

ТРУДЫ СРЕДНЕАЗИАТСКОГО НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОГО ИНСТИТУТА ИРРИГАЦИИ

Выпуск 44

В. Н. ШАРАШКИН
кандидат с.-х. наук

О ПОТЕРЯХ ВОДЫ
ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ КАНАЛОВ
МЕЛКОЙ ИРРИГАЦИОННОЙ СЕТИ

САНИИРИ

ТАШКЕНТ — 1938

В. Н. ШАРАШКИН

кандидат с.-х. наук

О ПОТЕРЯХ ВОДЫ
ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ КАНАЛОВ
МЕЛКОЙ ИРРИГАЦИОННОЙ СЕТИ

САНИИРИ
ТАШКЕНТ,
1938

Содержание

	Стр.
Вводная часть	3
Состав опытных работ	5
Потери воды в мелкой ирригационной сети	6
1. Потери воды на фильтрацию и испарение в каналах мелкой ирригационной сети	6
2. Полевые опыты по изучению динамики потерь при впитывании	8
3. Изучение динамики впитывания на монолитах	13
4. Сравнение полевых и лабораторных данных по динамике впитывания	15
5. Выводы по полевым и лабораторным работам	17
6. Влияние впитывания на потери воды в каналах и сравнение типов очередного и непрерывного водопользования в мелкой ирригационной сети	18
А. Эксплуатационные потери в мелкой ирригационной сети	22
Б. Установление расчетных формул по определению потерь воды на фильтрацию для мелкой ирригационной сети	29
Выводы	34
Список использованной литературы	39
Приложение	43

Ответственный редактор А. И. Алексеев
Технический редактор Е. Глаголева

Сдано в производство 4/XI-37 г.

Подписано к печати 26/I 38 г.

Узл № 712 Размер А₆ П. л. 3 Тираж 1500+52 экз. Зак. 2408

Ташкент, Полиграфкомбинат НКМП. УзССР. 1938 г.

Настоящая работа представляет собой краткое изложение результата исследований по вопросу о потерях воды при эксплуатации каналов мелкой ирригационной сети, проведенных автором в 1934 и 1935 году в колхозах Мервского и Иолотанского района ТССР (Мургаб) и в почвенной лаборатории Вниигим. Работы проводились под руководством доктора с-х наук Шарова И. А.

Вводная часть

Большинство ирригационных систем Средней Азии недостаточно водообеспечены, поэтому рациональное использование воды на системе, в целях достаточного и своевременного удовлетворения потребности в воде орошаемой культуры, является одним из наиболее важных факторов в комплексе мероприятий, обеспечивающих высокую урожайность.

Как известно, за время транспортирования воды от источника орошения до орошаемых полей в ирригационной сети теряется около 50% всей воды. Основная масса потерь воды падает именно на мелкую сеть. В этом легко можно убедиться при рассмотрении нежеприводимой таблицы, составленной по русским и иностранным литературным источникам.

Приведенные в таблице цифры потерь в мелкой ирригационной сети, составляя до 50% всех потерь в ирригационной сети, не являются, однако, окончательными, но только приближенными.

Как известно, на заграничных системах обслуживание ирригационной сети поставлено только до выделов в отдельные фермерские хозяйства, а поэтому систематического изучения потерь воды в пределах мелкой ирригационной сети не ведется уже по характеру самого обслуживания.

Таблица 1

распределения потерь в различных частях ирригационной системы

Место наблюдений	Потери в % от подачи в голову системы		Автор	Примечание
	магистральный канал и распредел.	мелкая сеть		
1. США				
а) система Umatilla	32	15	Инж. Hopson	
б) " Orland	23	10	"	
в) " Truckee Carson	41	15	"	
г) южная часть Айдаго	19,6	15,5	" Togg	
2. Индия				
а) Гангский канал	22	22	Инж. Ivens	
б) Бари-доабская система :	26	21	Инж. Bellasis	
3. СССР				
а) системы Средней Азии	22—45	15—40	проф. Янишевский	Данные органов эксплуатации Ср. Азии
б) Голодная степь	26,00	22,00		
в) система Хан-яб (Мургаб) :	25	20	автор	

В царской России обслуживание ирригационных систем также было поставлено только до выделов в отдельные частновладельческие хозяйства. Только при советской власти, в связи с проведением коллективизации и введением планового водопользования, органы водного хозяйства стали систематически заниматься изучением потерь в мелкой (внутриколхозной) ирригационной сети. Но так как эксплуатационный персонал часто не фиксирует величину недополитых (или только частично политых) площадей, можно полагать, что указанные в таблице потери, приходящиеся на мелкую сеть ирригационных систем СССР, также несколько преуменьшены.

Общая величина потерь воды в ирригационной сети (особенно в мелкой сети) в значительной степени зависит от так называемых эксплуатационных потерь, т. е. потерь, получившихся в результате несовершенства обслуживания и ухода за ирригационной сетью. Инж. Кеннеди¹ произвел тщательное измерение потерь на 12 распределителях нескольких систем Британской Индии, с общей длиной их до

¹ Irrigation Branch papers, № 10, 1905, Punjab.

400 км. Максимальная нагрузка каналов колебалась от 2,1 до 5,5 куб. м/сек. Каждый канал для измерений был разделен поперечными преграждениями на несколько участков. В результате исследований оказалось, что потери от просачивания и испарения составляли в среднем 6% от наибольшего расхода всех каналов, а потери от всех остальных причин дали 8%, т. е. на 2% больше, чем от общепризнанных основных факторов потерь.

По данным проф. Янишевского, эксплуатационные потери (технические, по его терминологии) в мелкой сети составляют в среднем до 100% от потерь на фильтрацию, в распределительной же сети достигают только до 25% от потерь на фильтрацию.

По данным инженера Коробкина (Закавказье), потери воды в картовых оросителях при непрерывной работе их и при расходе в 25—50 л/сек составляли 10—12% на километр, при периодической же работе их потери повышались до 40—50% на километр. В каналах, не работавших долгое время, потери в первое время после замочки (4—5 часов) при расходе в 15—50 лит/сек. составляли 50—75%.

На графике 1 показана динамика потерь воды на картовом оросителе, проходящем в тяжелых суглинистых грунтах, при перерыве в работе канала в 30 дней и в 5 дней. Потери определялись при помощи водосливов типа Чиполетти. Опыты проводились в 1935 г. бригадой Вниигим под руководством инж. В. К. Жегалова на опытно-мелиоративной станции в Савинках.

Состав опытных работ

В связи с тем, что потери в мелкой ирригационной сети (колхозные отводы с расходом 0,5—0,6 куб. м/сек., групповые и картовые оросители) составляют значительный удельный вес в общей величине потерь воды в ирригационной сети, но к настоящему времени достаточно не изучены, бригадой Вниигим, работавшей в 1934 и 1935г. под руководством доктора с.-х. наук И. А. Шарова в колхозах Мервского и Иолотанского района ТССР, были поставлены следующие вопросы:

1. Выявить влияние впитывания при первоначальной замочке на величину фильтрационных потерь воды в мелкой оросительной сети.

2. Установить эффективность введения водооборота (по сравнению с непрерывным током) в каналах мелкой ирри-

гационной сети с учетом явлений впитывания, так как до настоящего времени эффект от водооборота устанавливался без учета впитывания.

3. Выявить как общую величину эксплуатационных потерь в мелкой ирригационной сети, так и влияние отдельных факторов, вызывающих эксплуатационные потери.

4. Дать расчетные формулы по определению потерь воды в мелкой ирригационной сети, которые работники легко могли бы применять на местах и которые одновременно давали бы необходимую точность учета потерь в условиях периодической работы каналов.

Дальнейшее изложение содержит описание результатов проведенных экспедицией работ.

Потери воды в мелкой ирригационной сети

1. Потери воды на фильтрацию и испарение в каналах мелкой ирригационной сети (в условиях периодической работы их).

Самостоятельное изучение испарения в общей величине потерь воды для практических целей особого интереса не представляет, так как величина испарения не выходит за пределы точности приборов, употребляемых для определения потерь (до 5%); поэтому в работах экспедиции испарение учитывалось совместно с потерями на фильтрацию.

Если распределители (колхозные отводы), подающие воду в колхоз, и групповые оросители, подающие воду в отдельные бригады, работают периодически или же непрерывным током, в зависимости от принятой схемы водопользования, то картовые оросители уже по характеру своего обслуживания орошаемых полей — должны работать периодически.

Это непостоянство работы каналов имеет большое влияние на величину потерь. За время перерыва работы канала ложе его успевает пересохнуть на определенную глубину, в тяжелых грунтах образуются трещины, еще более увеличивающие пересыхание. За этот же период времени вода, образовавшая насыщенный слой вокруг канала, уйдет вглубь и испарится в воздух. Поэтому при возобновлении пуска воды по каналу приходится пополнять то, что ему было дано в предыдущий раз и что успело в перерыв его работы уйти вглубь и испариться в воздух. Таким образом, в первое время после замочки канала имеет место впитывание, характер и продолжительность которого зависят: а) от водных свойств грунтов, образующих ложе канала (в тяжелых мелкозернистых грунтах впитывание продолжается

большой промежуток времени и с большим диапазоном величины скорости впитывания, в легких грунтах меньший промежуток времени), б) от времени перерыва в работе канала, вызывающего ту или иную степень пересыхания, в) от затенения канала, заростания его, метеорологических и других факторов, вызывающих ту или иную степень пересыхания.

Явления впитывания, наблюдаемые при первоначальной замочке каналов, и явления фильтрации, которая устанавливается через определенный промежуток времени работы канала, весьма различны между собой.

Под фильтрацией обычно понимается передвижение воды в силу гидродинамического, пьезометрического градиента в среде, уже насыщенной водой, причем совершенно исключаются факторы капиллярности, сопротивления удерживаемого почвой воздуха и т. д. Явление же впитывания несравненно более сложно. При нем нет установившегося как при фильтрации движения воды, теоретически объясненного многими исследователями и возможного к вычислению путем хорошо известных формул.

При возобновлении пуска воды в пересохший канал нижняя граница промоченной зоны передвигается вниз, удлиняя тем самым путь передвижения воды и уменьшая градиент напора. Так как в толще грунта при промачивании его имеются три зоны по степени увлажнения — верхняя — насыщенная водой, средняя — увлажненная, неполностью насыщенная и продолжающая насыщаться, и нижняя сухая, до которой вода еще не дошла, то условию неразрывности, сплошности соответствует лишь верхняя зона, имеющая установившийся баланс содержания влаги. Средняя зона получает воды больше, чем отдает, повышая за счет разности этих объемов свое содержание влаги, нижняя же зона принимает в движении участие лишь верхней своей гранью влияющей капиллярными силами на влагу средней зоны. Указанное явление усугубляется еще тем, что в то время, как при фильтрации имеет место лишь трение движущейся воды по смоченному периметру, образованному твердыми и неподвижными жидкими частицами, при явлении впитывания в средней зоне прибавляется еще газообразная зона не насыщенных пор с явлением набухания коллоидов, усложняющая само представление о „смоченном периметре“ в этих условиях. Чем больше по глубине становится верхняя насыщенная зона, тем более явление впитывания (или промачивания) подходит к явлению фильтрации с его законами и, наконец, через некоторый промежуток времени явление впитывания полностью переходит в фильтрацию.

2. Полевые опыты по изучению динамики потерь при впитывании

Опыты по изучению величины потерь при периодической работе каналов проводились на колхозных отводах, групповых и картовых оросителях в колхозах Иолотанского и Мервского районов ТССР (Мургаб).

Наблюдения за потерями воды в колхозных отводах и групповых оросителях велись после пересушки каналов в течение 9—10 дней (нормальный период проводимого 2-тактного водооборота в условиях Мургаба). Рассмотрим результаты по каждому каналу отдельно.

а) Канал Мюльк-Канлыбаш является групповым оросителем колхоза им. Сталина Иолотанского района ТССР. Пропускная способность канала — 0,30 куб. м/сек, средний уклон его $I=0,0005$, грунты (по классификации Димо) средне-суглинистые. Содержание взвешенных наносов в воде, к моменту опытов, составляло 1,94 грамма на литр воды, температура воды при опытах 21—21,5°C. Канал за 10 дней стояния без воды пересох и частично потрескался.

Распределение естественной влажности грунта перед опытом дано в таблице 2.

Таблица 2

Расстояние от дна канала в метрах	Влажность в % (средняя)	Примечание
0 — 0,10	1,72	Пробы на влажность брались со дна канала
0,10 — 0,20	6,38	
0,20 — 0,30	11,52	
0,30 — 0,40	13,80	
0,40 — 0,60	15,85	
0,60 — 0,80	18,30	
0,80 — 1,00	17,50	

Опыты проводились в июне месяце 1935 г. Динамика потерь определялась с помощью водосливов типа Чиполетти, установленных на расстоянии 1590 м друг от друга. Во избежание подпора от нижнего водослива, вода из канала сбрасывалась через него в естественный овраг, отметка дна которого была много ниже отметки дна опытного канала. Наблюдения по водосливам продолжались в течение 3 суток (с 16. VI—19. VI) и по истечении их были прекращены, т. к. дальнейшие опыты не давали возможности учесть разницы в потерях. За все время наблюдений

поддерживался примерно одинаковый расход в 115 л/сек. Время прохождения через нижний водослив расходов, соответствующих верхнему водосливу, устанавливалось с помощью поплавка, пускаемого от верхнего водослива. Дополнительный напор за счет подходной скорости учитывался по формуле

$$h_x = \frac{v^2}{2g}$$

где v — подходная скорость. Обработка данных полевых наблюдений приведена на графике 2.

Для получения динамики потерь во времени были построены: а) интегральные кривые стоков воды по верхнему и нижнему водосливам, б) кривая разниц стока (соответственных во времени) по верхнему и нижнему водосливу, в) кривая динамики потерь (выраженная в л/с), полученная путем дифференцирования предыдущей кривой.

2. Канал колхоза им. Ленина является групповым оросителем колхоза им. Ленина, Мервского района, ТССР. Пропускная способность канала 0,15 куб. м/сек, средний уклон опытного участка $I = 0,00055$. Грунты по каналу, по классификации Димо, характеризуются как глинистые пески с наличием средне-суглинистых участков. Содержание взвешенных наносов в воде составляло 0,113 грамма на литр. Канал к моменту опытов был почти в незаросшем состоянии. Температура воды при опытах составляла 21—22°C. Канал за 10 дней стояния без воды пересох, местами незначительно потрескался. Грунтовые воды к моменту опыта находились от поверхности почвы в головной части ближе, в хвостовой дальше.

Распределение естественной влажности в грунте перед опытом приведено в нижеследующей таблице.

Пробы на влажность брались со дна канала.

Таблица 3

Расстояние от дна канала в метрах	Влажность в % (средняя)	Расстояние от дна канала в метрах	Влажность в % (средняя)
0,10	9,3	0,70	22,3
0,20	9,5	0,80	28,2
0,30	20,45	0,90	29,1
0,40	26,6	1,00	31,25
0,50	27,3	1,20	32,8
0,60	26,75	1,40	26,7
		1,80	30,3

Опыты проводились в июне 1935 г. Динамика потерь воды определялась с помощью вертушечных замеров, т. к. в виду незначительных уклонов опытного участка и наличия подпоров от перемычек выше опытного участка, водосливы типа Чиполетти не могли нормально работать.

Первоначальные потери при замочке канала были определены 2 методами: а) на отрезке канала длиной в 9,5 м со стоячей водой и б) на участке длиной 980 м с движущейся водой.

В обоих случаях опыты проводились после пересушки канала в течение 8—10 дней.

В первом случае объем просочившейся воды определялся путем доливания ведрами воды в отрезок канала, после 20-минутного стояния в нем воды, до первоначального уровня. Результаты опыта показали следующее:

1. Смоченная поверхность отрезка канала $P = 16,75$ кв. м.
2. Средняя глубина воды $h = 0,30$ м.
3. Длина участка $l = 9,5$ м.
4. Объем долитой воды $\omega = 0,48$ куб. м.
5. Время стояния воды $T = 20$ минут.

Отсюда получается скорость впитывания $v = 0,0024$ см/сек.

Во втором случае поступление воды на участок канала учитывалось с помощью водослива типа Чиполетти. На длине опытного участка, по мере изменения сечений отдельных участков канала, устанавливались рейки (5—6 реек на участок), по которым производился одновременный отсчет глубин ко времени добегания воды к концу опытного участка. На основании точно замеренных поперечных сечений канала на отдельных участках и полученных глубин воды по рейкам определялся объем воды, оставшийся в канале к моменту заполнения его. Потери определялись как разница между объемом воды, прошедшим через водослив, и объемом воды, оставшимся на опытном участке канала. Результаты опытов показали следующее:

- 1) длина участка $l = 980$ м, 2) объем воды, прошедший через водослив $\omega_1 = 524$ м³, 3) объем воды, оставшийся в канале $\omega_2 = 349,0$ м³, 4) потеря на участке $\omega_3 = 175,0$ м³, 5) время добегания воды 2 ч. 29 минут, 6) средний расход на водосливе $Q_{\text{ср}} = 0,055$ м³/с, 7) средняя глубина воды в канале $h = 0,35$ м, 8) смоченная поверхность опытного участка $P_i = 1684,4$ кв. м, 9) потеря на участке за время замочки канала составляла $S = 19,6$ л/сек. или $S = 0,0011$ см/сек.

Участок канала имел грунты легкие — супесчаные с прослойками песка и суглинков, т. е. подобные опытному каналу.

Как мы уже указывали, учет динамики потерь на опытном канале производился с помощью вертушечных замеров.

Первый замер был произведен через 3 часа работы канала, дальнейшие же производились раз в сутки. Одновременно производилось по 2 контрольных замера. За время опытов в канале поддерживался постоянный расход.

Результаты замеров приведены в таблице 4.

Таблица 4

Число	Длина участка км	Верхнее сечение			Нижнее сечение			Примечание
		время	Q за-мер л/сек	Q ср. л/сек	время	Q за-мер л/сек	Q ср. л/сек	
5/VI	0,8	12 ч.	134,5 132,5	133,5	13,20	122,5 120,7	121,6	Разная длина участка принята из-за удобств замера (вследствие подпора от перемычки)
6/VI	1,0	10 ч.	117,0	117,0	11,20	107,0	107,0	
7/VI	0,8	10,30	132,7 133,5	133,1	11,50	125,7 126,5	126,1	
8/VI	1,0	10,15	130,0 131,0	130,05	11,50	123,7 124,4	124,1	
9/VI	1,0	9,50	132,8 130,0	131,4	11,10	124,75 122,75	123,75	

Для выявления картины изменения кривой депрессии фильтрационного потока канала, нами за время опытов проводились наблюдения за колебанием горизонта грунтовых вод в трех шурфах, расположенных на створе с правой стороны канала, в верхнем участке его. Результаты наблюдений показаны на чертеже 3.

Из чертежа видно значительное изменение (растекание) кривой депрессии фильтрационного потока и повышение „бугра“ грунтовых вод вблизи канала. За четверо суток наблюдений горизонт грунтовых вод на расстоянии 1,8 метра от уреза воды в канале повысился более чем на полметра, что привело к значительному уменьшению потерь воды на фильтрацию.

Результаты обработки данных по динамике потерь в канале за время наблюдений приведены на графике 4. Методика обработки данных была принята та же, что и в предыдущем случае.

Так как вертушечные замеры не давали возможности учесть первоначальных потерь, потери воды при замочке канала были приняты аналогичными полученным при опыте с добеганием воды на участке канала в 980 м (длина участка, глубина воды в канале и грунты по каналу соответственны

нашему опытному участку канала). Зная потерю воды на единицу площади при замочке канала ($S=0,0011$ см/сек) и зная смоченную площадь опытного участка нашего канала ($P=2398$ м²), потерю воды при замочке при наших условиях получаем равной $S=26,4$ л/сек.

Потери в отрезке канала со стоячей водой во внимание не приняты, т. к. небольшая длина участка не может охарактеризовать собой наблюденного разнообразия грунтов (в плане и в вертикальном заложении) на всем опытном участке канала.

3. Канал Эрки-а б, подающий воду в колхоз Труд с поливной площадью в 140 га. Согласно запроектированного плана водопользования канал в 1934 г. работал тактами по 9 дней.

Максимальная пропускная способность канала составляла 300 л/сек. Опыты проведены на участке в 1490 м холостой части канала.

Опытный участок канала проходил в выемке и частично в полувыемке-полунасыпи.

В пределах живого сечения канал не был заросшим. Борта же канала в значительной своей части были покрыты зарослями камыша. Средний уклон опытного участка канала $I=0,00081$. После 9 дней стояния без воды (на время перерыва работы канал закрывался земляной перемычкой) канал сильно пересох, борта и частично дно его сильно потрескались (см. фото 5). Ширина трещин доходила до 7—8 мм и глубина до 15—20 см. Содержание взвешенных наносов к моменту опыта составляло 0,25 грамма на литр воды. Грунты по каналу, по классификации проф. Димо, в нижней части канала — тяжелые суглинки, в верхней части — средние суглинки.

Потери определялись с помощью водосливов типа Чиполетти, установленных на расстоянии 1495 м друг от друга. Записи горизонтов воды в течение первых двух часов проводились через 1 минуту, в дальнейшем через 5—10 минут. За все время наблюдений поддерживался постоянный расход в 180 л/с. Наблюдения за водосливами продолжались в течение 4 дней с 6.VIII по 9.VIII, после которых были прекращены в виду невозможности учета с помощью водосливов последующих изменений потерь воды на длине опытного участка.

Время прохождения через нижний водослив расходов, соответствующих верхнему водосливу, устанавливалось с помощью поплавка, пускаемого от верхнего водослива.

Потери воды на длине опытного участка определялись методом, примененным при учете потерь на каналах Мюльк-Канлыбаш в колхозе им. Анна-Мухамедова.

Мертвый объем воды между водосливами (вызываемый подпором нижнего водослива), определенный путем обмера живых сечений и определения уклона канала перед нижним водосливом, составлял 170,0 куб. м. Результаты наблюдений за водосливами приведены в графике 6.

Обработка данных наблюдений проводилась тем же методом, что и на двух предыдущих каналах, но при вычислении кривой разниц стока по верхнему и нижнему водосливу из стока верхнего водослива вычитался мертвый объем перед нижним водосливом, равный 170,0 куб. м.

4. Потери воды в картových оросителях определялись нами в колхозе им. 1-го мая Иолотанского района ТССР в 1934 г. Ввиду незначительных уклонов каналов и невозможности пользования водосливами, замеры расхода проводились при помощи вертушки. Результаты работ приведены в таблице 5. Замеры проводились после 10—15 дней пересушки каналов.

Таблица 5

№ п. п.	Место расположения оросителя	Длина участка в км	Время замера	Q гол л/с	Q хвост л/с	Потери в % на 1 км	Уменьшение потерь по сравн. с 1 днем в %	Примечание
1	Поле № 2	0,5	1-й день работы	63	55,8	19		Грунт суглин.
			2-й день работы	60	55,5	12,5	34,0	
2	Поле № 5	0,60	1-й день	70	59,8	24,2		Супесч.
			2-й день	75	67,4	18,0	25,5	
3	Поле № 5	0,70	1-й день	50	43,0	20,0		Суглин.
			2-й день	51	46,4	12,8	36,0	

Потери в первый день замерялись после 6—10 часов работы канала.

3. Изучение динамики впитывания на монолитах

Для контроля полевых опытов по изучению динамики потерь, а также выявления реальности изучения динамики впитывания на каналах при помощи монолитов, нами, кроме полевых опытов, проведены и опыты с монолитами.

После предварительного обследования с помощью шурфов характера грунтов по длине опытного участка ка-

нала Мюльк-канлыбаш, нами были взяты 2 монолита размером $0,20 \times 0,20 \times 0,60$ м, характеризующие собой грунты -канала

При работе с монолитами употреблялась дистиллированная вода, подсолевная согласно данных о солености воды реки Мургаб, т. е. по 0,8 грамма на литр воды при следующей пропорции солей.

SiO_2 —	2%	Na_2SO_4 —	4,5%
MgSO_4 —	20,8%	Na_2CO_3 —	41,4%
CaSO_4 —	24 %	K_2CO_3 —	7,2%

Распределение влажности в монолитах перед опытом видно из таблицы 6.

Таблица 6

Наименование места взятия монолита	Глубина от дна канала в см	Влажность
Мюльк-канлыбаш (нижний участок)	0—22	10,85
	22—37	10,9
	37—60	10,7
Мюльк-канлыбаш (верхний участок)	0—19	10,4
	19—39 5	10,6
	39,5—60	10,7

Монолиты были смонтированы способом, обычно применяемым в почвенной лаборатории Вниигим. Во время опытов, для учета скорости впитывания, над монолитами поддерживался напор с колебанием его от 16 до 14 см. Изменения горизонтов по верхнему напорному пьезометру в начале впитывания (пока скорость его была большой) отмечались через каждую минуту, в дальнейшем по уменьшении скорости впитывания через 5 минут и больше. Кроме того, отмечалось время начала работы промежуточных пьезометров, изменение напоров по ним и появление первой капли фильтрующей воды.

Обработка данных по впитыванию проводилась следующим образом:

1. Данные по изменению напора во времени наносились на график с получением кривых средних значений (сглаживающих неточности отсчетов);

2. На основании полученных кривых вычислялись объемы впитавшейся воды (по высоте падения напора за определенный отрезок времени и полученному непосредственным замером при долипании воды — объему воды в единице высоты воронки монолита);

3. Получались расходы воды на впитывание

$$Q = \frac{\omega}{t} \text{ см}^3/\text{сек.},$$

где ω — объем впитавшейся воды за время — t ;

4. Скорость впитывания вычислялась по формуле

$$v = \frac{Q}{F} \text{ см/сек.},$$

где Q — расход впитывания и F — площадь поперечного сечения воронки монолита.

Данные по вычислению скорости впитывания воды на монолитах приведены на графике 6.

4. Сравнение полевых и лабораторных данных по динамике впитывания

Для возможности сравнения результатов полевых и лабораторных работ данные о потерях воды в каналах в л/с приведены в размерность см/сек.

Смоченная поверхность каналов за время опытов составляла: Мюльк-канлыбаш $P=2814,3 \text{ м}^2$ и Эрки-яб $P=2973,6 \text{ м}^2$ ¹).

Для канала Эрки-яб, монолиты из которого не брались, на графике 7 показаны кривые динамики потерь как в л/с, так и в см/с. Для кривой скорости впитывания, выраженной в см/сек., нами по формуле, преподанной академиком А. Н. Костяковым в виде

$$v_t = \frac{v_0}{T^\alpha}$$

получены числовые коэффициенты для канала Эрки-яб.

Уравнение имеет вид

$$v_t = \frac{0,000291}{T^{0,290}},$$

где v_t — скорость впитывания в см/сек. в момент t . T — время от начала работы канала в минутах. Из графика видно, что теоретическая кривая довольно хорошо совпадает с кривой, полученной в натуре. Уравнение кривой скорости впитывания для канала имени Ленина имеет вид

$$v_t = \frac{0,00175}{T^{0,201}}$$

¹ Принятое нами допущение, что впитывание пропорционально смоченной поверхности, для условий наших опытов существенной ошибки не даст.

На графике 8 показана динамика скорости впитывания для канала Мюльк-канлыбаш. Кривые имеют следующие уравнения: полевые данные $v_t = \frac{0,001783}{T^{0,276}}$, монолит верхнего участка канала

$$v_t = \frac{0,002659}{T^{0,593}}$$

монолит нижнего участка канала

$$v_t = \frac{0,004166}{T^{0,616}}$$

Из сравнения кривых, полученных в полевой обстановке на канале Мюльк-канлыбаш и на монолитах, взятых из того же канала, видно следующее: кривые, полученные на монолитах, качественно подобны кривым, полученным в полевой обстановке. Количественно же они отличаются. Для канала Мюльк-канлыбаш кривые, полученные на монолитах, дают значения скорости впитывания в 2—6 раз меньше скорости впитывания, полученной в полевой обстановке. Указанные расхождения объясняются неоднородностью грунтов по длине каналов.

На канале Мюльк-канлыбаш грунты состояли, главным образом, из средних суглинков с встречающимися прослойками песка с супесью и глины.

Механический и микроагрегатный анализ грунтов монолитов также показывает наслоение грунтов различной водопроницаемости по их высоте.

Коэффициенты фильтрации отдельных слоев монолита, вычисленные по агрегатному анализу, отличались между собой в 2—3 раза.

Из сравнения данных полевых и лабораторных работ, в отношении применения монолитов для характеристики динамики впитывания в полевых условиях, можно указать следующее:

а) метод монолитов вскрывает динамичность скорости впитывания;

б) изменение скорости впитывания, полученное на монолитах, отличается от полевых данных из-за неоднородности почво грунтов как по вертикали, так и в плане;

в) переход от монолитов к полевым данным по динамике впитывания для сложных грунтов невозможен до тех пор, пока не будет собран достаточный материал по определению динамики впитывания в полевой обстановке, с одновременным проведением опытов с достаточным коли-

Динамика потерь в
картвом оросителе №1
в тяжелых суглинистых
грунтах (Совинская опыт-
но-мелиорат. станция)

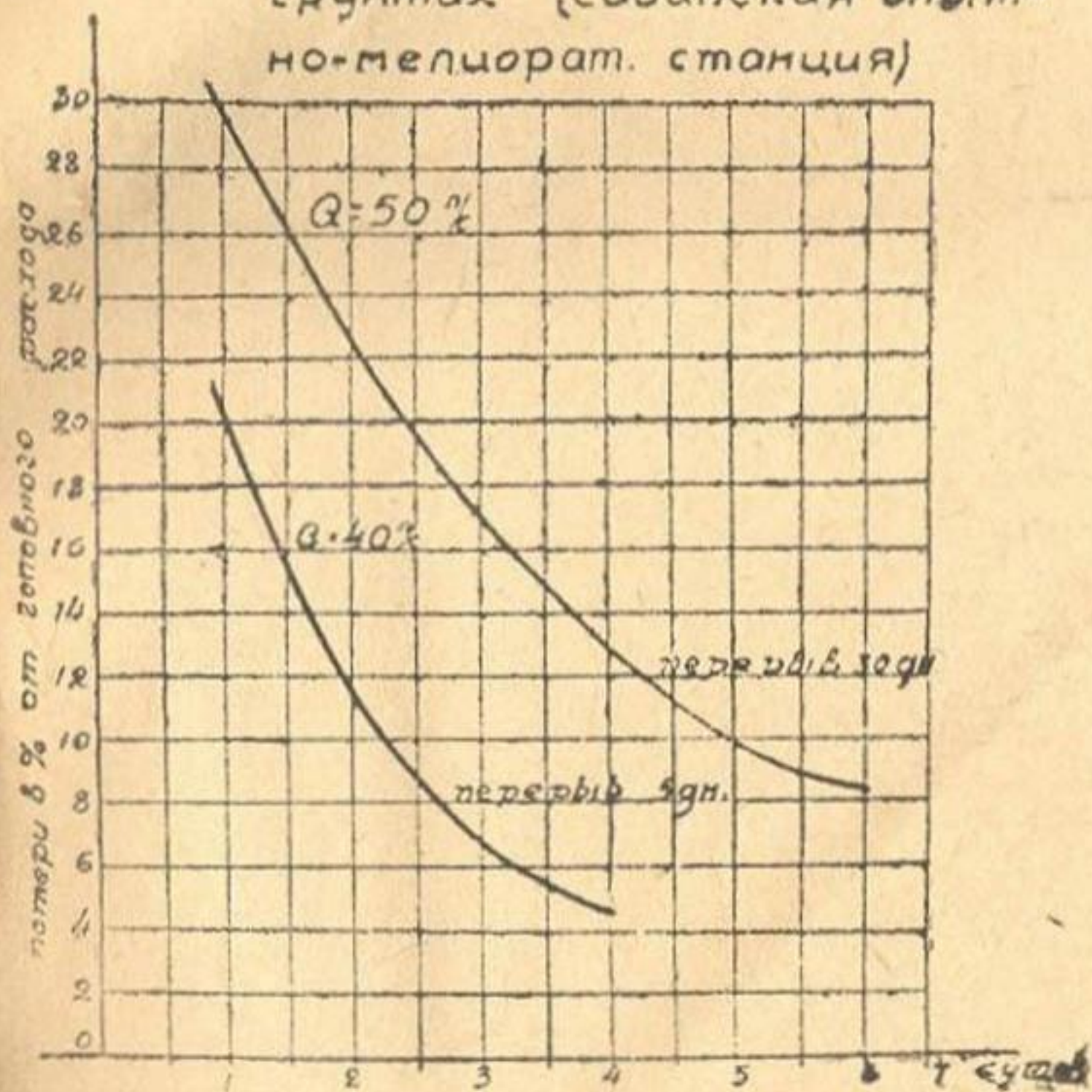


График 1

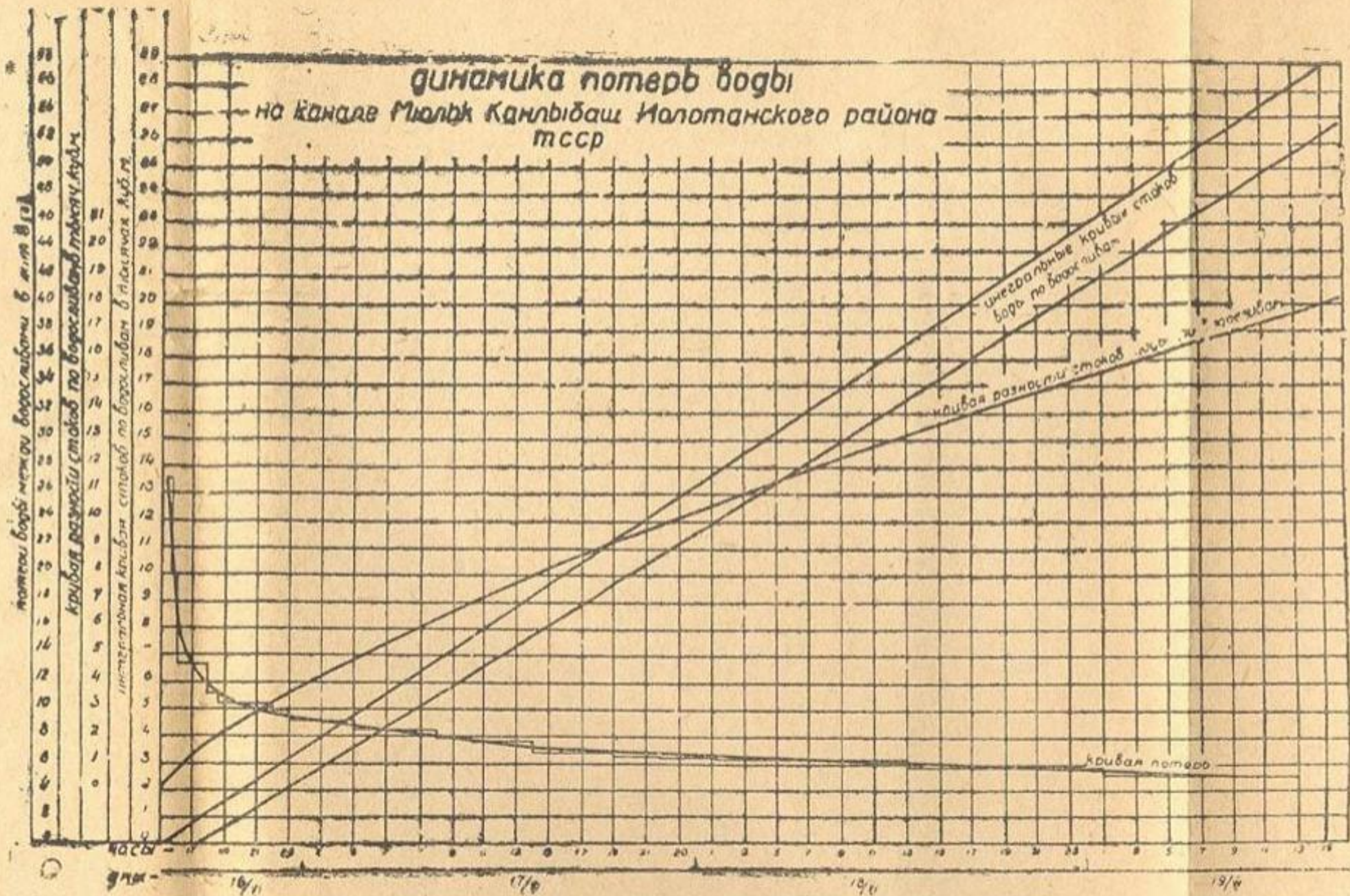
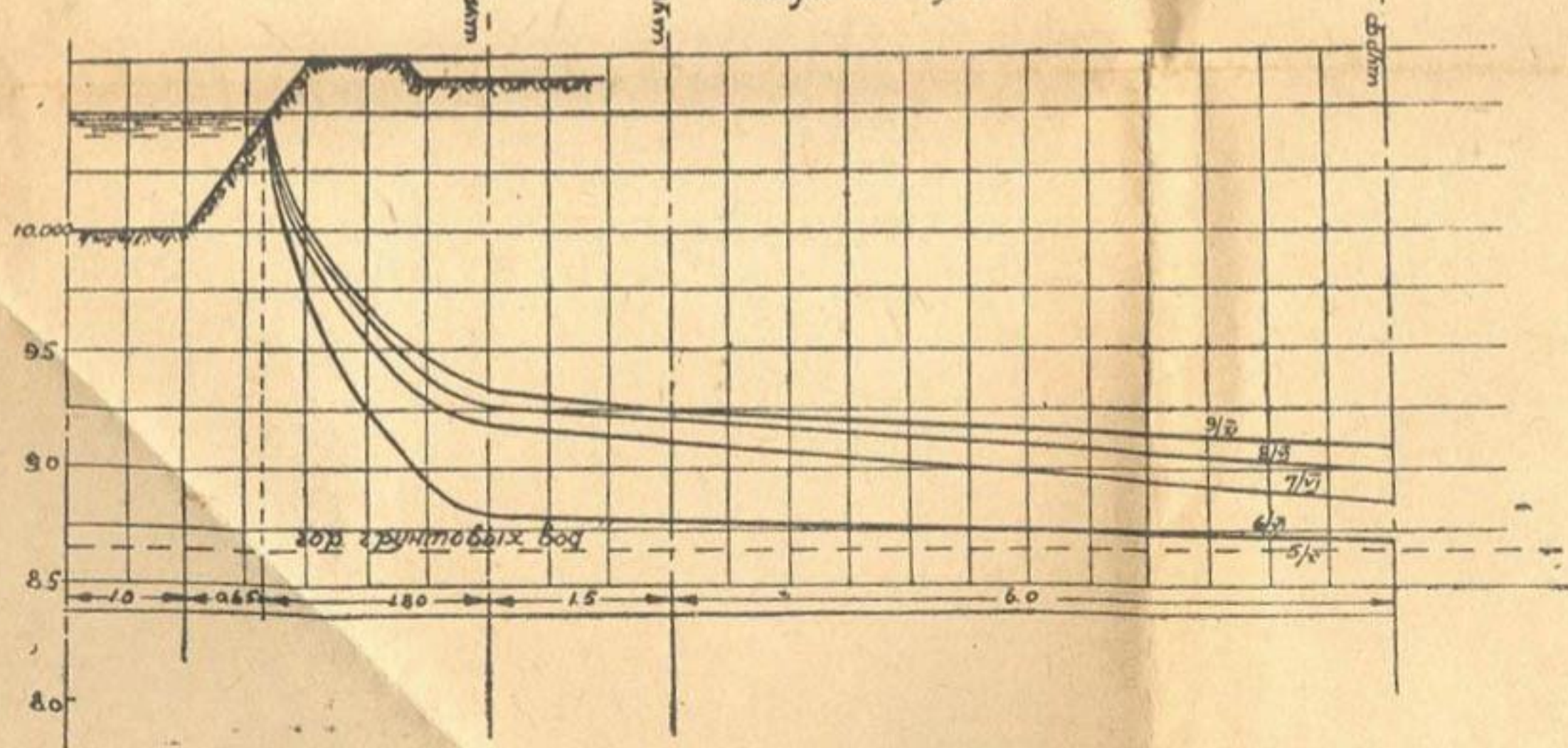


График 2

Изменение кривой депрессии на канале
~~после пуска в него~~ после пуска в него
 воды за время с 5/8 - 9/8-35г.



черт. 11

График 3.

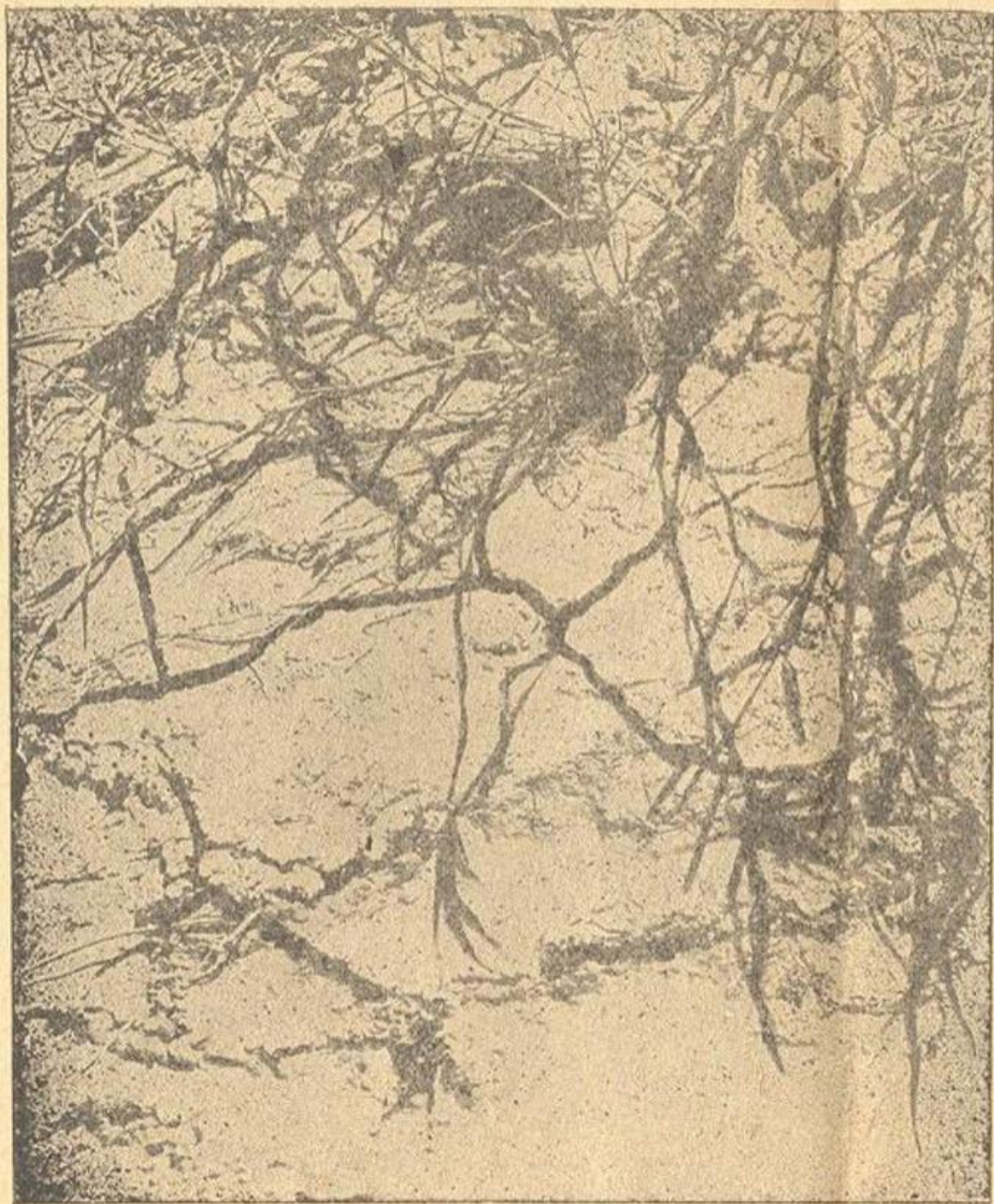


Фото 5

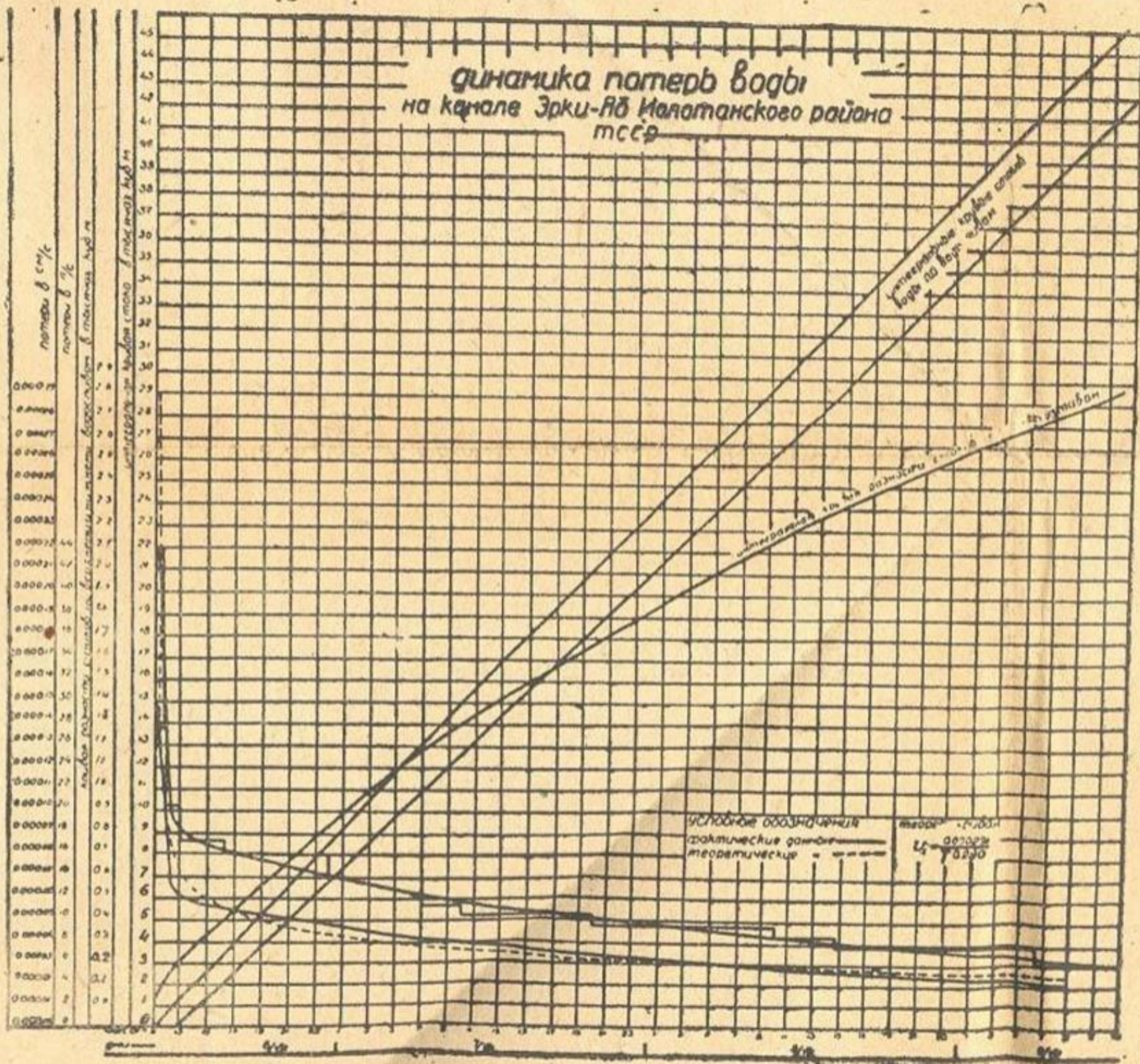


График 6

Динамика скорости впитывания
 moisture взятом из нижнего участка
 канала Мюльк-Кампыбаш Цопотанского р-на
 т.с.с.р.

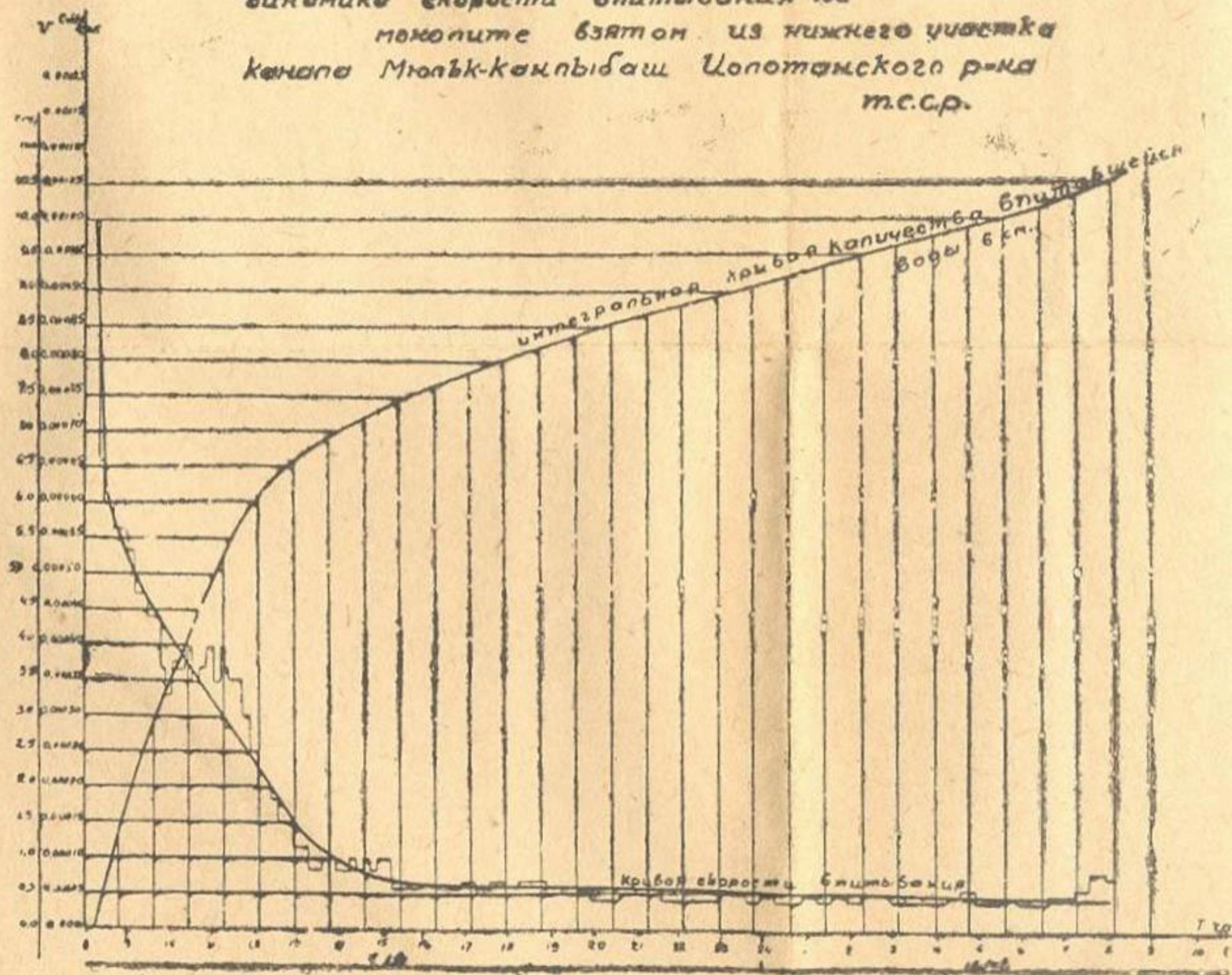


График 7

Динамика

Скорости вливания по каналу Мюльк-Конныбаш

(полевые и лабораторные данные)

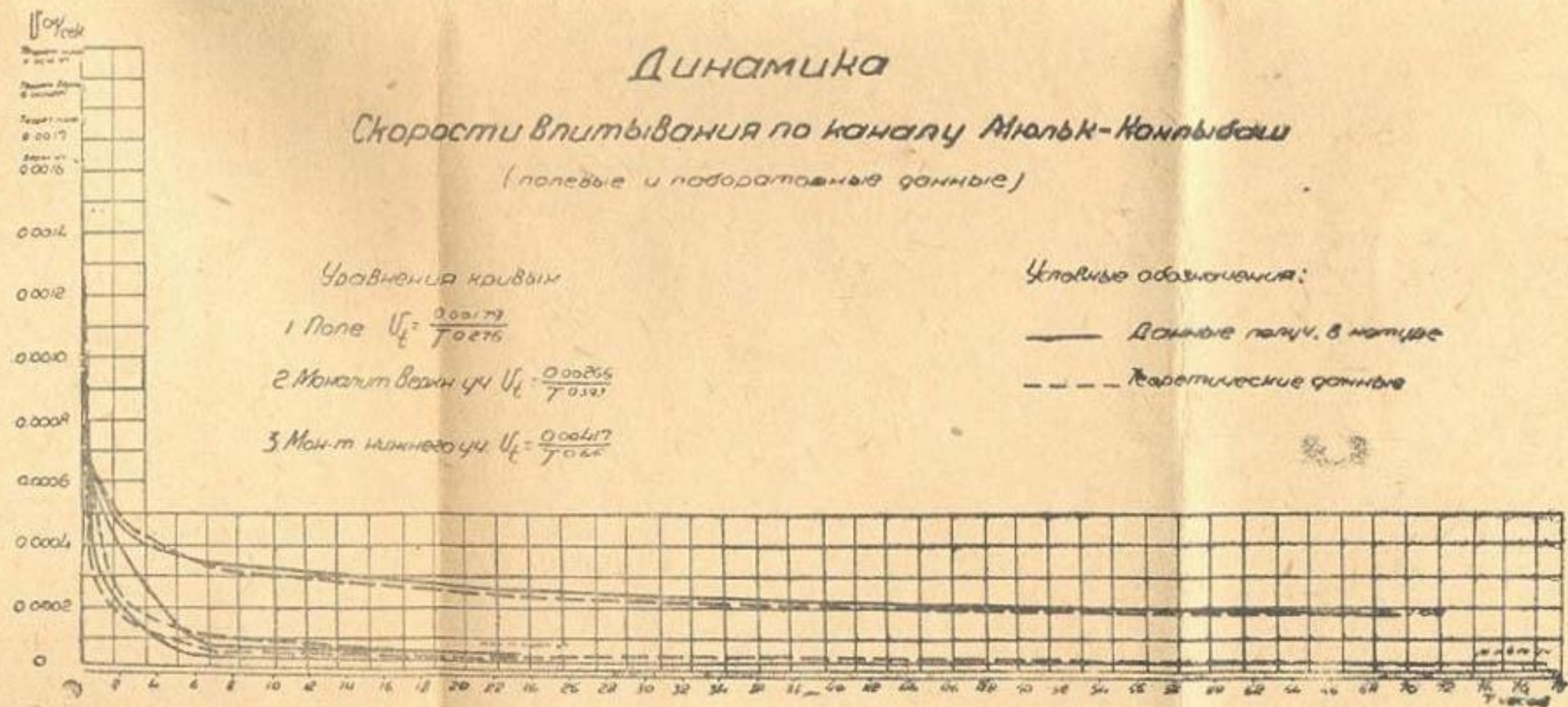


График 8

чеством монолитов (в зависимости от степени неоднородности грунтов). При этом работы с монолитами должны проводиться на месте, т. к. доставка монолитов на далекое расстояние, последующая перекладка их при монтаже, различная степень влажности грунта в монолите и в поле и т. д. вносят несоответствие в картину явления.

5. Выводы по полевым и лабораторным работам

Данные лабораторных опытов, как не могущие достаточно охарактеризовать собой явления динамики впитывания по опытным участкам каналов, в дальнейших выводах нами во внимание не приняты.

Из рассмотрения графиков динамики потерь воды при периодической работе колхозных отводов и групповых оросителей можно установить следующее: на всех опытных каналах первый цикл замочки канала, продолжительностью в 4—5 часов, характеризуется резким падением величины потерь в канале, за счет закупорки наиболее крупных трещин взвешенными частицами, переносимыми потоком. В дальнейшем отмечается более плавное падение потерь (переход от впитывания к фильтрации) обусловливаемое изменением гидравлических условий и фильтрационных свойств грунта, а также закупоркой взвешенными частицами более мелких трещин. В более тяжелых грунтах (тяжелые и средние суглинки) как на канале Эрки-яб, кривая динамики потерь (а, следовательно, и кривая скорости впитывания) отличается более резким характером падения (более крутое падение) по сравнению с кривой, полученной на канале Мюльк-канлыбаш с его более легкими грунтами (средние суглинки). Собственно, этого и следовало ожидать, т. к. более тяжелые грунты являются в то же время более влагоемкими, и явление впитывания в них продолжается гораздо дольше, чем в легких грунтах. Особо стоит канал им. Ленина, где изменение в потерях (уменьшение их) происходило, главным образом, за счет растекания фильтрационного потока вследствие повышения уровня близлежащих грунтовых вод.

Следовательно, влияние явления впитывания на величину потерь воды сказывается тем больше, чем тяжелее грунты, и тем меньше, чем они легче (при глубоких грунтовых водах).

Кроме того, величина потерь воды при впитывании зависит в значительной мере от степени пересыхания грунта по каналу. В тяжелых грунтах, обладающих свойством трескаться при пересыхании, трещины вызывают пересы-

хание на глубину гораздо большую (при одном и том же времени стояния без воды), чем пересыхание в легких не трескающихся грунтах.

Установить закономерность динамики впитывания для каналов с различными грунтами можно только после получения и соответствующей обработки достаточного материала полевых опытов, причем большое значение в этом случае будет иметь не только характер грунтов и число дней пересыхания канала, но и такие факторы, как время года (различная температура воздуха), затенение канала, глубина канала и т. д.

Для ориентировочных подсчетов, при наличии условий, аналогичных опыту, динамику скорости впитывания, а следовательно и динамику потерь, можно подсчитывать по следующим формулам:

а) для тяжелых грунтов

$$v_t = \frac{0,00029}{T^{0,290}} \text{ см/сек.}$$

б) для средних грунтов

$$v_t = \frac{0,001783}{T^{0,276}} \text{ см/сек.}$$

в) для легких грунтов при наличии близких грунтовых вод (около 2 м от поверхности земли)

$$v_t = \frac{0,001747}{T^{0,201}} \text{ см/сек}$$

6. Влияние впитывания на потери воды в каналах и сравнение типов очередного и непрерывного водопользования в мелкой ирригационной сети

Для определения влияния впитывания на потери воды в каналах при периодической работе их, а также для сравнения потерь при очередном и непрерывном водопользовании, воспользуемся данными наблюдений динамики потерь на каналах Эрки-яб, Мюльк-канлыбаш и им. Ленина. Величину потерь за период от времени пуска воды до времени установления потерь (условно будем считать, что ко времени окончания наблюдений по водосливам в канале установились постоянные потери на фильтрацию), определим как разницу в стоках воды по верхнему и нижнему водосливу, а для канала им. Ленина как сток через верхнее и нижнее сечение опытного участка.

Рассмотрим две схемы водопользования — очередную работу колхозных отводов и групповых оросителей и непрерывный сток. Эти схемы примем для бороздных поливов и полива способом затопления со средними поливными периодами (для условий Мургаба в первом случае $T = 14$ суткам и во втором $T = 18$ суткам). Примем (как это обычно бывает в условиях Мургаба) форсировку подачи воды на 100%. Следовательно, сроки работы каналов и подаваемые по каналу расходы для нашего примера будут следующие:

Таблица 7

Схема водопользования	Бороздные поливы		Затопление	
	время работы	Q гол.	время работы	Q гол.
Водооборот	7 суток	$Q_{\text{фор.}}$	9 суток	$Q_{\text{фор.}}$
Непрерывный ток .	14 суток	$\frac{Q_{\text{фор.}}}{2}$	18 суток	$\frac{Q_{\text{фор.}}}{2}$

Расходы, наблюдаемые на указанных каналах за время опытов, примем за форсированные. Потери при расходах, примерно в 2 раза меньших, были получены нами на тех же каналах на основании фактических замеров на 8—10 день работы канала, т. е. с уже установившейся фильтрацией. Результаты сравнения потерь воды при очередной и непрерывной работе канала, выраженные в процентах от головного расхода, даны в таблице 8.

Таблица 8

Наименование каналов	Сток по верхнему водосливу м^3	Сток по нижнему водосливу м^3	Средние потери за период впитывания в % на 1 км	Q форсиров. л/сек	Установившиеся потери на фильтрацию в % на 1 км
Мюльк-канлыбаш	28 356,7	26 583,7	3,94	113,00	2,81
Эрки-яб	46 464,0	43 497,4	4,25	180,0	2,32
Им. Ленина . . .	44 732,7	41 509,7	7,2	133,0	5,22

Наименование каналов	Ср. потери на фильтрац. с учетом впитывания в % на 1 км. при борозд. полив. (т. 7 дней)	% увелич. потерь по сравнению с установив- шимся	Ср. потери на филтр. с учетом впитыван. в % на 1 км. при пол. затоп. (такт 9 дней)	% увелич. потерь по сравнению с установив- шимся	Q непрерывн. тока л/сек	Потери на фильтрацию при непрер. токе в % на 1 км
Мюльк-канлыбаш	3,39	17,00	3,29	14,5	60,0	4,0
Эрки-яб :	3,1	25,0	2,93	21,0	90,0	3,2
Им. Ленина : . .	6,2	16,00	5,87	11,0	65,0	6,1

Если принять за 100 % эффект от введения водооборота без учета впитывания, то эффект от водооборота с учетом его будет значительно меньше (см. таблицу 9).

Таблица 9

Наименование каналов	Сниже- ние по- тер от водообо- рота без учета впитыва- ния в %	Снижение потерь от водооборота с учетом впитывания в %		Действительная эффективность от водооборота в % по сравнению с предполагаемой (по ледня приня- та за 100 %)	
		при бороздн. поливах такт 7 дней	при поливах затоплением такт 9 дней	борозд- ные поливы	полив затопле- нием
Мюльк-канлыбаш	30,0	15,0	18,0	50,0	60,0
Эрки-яб . : . . .	28,0	3,0	8,5	10,7	30,2
Им. Ленина : . :	15,0	1,2	4,0	Отрицат.	26,6

Если подсчитать влияние впитывания при периодической работе каналов (для опытов инж. Жегалова, показанных на графике 1, перерыв работы канала 5 дней, расход 40 л/с, постоянные потери устанавливаются через 3 суток), то получим следующее:

Наименование канала	Ср. потери при впитывании за период опыта (3 суток) в % от голов. расхода	Установившиеся потери в % от головного расхода	Средние потери с учетом впитывания за период работы в % от расхода		Процент увеличения потерь по сравнению с установившимся	
			при такте в 7 дней	при такте в 9 дней	при такте в 7 дней	при такте в 9 дней
Картовый ороситель	10,3	5,8	7,75	7,3	34,6	26,0

Примечание: Грунты по каналу — тяжелые суглинки.

Из таблицы видно, что впитывание значительно снижает эффект от подачи форсированных расходов.

На канале Эрки-яб (тяжелые грунты) и им. Ленина (легкие грунты с близкими грунтовыми водами), потери при водообороте с короткими тактами и с учетом впитывания почти одинаковы с потерями при непрерывном токе.

При длинном же поливном периоде (поливы способом затопления) потери при непрерывном токе больше, но эффект от форсировки при учете впитывания незначителен.

На канале Мюльк-канлыбаш (средние грунты) при коротком поливном периоде, потери при непрерывном токе больше, чем при очередной работе, но эффект от введения форсировки благодаря учету впитывания снижен на половину.

Как известно, эффект от введения форсированных расходов воды основан на том, что с увеличением расходов относительные потери (потери, выраженные в процентах от головного расхода) уменьшаются, что видно из кривых потерь как теоретических, так и эмпирических, построенных по различным формулам и приведенных на графике 12 (см. раздел „Установление расчетных формул по определению потерь воды на фильтрацию для мелкой ирригационной сети“).

Из графика видно, что с увеличением расхода процент потерь падает особенно резко для расходов до 50—200 л/с, причем для легких грунтов это падение выражено резко, для средних грунтов менее резко и для тяжелых грунтов незначительно. Следовательно, для тяжелых грунтов с наиболее сильной динамикой впитывания (что подтверждается нашими опытами и опытами инж. Жегалова) и незначительным уменьшением процента потерь при форсировке — введение 2-тактного водооборота на колхозных отводах

и групповых оросителях по сравнению с непрерывным током не дает почти никакого эффекта (в особенности при бороздных поливах). Для легких же грунтов, с незначительным влиянием впитывания и, наоборот, крупным уменьшением процента потерь при форсировке — введение водооборота дает больший эффект в смысле уменьшения потерь воды. Грунты средней проницаемости занимают промежуточное положение между грунтами тяжелыми и легкими. Все сказанное относится к случаю глубокого залегания грунтовых вод. Поэтому при установлении схемы работы колхозных отводов и групповых оросителей (очередная работа, непрерывный ток) в целях экономии потерь воды на фильтрацию, необходимо исходить из водопроницаемости грунтов и величины подаваемых расходов, а также времени работы канала.

На групповых оросителях (подающих воду в отдельные сельско-хозяйственные бригады) более значительный эффект дает многотактный водооборот с периодом его в 6—10 дней. В этом случае групповые оросители не успеют достаточно пересыхать и влияние впитывания в них будет сказываться незначительно.

Указываемый очень часто в литературе эффект от введения водооборота на системе, за счет уменьшения потерь воды при транспортировке, выражающийся в увеличении коэффициента полезного действия системы или участка до 10—20%, получался, нам кажется, не столько за счет экономии в потерях воды при транспортировке (явление впитывания при этом не учитывалось), сколько за счет уменьшения применяемых поливных норм и уменьшения эксплуатационных потерь, вследствие жестких сроков водоподачи на колхозные поля. Необходимо отметить, что при установлении приведенных цифр эффективности водооборота подсчеты производились, по всей вероятности (указаний об этом нет) на основе количества поданной воды в головах отдельных частей системы или всей системы, а также по политым за определенный промежуток времени площадям и плановым (или же полученным путем эпизодических замеров) поливным нормам, а не на основе фактических замеров потерь при форсированных расходах (с учетом впитывания) и потерь при непрерывном токе.

А. Эксплуатационные потери в мелкой ирригационной сети

Эксплуатационные потери в ирригационной сети вызываются:

1. Несовершенством ирригационной сети и сооружений на ней;

2. Недостаточной постановкой дела обслуживания ирригационной сети.

К первому типу относятся: а) аварийные (прорывы дамб благодаря несовершенству их), б) переливы через дамбы при пропуске форсированных расходов (несовершенный профиль дамб или же пропуск расходов свыше проектных), в) утечка через щиты регуляторов и выпусков на сети, благодаря неплотному прилеганию их в пазах, порче щита и подъемных механизмов, или же вследствие несоответствия высоты щита допускаемому напору перед ним—перелив воды через щит.

Эксплоатационные потери этого рода происходят, главным образом, в магистральной и распределительной сети, причем утечки через щиты регуляторов и выпусков, по нашим наблюдениям на Мургабе (в среднем из 15 наблюдений), составляли 2,37% от максимального расхода канала.

Эксплоатационные потери вследствие недостаточной постановки дела обслуживания ирригационных систем имеют место главным образом в мелкой сети и получаются вследствие:

а) зарастания каналов и отсутствия надлежащей борьбы с этим явлением,

б) излишних перегонов воды по мелкой ирригационной сети, главным образом из-за неподготовленности к поливам отдельных полей и делянок (несвоевременное проведение надлежащих с.-х. работ),

в) подпора воды в каналах при поливе высоких земель, вызывающего преувеличенные потери на фильтрацию,

г) наличия мертвого слоя воды в каналах при поливе способом затопления,

д) залива пустырей, дорог и т. д. при отсутствии надлежащего контроля за использованием воды. Из указанных потерь учету непосредственными замерами поддаются только потери, отмеченные в пунктах а, в и г. Остальные виды потерь относятся к разряду случайных и систематическому учету не поддаются.

Для выявления общей величины эксплуатационных потерь и влияния на них отдельных поддающихся учету факторов, нами были проведены работы по учету эксплуатационных потерь в 7 колхозах Иолотанского и Мервского районов ТССР.

В 1934 г. были проведены работы в 6 колхозах Иолотанского района ТССР, а именно: а) Пахтачи, б) им. 1-го Мая, в) Подопытный, г) Атчапаров, д) им. Молотова,

е) Тезе-Дурмыш и в 1935 г. в колхозе им. Ленина, Мервского района, ТССР. В первых четырех колхозах и в последнем на части площади одновременно с поливами способом затопления проводились и бороздные поливы. В колхозе им. Молотова и Тезе-Дурмыш поливы проводились исключительно способом затопления. Колхозы не имели сбросной сети, вся поступающая вода попадала исключительно на орошаемые поля, что значительно облегчало постановку учета. Уклоны оросительных каналов в колхозах незначительны и колеблются в пределах от 0,0003—0,0005. Грунты по всем колхозам (за исключением последнего), главным образом, суглинистые. В колхозе им. Ленина, Мервского района грунты легкие-супесчаные.

В течение вегетационных поливов откосы каналов и частично дно их (в особенности в колхозах Пахтачи, 1-го Мая и Подопытном) сильно зарастали. Так, на один пог. метр дна канала зачастую приходилось от 4 до 8 сорняков, на бортах же каналов, в пределах живого сечения, несколько больше.

Для выявления эксплуатационных потерь по колхозам были поставлены:

а) точный учет подачи воды в колхозы с помощью водосливов типа Чиполетти и водомеров Вентури-Поршалла;

б) учет фактически политых площадей не реже одного раза в пятидневку с помощью специальных обмеров;

в) учет времени полива отдельных делянок (для выявления расстояния пробега воды от водомерного поста до поливаемых площадей);

г) учет фактических поливных норм отдельных орошаемых культур по каждому колхозу;

д) учет фактических потерь воды на фильтрацию и испарение (суммарно) на длине основных каналов всех колхозов в начале первых вегетационных поливов (т. е. когда каналы были в незаросшем состоянии).

Суммарная величина эксплуатационных потерь подсчитывалась следующим образом:

а) сток воды за пятидневку подсчитывался по водомеру в голове колхозного отвода;

б) сток на полях высчитывался на основании данных о фактически политых за пятидневку площадях и средних за данный полив поливных норм;

в) потери воды на фильтрацию и испарение за 5-дневку подсчитывались на основании данных о фактических потерях воды в каналах (полученных в начале вегетационных

поливов) и данных о расстоянии до центра поливаемых за пятидневку площадей. Разница между стоком воды в голове колхозного отвода и стоком воды на полях, плюс сток потерь воды на фильтрацию давала суммарное количество эксплуатационных потерь воды. Последняя величина выражалась как в процентах от головного расхода, так и в процентах от потерь на фильтрацию.

Для характеристики потерь воды в ирригационной сети колхозов приводим таблицу 11 средних значений замеренных потерь по колхозной сети.

Таблица 11

№ п. п.	Наименование канала	Наименование колхоза	Q гол. л/с	Длина участка в км	Q хв. л/с	Потери в % на км
1	Эрден-дада-куль (холостая часть колхозного отвода)	им. Молотова	224,6	5,0	189,6	3,10
2	Групповой ороситель колхоза	"	189,60	2,0	178,0	3,06
3	Шихтемир (холостая часть колхозн. отвода)	Атчапаров	238,00	2,5	217,5	3,45
4	Групповой ороситель колхоза (левый)	"	217,5	2,5	195,3	3,35
5	То же правый	"	225,0	2,0	210,0	3,34
6	Групповой ороситель левый	Подопытный	120,0	1,0	115,5	3,75
7	То же правый с частью картового оросителя	"	130,0	3,0	115,0	3,85
8	Пахтачи (холостая часть и групповой ороситель левый)	Пахтачи	240,0	2,0	223,0	3,5
9	То же (холостая часть и групповой ороситель правый)	"	240,0	3,0	214,1	3,6
10	Групповой ороситель и часть картового	имени 1-го Мая	120,0	2,0	106,0	5,7
11	Групповой ороситель и часть картового	Тезе-Дурмыш	120,0	1,5	109,9	5,6

Результаты работ по определению суммарной величины эксплуатационных потерь по отдельным колхозам представляются следующим образом:

а) наибольшая величина эксплуатационных потерь (от 7 до 36% от головного расхода) отмечена в колхозах Пахтачи, 1-е Мая и Подопытном. В колхозах же Атчапаров, Тезе-Дурмыши им. Молотова колебания эксплуатационных потерь по пятидневкам гораздо меньше, всего от 5 до 13%. Значительно большая величина эксплуатационных потерь в первых трех колхозах объясняется главным образом: а) весьма сильным заростанием каналов колхозной сети, б) частыми перегонами воды из одной части колхоза в другую (за один и тот же день) вследствие несвоевременной нарезки борозд, в) применением больших поливных норм при ночных поливах, не могущих быть учтенными замерами, г) отклонением фактических поливных норм за отдельные пятидневки от расчетных средних за полив. Кроме того, в колхозе Пахтачи (имеющем наибольшую величину эксплуатационных потерь) наличие земель с высокими отметками вызывало подпоры воды в канале (на 30—45 см), что значительно увеличивало потери на фильтрацию. И к концу вегетационных поливов, в связи с очисткой каналов от зарослей и упорядочением водопользования, эксплуатационные потери уменьшались. Для выявления влияния заростания каналов и наличия земель с высокими отметками на величину потерь воды, мы провели замеры потерь воды в каналах в заросшем состоянии, а также при поливах высоких земель. Средние результаты замеров приведены в таблице 12 (табл. 12 см. на сл. стр.).

Мертвый слой воды, остающейся в картовых оросителях после полива, учтен нами в колхозах Тезе-Дурмыш и 1-е Мая, Иолотанского района, и им. Ленина (см. таблицу 13), Мервского района с помощью замеров.

Удельный вес заростания каналов, подпора при поливе высоких земель и мертвого слоя воды в общей величине эксплуатационных потерь для колхозов Пахтачи и Тезе-Дурмыш приведен на графиках 9 и 10.

Переброски воды в пределах колхозной сети, в основном в виду неподготовленности полей к поливу (наблюдалось до 4—7 перебросок воды за отдельные поливы) по нашим наблюдениям в подопытных колхозах давали дополнительную величину потерь воды от 4 до 7% от головного расхода. Указанные потери отмечаются в подопытных колхозах при поливе затоплением из-за неподготовленности полей с окучкой, полкой и т. д. и еще в большей степени при бороздных поливах (новизна дела, отставание с нарезкой борозд).

Общая величина эксплуатационных потерь по всем опытным колхозам крайне неравномерна за отдельные пяти-

№ п. п.	Наименование колхоза	Фактор увелич. потерь	Время замера	Q гол. л/с	Длина участка в км	Q хвост л/с	Потери в % на 1 км	Увеличение горизонта воды в канале против норм см	Процент увеличен. потерь против норм.
1	Пахтачи	зарост.	6. VII	235,0	2,0	213,4	4,6	13,0	28,6
2	"	"	27. VII	250	2,0	225,0	5,0	19,0	29,0
3	"	подпор при поливе	23. VI	240	1,5	219,8	5,6	30,0	55,5 ¹
4	"	высоких земель	19. VII	220	1,0	206,2	6,3	40,00	75,0
5	"	"	5. VIII	235	1,0	219,0	6,8	41,00	89,0
6	Тезе-Дурмыш	зарост	26. VI	110,0	1,5	99,2	6,55	7,0	17,00
7	" "	"	24. VII	115,0	1,5	103,8	7,06	11,0	26,0

Примечание 1. Подпор не максимальный. Увеличение потерь вследствие подпора при поливе высоких земель включает в себя и влияние зарастания каналов.

Примечание 2. Для сравнения мы провели подсчеты потерь при повышенных горизонтах по ф-ле Морица $S=0,011574 K_0$ при коэффициенте фильтрации $K_0=0,32$, полученном на основании данных о фактических потерях (в нормальных условиях) и фактически смоченном периметре. При увеличении горизонтов на 20 см увеличение потерь получается = 24% против нормальных и при увеличении на 40 см — увеличение потерь = 54% против нормальных. Данные замеров, полученные в натуре, значительно превышают данные, полученные по ф-ле Морица, вероятно за счет несоответствия ф-лы данным условиям и частично благодаря транспирации воды растениями. Разница в температурах воды при замерах потерь в начале поливной и к концу поливной — незначительна.

дневки. В некоторых случаях (колхоз Пахтачи) неучтенные эксплуатационные потери весьма велики. Основная причина их, как мы уже указывали, недоучет поливных норм при ночных поливах. Кроме того, величина расчетной сред-

Таблица 13

№ п.п.	Наименование колхозов	Месторасположение картового участка	Объем воды, оставшейся после полива кв. м	Длина участка с мертвым слоем воды в м	Суммарное количество оставшейся воды кв. м	Орошаемая картовым орошением площадь	Общая длина сети в м/га	Объем воды мертвого слоя в % к стоку воды на 1 га	Примечание
1	Им. 1 Мая	Поле № 3	49,6	180,0	—	—	—	—	Для колхозов имени 1 Мая и им. Ленина со смешанными способами полива (бороздные и затоплением), средняя поливная норма принята в 1250 куб. м/га (бороздные и поливные 1000 куб. м/га и затоплением 1350 куб. м/га).
			9,2	50,0	—	—	—	—	
			8,7	40,0	67,5	4,5	60,0	1,2	
2	Тезе-Дурмыш	Поле № 3	63,5	350,0	283,7	11,2	142,0	2,1	
			71,0	300,0	—	—	—	—	
			70,0	420,0	—	—	—	—	Для колхоза Тезе-Дурмыш с поливами способом затопления средняя поливная норма принята в 1200 куб. м/га.
			39,2	270,0	—	—	—	—	
			31,0	250,0	—	—	—	—	
3	Им. Ленина Мервского района	Поле № 18	53,7	165,0	61,2	2,3	100,0	2,1	
			7,5	65,0	37,7	1,8	89,0	1,7	
			37,7	160,0	76,5	2,38	81,0	2,55	
			76,5	193,0	—	—	—	—	
			средн.	—	—	—	—	—	

ней за данный полив фактической нормы значительно отклоняется от верхнего и нижнего предела фактически замеренных норм.

Подытоживая все изложенное в настоящем разделе, можно отметить, что влияние отдельных факторов сказывается за отдельные поливы следующим образом:

1. Мертвый слой воды в канале — 2% от расхода на полях;

2. Заростание каналов до 5,5% от головного расхода;

3. Подпор при поливе высоких земель до 4% от головного расхода;

4. Переброски воды вследствие неподготовленности к поливу орошаемых площадей составляют от 4 до 7% от головного расхода за отдельные наблюдаемые пятидневки, или же до 2,5% от головного расхода за отдельный полив. Кроме того, частые переброски воды дают дополнительно мертвый слой воды в каналах, величина которого ориентировочно может составлять до 2% от головного расхода. Следовательно, в среднем потери вследствие перебросок воды достигают 4,5% от головного расхода.

Б. Установление расчетных формул по определению потерь воды на фильтрацию для мелкой ирригационной сети

Как мы уже указывали, мелкая ирригационная сеть работает в основном периодически, благодаря чему впитывание при первоначальной замочке каналов увеличивает потери воды по сравнению с установившимися потерями на фильтрацию. Наличие перемычек в каналах мелкой ирригационной сети вызывает подпор в каналах и в свою очередь также увеличивает потери воды.

Наиболее желательным было бы выявить потери воды в мелкой ирригационной сети путем непосредственных замеров, для чего необходимо провести специальное оборудование постов эксплуатационной гидрометрии и внутриколхозной сети. Специфические особенности работы каналов мелкой ирригационной сети несколько затрудняют указанное. Вторым способом подсчета потерь воды в мелкой ирригационной сети можно было бы рекомендовать следующий: на основе вычисления фактического коэффициента фильтрации, полученного на основании данных о фактических потерях в крупной сети с подобными грунтами, потери мелкой сети (на колхозных отводах и групповых оросителях) подсчитывать по исходной формуле Морица или по формуле инж. Ведерникова, но с преувеличенным

значением коэффициента фильтрации — для тяжелых грунтов на 25—30%, для средних на 15% и для легких без увеличения (согласно наших опытов).

В практике эксплуатации ирригационных систем, в особенности на системах неинженерного типа, очень часто затруднительно иметь данные о водопроницаемости грунтов и гидравлические элементы каналов, необходимые для пользования указанными формулами. Поэтому при работах по подсчету потерь в мелкой сети удобнее пользоваться формулами вида $\sigma = \frac{A}{Q^n}$, предложенными акад. А. Н. Костяковым.

Как мы уже указывали, эмпирические формулы академика А. Н. Костякова, за исключением формулы для средних грунтов, дают предельные значения для соответственных грунтов. Нам удалось для легких водопроницаемых грунтов (песчано-супесчаные грунты) на основании литературных и архивных материалов подобрать сто двадцать замеров, обнимающих расходы от 0,020 до 3,5 м³/с.

В результате соответствующей обработки этих данных нами получена кривая средне-взвешенных значений и ее уравнение

$$\sigma = \frac{2,846}{Q^{0,5}} \% \text{ на 1 километр}$$

где Q — головной расход, выраженный в куб. м/сек. Данные по фактически замеренным потерям в легких грунтах и усередненная кривая показаны на графике 11.

Для получения расчетных формул для мелкой ирригационной сети указанного вида, нами построены на графике кривые потерь в процентах от головного расхода, вычисленные по всем существующим формулам.

Формулы проф. Гончарова, Вуудса, Бересфорда, Фридриха и Канадская не приводятся совсем по причинам их малой пригодности. Потери на фильтрацию в процентах на 1 километр для расходов до 3,0 куб м/сек и для грунтов различной водопроницаемости, по формулам Морица, Костякова (эмпирическим) нашей (для легких грунтов), Козени, Пенджабской, Девиса, Уильсона и Ведерникова приведены на графике 12.

Кривые для легких водопроницаемых грунтов построены при $m = 1,5$, для средних и тяжелых грунтов при $m = 1,0$.

В формулах Морица, Козени и Ведерникова коэффициент фильтрации K_0 принят по таблице Морица.

Рассмотрим полученные результаты:

Легкие грунты

В порядке убывания значения потерь стоят формулы Костякова, автора, Ведерникова, Морица, Козени и, наконец, Девиса и Уильсона. Формула Костякова дает максимальное значение для наблюдаемых потерь.

Ввиду того, что впитывание в легких грунтах оказывается весьма значительным для подсчета потерь в мелкой сети, остановимся на формуле $\sigma = \frac{2,846}{Q 0,5}$ — нашей, дающей среднее значение потерь для легких грунтов (большее чем по теорет. Ведерникова, но меньшее чем по формуле А. Н. Костякова).

Грунты средней водопроницаемости

В порядке убывания значения потерь стоят формулы А. Н. Костякова (для расхода до 0,125 куб. м/с. формула Ведерникова дает немного большие значения), Ведерникова, Морица, Козени, Девиса и Уильсона и, наконец, Пенджабская. Последняя формула, не имея коэффициента, характеризующего фильтрационные свойства грунта, выведена, как видно из графика, на основании наблюдений над тяжелыми грунтами. Ввиду того, что в грунтах средней водопроницаемости впитывание увеличивает потери против нормальных на 10—20% в качестве расчетной, примем формулу акад. А. Н. Костякова в виде $\sigma = \frac{1,9}{Q 0,4} \%$ на 1 км, дающую преувеличенное значение потерь на указанную величину по сравнению с наиболее обоснованной формулой инж. Ведерникова.

Тяжелые грунты

Как мы уже указывали, значение впитывания наиболее сильно сказывается в тяжелых грунтах. Поэтому при выборе расчетной формулы необходимо учитывать, чтобы она давала значения потерь, на 20—30% превосходящие потери, получаемые при условии установившейся фильтрации.

На графике 11 видно, что в порядке убывания потерь наибольшее значение дает теоретическая формула инж. Ведерникова (для расходов свыше 0,650 куб. м/с, большее значение дает формула Костякова) далее инж. Морица, Костякова, Козени, Девиса и Уильсона.

Для подсчета потерь в мелкой сети при тяжелых грунтах нами получена кривая, дающая среднее значение потерь для формул академика А. Н. Костякова, выведенных для грунтов средних и тяжелых.

$$\sigma = \frac{1,3}{Q 0,37} \% \text{ на } 1 \text{ км.}$$

По своей структуре она проста, имеет такой же вид, как и выбранные нами формулы для подсчета потерь в легких и средних грунтах.

Из графика 11 видно, что эта формула (выделенная жирным пунктиром) дает значение потерь (для обычно встречаемых в мелкой сети расходов до 0,350—0,400 куб. м/сек.) на 25—35% больше чем формула Ведерникова — для тяжелых грунтов.

Итак, для подсчета потерь в мелкой сети нами рекомендуются следующие формулы:

1. Для легких грунтов

$$\sigma = \frac{2,850}{Q 0,5} \% \text{ на } 1 \text{ километр}$$

2. Для грунтов средней водопроницаемости

$$\sigma = \frac{1,9}{Q 0,4} \% \text{ на } 1 \text{ километр}$$

3. Для тяжелых грунтов

$$\sigma = \frac{1,3}{Q 0,37} \% \text{ на } 1 \text{ километр}$$

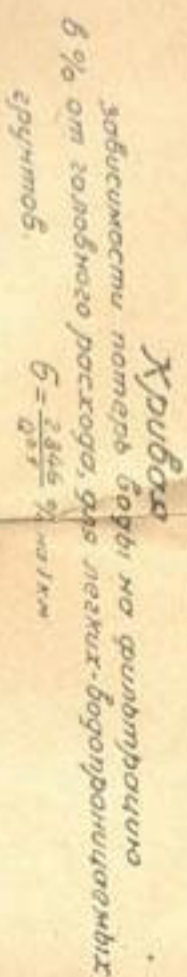
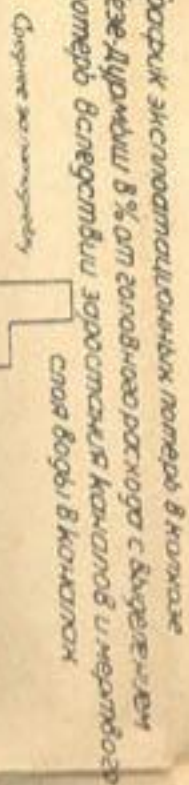
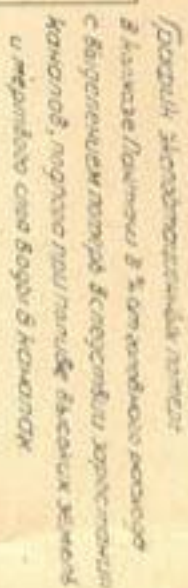
Приведенные формулы применимы для подсчета потерь в колхозных отводах и групповых оросителях.

Для сравнения значений потерь, получающихся по рекомендованным нами формулам, с потерями в мелкой сети, полученными путем непосредственных замеров, проведенных за время работы бригады Вниигим в 1934 г. и 1935 г., приводим ниже следующую таблицу 14.

Из таблицы видно, что потери, полученные по рекомендованным нами формулам, довольно хорошо совпадают с фактически замеренными потерями, причем в тяжелых грунтах в некоторых случаях фактические потери получаются даже более высокими, чем вычисленные по предлагаемой формуле.

Таблица 14.
Значения потерь в
легких-водопроводных
сетях





五

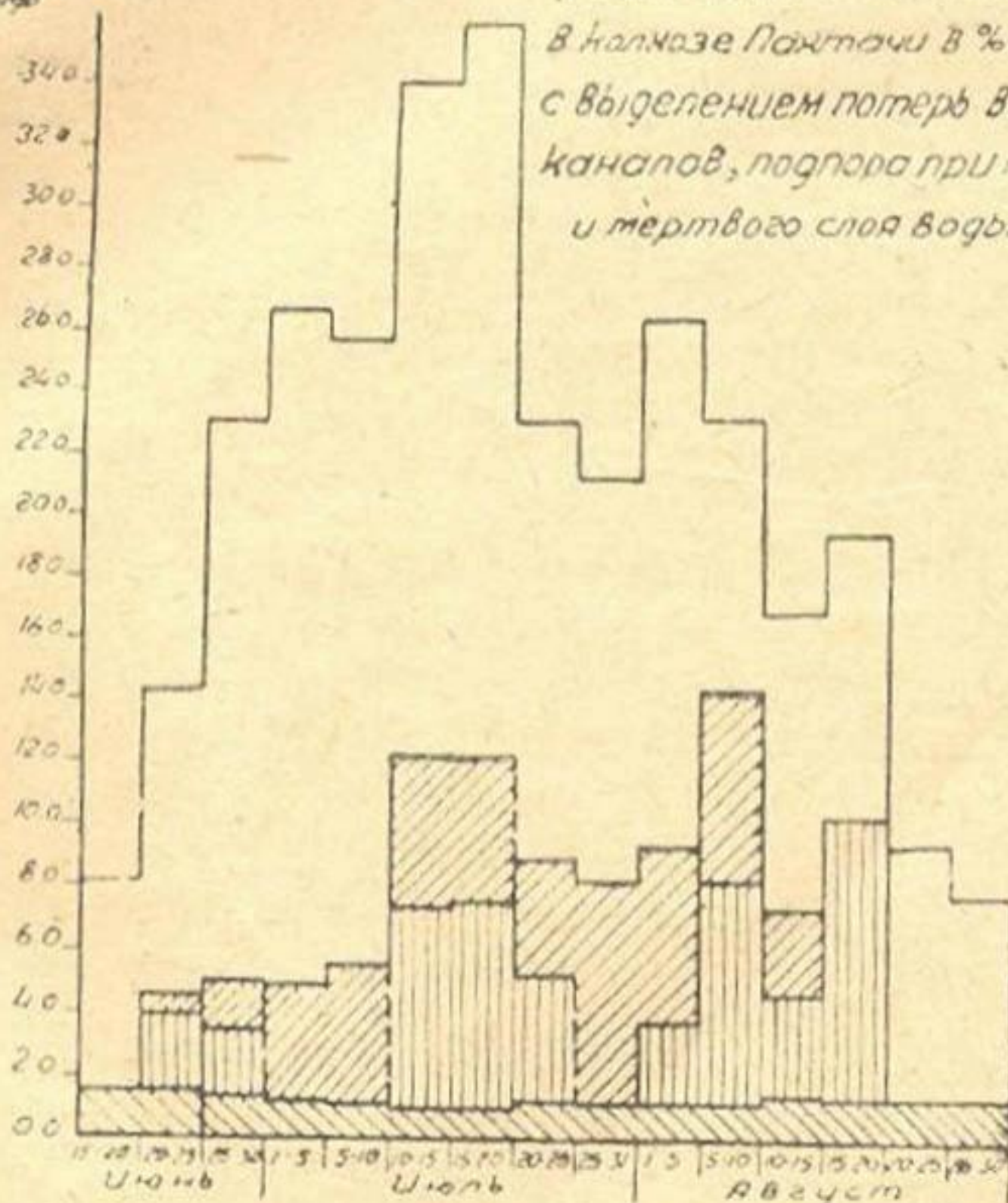
SYNOPSIS DISCUSSION



Уп. от. головного расхода

График эксплуатационных потерь

в канале Пахтани в % от головного расхода с выделением потерь вследствие зарастания каналов, подпора при поливе высоких земель и мертвого слоя воды в каналах.



Условные обозначения

- Мертвый слой воды в каналах
- Подпор при поливе высоких земель
- Зарастание каналов

Среднее значение

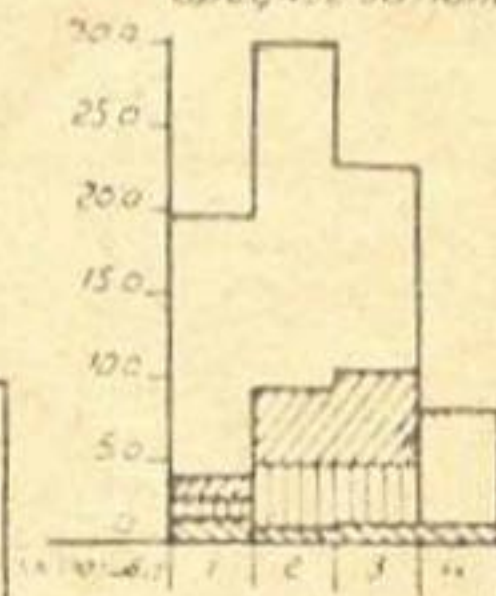


График 9

График эксплуатационных потерь в колхозе

Тезе-дурмыш в % от головного расхода с выделением потерь вследствие зарастания каналов и мертвого слоя воды в каналах.

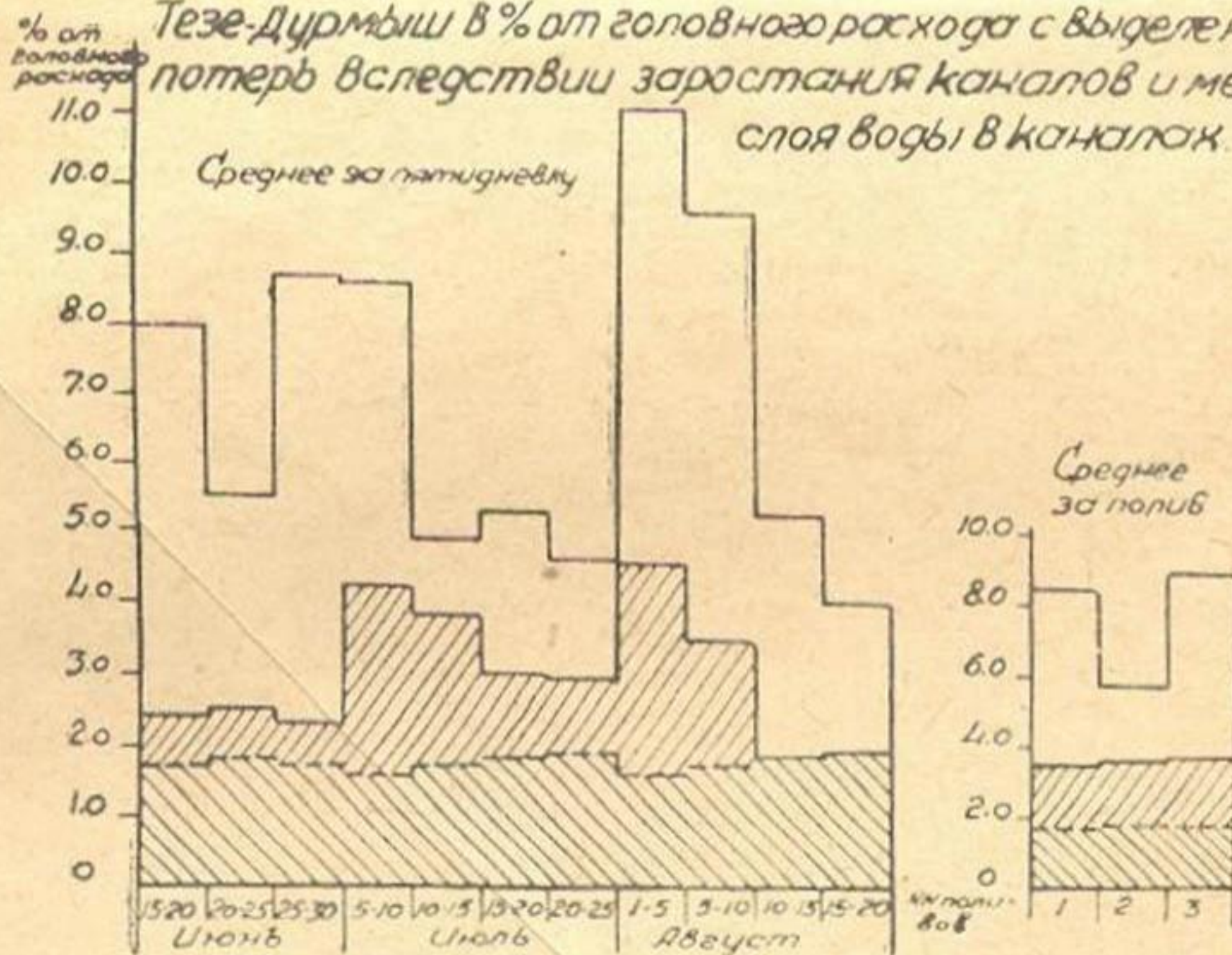


График 10

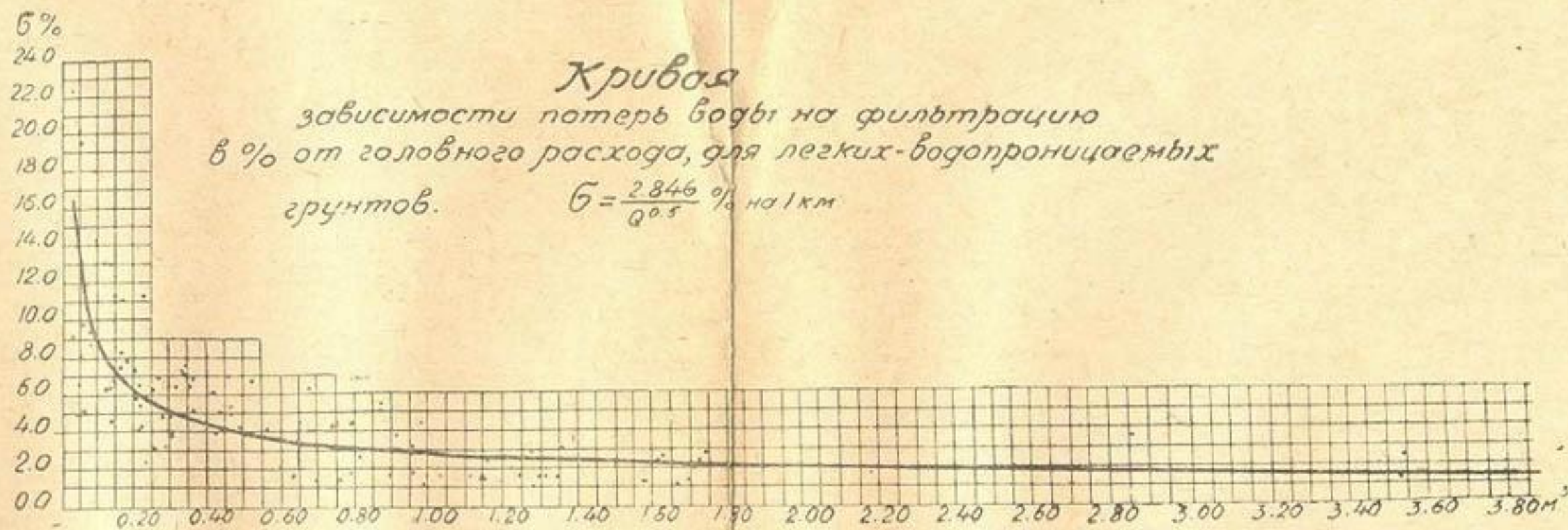


График 11

ГРАФИК

ПОТЕРЬ ВОДЫ НА ФИЛЬТРАЦИЮ В %% ОТ ГОЛОВНОГО РАСХОДА НА КИЛОМЕТР, ВЫЧИСЛЕННЫХ ПО РАЗЛИЧНЫМ ФОРМУЛАМ ДЛЯ ГРУНТОВ ТЯЖЕЛЫХ, СРЕДНИХ, ЛЕГКИХ.

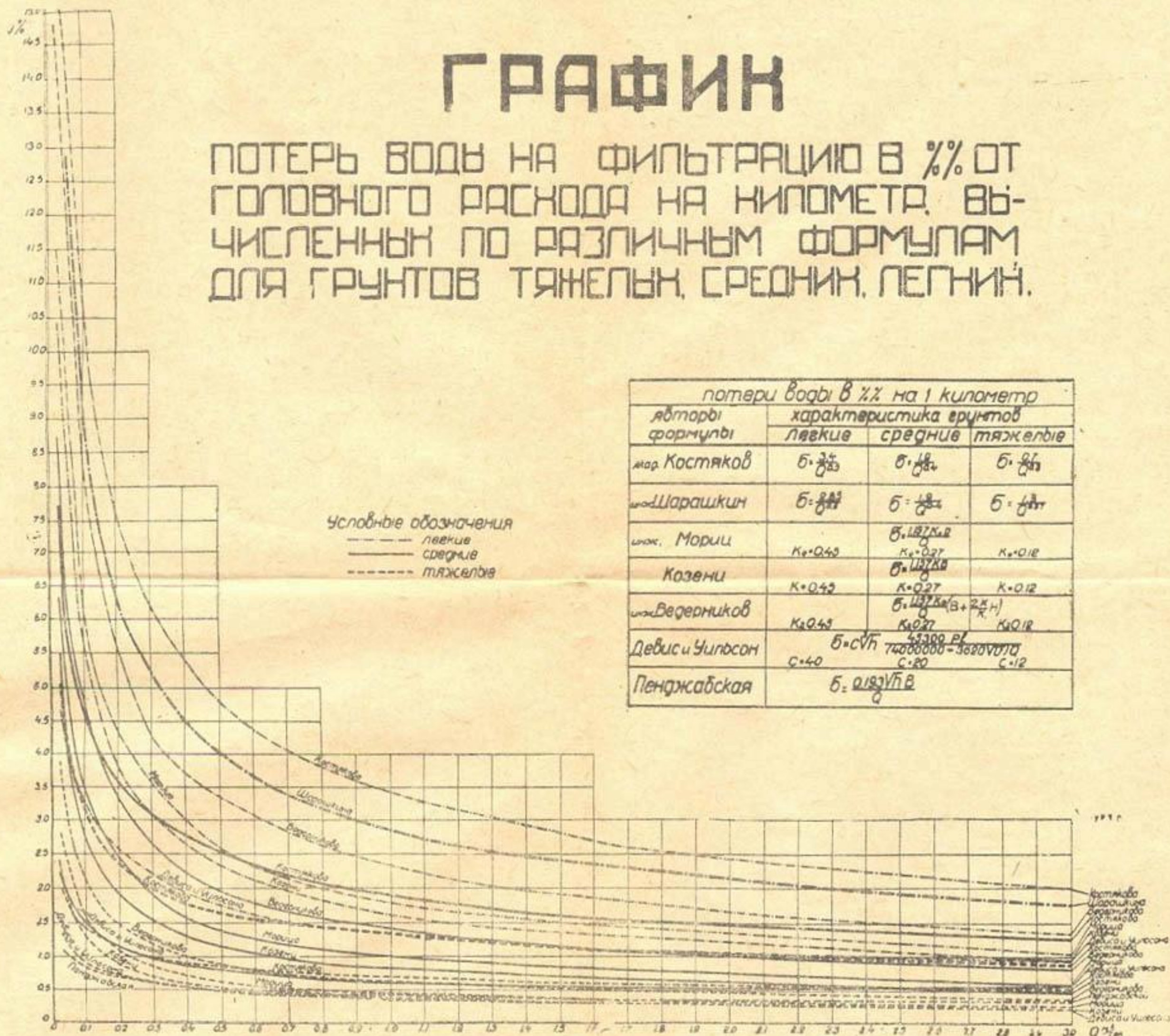


График 12

№ п.п.	Наименование каналов (колхоз- ные отводы и групповые оро- сители)	Q гол м³/с	Факт. потери в % на 1 км	Характеристика преобладающих грунтов	Значение потерь в % на 1 км вычи- слен. по рекомен- дованной ф-ле	По какой ф-ле вычислено
1	2	3	4	5	6	7
1	Япоги ороситель	0,27	5,45	песчано-супес.	5,48	для легких грунтов
2	Гуссейн-али	0,186	3,50	суглинки	3,7	средн.
3	№ 22	0,413	3,1	суглинки	2,8	для сред.
4	Ковак Джани-бек	0,362	1,8	глинисто-сугли- нистые	1,9	тяжел. грунтов
5	Кизыл Мест	0,306	4,9	песч. супесч.	5,12	легких.
6	Им. Молотова	0,190	3,06	тяжел. суглин.	2,75	тяжел.
7	Шихтемир	0,238	3,45	суглинки	3,45	средн.
8	Пахлачи	0,240	3,5	"	3,30	"
9	Эрки-яб	0,18	3,0	глин.-суглин.	2,5	тяжел.
10	Им. Ленина	0,130	7,2	песч. супесч.	7,7	легкие
11	Мюльк-калдыбаш	0,120	3,9	суглинки	4,4	средн.

Потери в картовых оросителях (с расходом в 60—90 л/с), работающих всего 2—3 дня за поливной период и пересыхающих в течение 12—15 дней за поливной период, будут значительно больше установившихся потерь в тех же каналах, а также и потерь, могущих быть в колхозных отводах и групповых оросителях, так как явление впитывания в них сказывается сильнее.

Из графика 1 видно, что за первые 2 суток работы картового оросителя, проходящего в тяжелых суглинистых грунтах, при расходе его в 40 л/с и перерыве в работе на 5 дней, потери воды были в 2,5 раза больше установившихся потерь. Из графика 2 видно, что в групповом оросителе, проходящем в средне-суглинистых грунтах, при расходе в 115 л/с и перерыве в работе его на 9 суток, потери за первые 2 суток были в 1,75—2,0 раза больше установившихся потерь. В легких грунтах впитывание сказывается незначительно, но для условий работы картового оросителя оно также имеет некоторое значение. Поэтому при подсчете потерь воды в картовых оросителях нами рекомендуются следующие формулы:

1. Для тяжелых грунтов,

$$\sigma = \frac{1.9}{Q^{0.4}} \% \text{ на 1 километр}$$

т. е. формула академика А. Н. Костякова, выведенная для средних грунтов.

2. Для средних грунтов

$$\sigma = \frac{2,85}{Q^{0,5}} \% \text{ на 1 километр,}$$

т. е. наша формула, выведенная для легких грунтов.

3. Для легких грунтов

$$\sigma = \frac{3,4}{Q^{0,5}} \% \text{ на 1 километр,}$$

т. е. формула акад. Костякова, А. Н., выведенная для легких грунтов.

При составлении планов водопользования, помимо потерь воды на фильтрацию, подсчитанных тем или иным способом, необходимо дополнительно учитывать эксплуатационные потери, которые при надлежащей постановке обслуживания системы могут быть сведены до минимума. Поэтому в плане водопользования величину их в мелкой сети необходимо принимать не больше 5—6% от головного расхода (величина могущих быть случайных — неизбежных потерь).

Выводы

1. До 50% общей величины всех потерь воды в ирригационной сети падает на мелкую сеть.

2. Потери в мелкой сети до настоящего времени достаточно не изучены.

3. Величина потерь в мелкой ирригационной сети в значительной степени зависит от эксплуатационных потерь, причем в литературе отсутствуют данные о причинах, вызывающих ту или иную величину их (ранее эти потери относились к разряду случайных потерь).

4. Существующие расчетные формулы по определению потерь в ирригационной сети, выведенные теоретическим путем или же полученные эмпирически, в основном учитывают установившуюся фильтрацию, т. е. в каналах, работающих непрерывным током. Каналы же мелкой сети работают в основном периодически, благодаря чему впитывание при первоначальном пуске увеличивает потери за период работы канала по сравнению с установившимися. Для подавляющего большинства существующих расчетных фор-

мул отсутствуют данные о значении коэффициента фильтрации, что также затрудняет их применение.

На местах, на системах неинженерного и полунинженерного типа (а их большинство) очень часто отсутствуют данные о водопроницаемости грунтов и гидравлических элементов каналов. Поэтому удобнее пользоваться формулами вида $\sigma = \frac{A}{Q^n}$ (что наблюдается на практике).

5. Потери в мелкой ирригационной сети складываются из: а) потерь при транспортировке и б) эксплуатационных потерь.

6. Потери воды на фильтрацию в мелкой сети происходят, главным образом, в условиях периодической работы каналов. В первый период после пуска воды по пересохшим каналам наблюдается явление впитывания, дающее дополнительную величину потерь, по сравнению с установившимися потерями на фильтрацию.

7. Кривые скорости впитывания, полученные как в полевой обстановке, так и на монолитах, довольно хорошо совпадают с закономерностью изменения ее, по уравнению, предложенному академиком Костяковым А. Н. в виде:

$$v = \frac{v_0}{T^\alpha}$$

8. При наличии условий, аналогичных нашим опытам, ориентировочно динамику скорости впитывания на каналах можно подсчитывать по следующим формулам:

а) для тяжелых грунтов

$$v_t = \frac{0,00029}{T^{0,290}}$$

б) для средних грунтов

$$v_t = \frac{0,00178}{T^{0,270}}$$

при условии глубокого залегания грунтовых вод.

Для легких грунтов при наличии близких грунтовых вод

$$v_t = \frac{0,001747}{T^{0,201}}$$

9. На основании наших опытов установлено, что потери воды в колхозных отводах и грунтовых оросителях, по сравнению с установившимися потерями, увеличиваются под влиянием впитывания следующим образом:

а) для тяжелых водонепроницаемых грунтов (при далеких грунтовых водах) на 21—25%, в зависимости от перио-

да действия канала (первая цифра — бороздные поливы, вторая — затопление);

б) для средних грунтов (при далеких грунтовых водах) на 14—17%;

в) для легких грунтов (при далеких грунтовых водах) — влияние впитывания почти не сказывается;

г) для легких грунтов (с близкими грунтовыми водами) на 11—16%.

10. В картовых оросителях благодаря короткому времени работы их (2—3 дня за поливной период) явление впитывания сказывается значительно больше.

11. Эффективность введения водооборота с учетом впитывания значительно меньше обычно считаемого (без учета явления впитывания). Наши опыты показали, что при 2-тактном водообороте при 100% форсировке, введение водооборота на колхозных отводах и групповых оросителях дает следующий эффект по сравнению с водооборотом без учета впитывания, если эффект последнего принять за 100%.

а) При далеких грунтовых водах	Период водооборота	
	7 дней	9 дней
1. В тяжелых грунтах	11%	31 %
2. В средних грунтах	50%	58,5%
б) в легких грунтах с близкими грунтовыми водами	0%	24,2%

12. Из закономерности изменения потерь в различных грунтах, в зависимости от расхода, показанных различными авторами, можно усмотреть, что наиболее резкое уменьшение процента потерь в связи с увеличением расхода дают легкие грунты, менее — средние и весьма незначительное — тяжелые. Увеличение же потерь за счет впитывания сказывается как раз в обратном порядке. Поэтому при установлении схемы водопользования в мелкой ирригационной сети (непрерывный ток, водооборот), если исходить только из потерь воды, необходимо принимать во внимание водопроницаемость грунтов, период действия канала и величину пропускаемого расхода. При этом, если устанавливается очередная работа групповых оросителей, необходимо стремиться к введению многотактного водооборота с периодом в 6—10 дней и короткими перерывами, при которых канал не успел бы пересохнуть.

13. Значительный эффект от водооборота, указываемый некоторыми авторами (не принимавшими во внимание явления впитывания в каналах), получался по всей вероятности не столько за счет экономии в потерях воды при

транспортировке (как это считалось), сколько за счет уменьшения эксплуатационных потерь и применения нормальных поливных норм (сниженных по сравнению с обычно применяемыми) в результате жестких сроков водоподачи.

14. На основании данных постановки учета эксплуатационных потерь в 7 колхозах Иолотанского и Мервского районов ТССР установлено:

Общая величина средних за полив эксплуатационных потерь, вызываемая недостаточной постановкой дела обслуживания ирригационных систем, колебалась от 7 до 22% от головного расхода, в 4 колхозах от 7 до 10% и в 3 колхозах от 14 до 22%. При этом потери, могущие быть учтенными непосредственными замерами (не считая потерь вследствие перебросок воды) составляли от 3,4 до 10,2% от головного расхода.

Влияние отдельных факторов сказывается следующим образом:

а) мертвый слой воды в каналах составляет в среднем 2% от расхода на полях;

б) зарастание каналов за отдельные поливы дает потери до 5,5% от головного расхода;

в) подпор при поливе высоких земель (при наличии площади орошаемых земель с высокими отметками — до 30% от общей площади) вызывает потери воды до 4% от головного расхода за отдельные поливы;

г) бесполезные переброски воды по колхозу (наблюдалось до 4—7 перебросок воды за отдельные поливы), дают дополнительную потерю воды до 4,5% от головного расхода (не считая дополнительных потерь вследствие впитывания при пробеге воды по подсохшим каналам).

15. Подсчет потерь в мелкой ирригационной сети рекомендуется проводить на основании данных эксплуатационной гидрометрии о фактических потерях в каналах мелкой ирригационной сети при различных расходах. При отсутствии их, потери рекомендуется подсчитывать на основе данных о коэффициенте фильтрации, вычисленном на основании фактических замеров потерь в крупной ирригационной сети с подобными грунтами. В этом случае подсчет потерь необходимо проводить по исходной ф-ле Морица или же по ф-ле Ведерникова, но с увеличением значения коэффициента фильтрации для тяжелых грунтов на 20—30%, для средних 15—20% и для легких без увеличения.

При отсутствии данных о величине фактического коэффициента фильтрации и данных о гидравлических элементах каналов (что в производственных условиях большей частью и бывает), подсчет потерь в колхозных отводах и группо-

вых оросителях необходимо проводить по следующим формулам:

1. Для легких грунтов

$$\sigma = \frac{2,85}{Q 0,5} \% \text{ на 1 километр}$$

2. Для средних грунтов

$$\sigma = \frac{1,9}{Q 0,4} \% \text{ на 1 километр}$$

3. Для тяжелых грунтов

$$\sigma = \frac{1,3}{Q 0,37} \% \text{ на 1 километр}$$

В картовых оросителях, работающих всего 2—3 дня за полив, влияние впитывания оказывается гораздо больше, чем в групповых оросителях и колхозных отводах. Опыты по изучению впитывания показывают, что за первые 2 суток потери в картовых оросителях больше установившихся в 1,75—2,5 раза (соответственно средние и тяжелые грунты). В легких грунтах впитывание сказывается незначительно, но в данном случае и оно имеет некоторое значение. Поэтому потери воды в картовых оросителях необходимо подсчитывать по следующим формулам:

а) легкие грунты

$$\sigma = \frac{3,4}{Q 0,5} \% \text{ на 1 километр}$$

б) средние грунты

$$\sigma = \frac{2,85}{Q 0,5} \% \text{ на 1 километр}$$

в) тяжелые грунты

$$\sigma = \frac{1,9}{Q 0,4} \% \text{ на 1 километр}$$

16. При составлении планов водопользования, необходимо учитывать и эксплуатационные потери. Принимая во внимание, что надлежащей постановкой обслуживания системы они могут быть сведены до минимума, величину их необходимо принимать не больше 5—6% от головного расхода.

Список использованной литературы

1. Русская литература

1. Академик А. Н. Костяков — Основы мелиорации.
2. Профессор С. П. Тромбачев — Орошение и осушение.
3. Г. К. Ризенкамф — Основы мелиорации.
4. Б. С. Аранов — Орошение.
5. Проф. Н. А. Янишевский — Временная инструкция по составлению оперативных планов водопользования (не опубликованная).
6. Агроном Г. П. Гельцер — Плановое водопользование.
7. Профессор И. А. Шаров — Эксплоатация ирригационных систем в хлопковых районах.
8. Профессор Н. В. Поляков — Организация и эксплуатация мелиоративных систем.
9. Академик А. Н. Костяков — Основные элементы расчета оросительных систем.
10. Проф. Шлегель — Материалы по курсу эксплуатации ирригационных систем.
11. Инж. Костин — О потерях воды в ирригационной системе, журнал Социалистическое Зерновое Хозяйство № 6, 1934 г.
12. Инж. П. И. Васин — Потери в каналах и формулы учета их.
13. Журнал Гидротехническое строительство № 2—3, 1932 г. Статьи проф. Гончарова, инж. Костякова и Биндемана.
14. Проф. Гончаров — Фильтрационные потери в каналах и формулы учета, Гидротехническое строительство, 1931 г., № 9.
15. Инж. Скоталанович — Расчетные формулы для определения потерь воды в каналах (Вниигим, не опубликованы).

16. Инж. Г. С. Коган — Сводка о коэффициенте полезного действия ирригационных систем (Вниигим, не опубликована).
17. Инж. К. М. Зубрик — Потери воды на оросительных системах, Записки русского технического общества, 1935 г., № 8—9.
18. Инж. Коробкин — Мелкая оросительная сеть и ее показатели, Бюллетень Закавказского Института водного хозяйства, № 11, 1932 г.
19. Инж. Н. И. Струков — Исчисление потерь в каналах, (Вниигим, не опубликована)
20. Инж. В. В. Ведерников — Фильтрация из каналов, изд. 1934 г.
21. Инж. Н. П. Преображенский — Условия минимального просачивания воды в ирригационных каналах, труды Вниигим, том XIV.
22. Инж. В. В. Ведерников — Влияние капиллярного поднятия на фильтрацию из каналов, журнал Гидротехническое строительство, № 5, 1935 г.
23. Б. Арканов — Несколько слов о потерях в мелкой сети III околка Славинского округа (Вниигим, не опубликовано).
24. Потери в ирригационной сети Андижанского уезда Ферганской области (Вниигим — не опубликовано).
25. Инж. В. В. Ведерников — Учет изменения к. п. д. ирригационных систем в зависимости от загрузки, журнал Вестник ирригации, 1928 г., № 6.
26. Агроном Г. П. Гельцер — К вопросу о загрузке оросительных систем в течение года, журнал Вестник ирригации, 1927 г., № 4.
27. Инж. Глебов — Новые методы и некоторые результаты наблюдений над фильтрацией из каналов, труды Вниигим, т. VIII, 1933 г.
28. Инж. Якштас — Формула Морица для подсчета потерь воды, Вестник ирригации, 1926 г., № 8.
29. Инж. В. В. Ведерников — О водообороте, Вестник ирригации, 1926 г., № 8.
30. Проф. Цинзерлинг — Орошение в бассейне Аму-дарьи.
31. Проф. И. А. Шаров — Основные моменты реконструкции хлопковой ирригации, Вниигим — рукопись.
32. Инж. Гущин — Рационализация водопользования в Голодной степи (Вниигим — не опубликовано).
33. Проф. Н. А. Янишевский — Методы улучшения эксплуатации оросительных систем и необходимые исследования, Вестник ирригации, 1928 г., № 9.

34. Проф. Н. А. Янишевский — Работы по улучшению водопользования в связи с маловодьем 1927 г. и мероприятия на будущий поливной сезон, журнал Вестник ирригации, 1928 г., № 3.
35. Агроном Г. П. Гельцер — Водооборот в условиях единоличного и коллективного хозяйства, Вестник ирригации, 1929 г., № 5.
36. Н. Колосенков — К вопросу об организации дехканского поливного хозяйства в связи с упорядочением водопользования. Вестник ирригации, 1927 г., № 4.
37. Проф. Качинский — Опыт агромелиоративной характеристики почв.
38. С. В. Астапов — Определение водных свойств и коэффициента фильтрации в грунтах с ненарушенной структурой методом монолитов, труды Вниигим, том VIII, 1933 г.
39. С. Л. Миркин — Промачивание почвы. Журнальные материалы по опытно-мелиоративному делу, т. IV, 1930 г.
40. Инж. А. М. Морозов — 1. Динамичность коэффициента фильтрации почво-грунтов в связи с выщелачиванием солей, 2. Фильтрация в песчано-неоднородных почво-грунтах, труды Вниигим, т. XII.
41. Епанчин — Отчет по командировке в Канаду.
42. Инж. Ермолаев — Современное орошение и хлопководство Египта.
43. Васильев — Очерк гидротехнических работ в Мургабском имении, изд. 1915 г.
44. Инж. Знаменский — Бетонирование каналов как один из способов сбережения воды в ирригационных системах, изд. 1923 г.
45. Инж. Г. С. Каган — Водопользование Вахшской долины (Вниигим — рукопись).
46. Бюллетень № 5 (Вниигим, Эксплоатация ирригационных систем).

Иностранная литература

1. B. A. Etcheverry and S. F. Harding — Irrigation [Practice and Engineering, 1930.
2. Proceedings of the American Society of Civil Engineers, 1929 и Март 1912.
3. H. U. Togg — Losses of Water in Canal, 1914.
4. Bellasis — Irrigation Work, London, 1914.
5. Willcoks — The Egyptian Irrigation, 1911.

6. R. P. Teel—Losses of irrigation water and their prevention, 1907.
 7. Engineering News, 1913. August 28. Moritz E. A. Seepage Losses from Earth canals.
 8. R. B. Buckley—Irrigation Pocket book, 1913.
 9. L. G. Carpenter—On the losses from Canals from filtration on seepage.
 10. Irrigation Branch Papers, № 10, 1905. Punjab.
 11. E. P. Smith—Use and waste of irrigation water. Bull. № 10, 1925.
 12. Charles H. Lee—An Intensive study of the Water Resources of a part of Owens Valley California.
-

На местах очень часто отсутствуют данные о фактических потерях в мелкой ирригационной сети в виду ненадежности эксплуатационной гидрометрии в пределах этой части системы. Поэтому при составлении планов водопользования приходится применять те или другие существующие расчетные формулы по учету потерь.

Для выявления пригодности их для условий работы мелкой ирригационной сети, рассмотрим все существующие формулы.

Таблица
существующих формул по учету потерь воды на фильтрацию

№ п.п.	Автор формулы	Потери в процентах от головного расхода на 1 километр	Примечание
		Г р у н т ы	
		легкие средн. тяжел.	
1	Акад. А. Н. Костяков	$\sigma = \frac{1.15 K}{\sqrt{Q.v}} \left(\frac{\alpha + 2 \sqrt{1 + \varphi^2}}{\alpha + \varphi} \right)$	Формула 2 выведена с учетом периодической работы каналов. Значения буквенных показателей общеизвестны
2	"	$\sigma_t = \frac{1.15 K_o}{t^2 \sqrt{Q.v}} \left(\frac{\alpha + 2 \sqrt{1 + \varphi^2}}{\alpha + \varphi} \right)$	
3	"	$\sigma = \frac{3.4}{Q^{0.5}} \mid \sigma = \frac{1.9}{Q^{0.4}} \mid \sigma = \frac{0.7}{Q^{0.3}}$	
4	Инж. Мориц	$\sigma = \frac{1.157 K_o R}{Q}$	Значения буквенных показателей общеизвестны
5	"	$\sigma = \frac{3.75 K_o}{\sqrt{Q.v}}$	
		$K_o = 0.45 \mid K_o = 0.27 \mid K_o = 0.12$	

№ п. п.	Автор формулы	Потери в процентах от головного расхода на 1 километр			Примечание
		Грунты			
		легкие	средн.	тяжел.	
6	Проф. Козени	$\sigma = \frac{1.157 KB}{Q}$			K — коэф. фильтрации в м/сут. В — ширина зеркала воды в метрах
7	Проф. Гончаров	$\sigma = \frac{1.33 Kp}{Q}$			p — смоченный периметр в мет.
8	Проф. Фридрих	$\sigma = 0.028 \left(\frac{a}{h} + b \right) \frac{1}{v}$			h — средняя глубина воды в канале в метрах; a и b — коэф. зависящие от свойств почв; v — средн. скорость воды в канале в метр.
		a = 11.0 b = 8.0	a = 1.8 b = 1.2	a = 0.008 b = 0.002	
9	Пенджабская	$\sigma = \frac{0.193 \sqrt{hB}}{Q}$			h — средняя глубина воды в канале в метр. B — ширина зеркала воды в канале в метр.
10	Бересфорда	$S = A l^x$			S — потери в канале на длине l; A — потери в данном канале на первой миле от его головы; l — длина канала в милях; x — коэффициент, изменяющийся от 5/6 до 6/7
11	Канадская	$\sigma = \frac{19 CBh}{Q}$			C — коэф. зависящий от водных свойств грунта; B — ширина зеркала воды в метр.; h — глубина воды в канале в метрах.
		C=0.020 C=0.017 C=0.015			
12	Девиса и Уильсона	$\sigma = C \sqrt[3]{h} \frac{45300 pl}{(4000000 + 45300 pl + 3620 \sqrt{v}) Q}$			C — коэф. зависящий от водных свойств грунта; h — ср. глубина воды в канале в метрах. p — смоч. периметр канала в метрах. l — длина канала в метр. v — ср. скорость воды в канале в мет/сек.
		C = 40 C = 20 C = 12			

№ п. п.	Автор формулы	Потери в процентах от го- ловного расхода на 1 километр			Примечание
		Г р у н т ы			
		легкие	среди-	тяжел.	
13	Инж. Вуудс	$\sigma = \frac{0.1 \text{ } C h p}{Q}$			С — коэф. зависящий от сред. гидравлической глуби- ны канала и характера грун- та. Для исследуемых кана- лов С — менялся от 1,20— до 1,80, причем чем боль- ше р и R, тем меньше „С“; h — глубина воды в кана- ле в метрах. р — смочен. периметр в метрах.
14	Инж. Ведерни- ков	$\sigma = \frac{1.157 \text{ } K_{\phi}}{Q} \left(B + \frac{2K}{K_1} H \right)$			K _φ — коэф. фильтрации в мет/сут, В — ширина кана- ла по верху в метр. H — глубина воды в ка- нале в метрах. „K“ и „K ₁ “ поливные эллиптические ин- тегралы 1-го рода при моду- ле „K“ и дополнительном модуле „K ₁ “.

Не останавливаясь на физическом смысле явлений филь-
трации и предпосылках, положенных в основу вывода этих
формул, так как это не входит в данную тему, рассмотрим
их формулы только с точки зрения возможности примене-
ния их в практике эксплуатации ирригационных систем.

Формула (1) выведена для условий установившейся
фильтрации (непрерывная работа каналов) и далеких грун-
товых вод.

Применение ее в настоящее время несколько затрудни-
тельно ввиду отсутствия данных о значениях „K“, получен-
ных в полевой обстановке для различных грунтов.

Формула (2) выведена для каналов, работающих периоди-
чески (т. е., главным образом, в условиях работы мелкой
ирригационной сети), но применение ее также затрудни-
тельно, так как отсутствуют данные, полученные в полевой
обстановке, о значении для различных грунтов коэффи-
циента K₀, определяющего просачивание воды в начальный мо-
мент в воздушно-сухую почву, а также о значении показате-
ля степени α, зависящего от свойств почвы.

Эмпирические формулы (3), как известно, получены без привязки к определенным грунтам и за исключением кривой, соответствующей средним грунтам, дают предельное значение потерь, т. е. максимальное значение для легких грунтов и минимальное для тяжелых.

Для формулы (4) имеются все данные о значении входящих в нее показателей, причем, как известно, значения K_0 были получены Морицем путем непосредственного наблюдения потерь в 8 штатах США на каналах, работающих от 3 до 6 лет и последующего определения K_0 по приведенной формуле. Формула же (5) является частным случаем формулы (4) при $\varphi = 1,5$ и $\alpha = \frac{b}{h} = 4$. Пользование пос-

тоянным коэффициентом в формуле (5) для каналов мелкой ирригационной сети, при наиболее часто встречаемых $\alpha = 2$ и $\varphi = 1$, дает ошибку до 17%.

Формулы (4–5), базирующиеся на равномерном движении фильтрующегося потока, дают для каналов мелкой ирригационной сети преуменьшенное значение, так как в этих каналах влияние растекания фильтрационного потока сказывается наиболее сильно.

Формула (6) выведена для косинусоидального профиля, и для трапециoidalного профиля (наиболее распространенного), полагая его описывающим косинусоидальный профиль, дает только приближенное решение. Отсутствие данных о значениях K , полученных полевым путем, требует проверки ее полевыми исследованиями.

Формула (7) построена на упрощенном явлении фильтрации, рассматриваемом аналогично с движением воды в монолитах при $I = 1$. В действительности, при растекании фильтрационного потока I — переменна. Несоответствие принятых установок с действительностью приводит в конечном результате к выводу, что с повышением уровня грунтовых вод потери на фильтрацию увеличиваются, что не соответствует действительности. Поэтому формула не может быть рекомендована для применения.

Применение формулы (8) возможно только в редких случаях, так как автором даются значения коэффициентов a и b , зависящих от свойств почвы, только при глубине грунтовых вод до одного метра (или слое почвы до одного метра), на практике же такие случаи встречаются весьма редко.

Формула (9) не содержит коэффициентов, зависящих от свойств грунта, и выведена для каналов, проходящих в тяжелых грунтах (что видно из графика 12, приведенного выше).

Формула (10) по своей структуре может применяться только при условии фактического замера потерь в натуре. Для практических целей применима в весьма малой степени и то только после предварительной проверки ее в производственных условиях.

В формуле (11) коэффициент C , характеризующий свойства грунтов, колеблется для различных грунтов в весьма небольших пределах. Формула, по всей вероятности, выведена на основании наблюдений над каналами с грунтами, незначительно отличающимися друг от друга. Подсчеты потерь по данной формуле и сравнение результатов с наиболее обоснованными формулами показывают, что формула выведена на основании наблюдений в тяжелых грунтах.

Формула (12) может быть охарактеризована только после сравнения результатов, получаемых при подсчете по ней, с результатами, даваемыми формулами, теоретически наиболее обоснованными.

Формула (13) для каналов мелкой ирригационной сети вообще не может быть применима, так как выведена на основании наблюдений над каналами с расходом от 56 до 311 куб. м/сек.

Наконец, формула (14) является одной из наиболее обоснованных теоретически. Затруднение в пользовании формулой—отсутствие значений K_f , получаемых в полевой обстановке.

Из рассмотрения существующих формул по учету потерь вытекает, что пользование теоретически обоснованными формулами в настоящее время вызывает значительные затруднения, в виду отсутствия данных о значении коэффициентов фильтрации. Применение же коэффициентов фильтрации, преподанных Морицем, при подсчете по формулам других авторов, может вносить значительные ошибки, ввиду несоответствия как самого физического смысла явления фильтрации, вложенного в ту или иную формулу при ее выводе, так и различными гидрогеологическими, почвенными и метеорологическими факторами данной системы, по сравнению с системами, на которых были им получены приводимые значения коэффициентов фильтрации.

Кроме того, применение формулы Морица, как мы указывали, для каналов мелкой ирригационной сети дает преуменьшенное значение.

Почти все приведенные формулы, за исключением (2) выведены для каналов с установившейся фильтрацией, т. е. каналов, работающих непрерывным током. Каналы же мелкой ирригационной сети работают в основном периодически, благодаря чему первое время после пуска воды в

канал имеет место впитывание, увеличивающее потери воды в канале по сравнению с установившимися потерями.

Для характеристики потерь воды в картовых оросителях, при периодической работе их, можно указать на данные инж. Коробкина С. Ф.¹.

¹ Бюллетень Зак. НИИВХ № 11, 1932 г.