) \cdot S \cdot \varepsilon]$, на насосных станциях $-0,01 \cdot P_3 \cdot f \times \times t \cdot (N_1 - N_0)$,

где P_3, P_2 — амортизационные отчисления от строительной стоимости очистных и насосных станций;

$N_1 - N_0$ — расчетная мощность насосной станции;

ε — строительная стоимость очистных станций на 1 м^3 производительности.

Расчетная мощность насосной станции без многодневного регулирования составит:

$$N_1 = \frac{S \cdot 1}{86,4 \cdot 75 \cdot \eta} (H_0 + h),$$

где h — выражение потерь напора для экономически наиболее выгоднейшего диаметра, равное $\frac{S^{0,5} \cdot 1 \cdot l}{(S \cdot A)^{0,75}}$.

Подставив в предыдущее равенство значение h , получим:

$$N_1 = \frac{S \cdot 1}{86,4 \cdot 75 \cdot \eta} \left[H_0 + \frac{S^{0,5} \cdot 1 \cdot l}{(S \cdot A)^{0,75}} \right].$$

Расчетная мощность насосной станции при многодневном регулировании равна:

$$N_0 = \frac{S \cdot \alpha}{86,4 \cdot 75 \cdot \eta} \left[H_0 + \frac{S^{0,5} \cdot \alpha \cdot l}{(S \cdot \alpha \cdot A)^{0,75}} \right].$$

Очевидно, что при $L_{эф}$ уменьшение стоимости водовода с введением многодневного регулирования должно равняться сумме изменений стоимости эксплуатационных затрат на резервуарах, очистных и насосных станциях:

$$0,01 P_1 \cdot b \cdot \alpha^{0,25} \cdot S^{0,75} \cdot 0,035 (1 - \alpha)^{0,75} \cdot L = 0,01 P_4 \cdot \delta \cdot S \times \\ \times (\beta_1 - \beta_0) - 0,01 P_4 \varepsilon \cdot S (1 - \alpha) - \left[\frac{0,01 P_2 \cdot f \cdot t \cdot S \cdot 1}{86,4 \cdot 75 \cdot \eta} \left(H_0 + \frac{S^{0,5} \cdot 1 \cdot l}{S^{0,75} \cdot 1 \cdot A^{0,75}} - \right. \right. \\ \left. \left. - \frac{0,01 P_2 \cdot f \cdot t \cdot S \cdot \alpha}{86,4 \cdot 75 \cdot \eta} \cdot \left(H_0 + \frac{S^{0,25} \cdot \alpha \cdot l}{S^{0,75} \alpha^{0,75} A^{0,75}} \right) \right].$$

Произведя ряд преобразований, получим выражение для $L_{эф}$

$$L_{эф} = \frac{P_4 \cdot \sigma}{P_1 \cdot b \cdot \alpha^{0,25} \cdot 0,035} \cdot \frac{S(\beta_0 - \beta_1)}{S^{0,75} (1 - \alpha)^{0,75}} - \frac{P_3 - \varepsilon}{P_1 \cdot b \cdot \alpha^{0,25} \cdot 0,035} \times \\ \times \frac{S(1 - \alpha)}{S^{0,75} (1 - \alpha^{0,75})} - \frac{P_2 \cdot f \cdot t}{86,4 \cdot 75 \cdot \eta \cdot P_1 \cdot b \cdot \alpha^{0,25} \cdot 0,035} \cdot \frac{S}{S^{0,75} \cdot (1 - \alpha^{0,75})} \times \\ \times \left[H_0 (1 - \alpha) + \frac{1}{A^{0,75} \cdot S^{0,25}} \cdot (1 - \alpha^{0,25}) \right].$$

Обозначив через B , C , и Φ следующие выражения:

$$B = \frac{P_4 \sigma}{P_1 \cdot b \cdot \alpha^{0,25} \cdot 0,035}; \quad C = \frac{P_3 \varepsilon}{P_1 \cdot b \cdot \alpha^{0,25} \cdot 0,035}; \quad \Phi = \frac{P_2 \cdot f \cdot t}{86,4 \cdot 75 \cdot \eta \cdot P_1 \cdot \alpha^{0,25} \cdot 0,035},$$

получим в общем виде следующее выражение для определения $L_{эф}$

$$L_{эф} = \frac{S^{0,25}}{1 - \alpha^{0,75}} \left\{ B(\beta_0 - \beta_1) - C(1 - \alpha) - \Phi \left[H_0 (1 - \alpha) + \right. \right. \\ \left. \left. + \frac{1}{A^{0,75} \cdot S^{0,25}} \cdot (1 - \alpha)^{1,25} \right] \right\}. \quad (16)$$

Анализируя полученное выражение, не трудно видеть, что величина эффективной длины зависит от местных технико-экономических условий строительства. Так как введение многодневного регу-

лирования увеличивает стоимость резервуаров (изменяющуюся пропорционально расчетному расходу S) больше, чем уменьшает стоимость водоводов, которая изменяется пропорционально $S^{0.75}$ (при расчете по экономическим формулам), то с увеличением суточных расходов $L_{эф}$ увеличивается.

Влияние уменьшения стоимости водоводов эффективнее для случая с учетом изменений в стоимостях насосных и очистных станций. Различные значения одиночной стоимости труб (b) могут повлечь значительные изменения в величине $L_{эф}$. При этом влияние b на величину $L_{эф}$ больше, когда не учитывается изменение в стоимостях очистных и насосных станций, чем с учетом их.

В выражение для определения $L_{эф}$ входит рабочий напор насосной станции (H_0). Однако влияние H_0 незначительно, поэтому при анализе приняты довольно большие пределы его изменений ($H_0 = 50, 100, 150$ м).

При применении многодневного регулирования на групповых водопроводах необходимо определить оптимальные дальности транспортирования воды и назначить конфигурации магистральных водоводов. На основании принятой схемы водоводов и расчетного суточного расхода с учетом способов подачи воды производится предварительное определение по формулам (10), (14), (15) или расчетным графикам (рис. 1, 2) эффективной длины магистральных водоводов $L_{эф}$, при которой многодневное регулирование может дать экономический эффект.

С учетом $L_{эф}$ по формулам (1), (3) производится регулирование расчетных расходов:

$$Q_{рег. i} = \alpha_i \sum_{1-n} Q_{макс. сут},$$

составляется гидравлическая схема зарегулированных расходов с учетом объемов, $\beta_i = 55(1 - \alpha_i)^2$, и месторасположения резервуаров многодневного регулирования и насосных станций подкачек.

Расчетное значение коэффициента регулирования должно обосновываться технико-экономическими расчетами. Для групповых систем водоснабжения с длинными водоводами, на которые падает большая доля капитальных вложений, в первую очередь следует рассматривать величины α_i , которые позволяют уменьшать диаметр водовода на одну степень сортамента.

Принятое оптимальное значение α является расчетным ($\alpha_{расч}$), с учетом которого назначаются новые расчетные расходы ($Q_{расч} = \alpha_{расч} \cdot \sum_{1-n} Q_{макс. сут}$) и производится определение размеров основных сооружений групповых станций, водоводов, резервуаров многодневного регулирования и др.

На рисунке 3 приводятся результаты технико-экономического расчета Омского группового водопровода для выбора расчетного значения коэффициента регулирования. Из графиков видно, что

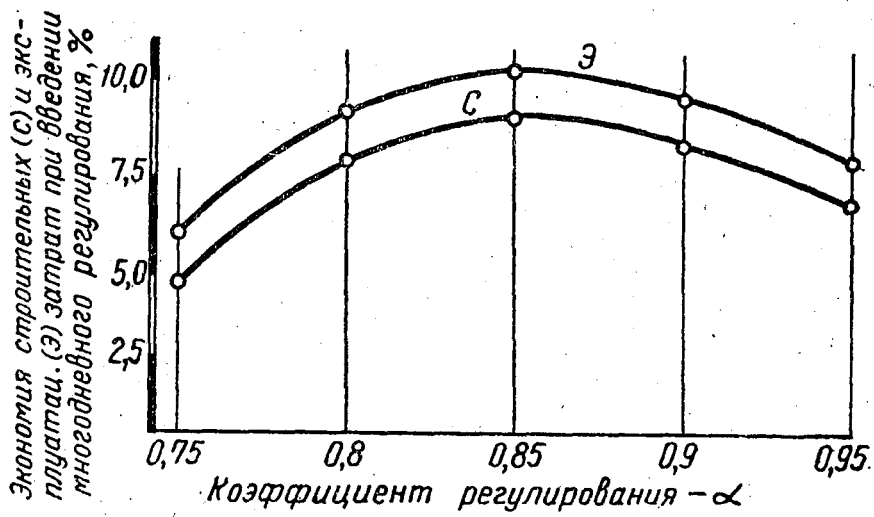
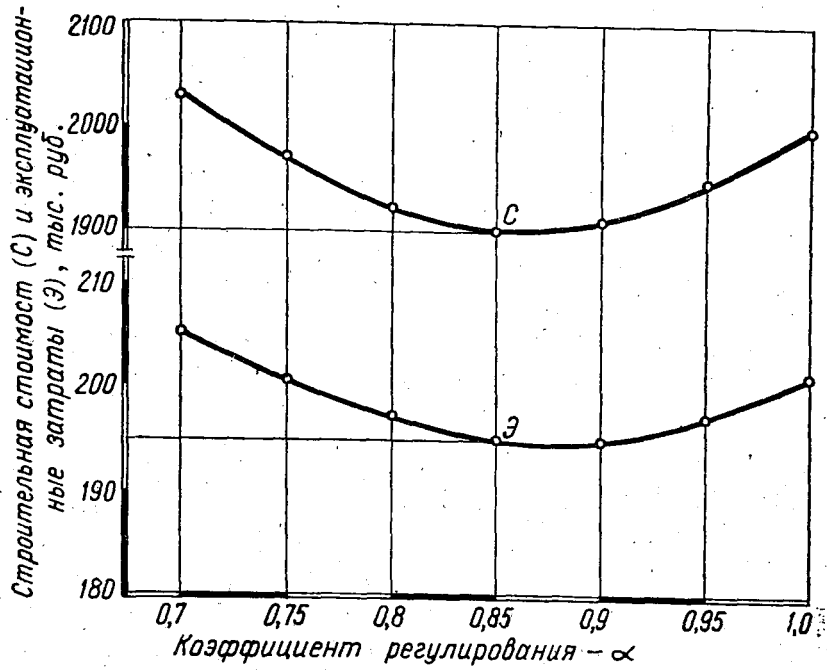


Рис. 3. График выбора наивыгоднейшего коэффициента регулирования при многодневном регулировании (по данным примера расчета).

наивыгоднейшим (наименьшим) значениям строительной и эксплуатационной стоимости соответствует расчетный случай при коэффициенте регулирования $\alpha=0,85$. Следовательно, это значение α является наивыгоднейшим в данном примере расчета.

Технико-экономические расчеты КазНИИВХ целого ряда групповых водопроводов (Омский в РСФСР, Аятский в Кустанайской области, Ишимский в Северо-Казахстанской области и др.) показывают, что при применении многодневного регулирования экономия капитальных затрат составляет 10—13%, эксплуатационных — 8—11%. Кроме того, при многодневном регулировании резко повышаются коэффициенты использования групповых водопроводов (например, при $\alpha=0,85$, $K_{исп}$ равен 80—85%) и надежность работы системы водоснабжения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Карамбиров Н. А., Кемелев А. А. Многодневное регулирование на групповых системах сельскохозяйственного водоснабжения. «Гидротехника и мелиорация», 1963, № 8.
2. Кемелев А. А. Методика определения расчетных расходов при многодневном регулировании режима водопотребления. Доклады ТСХА, вып. 81, 1962.
3. Абрамов Н. Н. Расчет водопроводных систем. Госстройиздат. М., 1952.
4. Аронов С. Н. Проектирование водоводов. Госстройиздат. М., 1953.

СОДЕРЖАНИЕ

	Стр.
I. Орошение и техника полива	
Влияние приемов полива сельскохозяйственных культур на величину оросительных и поливных норм. В. Ф. Носенко, Р. А. Кван	7
К методике внутрихозяйственного районирования орошаемых земель по режиму орошения и технике полива. А. П. Попыкин	27
Водный, тепловой и микробиологический режим почвы при ранних поливах сахарной свеклы по бороздам, нарезанным одновременно с севом. А. В. Огрызков	40
Влияние орошения на содержание микроэлементов в засоленной почве. Н. С. Горюнов, Л. Ф. Пестов, И. М. Заграничная	50
Водно-солевой баланс междуречья Бугунь — Чаян в зоне Арысь-Туркестанского канала. Л. Ф. Пестов	56
Автомат для вождения тракторных дождевальных агрегатов. И. Н. Хе	67
Подготовка участков к поливам. Л. А. Ким, В. Я. Лопатин	71
Система электрогидравлического управления работой дождевальных аппаратов на стационарных дождевальных системах. А. М. Шарко, В. Н. Остроушко	79
Установление величин необходимых параметров для расчета и выбора конструктивных элементов подземного выдвигного гидранта-водовыпуска. А. Я. Рабинович	87
Режим орошения хлопчатника на засоленных землях Арысь-Туркестанского канала. Л. Ф. Пестов, А. П. Кочетков	101
Опыт промывки засоленных земель в условиях Арысь-Туркестанской оросительной системы. Л. Ф. Пестов, Ф. Ф. Вышпольский	112
Режим орошения риса в условиях левобережного Кызыл-Ординского массива. В. М. Петрунин, К. Сиргельбаев, В. М. Бутков	120
Гидрохимическая зональность грунтовых вод междуречья Бугунь — Чаян в зоне Арысь-Туркестанского канала. Л. Ф. Пестов	134
Оптимизация использования ирригационных систем Южного Казахстана с незарегулированным стоком источников орошения (постановка задачи). В. С. Чернявский, Г. В. Воропаев	142
Водный режим, рост и развитие сахарной свеклы при дождевании и сочетании дождевания с поливами по бороздам в условиях юга и юго-востока Казахстана. Н. П. Боровенский	153
Использование оросительной воды на массиве междуречья Бугунь — Чаян. Г. В. Воропаев, Л. Г. Югай	164
Особенности техники поверхностных поливов на песчаных почвах пустынь Южного Казахстана. Н. В. Данильченко, М. Б. Гаврилов	176

Влияние невегетационных поливов на глубину зоны водообмена. Г. В. Воропаев, Х. Нургалиев	189
Влияние ущемлений в водопотреблении на урожайность сахарной свеклы. Р. В. Амежанова, Г. В. Воропаев	202
Высотное влияние предгорий Заилийского Алатау на режим водо- потребления и нормы орошения сельскохозяйственных культур. Н. В. Данильченко	210
Почвенно-мелиоративная характеристика низовий реки Лепсы. А. Джанибеков	222
Влияние лиманного орошения на почвы и процессы их формирова- ния в пойме реки Уил. Ф. Н. Ким	229
Применение пьезометров при мелиоративных исследованиях. М. Ба- женов	239
Определение расчетного расхода оросительных систем по дефициту водопотребления сельскохозяйственных культур. Н. В. Данильчен- ко, А. П. Попыкин	245

II. Обводнение и сельскохозяйственное водоснабжение

Исследование неравномерности водопотребления на системах сель- скохозяйственного водоснабжения. К. Ш. Аширяев	255
К вопросу очистки шахтных колодцев гидромеханическим способом. И. С. Цой, А. И. Жангарин	261
Обсадные кольца из армоцемента для шахтных колодцев. Г. С. Сек- ретарев, Н. С. Корчагин	265
Результаты изучения фактического водопотребления сельскохозяйст- венными животными в условиях юго-восточных районов республи- ки. Х. Карешов	272
Лабораторное изучение кольматанта фильтров шахтных колодцев Ф. Г. Герр	278
Опыт применения количественного спектрального анализа к опреде- лению химических элементов кольматанта фильтров. И. М. Загра- ничная, Ф. Г. Герр	284
Изучение грунтов в пустыне Муюнкум с целью улучшения водо- забора шахтных колодцев. Ф. Г. Герр	289
Применение кривых распределения к определению расчетных расхо- дов в системах сельскохозяйственного водоснабжения. А. А. Кеме- лев, К. Ш. Аширяев	302

III. Гидрология

К вопросу расчета ветровых нагонов в северной прибрежной части Каспия (междуречье Волга — Урал). В. С. Буруменский, С. К. Фи- лимонов	311
Методы расчета весеннего стока малых и средних водотоков засуш- ливых областей Казахстана по данным осеннего увлажнения бас- сейна. Ф. В. Шкаликов	317
Расчет весеннего стока малых и средних рек пустынно-степных райо- нов Казахстана методом водного баланса. Ф. В. Шкаликов	332
Режим и прогноз уровней грунтовых вод на орошаемых землях. Н. С. Горюнов, Б. М. Жармухаметов	346
Расчетные параметры годового стока рек Юго-Западного Казахста- на. З. Т. Беркалиев, В. С. Буруменский	353

IV. Автоматика и гидротехника

Прибор для измерения аэрации потока воды. И. В. Николенко	371
Определение влажности почвогрунта нейтронным методом и плотно- сти — гамма-методом. И. В. Николенко	378

Методика исследований волнового движения в каналах-быстроотоках. Р. И. Вагапов	387
Натурные исследования работы сбросных сооружений лиманов М. Т. Бекмухамедов, С. Н. Носенко	394
Экспериментальные исследования волнового движения на каналах-быстроотоках. Р. И. Вагапов	402
Моделирование местных размывов за гидротехническими сооружениями мелкозернистым натурным грунтом. С. А. Сарсекеев	414
Исследование местного размыва в несвязных грунтах. С. А. Сарсекеев	419
Некоторые результаты экспериментального исследования вертикальной затопленной азрированной струи. Э. Р. Жулаева	427
Гидравлический расчет гасителя-растекателя. С. А. Сарсекеев, М. Т. Бекмухамедов, К. П. Бекбергенов	434
Уравнения движения плоской азрированной вертикальной азрированной струи в покоящейся воде. Э. Р. Жулаева	441

V. Экономика

Распределение трудовых затрат на эксплуатацию систем сельскохозяйственного водоснабжения. Ш. М. Утарбаев	457
Технико-экономическая эффективность многодневного регулирования на групповых системах сельскохозяйственного водоснабжения. А. А. Кемелев, К. Ш. Аширяев	467

**ТРУДЫ КАЗАХСКОГО
НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОГО ИНСТИТУТА
ВОДНОГО ХОЗЯЙСТВА**

Редакторы Л. В. Гусева, Р. Е. Орловская
Художественный редактор Д. Н. Поляков
Технический редактор А. Урбисин
Корректоры Л. В. Ахназарова, Г. Н. Белякова, Л. В. Шабкина

Сдано в набор 26/IV 1969 г. Подписано к печати 3/III 1970 г.
Формат 60×90^{1/16}. Печ. л. 35,39. Уч.-изд. л. 35,2. Бумага типограф. № 2.
УГ02524. Тираж 1000 экз. Цена 2 руб. 35 коп.
Издательство «Кайнар», г. Алма-Ата, 72, Кашгарская, 64.

Заказ № 389. Типография № 2 Главпэлиграфпрома Госкомитета
Совета Министров КазССР по печати, г. Алма-Ата, ул. К. Маркса, 63.

55