

СРЕДНЕАЗИАТСКИЙ НАУЧНО - ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ИНСТИТУТ ИРРИГАЦИИ

ИРРИГАЦИЯ И ГИДРОТЕХНИКА

№ 3

Ж-103

САНИИРИ
ТАШКЕНТ
1 9 3 6

15

Фильтрация под Чумышской плотиной

1. Эта работа имеет целью осветить результаты исследований распределения фильтрационного напора на флютбет Чумышской плотины¹. Несмотря на сравнительную узость разбираемого здесь вопроса, мы считаем полезным осветить те небольшие результаты, которые нами получены, тем более, что до сего времени немногие выстроенные сооружения были оборудованы пьезометрами; оборудование вновь строящихся сооружений, очевидно, будет улучшаться и делаться более полным². Места расположения выводов трубок на верх стенок зафиксированы специальными промерами; данные о плановом расположении, используемые в дальнейшем, уточнены личным сообщением инициатора закладки трубок, начальника строительного участка инженера Б. Ф. Бевель. Трубки выполнены из железных газовых труб различных диаметров (от $\frac{3}{4}$ до $1\frac{1}{2}$ ") и выведены на стенки плотины, вблизи места расположения их нижних концов (приемников). На рис. 1 приведены схемы расположения пьезометров и мест расположения скважин строительства. Кроме того, показаны места расположения разгрузочных трубок в правой подпорной стенке Георгиевского регулятора и места выходов вод на поверхность за левобережной дамбой; отметки горизонтов воды этих выходов равны 652.40 (впоследствии при планировке эти места засыпаны).

Некоторые данные о пьезометрах приведены в таблице 1.

Таблица 1

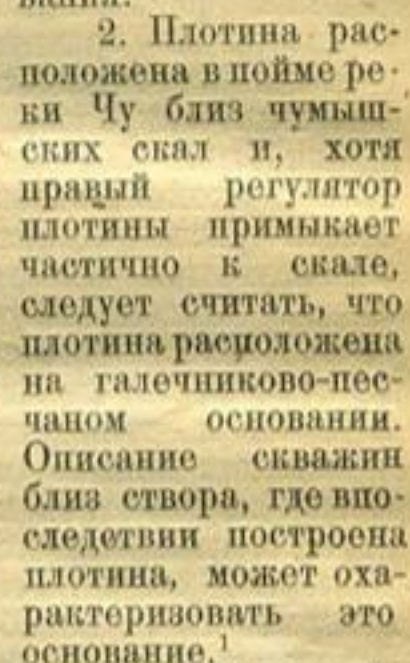
№№ пьезометров	1	2	4	3	5	6	7	8	8	А	В
Отметки приемников при условии нуле 640.00	9,0	9,0	9,0	9,0	9,0	7,9	7,5	6,5	6,5	Разные	
Расстояние по контуру в м	10	15	19	20	29	44,5	55,3	5,53	5,83	76	103

¹ Результаты исследований Чумышской плотины в других вопросах частично описаны в №№ 5 и 7 журнала «Ирригация и Гидротехника» за 1935 г.

² Первыми в Средней Азии были оборудованы пьезометрами сооружения: земляная плотина на Боз-су, Бурджарский перепад и плотина Рават-ходжа. Приборы первых двух сооружений частично были исследованы и результаты опытов описаны. Пьезометры на плотине Рават-ходжа до сего времени не могли быть использованы по техническим недочетам.

Нужно отметить, что оборудование и Чумышской плотины недостаточно полно, ибо часть пьезометров испорчена в процессе стройки, часть засорена, а для 9 действующих пьезометров строительство не имеет вполне точных данных на исполнительных чертежах.

устанавливалась та-
кой, чтобы горизонт
в трубке пришел в
состояние равнове-
сия. Пьезометры этих
конструкций (пока-
заны на рис. 2) были
постепенно опущены
ниже контура зуба
плотины и вошли в
пределы грунта осно-
вания.



Ниже в таблицах приведено описание по скважинам №№ 1, 2, 3, 7, 8 и 19.

Слой 0—0,5 м. Песок желтовато-серый с бурыми пятнами и большим количеством корней растений; крупность зерен песка от 0,2 см до 0,3 см; порода с поверхности увлажнена.

0,5—1,0 м. Песок серый, мелкозернистый, с включениями корней растений, белой слюды, крупнозернистого песка, диаметр зерен которого достигает 1 мм, и редкой мелкой гальки диаметром до 2 см; порода состоит из розового полевого шпата и темносерых осадочных пород; форма галек угловато-округлая.

1,0—1,7 м. Песок среднезернистый с большим количеством крупно-зернистого песка, гравия, гальки и с блестками белой слюды; размер гальки достигает 2,7 см; форма галек округло-угловатая; представлены темносерые осадочные породы (песчаники и др.) и розоватые граниты, порфиры и др.

¹ Описание заимствовано из технического отчета гидрогеологов М. М. Решеткина и И. А. Анбоева Санинресо 1930 г. Нумерация скважин сделана по этому отчету (машинопись).

1,7—2,5 м. Галечник с крупнозернистым песком и большим количеством гравия; по окатанности и составу гальки сходны с породой предыдущего слоя.

2,3—3,3 м. Галечник с песком и гравием, сходный с предыдущим слоем, но с меньшим количеством песка. Форма гальки угловато-округлая или эллиптическая. Размер отдельных галек достигает 4 см в поперечнике.

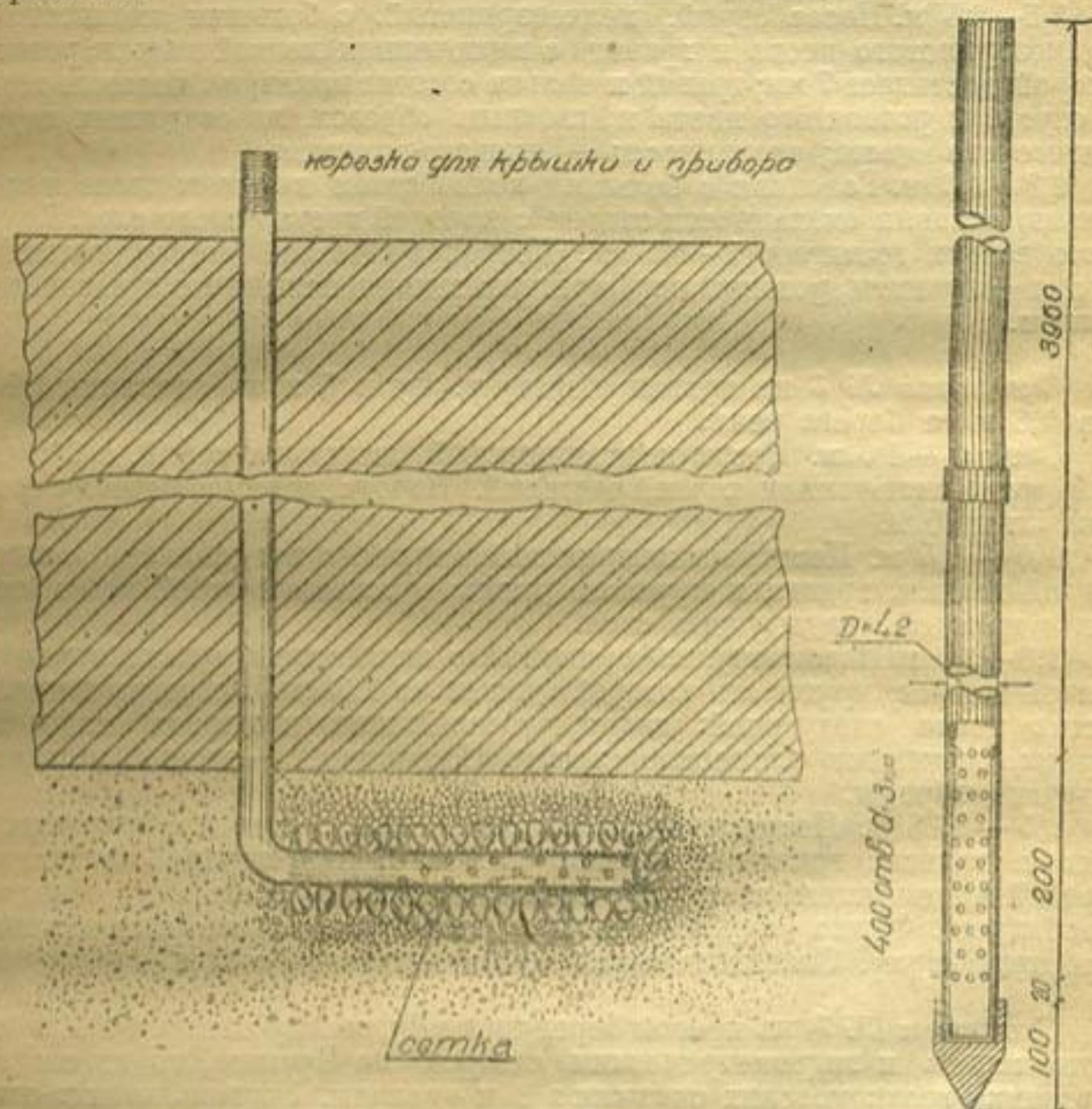


Рис. 2.

3,3—4,0 м. Галечник с большим количеством крупного песка и гравия. Форма и петрографический состав одинаковы с предыдущим слоем. Крупность гальки 4—4,5 см в поперечнике.

4,0—4,8 м. Песок желтовато-серый, мелкозернистый, с большим количеством крупного песка, гравия и гальки, диаметр которой достигает до 4,5 см.

4,8—6,05. Галечник с большим количеством песка и гравия; петрографический состав гравия и гальки немного отличается от предыдущего слоя — в нем имеется большее количество темносерых осадочных пород и меньшее изверженных. Ниже этого пласта встречен большой валун, состоящий из серого порфира, из-за которого дальнейшая проходка скважины была невозможна. С глубины 0,50 м скважина давала оплывание и образование пробок, с углублением скважины пробки увеличивались до 1,00 м высоты.

Скважина № 2 на правом берегу реки Чу у гидрометрического поста, в 12,00 м от вертикальной скалы Чумыш.

Абсолютная отметка 650.903. Уровень воды в скважине 4.VIII на отметке 650.373.

Слой 0—1,5 м. Песок серовато-желтый с бурыми пятнами, с большим количеством глинистых частиц, проросших корнями растений. Порода, начиная с поверхности, увлажнена.

1,5—2,5 м. Песок серый, мелкозернистый, с большим количеством крупнозернистого песка и гравия, с включением мелкой гальки, размер которой достигает 7 мм; гравий и галька состоят из кварца, полевого шпата серого и розоватого цвета и, главным образом, из осадочных пород темносерого цвета; окатанность — угловато-округлая.

2,5—3,3 м. Галечник с большим количеством крупного песка и гравия; по степени окатанности сходен с породой предыдущего слоя. Крупность гальки достигает 2—3,5 см. Петрографический состав гальки и гравия — граниты, розовые порфиры и темные песчаники и глинистые сланцы.

Скважина № 3 на правом берегу р. Чу, в 5 м от скважины № 2 и в 2,8 м от берега реки.

Слой 0—1,0 м. Песок мелкозернистый, желтовато-серый, с бурыми пятнами и включением корней растений. Порода подобна первому слою скважины № 2.

1,0—1,5 м. Песок мелкозернистый, серый, с включениями мелкой редкой гальки, гравия и крупного песка; в основной своей массе сходен с породой предыдущего слоя.

1,6—2,5 м. Песок крупно-зернистый, с включением гравия и редкой мелкой гальки, крупность которой достигает 1,5 см. Петрографический состав песка следующий: кварц, полевой шпат и темные осадочные породы, песчаники, глинистые сланцы. Состав галек — гранит, песчаник и другие породы.

2,5—3,35 м. Песок крупнозернистый, серый, с большим количеством мелкой гальки, гравия и мелкого песка. Состав породы одинаков с породой предыдущего слоя. Крупность гальки до 3 см, более мелкая преобладает. Форма округло-угловатая, некоторые гальки имеют эллиптическую форму. Скважина стала давать оплывание с 2 м.

Скважина № 7 на правом берегу реки Чу, между головой Георгиевского канала и гидрометрическим створом на Чумыше, по линии поперечника геологических скважин в 8 м от скалы. Уровень воды в скважине 19.VIII на отметке 650.112, абс. отметка 650.562.

Слой 0—0,15 м. Супесь сильно пористая, серая, комковатой структуры, с большим количеством канальцев до 5 мм в диаметре и сильно пронизана тонкими корнями трав; почти все канальцы наполнены светлосерой супесью или среднезернистым песком и гумусом; порода увлажнена.

0,15—0,55 м. Супесь желтовато-серая, с бурыми пятнами и тонкими корнями трав; порода имеет большое сходство с породой предыдущего слоя.

0,55—1,6 м. Песок глинистый, желтовато-серый, тонкозернистый, с остатками корней трав и большим количеством бурых пятен.

1,6—3,2 м. Песок серый, средне-зернистый, с небольшим количеством глинистых частиц.

3,2—3,6 м. Песок серый, среднезернистый, с большим количеством иловато-глинистых частиц.

3,6—3,8 м. Песок серый, среднезернистый, иловатый, с включением щебня (обломки серого порфира). Песок в скважине оплывал и образовывал пробки высотой до 0,5 м.

3,8—4,8 м. Песок серый, среднезернистый, с большим количеством глинистых частиц, без щебня; песок сильно водоносный, оплывает с образованием в трубах пробок высотой до 1,00 м.

Скважина № 8 на правом берегу р. Чу, у скал Чумыш, между скважиной № 7 и скважинами Геолкома.

Абсолютная отметка 651.021. Уровень воды в скважине 20.VIII на отметке 650.641.

Слой 0—0,1 м. Супесь серая с большим количеством корней растений и включением гумуса. Этот слой имеет большое сходство с первым слоем скважины № 7. Порода увлажнена.

0,1—1,0 м. Песок серый, мелкозернистый, с большим количеством корней растений и бурых пятен.

1,0—2,2 м. Галечник с большим количеством крупнозернистого серого песка и гравия; гальки угловатые и округлые, диаметром до 2 см; состав породы сходен с галечником третьего слоя скважины № 2; порода водонасыщена.

2,2—4,8 м. Песок серый, среднезернистый, с включением отдельных галек размером до 1,50 см.

4,8—10,6 м. Галечник с большим количеством крупнозернистого песка с гравием; размер отдельных галек достигает до 3,50 см. Скважина давала оплывания с образованием пробок до 1,50 м.

Скважина № 19 на левой стороне р. Чу у гидрометрического поста на Чумыше, в 3,5 м от скважины № 1. Абсолютная отметка устья 650.970.

Слой 0—0,5 м. Песок серый, тонкозернистый, сильно поросший корнями трав.

0,5—2,5 м. Песок серый, среднезернистый, с большим количеством гравия и мелкой гальки.

2,5—12,5 м. Галечник с большим количеством серого, среднезернистого песка и гравия. Порода имеет большое сходство с четвертым слоем скважины № 1 и третьим слоем скважины № 2. Крупиность гальки достигает до 3,00—3,50 см.

Позднее строительством были заложены и другие скважины. Для грунтов скважин строительства №№ 7, 8 и 9 в таблице 2 приведен осредненный механический состав. Устья этих скважин расположены на абсолютной отметке ∞ 651,0. В таблице приведен также состав грунта, взятого из отвалов при отрывке котлована под плотину и использованного при опытах по искусственной загрузке и промыву камер № 3 и № 4 левого регулятора. Кроме того, в таблице приведены данные о составе уловленных ловушкой с мелкой сеткой (2×2 мм) наносов на створе № 1 (вне влияния подпора от плотины). Беря среднее между строками I и II и между I, II и III, получаем, что частиц мельче 1 мм имеется около 20—25%, а мельче 0,25 мм—всего лишь 1,5—3%.

3. Измерения уровней воды в пьезометрах были произведены при нормальном (653,50) и форсированном уровне (653,70) верхнего бьефа, а также при пониженном уровне (652,80). Предварительно пьезометры были осмотрены и опробованы, при чем, как было выше указано, действующими оказались только 9 трубок. Некоторые выведенные наверх трубки оказались засоренными. Попытка очистки некоторых трубок не увенчалась успехом, для одной из засоренных трубок (№ 4)

Механический состав грунта в процентах по весу
Размеры зерен в мм

Таблица 2

№№ п.п.	Наименование	Число проб	Частица меньше 0,25	Зерна крупнее									
				0,25	1	3	5	7	14	20	30	40	50
I	Скважина № 7	15	2,6	15,0	13,0	12,6	9,8	17,5	7,6	11,7	5,5	1,5	3,2
	Скважина № 8	13	1,8	16,5	12,8	9,1	9,0	19,3	8,1	9,8	12,2	1,4	—
	Скважина № 9	12	4,0	28,8	17,1	10,3	7,1	16,2	5,6	4,7	3,8	2,4	—
	Сред. для 7, 8, 9 скважин		2,8	20,1	14,3	10,7	8,6	17,7	7,1	8,7	7,2	1,7	1,1
II	Камера № 3	3	1,3	38,4	5,0	3,6	3,0	9,9	7,4	10,5	7,9	6,1	6,9
	Камера № 4	4	1,5	22,6	5,8	4,7	4,4	12,7	9,9	14,8	9,6	8,9	5,1
	Сред. для камер №№ 3 и 4		1,4	30,5	5,4	4,1	3,7	11,3	8,6	12,7	8,8	7,5	6,0
	Сред. из I и II		2,1	25,3	9,8	7,4	6,2	14,5	7,9	10,7	8,0	4,6	3,5
III	Створ № 1 вер. № 9 от 2 IX-34 мелк. сетка	13	0,4	17,4	19,5	4,8	4,3	13,9	9,8	14,6	7,8	5,8	1,7
	Среди. из I, II и III . . .		1,5	22,7	13,1	6,5	5,5	14,3	8,5	12,0	7,9	5,1	2,9
	Σ %		1,5	24,2	37,3	43,8	49,2	63,6	72,1	84,1	92,0	97,1	100

оказалось полезным применение вакуум установки. Этот специально сконструированный прибор¹ (рис. 3) может быть использован для трубок,

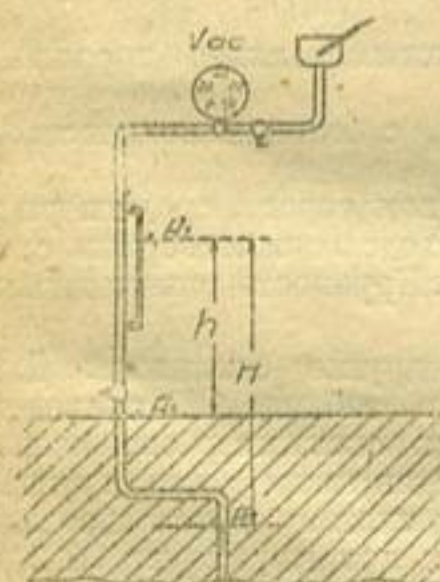


Рис. 4

где неудобно или нельзя определить отметку уровня простым опусканием штыря. Прибор давал разрежение до 0,8 атмосферы. Конструкция ясна из схемы рис. 4. До пуска прибора в ход уровень в трубке имеет отметку A_1 (невидимо через стекло); путем разрежения поднимем этот уровень до отметки A_3 (видимо через стекло). Связь отметки A_3 с известной отметкой A_2 и делениями шкалы вакуумметра (проградуированного в мм ртутного столба) такова:

$$A_1 = A_3 - H; A_3 = A_2 + h H = \frac{V_{ac} \times 10}{760}$$

(в метрах водяного столба) V_{ac} — положение вакуумметра.

Считая, что во многих случаях может оказаться полезной и другая конструкция, основанная на принципе нагнетания (а не разрежения)

приведем выдержку из статьи Л. Майера в Eng. N. R. за январь 1933 года, где им описано исследование плотины Chatworth,

„В каждой точке, где требовалось знать уровень воды, устраивалось углубление, заполненное крупным песком. От этих точек прокладывалась, наращиваемая в процессе возведения плотины, $\frac{3}{4}$ ” трубка, плот-

¹Заведующим механическими мастерскими Чустрой тов. Г. В. Карпенко по указаниям М. С. Вызго. Необходимо отметить содействие инж. Безель Б. Ф. изготовлению этого и многих других приборов для исследований в мастерских строительства, за что выражаем ему благодарность.

но окружаемая глиняной забивкой. Внутри каждой трубки вставлены медные $\frac{1}{8}$ " трубочки, заканчивающиеся, как показано на рис. 5, не-

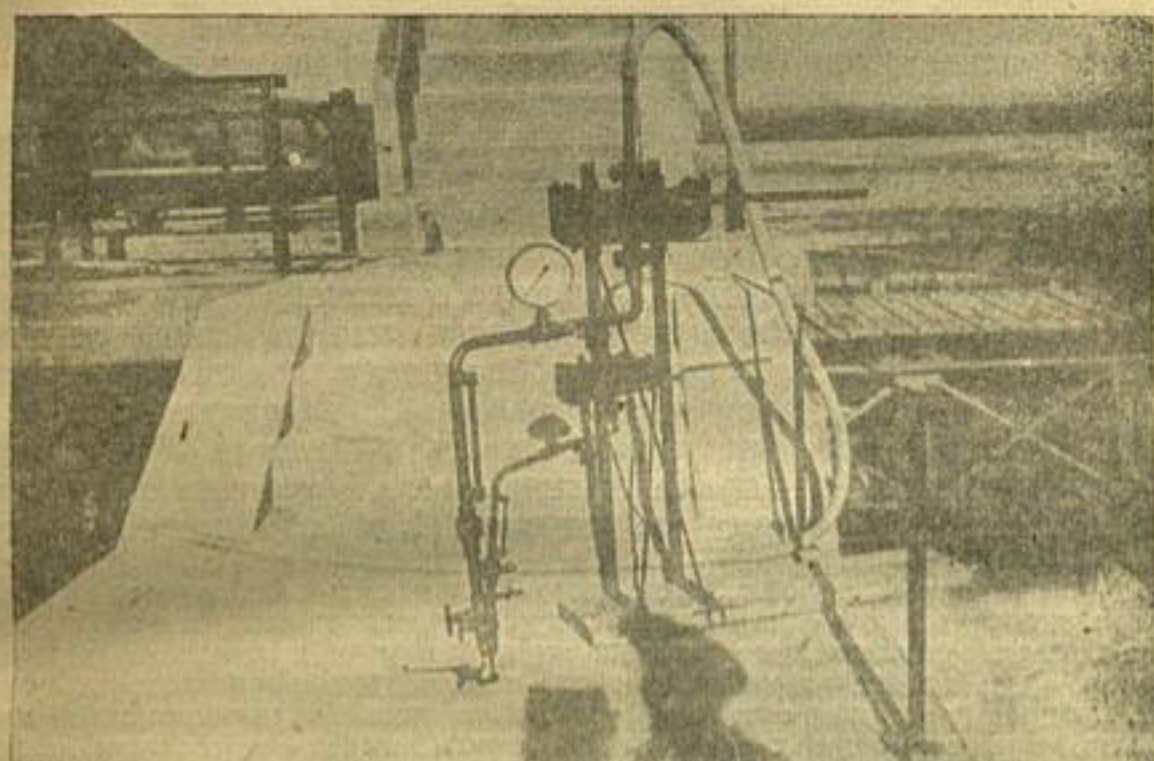


Рис. 3

сколько выше приемника внешней трубки. По мере наполнения водохранилища вода доходит до приемника и поднимается в трубке и в медной трубочке. Для определения высоты стояния воды в трубке в медную трубочку, помощью велосипедного насоса вводится воздух, а давление измеряется чувствительным ртутным манометром. Одновременно с увеличением давления уровень воды в медной трубочке отжимается вниз до тех пор, пока уровень воды не достигнет низа трубочки. После этого дальнейшее введение воздуха не будет увеличивать давления. Показание манометра даст разность давлений у низа медной трубочки (отметка известна) и на поверхности воды в наружной трубке (отметка этой поверхности ищется).

К измеренной этим прибором отметке воды должна быть введена небольшая поправка (Δh). Это следует из того, что вытесняемая из медной трубочки вода направляется в наружную трубку, вызывая подъем поверхности воды. В Чатвортзской плотине эта поправка¹ равна примерно 0,029 h. Введение

¹ Величина поправки Δh , вызываемой подъемом воды в наружной трубке за счет вытеснения ее из внутренней медной трубочки, должна быть определена

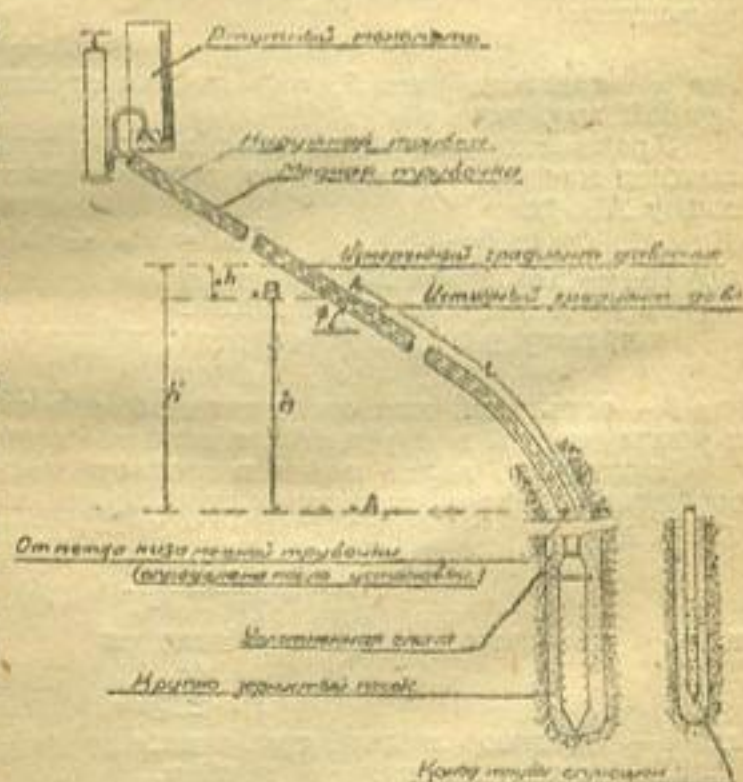


Рис. 5

этой поправки может не понадобиться там, где приемник расположен в пористом грунте и где уровень воды быстро выравнивается. Необходимость введения поправки может быть установлена повторными отсчетами на манометре.

После исследований плотины Чатвортз введены в приборе некоторые усовершенствования. На плотине Upper Hollywood предполагается новая установка, которая будет иметь 1" медную трубку вместо $\frac{3}{4}$ " газовой трубы. При удалении одной из трубок плотины Чатвортз было обнаружено раз'единение труб (благодаря электролизу). Применение медных трубок как внутренних, так и внешних, исключит это затруднение. Точно также увеличение диаметра внешней трубы снизит величину поправки Δh . Для более высоких плотин внешняя трубка должна быть еще большего диаметра, например, при высоте плотины в 200 футов диаметр должен быть около 1,5". При длине внутренней трубки более 300 футов следует ей давать диаметр $\frac{3}{16}$ " для уменьшения трения воздуха. Это не обязательно, если возможно обеспечить абсолютно воздухонепроницаемые стыки. Если из внутренней трубки

тарировкой и будет зависеть, главным образом, от проницаемости грунта тела плотины, длительности опыта, температуры воды и кривизны труб. Такая поправка будет тем больше, чем плотнее грунт и короче длительность опыта (т. е. чем скорее сделан отсчет по манометру) и наоборот, чем больше длительность опыта и более проницаем грунт — поправка должна приближаться к нулю. Очевидно, при тарировке необходимо доводить длительность опыта до получения нулевой поправки и одновременно учитывать время.

При крайне слабо проницаемых грунтах и очень малой длительности опыта можно ожидать, что величина поправки Δh будет приближаться к величине, определяемой из сравнения объема воды, вытесненного из внутренней трубки, с приращением объема во внешней. Тогда максимальная поправка может быть исчислена следующим образом: считая отметку низа внутренней (медной) трубочки равной А, фактическую отметку стояния грунтовой воды найдем из равенства:

$$B = A + h \dots \dots \dots (1)$$

где h — согласно рис. 5, есть высота стояния воды в трубках, считая от низа медной трубочки.

Уравнение равновесия (после вытеснения воды из медной трубочки при помощи насоса) относительно горизонтальной плоскости, проходящей через точку А, будет

$$P_m = P_o + \gamma h + \gamma \Delta h \dots \dots \dots (2)$$

где P_m — давление по манометру;

P_o — атмосферное давление.

Поправку Δh , в свою очередь, можно представить долей от h , т. е. в виде $\Delta h = \beta h \dots \dots \dots (3)$

где β — есть величина отношения объемов вытесненной воды из медной трубочки и увеличенной в наружной, в зависимости от кривизны этих труб.

Величину β легко найти в каждом частном случае. Так, например, для вертикально расположенных труб будем иметь

$$h\omega = \Delta h (\Omega - \omega) \text{ или}$$

$$\Delta h = \frac{d^2}{D^2 - d^2} h$$

т. е. β для данного случая равняется

$$\beta = \frac{d^2}{D^2 - d^2}$$

где d — диаметр медной трубочки;

D — диаметр наружной трубки.

Подставляя значение Δh из (3) во (2), получим:

$$P_m = P_o + \gamma h + \gamma \beta h = P_o + \gamma h (1 + \beta)$$

откуда

$$h = \frac{P_m - P_o}{\gamma (1 + \beta)} \dots \dots \dots (4)$$

или h из (4) подставляя в (1), окончательно будем иметь

$$B = A + \frac{P_m - P_o}{\gamma (1 + \beta)} \dots \dots \dots (5)$$

происходит незначительная утечка, то для получения показания необходимо медленное непрерывное подкачивание, и здесь трение в трубке малого диаметра будет заметно. В плотине Чатворта наружные $\frac{3}{16}$ " трубки укладывались по напорному откосу одновременно с постройкой плотины; внутренние трубочки протягивались в той же последовательности. После постройки плотины одна из трубочек была вынута в виду обнаружившейся течи. Длина этой трубочки была равна 127 футам и имела изгиб под углом 90° с радиусом около 2 футов. После ремонта трубка была смазана и вновь установлена на место без больших затруднений. Для плотины Голливуд внутренние трубки намечается устанавливать после постройки плотины и одновременной укладки внешней 1" трубки. Для облегчения этой работы внешние 1" трубки должны укладываться с радиусом поворотов в 5 футов. Наружная трубка должна так укладываться, чтобы по длине вставленной трубочки можно было бы знать отметку нижнего ее конца¹.

В последующем в конструкции прибора Л. Майером намечалось удалить наконечники у приемника; изменение должно заключаться в сплющивании наружной трубки (этим она будет закрыта на конце), на нижней части трубки по длине просверливаются отверстия диаметром $\frac{3}{16}$ ". Чтобы избежать для высоких плотин применения больших неудобных манометров, внутренняя трубка должна конструироваться легко перемещаемой, для того, чтобы можно было поднимать ее нижний конец и уменьшать тем самым величину получаемого отсчета по манометру и, с другой стороны, опускать для наблюдения за понижением уровня воды.

Из других конструкций приемников пьезометров, а также приборов для измерения уровня воды в них, можно указать на лот-свисток и электрический, разработанные для сооружений Волга — Москва.¹

4. Состав сквозных фильтров Чумышской плотины приведен в таблице 3 и на рис. 6. На том же рисунке приведены результаты наблюдений за опускаемым пьезометром. Трудность постановки исследований обратных фильтров не позволила произвести повторных наблюдений, а также установки многих пьезометров. Соответственные исследования необходимо производить в лабораторных условиях. Здесь необходимо отметить допущенный недочет в выборе длины дырчатой части (приемника), следует делать эту длину возможно более короткой, так как даже длина, равная 20 см (как это было сделано), оказывается излишней. Действительно, появляется затруднение, к какому ряду отверстий следует относить показания пьезометра; возможно относить показания пьезометра к нижнему ряду отверстий в виду того, что с погружением напор увеличивается. Так нами и сделано.

Исследования фильтров А и В устанавливают, что в начале имеется очень небольшой напор (в фильтре В он равен 0) и лишь затем он возрастает, при чем это возрастание происходит довольно быстро.

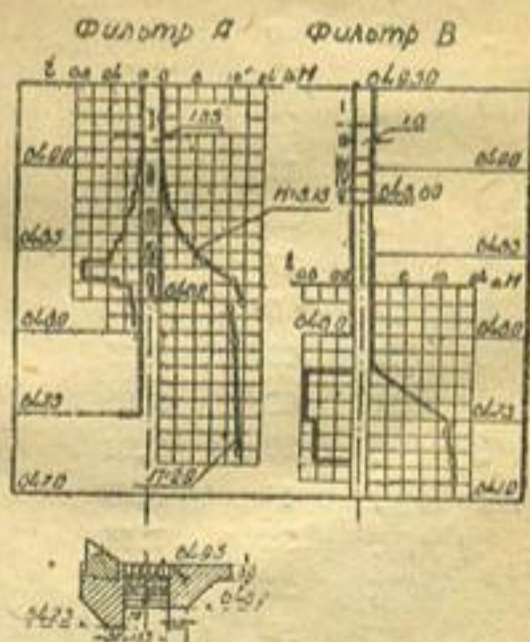


Рис. 6

¹ См. журнал Гидротехническое строительство № 12 от 1935 г. ст. инж. Угличус. См. также в курсах гидрометрии и гидрогеологии например Е. Принц "Гидрогеология".

Состав обратных фильтров по исполнительному чертежу строительства)

Таблица 3

Слой №	Материал	Толщина слоя в м	
		Фильтр А	Фильтр В
I	Мостовая из крупных камней с расщебенкой	0,40	0,23
II	Гравий с песком	0,30	0,20
III	Мелкий гравий d = 2—3 см.	0,20	0,09
IV	Крупный песок d = 0,5—0,7 см.	0,20	0,09
V	Песок d = 0,1—0,3 см.	0,20	0,09

Подсчитывая по кривой изменения пьезометрического давления гидравлические градиенты, строим графики их изменения для обоих фильтров. Получено $i_{\max} \approx 0,7$ для фильтра А и $i_{\min} \approx 0,55$ для основания под фильтром В. Результаты измерений приведены в таблицах 4 и 5.

Пьезометрический напор в фильтре А (октябрь 1934 г.)

Таблица 4.

Д а т а			Отметки (услови. нуль 640.000)			Полный напор $H = H_1 - H_2$	Остаточный напор $\Delta H = H_1 - H_2$
День	Час	Мин.	Нижн. ряд отверст.	Уровень воды			
				В трубе H_2	Снару- жи H_2	В верхн. бьефе H_1	
5			8,72	10,66		13,50	—
7	12	20	„	62	10,58	13,73	0,04
„	14	45	„	61	„	„	0,03
„	15	0	8,67	58	„	„	0
„	„	30	8,57	64	„	„	0,06
„	„	51	8,44	68	„	13,70	0,10
„	16	13	8,33	75	„	„	0,17
„	„	26	8,21	77	„	„	0,19
„	17	37	8,19	78	„	„	0,20
8	17	0	8,19	59	10,44	12,80	2,36
10	15	49	8,15	75	10,60	13,50	0,16
„	16	08	8,05	78	„	„	0,18
„	„	20	7,94	78	„	„	0,18
„	„	44	7,65	79	„	„	0,19
„	„	53	7,58	80	„	„	0,20
11	11	20	7,58	81	10,61	„	2,90
13	11	38	7,58	78	„	„	0,17
14	12	13	7,25	79	„	„	0,18
14	16	05	„	78	10,58	„	0,20
17	15	0	„	76	10,56	„	0,20

Примечание. Наблюдения 8.X относятся к пониженному уровню в верхнем бьефе (абс. отметка 652,80); наблюдения 7.X относятся к форсированному и остальные к нормальному (653,50) уровню в верхнем бьефе.

Не имея возможности непосредственно измерить фильтрационный расход через фильтры, подсчитаем его, пользуясь формулой Кребера.

$$v = 173 \left(\frac{d}{90} \right)^{n \cdot n} i$$

Д а т а			Отметки (условн. нуль 640.00)				Полный напор $H = H_1 - H_m$	Остаточный напор $\Delta H = H_n - H_m$
День	Час	Мин.	Нижн. ряд отверст.	Уровень воды				
				В трубке H_n	Снаружи H_s	В верхн. бьефе H_1		
13	17	0	8,05	10,58	10,58	13,54	2,96	0
14	11	16	3,05	65	64	"	2,90	0,01
"	11	43	7,80	64	64	"	2,90	0
"	14	43	7,47	71	53	13,00	2,97	0,18
"	16	20	7,23	71	54	"	2,96	0,17
"	15	16	7,23	71	52	"	2,98	0,19
17	15	25	7,10	73	54	"	2,97	0,19

Для этого формуле Кребера придадим вид

$$v = Ki \quad (I)$$

в котором для К напишем следующее выражение

$$K = C \tau n \left(\frac{d}{90} \right)^n \quad (II)$$

где d в см. — диаметр зерен грунта;

$$n = \frac{0,8 + d}{0,8 + 2d};$$

C — постоянный множитель;

r — порозность;

τ — температурный коэффициент.

Имея в виду, что Кребер вывел¹ свою формулу на основе исследований 12 образцов песков различной крупности — от 0,057 до 0,563 см — и что значение для его образцов сравнительно немного отличается от единицы, примем $C \tau = 173$.

Для проверки и уточнения нами сделаны подсчеты, исходя из опытных данных проф. Н. П. Пузыревского и инж. С. В. Избаш, а также данных — М. Ф. Срибного для однородных грунтов².

В результате подсчетов замечено, что формула (I) с коэф. по формуле (II) дает достаточно близкие к опытным величинам значения скорости, при чем отклонения имеют различные знаки. В виду обширности материалов, здесь их не приводим³.

В качестве примера приведена таблица 6.

Применим формулы (I) и (II) к подсчету скорости фильтрации в обратных фильтрах Чумышской плотины. Эти данные сводим в таблицу 7.

Нетрудно заметить, что скорость воды в фильтре А, приведенная в таблице 7, дает очень большие расхождения для отдельных слоев, очевидно, вследствие того, что размеры зерен не вполне соответствуют таблице 3. Поэтому, принимая, что соответствующие слои фильтра сложены из однородных частиц, указанных в таблице 8, на основании тех же данных наблюдений и считая порозность одинаковой, находим среднюю скорость по всем слоям фильтра $v_{ср} = 1,26$ см/сек.

¹ См. акад. Павловский — Теория движения грунтовых вод под гидротех. сооруж. — 1922 г.

² См. проф. Н. П. Пузыревский — Фильтрующие насыпи 1934 г.; С. В. Избаш — О фильтрации в крупнозернист. материале. Извест. НИИГ. № 1 (1931 г.); М. Ф. Срибный — Фильтрующие искусственные сооружения и гидравлика турбулентн. фильтрации.

³ Более подробно этот вопрос разбирается в подготавливаемой к опубликованию работе.

Отношения опытной скорости $v_{оп}$ к вычисленной по формуле

$$v = C_p \cdot \left(\frac{d}{90} \right)^{n \cdot n} \cdot i$$

Таблица 6.

№№ п.п.	d см	p	i		n	$\frac{v_{оп}}{v}$ при $t = 10^\circ C$	По опытам
			от	до			
1	0,065	0,43	0,06	0,67	0,94	0,93	Замарина Каграманова Избаша
2	1,10	0,39	0,02	0,21	0,63	0,63	
3	0,50	0,40	0,02	0,78	0,72	0,90	
4	1,46	0,39	0,02	0,40	0,61	0,57	
5	3,51	0,40	0,01	0,33	0,55	0,51	

Примечания: 1. Состав грунта № 1 следующий:

d мм	< 0,25	0,25 — 0,50	0,5 — 1,0	> 1
%%	1,4	83,2	15	0,4

2. Состав грунтов №№ 2, 3, 4 и 5 однородный.

Скорость в фильтре А.

Таблица 7

Слой	d см	n	i	v см/сек.
III	2,0	0,583	0,10	2,85
IV	0,7	0,682	0,30	1,89
	0,5	0,722	0,30	1,22
V	0,3	0,786	0,70	1,16
	0,1	0,90	0,70	0,25

Скорость в фильтре А

Таблица 8

Слой	d см	n	i	v см/сек.
II	1,5	0,605	0,04	1,25
III	1,0	0,645	0,10	1,39
IV	0,5	0,722	0,30	1,23
V	0,3	0,786	0,70	1,16

Полный расход через весь фильтр А находим равным $Q = v\omega = 0,0126 \times 36,2 = 0,456 \text{ м}^3/\text{сек}$, где ω — площадь фильтра.

Скорость в порах фильтра можно найти из соотношения $U = \frac{v}{p}$

Для определения скорости в порах в грунте основания близ фильтра В подставим в формулу (II) значение наблюдаемого уклона $i = 0,55$ и считая действующим диаметром диаметр частиц, меньше которых $\approx 20\%$,¹ находим

$$d = 0,1 \text{ см}$$

¹См. Dil Wasserwirtschaft 20 Mai r. 1934, F. Schaffernak und R. Dachler.

$$v = 173 n \left(\frac{d}{90} \right)^{0.5} i \approx 0,20 \text{ см/сек}$$

т. е. при $p = 0,40$ скорость в порах

$$U = v : p = 0,5 \text{ см/сек.}$$

В виду недостаточной исследованности правильного выбора действующего диаметра сложного состава крупнозернистого грунта, ниже приводим значение скоростей для других d этого же грунта.

%	d см	v см/сек.	U см/сек.
20	0,10	0,20	0,50
40	0,35	1,2	3,0
50	0,70	2,9	7,2
55	1,00	4,0	10,0

Сопоставляя полученные из наблюдений данные с результатами исследований проф. Е. А. Замарина, проф. Терцаги и др.¹, замечаем, что наблюдаемые уклоны не являются опасными, хотя приведенные в таблице значения скоростей относительно велики.

5. Возвратимся к наблюдениям за другими пьезометрами, установленными строительством (см. рис. 1). Наблюдения были произведены как при нормальном, так частично и при пониженном (8.X) и форсированном (7.X) горизонтах воды в верхнем бьефе. Наблюдения в двух последних случаях сделаны только один раз, в первом же с повторностью для каждого пьезометра 2—4 раза в следующие дни: 22. IX (1, 4, 5), 25. IX (5); 1.X (3, 6, 7), 5.X (1, 3, 5, 6, 7, 8, 9), 16.X (1, 2, 4, 5), 17.X (7, 8, 9). Здесь в скобках указаны номера пьезометров. Средние данные сведены в таблицу 9.

Отметки воды в пьезометре H_1 и остаточный напор $\Delta H = H - H_2$, где H_2 — отметки горизонта воды у пьезометра (спаружки)

Таблица 9

Отметка уровня вер. бьефа Н ₁	652,80	653,50	653,70			
Действующий напор	2,20	2,90	3,13			
Отм. гор. воды, нижн. бьефа Н ₂	650,60	650,60	650,57			
№№ пьезом	Н _п	ΔН	Н _п	ΔН	Н _п	ΔН
1	—	—	653,20	2,60	653,44	2,87
2	—	—	653,20	2,60	—	—
3	—	—	653,08	2,48	653,33	2,76
4	—	—	652,61	2,01	—	—
5	651,67	1,07	652,20	1,60	652,37	1,80
6	—	—	651,12	0,52	—	—
7	650,98	0,38	651,01	0,41	651,01	0,44
8	650,96	0,36	651,00	0,40	—	—
9	650,97	0,37	651,04	0,44	651,00	0,43

¹ См. В. С. Баумгарт и Р. Н. Давиденков — О проектировании флютбетов на пропущенном основании. Извест. Научно-мелиоративного института, том XIX. Проф. Е. А. Замарин — Движение грунтовых вод под гидротехническими сооружениями. 1931.

Как легко видеть из таблицы, влияние изменения напора перед плотинной мало сказывается на показаниях нижних пьезометров (№№ 7—8—9). Наблюдения за колебанием горизонтов и дебитом разгрузочных трубок (трубки № 2 и № 4 имеют отметки, близкие к 651,00 и 650,80) установили прямую зависимость этого дебита от повышения уровня воды в реке Чу выше влияния подпора и от повышения уровня в нижнем бьефе за плотинной (одновременно с увеличением расхода воды в реке, см. рис. 7.)

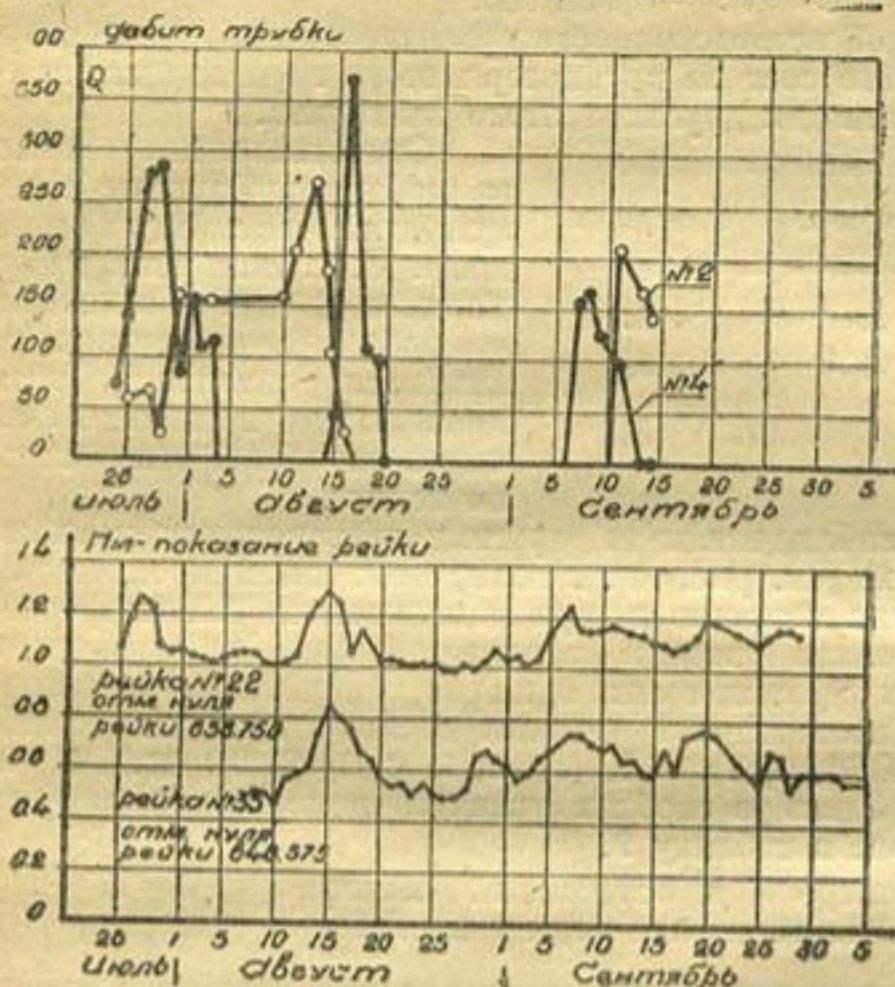


Рис. 7. Показание реек № 33 и № 22 (координаты последней $x = 183^{\circ}0$ и $y = 61000$) и дебит трубок правого регулятора.

Рассматривая рис. 8, где в зоне, помеченной "камыш", выходит на поверхность грунтовая вода, давая несколько мощных родников, замечаем общее высокое стояние грунтовой воды. На рис. 9 приведены разрезы плотинные показанием кривой распределения пьезометрических давлений.

6. Общие выводы сводятся к следующему:

1. Сложность и недостаточная разработанность вопросов

фильтрации под гидротехническими сооружениями на крупнозернистом пропущаемом основании не дают возможности, при сравнительно небольших полученных данных наблюдений при исследовании Чумышской плотины, сделать обобщающие выводы. Как указано выше, наблюдаемые уклоны (градиенты), повидимому, не являются опасными. Однако, необходимо в процессе эксплуатации производить нивелировку марок, заложенных (в количестве 50) на плотине для наблюдений за осадкой, и периодически производить промеры уровней в пьезометрах.

С большим сожалением следует еще раз констатировать, что значительное число (больше половины) заложенных строителями пьезометров не были предохранены в процессе стройки и в последующем от порчи

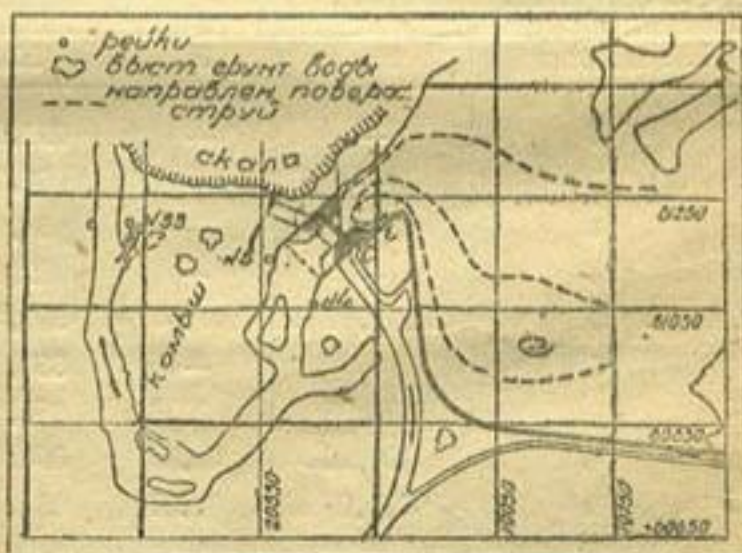


Рис. 8. Общий план Чумышской плотины.

и засорения. Может быть, следовало бы заложить несколько новых трубок.

II. Произведенное изучение работы сквозных фильтров приводит к выводу, что необходимо более точно фиксировать состав отдельных их слоев. Отсутствие в литературе точных указаний на целесообразные размеры фильтров, а также необходимость дальнейшего уточнения их размеров, заставляют считать нужным продолжение лабораторных и полевых опытов, при чем необходимо уточнить влияние разнородности состава на коэффициент фильтрации, в видоизмененной нами формуле Кребера, одновременно уточнив показатель степени n в этой же формуле.

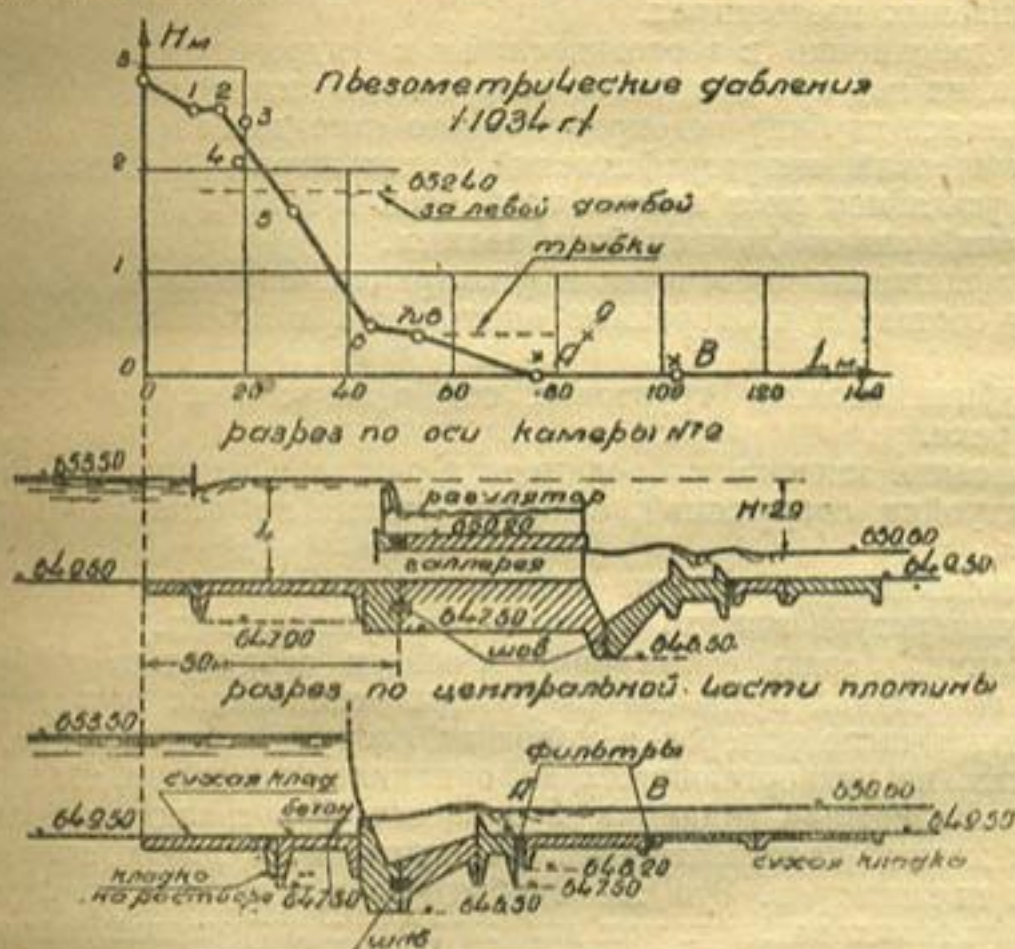


Рис. 9. Разрезы плотины и эюра пьезометрического уклона при $H = 2,9$ м. Крестиками показаны наблюдения для пьезометра № 9 и для погруженных в основание под плотинной в точках А и В.

III. При проектировке и постройке сооружений измерительные приборы необходимо располагать с учетом возможно более полного их использования для изучения подземного фильтрационного потока, для чего необходимо:

а) Расстановку пьезометров делать по характерным створам с учетом геологических условий и ожидаемого направления фильтрационных токов под сооружением (как продольных, так и поперечных) и конструкции флютбета, что и было предусмотрено строителями при установке пьезометров под Чумышской плотинной.

б) Строго фиксировать отметки заложения пьезометров и места расположения в плане приемников пьезометров с указанием имеющих изгибов трубок, при чем конструкции пьезометра и его приемника должны быть указаны на исполнительных чертежах створа сооружения, в котором эти пьезометры расположены;

в) В целях изучения не только давления по контуру флютбета, но и в основании под сооружением, необходимо, хотя бы на некоторых

створах, делать заглубленные пьезометры с погружением их в активную зону фильтрационного потока.

г) В обратных фильтрах необходимо устанавливать ряд пьезометров с приемниками на различных отметках с тем, чтобы изучить градиенты в пределах отдельных слоев; состав этих последних должен быть строго подобран и указан на исполнительных чертежах, при чем должна быть гарантия, что указанные на исполнительных чертежах данные строго соответствуют действительным данным, особенно для мест расположения пьезометров.

д) Должны быть заранее предусмотрены способы измерения уровня в закладываемых пьезометрах.

IV. В дополнение к геологическим и к гидрогеологическим разрезам основания под проектируемое сооружение (распространенные по возможности на всю глубину водопроницаемого слоя) должны быть известны:

а) Химический, петрографический и механический состав грунтов с точным указанием мест взятых проб (как в плане, так и по высоте). Механический анализ должен быть полным.

б) Коэффициенты порозности и фильтрации, определенные по механическому составу и проверенные опытом как в лаборатории, так и в натуре.

в) Глубина стояния грунтовых вод в зависимости от колебаний уровня в реке.

г) Описание имеющихся родников и очагов фильтрации. Расходы их до постройки сооружений, а также данные по откачке и отрывке котлованов.

д) Колебания температуры воды в скважинах и родниках в дополнение к температуре воздуха в различные времена года.

V. Взаимная связь фильтрации и осадки сооружения требует наблюдения за осадкой путем нивелирования специально закладываемых в достаточном числе реперов и марок на сооружении и под ним, а также в местах, не подвергающихся деформациям (например, вдали от сооружения). Возможная динамика в процессе фильтрации, связанная с переносом мелких частиц, требует периодического наблюдения за показаниями пьезометров. Это же необходимо и в связи с наличием колебания грунтовых вод, при чем для отдельных сооружений должны разрабатываться сроки и порядок наблюдений в последующие за постройкой годы его эксплуатации.

Возможное влияние состава наносов в воде поверхностного потока должно также быть принято во внимание и подвергнуто изучению (влияние коагуляции).

Ташкент

Расчет русел переменной ширины с постоянной глубиной воды трапециoidalного сечения¹

Для расчета русел переменной ширины с постоянной глубиной воды в них при установившемся неравномерном движении жидкости проф. Журин² дал следующие уравнения, действительные для русел любого сечения.

Для русла прямого уклона ($i_0 > 0$):

$$\frac{db}{ds} = \frac{K_0^2 - K^2}{K_0^2 \cdot K^2} \cdot \frac{g\omega^3}{\alpha h} \quad (1)$$

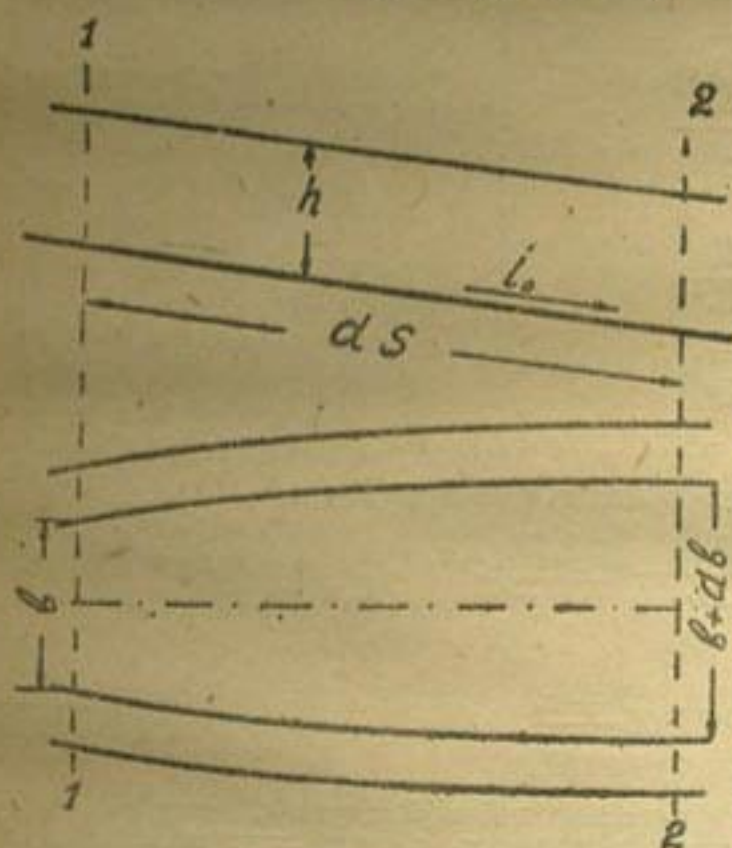


Рис. 1.

здесь (см. рис. 1):
 s — длина рассматриваемого участка русла;
 K — модуль расхода;
 K_0 — „нормальный“ модуль расхода, соответствующий данной глубине h , «нормальной» ширине по дну b_0 и «нормальной» площади живого сечения ω_0 для равномерного режима жидкости;
 α — коэффициент Кориолиса;
 g — ускорение силы тяжести.

Для русла нулевого уклона ($i_0 = 0$):

$$\frac{dq}{ds} = \frac{1}{K^2} \cdot \frac{g\omega^3}{\alpha h} \quad (2)$$

Для русла обратного уклона ($i_0 < 0$):

$$\frac{db}{ds} = \frac{K_0'^2 + K^2}{K_0'^2 \cdot K^2} \cdot \frac{g\omega^3}{\alpha \cdot h} \quad (3)$$

где K' — «нормальный» мо-

дуль расхода для русла прямого уклона i_0 с соответствующей «нормальной» шириной русла по дну b'_0 , «нормальной» площадью живого сечения ω'_0 и с постоянной глубиной h .

¹ Доложено 7/V-36 г. в ГидроНИТО при Тинимсх.

² В. Д. Журин — Элементарная практическая гидравлика, 1928, стр. 249.

Непосредственное решение этих уравнений, т. е. их интегрирование, невозможно из-за сложности входящих в них функций. Поэтому речь может идти лишь о приближенном их интегрировании, один из возможных способов которого ниже и дается.

Для русел переменной ширины с постоянной глубиной воды трапециoidalного сечения автором установлены следующие эмпирические показательные зависимости, аналогичные известному показательному закону проф. Бахметева:

$$\text{и} \quad \left(\frac{K'}{K''}\right)^2 = \left(\frac{b'}{b''}\right)^y \dots\dots\dots (4)$$

$$\left(\frac{K'}{K''}\right)^2 = \left(\frac{\omega'}{\omega''}\right)^z \dots\dots\dots (5)$$

Здесь K' — модуль расхода русла с шириной по дну b' и площадью живого сечения ω' ;

K'' — модуль расхода русла с шириной по дну b'' и площадью живого сечения ω'' ;

y — «гидравлический показатель ширины русла»;

z — «гидравлический показатель русла»³

Справедливость зависимостей (4) и (5) проверяется путем построения логарифмических анаморфоз.

Значения показателей y и z находятся или аналитически, или путем построения логарифмических анаморфоз.

Аналитически значения y и z находятся путем логарифмирования выражений (4) и (5):

$$y = 2 \cdot \frac{\lg\left(\frac{K'}{K''}\right)}{\lg\left(\frac{b'}{b''}\right)} \dots\dots\dots (6)$$

$$z = 2 \cdot \frac{\lg\left(\frac{K'}{K''}\right)}{\lg\left(\frac{\omega'}{\omega''}\right)} \dots\dots\dots (7)$$

Следуя по аналогии инж. Чугаеву⁴, выражения для приближенных значений y и z можно получить в более простом виде:

$$y = \frac{3,33}{1 + \frac{m}{\beta}} - \frac{1,33}{1 + \frac{m'}{\beta}} \dots\dots\dots (8)$$

$$z = 3,33 - 1,33 \cdot \frac{\beta + m}{\beta + m'} \dots\dots\dots (9)$$

³ Зависимость (5) верна и для русел постоянной ширины, вследствие чего мы и находим целесообразным назвать показатель z «гидравлическим показателем русла». Показатель же x в законе Бахметева.

$$\left(\frac{K'}{K''}\right) = \left(\frac{h'}{h''}\right)^x$$

справедливом для призматических русел, нам кажется, более удобным назвать «гидравлическим показателем глубины русла».

⁴ Р. Р. Чугаев — Некоторые вопросы неравномерного движения воды в открытых призматических руслах, «Изв. НИИГ» № 1, 1931 г., стр. 166, 173.

где m — коэффициент откоса;

$$m' = 2\sqrt{1+m^2}$$

$$\beta = \frac{\sqrt{b' \cdot b''}}{h}$$

Для получения действительнейших значений величин y и z из выражений (6)–(9) значения входящих в эти уравнения членов следует брать определенным образом:

$$K = \frac{K_1 + K_2}{2}; \quad b' = \frac{b_1 + b_2}{2}; \quad \omega' = \frac{\omega_1 + \omega_2}{2};$$

$K'' = K_0$, $b'' = b_0$, $\omega'' = \omega_0$ — для русла прямого уклона ($i_0 > 0$);

$K'' = K_1$, $b'' = b_1$, $\omega'' = \omega_1$ — для русла нулевого уклона ($i_0 = 0$);

$K'' = K_0'$, $b'' = b_0'$, $\omega'' = \omega_0'$ — для русла обратного уклона ($i_0 < 0$);

(индексы 1 и 2 относятся к начальному и конечному сечениям рассматриваемого участка русла).

При помощи построения логарифмических анаморфов определение величины показателей y и z производится точнее и нагляднее. При этом строят кривую

$$2 \cdot \lg K = f(\lg b) \quad \text{или} \quad 2 \cdot \lg K = \varphi(\lg \omega).$$

или

$$2 \cdot \lg K = \varphi(\lg \omega).$$

На этой кривой, например для русла прямого уклона дна ($i_0 > 0$), берем точки M , N и P , соответствующие ширинам b_0 , b_1 и b_2 или площадям живых сечений ω_0 , ω_1 и ω_2 (см. рис. 2). Через точки M и O проводим прямую. Точка O определяется обычно наглаз так, чтобы прямая MO одинаково отстояла от точек N и P . Тангенс угла наклона θ прямой MO к оси абсцисс и будет равен значению показателя y или z (в зависимости от того, откладываем ли мы по оси абсцисс $\lg b$ или $\lg \omega$).

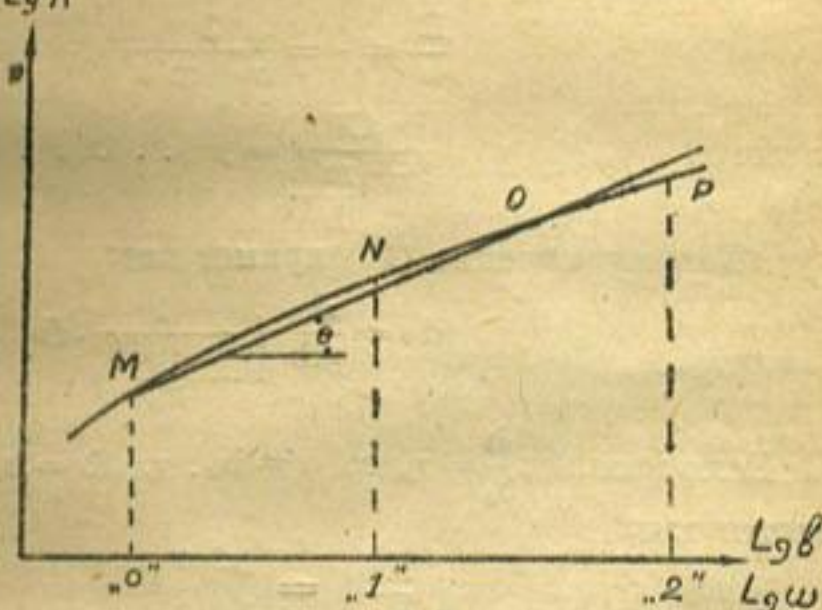


Рис. 2

На основании выражений (8) и (9) покажем примерные пределы и менения значений величин y и z , могущих иметь практическое значение:

m	β	y	z
0,00	1—10	2,9—2,2	2,9—2,2
1,00	1—10	2,0—1,3	2,65—2,2
1,50	1—10	1,9—1,05	2,6—2,2
2,00	1—10	1,8—0,9	2,6—2,2

Из этой таблицы видно, что:

1. Пределы колебания y в три раза более пределов колебания z ;
2. Величина z обладает большей устойчивостью, чем y .
3. Значения y могут быть менее 1, значения же z не бывают менее 2.

4. Вследствие того, что применение зависимостей (4) и (5) дает возможность свести решение задачи к выражениям с функциями Бахметева, зависимость (5) с практической стороны ценнее, так как таблицы Бахметева составлены только для значений показателя $x > 2$.

Для проведения конечного интегрирования дифференциальных уравнений (1), (2) и (3) воспользуемся зависимостями (4) и (5).

Русло прямого уклона

А. Принимая во внимание, что

$$K^2 = \omega^2 \cdot C^2 \cdot R,$$

перепишем уравнение (1) так:

$$\frac{bs}{db} = \frac{K_0^2}{K_0^2 - K^2} \cdot \frac{\alpha h \cdot C^3 R}{g \omega} \dots \dots \dots (10)$$

Замечая, что

$$\frac{R}{\omega} = \frac{1}{\lambda} = \frac{1}{b + m'h'}$$

назовем

$$\frac{C^2}{1 + \frac{m'h'}{b}} = j^5 \dots \dots \dots (11)$$

Тогда уравнение (10) примет вид:

$$ds = \frac{\alpha h}{g \cdot b} \cdot j \cdot \frac{1}{1 - \frac{K^2}{K_0^2}} \cdot db \dots \dots \dots (12)$$

Если назовем $\frac{b}{b_0} = \eta$, то $b = b_0 \cdot \eta$, $db = b_0 d\eta$ и уравнение (4) напишется так:

$$\left(\frac{K}{K_0} \right) = \left(\frac{b}{b_0} \right)^y = \eta^y$$

После этого уравнение (12) примет такой вид:

$$ds = \frac{\alpha h}{g} \cdot j \cdot \frac{1}{\eta(1 - \eta^y)} \cdot d\eta$$

Проинтегрируем это уравнение между двумя сечениями русла, принимая величину j постоянной:

$$= \frac{\alpha h}{g} \cdot j \cdot \int_1^2 \frac{1}{\eta(1 - \eta^y)} \cdot d\eta \dots \dots \dots (13)$$

или

Здесь

$$s = \frac{\alpha h}{g} \cdot j_{cp} [\psi(\eta_2) - \psi(\eta_1)] \dots \dots \dots (14)$$

$$\psi(\eta) = 2,3 \cdot \lg \frac{\eta}{(\eta^y - 1)^{1/y}}$$

значение j_{cp} следует брать средним для данного участка русла

⁵ Этот путь решения задачи предложен старшим специалистом Санири А. В. Троицким.

$$j_{cp} = \frac{j_1 + j_2}{2}$$

В. Перепишем уравнение (1С) так:

$$ds = \frac{\alpha h}{g} \cdot \mu \cdot \frac{1}{1 - \frac{K^2}{K_0^2}} \cdot \frac{db}{d\omega} \cdot d\omega,$$

где

$$\mu = \frac{C^2}{b} \dots \dots \dots (15)$$

$$\times \text{Но } \frac{db}{d\omega} = \frac{1}{h}, \text{ следовательно:}$$

$$ds = \frac{\alpha}{g} \mu \cdot \frac{1}{1 - \frac{K^2}{K_0^2}} \cdot d\omega \dots \dots \dots (16)$$

Напишем зависимость (5) в таком виде:

$$\left(\frac{K}{K_0}\right)^2 = \left(\frac{\omega}{\omega_0}\right)^2$$

Назовем $\frac{\omega}{\omega_0} = u$, $\omega = \omega_0 \cdot u$, $d\omega = \omega_0 \cdot du$

Тогда
$$\left(\frac{K}{K_0}\right)^2 = u^2$$

и
$$ds = \frac{\alpha \cdot \omega_0}{g} \cdot \mu \cdot \frac{1}{1 - u^2} \cdot du$$

После интегрирования этого уравнения между двумя сечениями русла получим:

$$s = \frac{\alpha \cdot \omega_0}{g} \cdot \mu \cdot \int \frac{1}{1 - u^2} \cdot du \dots \dots \dots (17)$$

Здесь $\int \frac{1}{1 - u^2} \cdot du = B(u)$ есть функция Бахметева для русла прямого уклона дна, а потому

$$s = \frac{\alpha \cdot \omega_0}{g} \cdot \mu_{cp} [B(u_2) - B(u_1)] \dots \dots \dots (18)$$

При расчетах следует брать

$$\mu_{cp} = \frac{\mu_1 + \mu_2}{2} \quad ^7$$

⁶ Если ввести обозначение

$$\frac{C^2}{\chi} = \mu$$

и полагать, что μ мало меняется по длине русла (как это принимают проф. Чертоусов и акад. Павловский), то после соответственных преобразований легко получить, что:

$$s = \frac{\alpha h}{g} \cdot b_0 \cdot \mu_{cp} [B(\eta_2) - B(\eta_1)].$$

Однако, это решение будет менее точным, чем данное выше.

⁷ Если обозначить

$$C^2 \cdot R = \lambda$$

и считать эту величину мало меняющейся по длине русла, то, решив соответствующим образом уравнение (10), нетрудно получить несколько более точную формулу

$$s = \frac{\alpha}{g} \cdot \lambda_{cp} [\psi(u_2) - \psi(u_1)]$$

где $\psi(u) = 2,3 \cdot \lg \frac{u}{(u^2 - 1)^{1/2}}$

С. При помощи зависимости (5) можно получить и более точное решение дифференциального уравнения (1). Для этого перепишем его таким образом:

$$ds = \frac{K^2}{1 - \frac{K^2}{K_0^2}} \cdot \frac{\alpha}{g \cdot \omega^3} \cdot d\omega$$

или, принимая во внимание предыдущие зависимости,

$$ds = \frac{\alpha K_0^2}{g \omega_0^2} \frac{u^2}{u^3 (1 - u^2)} \cdot du \quad (19)$$

Произведя интегрирование этого уравнения между двумя смежными сечениями русла, будем иметь:

$$s = \frac{\alpha K_0^2}{g \omega_0^2} [\varphi(u_2) - \varphi(u_1)], \quad (20)$$

где

$$\varphi(u) = \int \frac{u^2}{u^3 (1 - u^2)} \cdot du$$

Выражения функции $\varphi(u)$ для частных значений гидравлического показателя русла z , приведенные к функциям Бахметева, даны в журнале „Ирригация и гидротехника“ № 5, 1935 г., на стр. 14.

Русло нулевого уклона

А. Перепишем уравнение (2) так

$$\frac{ds}{db} = \frac{\omega^2 \cdot C^2 \cdot R}{\omega^3} \cdot \frac{\alpha h}{g}$$

или

$$ds = \frac{\alpha \cdot h \cdot C^2}{g \cdot \lambda} \cdot db,$$

или

$$ds = \frac{\alpha \cdot h}{g} \cdot \frac{C^2}{b + m'h} \cdot db \quad (21)$$

Будем считать, что в пределах рассматриваемого участка русла величина C остается постоянной и равной среднему ее значению C_{cp} . В этом случае уравнение (21), после интегрирования его по длине русла, примет такой вид⁸

$$s = 2,3 \cdot \frac{\alpha h}{g} \cdot C_{cp}^2 \cdot \lg \frac{b_2 + m'h}{b_1 + m'h} \quad (22)$$

В. Вспоминая из предыдущего, что

$$db = \frac{d\omega}{h} \quad \text{и} \quad \frac{C^2}{\lambda} = \mu$$

уравнению (2) легко придать такой вид:

$$ds = \frac{x}{g} \cdot \mu \cdot d\omega,$$

откуда найдем, что

$$s = \frac{x}{g} \cdot \mu_{cp} (\omega_2 - \omega_1)^3 \quad (23)$$

⁸ Данное решение предложено старшим специалистом Санпири А. В. Троицким.

⁹ Если считать величину

$$C^2 R = \lambda$$

мало меняющейся по длине русла, то получим решение, данное впервые инж. Леви.

$$S = 2,3 \cdot \frac{\alpha}{g} \cdot \lambda_{cp} \lg \frac{\omega_2}{\omega_1}$$

С. Использование зависимости (5) дает более точное решение уравнения (2). Примем, что

$$\frac{\omega}{\omega_1} = \xi, \quad \omega = \omega_1 \cdot \xi \text{ и } d\omega = \omega_1 \cdot d\xi$$

Из зависимости (5) получим:

$$\left(\frac{K}{K_1}\right)^2 = \left(\frac{\omega}{\omega_1}\right)^z = \xi$$

и $K^2 = K_1^2 \cdot \xi^z.$

Подстановка предыдущих выражений в уравнение (2) приводит его к такому виду:

$$ds = \frac{\alpha \cdot K_1^2}{g \omega_1^3} \cdot \xi^{z-3} d\xi.$$

Интегрирование же его по длине русла дает следующий конечный результат:

$$s = \frac{\alpha \cdot K_1^2}{g \cdot \omega_1^3 (z-2)} \left(\xi^{z-2} - 1 \right) \quad \dots \dots \dots (24)$$

Русло обратного уклона

А. Уравнение (3) представим в таком виде:

$$\frac{ds}{db} = \frac{K_0'^2}{K_0'^2 + K^2} \cdot \frac{\alpha \cdot h \cdot \omega^2 \cdot C^2 \cdot R}{g \omega^3}$$

или, принимая во внимание выражение (11),

$$ds = \frac{\alpha \cdot h \cdot j}{g \cdot b} \cdot \frac{1}{1 + \left(\frac{K}{K_0'}\right)^2} db \quad \dots \dots \dots (25)$$

Представив зависимость (4) в таком виде

$$\left(\frac{K}{K_0'}\right)^2 = \left(\frac{b}{b_0'}\right)^y = \eta'^y,$$

при обозначении

$$\frac{b}{b_0'} = \eta', \quad b = b_0' \cdot \eta' \text{ и } db = b_0' \cdot d\eta',$$

получим:

$$ds = \frac{\alpha \cdot h}{g} \cdot j \cdot \frac{1}{\eta' (1 + \eta'^y)} \cdot d\eta' \quad \dots \dots \dots (26)$$

Проинтегрировав это уравнение между двумя сечениями русла, будем иметь¹⁰:

$$s = \frac{\alpha \cdot h}{g} \cdot j_{\text{ср}} \cdot [\psi(\eta'_2) - \psi(\eta'_1)] \quad \dots \dots \dots (27)$$

Здесь

$$\psi(\eta') = 2,3 \cdot \lg \frac{\eta'}{(1 + \eta'^y)^{1/y}}$$

¹⁰ Это решение предложено старшим специалистом С а н и и р и А. В. Троицким.

В. Вспоминая выражение (15), напомним уравнение (3) в таком виде:

$$ds = \frac{\alpha}{g} \mu \cdot \frac{1}{1 + \left(\frac{K}{K'_0}\right)^2} \cdot d\omega$$

Зависимость (5) перепишем так:

$$\left(\frac{K}{K'_0}\right)^2 = \left(\frac{\omega}{\omega'_0}\right)^2$$

Введем обозначение:

$$\frac{\omega}{\omega'_0} = u', \quad \omega = \omega'_0 \cdot u' \quad \text{и} \quad d\omega = \omega'_0 \cdot du'$$

Тогда

$$ds = \frac{\alpha \omega'_0}{g} \cdot \mu \cdot \frac{1}{1 + u'^2} \cdot du'$$

Интегрируя это уравнение между двумя сечениями русла и учитывая, что

$$\int \frac{1}{1 + u'^2} \cdot du' = B^1(u')$$

есть функция Бахметева для русла обратного уклона дна, получим

$$s = \frac{\alpha \omega'_0}{g} \cdot \mu_{\text{ср.}} [B(u'_2) - B(u'_1)] \quad \dots \quad (28)$$

С. Зависимость (5) дает возможность получить и более точное решение уравнения (3). Представим уравнение (3) в таком виде:

$$ds = \frac{K^2}{1 + \left(\frac{K}{K'_0}\right)^2} \cdot \frac{\alpha}{g \omega^3} \cdot d\omega \quad \dots \quad (29)$$

Используя предыдущие обозначения и выражения, придем к такому выражению:

$$ds = \frac{\alpha \cdot K_0'^2}{g \cdot \omega_0'^2} \cdot \frac{u'^2}{u'^3 (1 + u'^2)} \cdot du'$$

Отсюда

$$s = \frac{\alpha \cdot K_0'^2}{g \cdot \omega_0'^2} \cdot [\varphi'(u'_2) - \varphi'(u'_1)] \quad \dots \quad (30)$$

В этой формуле функция

$$\varphi'(u') = \int \frac{u'^2}{u'^3 (1 + u'^2)} \cdot du',$$

выражения для которой, приведенные к функциям Бахметева, даны в журнале „Ирригация и гидротехника“ № 5, 1935 г., на стр. 16.

Предложенное выше решение дифференциальных уравнений (1), (2) и (3) отличается от других существующих способов такими сторонами:

1. Предложенный способ расчета русел переменной ширины с постоянной глубиной воды в них дает точность большую, чем другие способы.
2. Расчетные формулы имеют весьма простой вид и удобны для практического пользования.
3. Возможность пользоваться при расчете таблицами Бахметева дает сразу же этому способу практическую применимость.

4. Введением показательной зависимости (5), действительной как для русел постоянной глубины, так и для русел постоянной ширины, обобщается метод расчета обоих русел способом, предложенным впервые проф. Бахметевым.¹

Пример. Найти длину лотка быстротока, если дано: расход воды $Q=7,40$ м³/с, глубина воды $h=0,80$ м, уклон дна $i_0=1/9$, коэффициент откоса $m=1,00$, коэффициент шероховатости $n=0,017$, начальная ширина лотка по дну $b_1=1,60$ м, конечная ширина лотка по дну $b_2=0,40$ м.

Определим нормальный модуль расхода:

$$K_0 = \frac{Q}{\sqrt{i_0}} = 7,40 \cdot \sqrt{9} = 22,2 \text{ м}^3/\text{сек.}$$

Ему соответствует нормальная ширина по дну $b_0=0,20$ м и нормальная площадь поперечного сечения $\omega_0=0,80$ м², так как

$$\omega = bh + mh^2 = 0,20 \cdot 0,80 + 1,00 \cdot 0,80^2 = 0,80 \text{ м}^2,$$

$$\lambda = b + m'h = 0,20 + 2,83 \cdot 0,80 = 2,464 \text{ м},$$

$$R = \frac{\omega}{\lambda} = \frac{0,80}{2,464} = 0,324 \text{ м и}$$

$$K = \frac{\omega}{n} R^{2/3} = \frac{0,80}{0,017} \cdot 0,324^{2/3} = 22,2 \text{ м}^3/\text{сек.}$$

Для крайних сечений лотка будем иметь:

$$\omega_1 = 1,92 \text{ м}^2; \lambda_1 = 3,864 \text{ м}; R = 0,496 \text{ м}; C_1 = 52,5; K_1 = 71,0 \text{ м}^3/\text{с.}$$

¹ Применение зависимости (5) к расчету русел постоянной ширины (призматических) приводит к следующим расчетным формулам.

Для русел прямого уклона ($i_0 > 0$):

$$s = \frac{\omega_0}{i_0 B_{\text{ср}}} \cdot \left\{ u_2 - u_1 - (1 - j_{\text{ср}}) \cdot [B(u_2) - B(u_1)] \right\},$$

где ω_0 — нормальная площадь живого сечения, соответствующая равномерному движению жидкости в данном русле;

$B_{\text{ср}} = \frac{B_1 + B_2}{2}$ — средняя ширина русла по верху на данном участке русла,

$u = \frac{\omega}{\omega_0}$, $j = \frac{d \cdot i_0 \cdot C^2 \cdot B}{g \cdot \lambda}$, $B(u) = \int \frac{1}{1-u^2} \cdot du$ — функция Бахметева для русла прямого уклона.

z — гидравлический показатель русла, находится по формуле (7).

Для русел нулевого уклона ($i_0 = 0$):

$$s = \frac{\omega_1}{Q^2 B_{\text{ср}}} \cdot \left\{ j_{\text{ср}} \cdot (\xi - 1) - K^2_1 \left[B(\xi) - \frac{1}{z+1} \right] \right\}$$

Здесь ω и K_1 — площадь живого сечения и модуль расхода для начального сечения русла.

$\xi = \frac{\omega}{\omega_1}$, $\mu = \frac{\alpha Q^2 C^2 \cdot B}{g \cdot \lambda}$, $B(\xi) = \frac{\xi \cdot z + 1}{z+1}$ — функция Бахметева для

русла нулевого уклона;

Q — расход воды в русле.

Для русел обратного уклона ($i_0 < 0$)

$$s = \frac{\omega_0}{i_0 B_{\text{ср}}} \cdot \left\{ (u'_1 - u'_2) + (1 + j_{\text{ср}}) [B'(u'_2) - B'(u'_1)] \right\}$$

где ω'_0 — нормальная площадь живого сечения при прямом уклоне дна русла i_0 ,

$$u' = \frac{\omega}{\omega'_0}, j = \frac{\alpha i_0 \cdot C^2 \cdot B}{g \cdot \lambda}, j_{\text{ср}} = \frac{j_1 + j_2}{2};$$

$B'(u') = \int \frac{1}{1+u'^2} \cdot du'$ есть функция Бахметева для русла обратного уклона.

$$\omega_2 = 0,96 \text{ м}^2; \chi_2 = 2,664 \text{ м}; R_2 = 0,361 \text{ м}; C_2 = 49,6; K_2 = 28,7 \text{ м}^3/\text{с}.$$

Найдем длину лотка сначала по формуле (14):

$$s = \frac{\alpha \cdot h}{g} \cdot j_{\text{ср}} [\psi(\eta_2) - \psi(\eta_1)]$$

$$j_{\text{ср}} = \frac{1}{2} \left(\frac{C_1^2}{1 + \frac{m'h}{b_1}} + \frac{C_2^2}{1 + \frac{m'h}{b_2}} \right) = \frac{1}{2} \left(\frac{52,5^2}{1 + \frac{2,83 \cdot 0,8}{1,6}} + \frac{49,6^2}{1 + \frac{2,83 \cdot 0,8}{0,4}} \right) = 750$$

Гидравлический показатель ширины русла

$$y = 2 \cdot \frac{\lg \left(\frac{K_{\text{ср}}}{K_0} \right)}{\lg \left(\frac{b_{\text{ср}}}{b_0} \right)} = 2 \cdot \frac{\lg \left(\frac{71,0 + 28,7}{2,22,2} \right)}{\lg \left(\frac{1,6 + 0,4}{2,0,2} \right)} = 1,01$$

$$\eta_2 = \frac{b_2}{b_0} = \frac{0,4}{0,2} = 2,0, \quad \eta_1 = \frac{b_1}{b_0} = \frac{1,6}{0,2} = 8,0$$

$$\psi(\eta_2) = 2,3 \cdot \lg \frac{\eta_2}{(\eta_2^y - 1)^{1/y}} = 2,3 \cdot \lg \frac{2,0}{(2,0^{1,01} - 1)^{1/1,01}} = 0,678$$

$$\psi(\eta_1) = 2,3 \cdot \lg \frac{\eta_1}{(\eta_1^y - 1)^{1/y}} = 2,3 \cdot \lg \frac{8,0}{(8,0^{1,01} - 1)^{1/1,01}} = 0,1265$$

При $\alpha = 1,00$ будем иметь

$$s = \frac{1,00 \cdot 0,80}{9,81} \cdot 750 (0,678 - 0,1265) = 33,7 \text{ м}.$$

По формуле (18) длина лотка равна

$$s = \frac{\alpha \cdot \omega_0}{g} \cdot u_{\text{ср}} [B(u_2) - B(u_1)]$$

$$u_{\text{ср}} = \frac{1}{2} \left(\frac{C_1^2}{\chi_1} + \frac{C_2^2}{\chi_2} \right) = \frac{1}{2} \left(\frac{52,5^2}{3,864} + \frac{49,6^2}{2,664} \right) = 820$$

$$u_2 = \frac{\omega_2}{\omega_0} = \frac{0,96}{0,80} = 1,2, \quad u_1 = \frac{\omega_1}{\omega_0} = \frac{1,92}{0,80} = 2,4.$$

Гидравлический показатель русла

$$z = 2 \cdot \frac{\lg \left(\frac{K_{\text{ср}}}{K_0} \right)}{\lg \left(\frac{\omega_{\text{ср}}}{\omega_0} \right)} = 2 \cdot \frac{\lg \left(\frac{71,0 + 28,7}{2,22,2} \right)}{\lg \left(\frac{1,92 + 0,96}{2,0,80} \right)} = 2,75$$

При помощи таблиц проф. Бахметева для русла прямого уклона находим значения функции $B(u)$, беря ее величину средней между ее значениями для $x = 2,5$ и $x = 3,0$:

$$B(u_2) = B(1,2) = \frac{0,719 + 0,480}{2} = 0,60,$$

$$B(u_1) = B(2,4) = \frac{0,188 + 0,090}{2} = 0,139$$

Таким образом

$$s = \frac{1,00 \cdot 0,80}{9,81} \cdot 820 (0,60 - 0,139) = 30,8 \text{ м.}$$

Воспользуемся теперь для решения этой же задачи самой точной формулой (20):

$$s = \frac{\alpha \cdot K_0^2}{g \cdot \omega_0^2} [\varphi(u_2) - \varphi(u_1)]$$

Для $z = 2,5$ $\varphi(u) = 2B(\sqrt{u}) \times 10^{-3}$.

$$\varphi(u_2) = 2B(\sqrt{1,2}) = 2B(1,095) = 2,0,263,$$

$$\varphi(u_1) = 2B(\sqrt{2,4}) = 2B(1,55) = 2,0,046,$$

$$\varphi(u_2) - \varphi(u_1) = 2(0,263 - 0,046) = 0,434$$

Для $z = 3,0$ $\varphi(u) = B(u) \times 10^{-3}$.

$$\varphi(u_2) - \varphi(u_1) = 0,480 - 0,090 = 0,390$$

Для $z = 2,75$ будем иметь

$$\varphi(u_2) - \varphi(u_1) = \frac{0,434 + 0,390}{2} = 0,412.$$

Подставив численные значения величин, входящих в формулу (20), получим, что длина лотка

$$s = \frac{1,00 \cdot 22,2^2}{9,81 \cdot 0,80^2} \cdot 0,412 = 32,3 \text{ м.}$$

Разница в длинах лотка, найденных по формулам (14), (18) и (20), составляет

$$\Delta s = \frac{33,7 - 32,3}{32,3} \cdot 100 = 4,3 \%$$

и

$$\Delta s = \frac{32,3 - 30,8}{32,3} \cdot 100 = 4,6 \%$$

от длины, найденной по формуле (20), что, подходя практически, представляет собой незначительную величину.

В заключение автор считает необходимым выразить признательность инж. А. В. Троицкому за ряд ценных указаний по данной работе.

Ташкент

Полная влагоемкость почв и грунтов и сравнение полевых и лабораторных методов ее определения

(Окончание)

III. Экспериментальная часть

Собранные материалы по изучению влагоемкости почв и грунтов позволяют нам решить следующее:

А. Установить оптимальные нормы увлажнения, необходимые для доведения определенных толщ почвогрунтов до состояния (предельной) полной полевой влагоемкости.

Б. Установить степень сравнимости результатов, полученных при определении влагоемкости почв и грунтов в полевых и лабораторных условиях для разностей, относящихся:

- а) к типу южных черноземов,
- б) к каштановому типу.

А. Установление оптимальных норм увлажнения, необходимых для доведения почво-грунтов до состояния полной полевой влагоемкости.

Для изучения предельной водоудерживающей способности почв и грунтов в поле нами избран случай, когда увлажнение производится сверху путем применения искусственного полива.

Вода, впитываясь и проникая в силу своей тяжести в нижележащие горизонты, заполняет капиллярные, а также частью или полностью и некапиллярные ходы.

Часть воды, не будучи в состоянии преодолеть силы капиллярного натяжения, которые возникают в почво-грунтах в результате смачивания, удерживается более или менее прочно, при этом ее дальнейшее передвижение возможно лишь благодаря рассасыванию в стороны от зоны увлажнения более мелкими капиллярами, или в силу движения в пленочном состоянии под действием молекулярных сил или, наконец, за счет испарения.

Величина предельной водоудерживающей способности почво-грунтов (иначе их полная полевая влагоемкость) определяется рядом факторов, при чем к числу главнейших из них относятся: механический со-

¹ См. № 2 Ирригация и гидротехника за 1936 г.

став, сложение, степень и характер засоления почво-грунтов и грунтовых вод, наличие в почво-грунтах органического вещества и т. д.

Свою работу мы ограничим сравнением методов определения капиллярной и полной влагоемкости почво-грунтов, производимых в лабораторных условиях на образцах с ненарушенной и нарушенной структурой с методом полевого определения той формы влажности, которая именуется полной полевой влагоемкостью или предельной водоудерживающей их способностью.

Прежде чем производить указанные исследования, необходимо было решить вопрос: какое же количество воды должно быть вылит на единицу площади (1 м^2) с тем, чтобы определенные толщи почво-грунтов были предельно насыщены и доведены до состояния полной полевой влагоемкости. Для разрешения данного вопроса были произведены опыты на ряде почвенно-грунтовых разностей, при этом площадки (в 1 м^2) увлажнялись различными количествами воды (см. методику). При постановке опытов в поле нами были приняты в расчет особенности генетического строения почвенно-грунтового профиля, т. к. последнее обстоятельство безусловно должно отражаться на влагоемкости. Поэтому, изучению полной полевой влагоемкости были подвергнуты не только поверхностные почвенные слои (горизонт А), но и нижележащие горизонты В и С.

Устанавливая степень насыщенности и глубины промачивания почво-грунтов под влиянием принятых норм полива, мы приведем лишь часть имеющихся в нашем распоряжении материалов, которые являются наиболее характерными.

Для данной цели нами были выбраны указанные выше разности, относящиеся к различным группам как по своему механическому составу, так и по химическим свойствам: № 9—песчаная почвенно-грунтовая разность, № 1—легкосуглинистая разность южного чернозема, № 6—каштановая средне-суглинистая слабосолонцеватая, № 7—каштановая тяжелосуглинистая средне солонцеватая и № 8—каштановая глинистая сильно солонцеватая.

При проведении данных опытов с установлением норм полива нами учитывались следующие факторы:

1. Время впитывания заданной нормы.
2. Глубина промачивания под влиянием поливов.
3. Контур смоченного грунта.

4. Влажность естественная и приобретенная почво-грунтами в результате увлажнения.

В указанной последовательности мы в дальнейшем и будем вести обсуждение полученных результатов.

Песчаная № 9 почвенно-грунтовая разность. Морфологическое изучение ее показало, что в пределах поверхностных трех метров сложение песчаных масс совершенно одинаково, и выделить какие-либо генетические горизонты не представляется возможным, поэтому ее изучение решено было производить лишь для поверхностных горизонтов.

Опытные однометровые площадки были увлажнены нормами 50, 100, 150 л, при этом установлено, что вода была поглощена песком довольно быстро (см. табл. 7).

Столь повышенная водопроницаемость песчаной разности была подтверждена и дальнейшими наблюдениями, постановкой опытов с непрерывным увлажнением в продолжение 6 часов, при этом в последнем случае оказалось, что в первые моменты водопроницаемость была равна 12,7 литра в минуту и лишь по прошествии 3—4 часов расход воды установился более или менее постоянным, равным 5,4 литра в минуту.

Совершенно естественно, что столь повышенная водопроницаемость
Скорость просачивания воды в минутах на
площади 1 м²

Таблица 7

Норма воды в литрах	П о в т о р н о с т и				Среднее
	I	II	III	IV	
50	1	3	4	3	3
100	7	7	5	7	7
150	10	11	12	11	11

соответствующим образом
должна была отразиться на
глубине промачивания дан
ной разности. Через 12
часов, после того как впи-
тались последние порции
воды, была проверена глу-
бина промачивания, с од-
ной стороны, путем проме-
ра и зарисовки контура
смоченного грунта, а с дру-
гой — путем установления
влажности по глубине про-
филя.

Данные промеров дали следующие результаты.

Глубина промачиваний в см. от поверхности

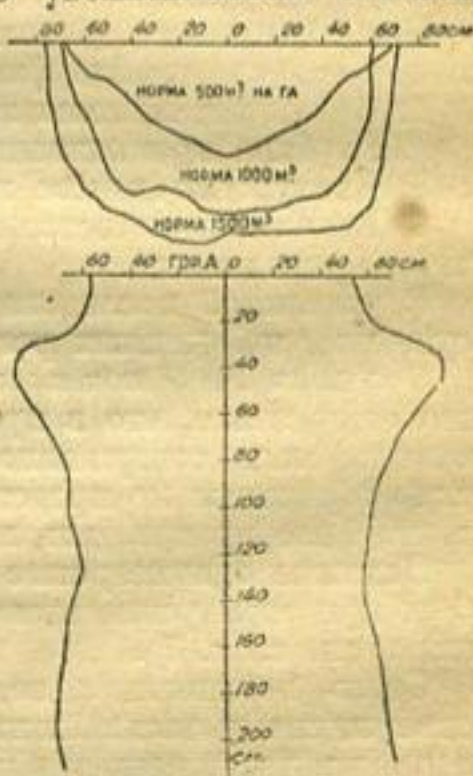
Таблица 8

Нормы полива л на 1 м²	Промеры по верху траншей в см (нуль—центр площадки)												
	60	50	40	30	20	10	0	10	20	30	40	50	60
50	12	16	23	36	40	44	48	45	40	35	28	15	91
100	32	57	65	63	65	71	73	72	71	68	66	57	32
150	62	72	76	82	86	86	82	82	82	82	81	80	70

Таким образом, можно видеть, что по мере увеличения нормы по-
лива глубина промачивания пропорционально увеличивается. Но если
удалось еще установить нижнюю границу
смоченного грунта при увлажнении указан-
ными выше нормами в 50, 100, 150 л/м²,
то при более продолжительном сроке полива
(6 час.) гравитационный поток проник на-
столько глубоко, что открытой траншеей про-
филь смоченных толщ грунта уловить не уда-
лось. Ниже, для сопоставления контуров
смоченного грунта, мы приводим график 1.

Во время проведения опытов естествен-
ная влажность песков была невелика, вме-
сте с этим невысокой оказалась и водо-
удерживающая способность их. Влажность,
проверенная до и после поливов, дала
следующие результаты (см. табл. 9)

Просматривая данные влажности, мож-
но видеть, что исследуемая почвенно-грун-
товая разность уже при норме 50 л пре-
дельно насыщает поверхностные горизонты
до глубины 60 см. Вместе с этим мы обнаружи-
ваем и другое обстоятельство, — оказывается,
что влажность, несмотря на однородность
механического состава, распределяется на



Граф. 1 Контур смачивания
песч. № 9 почвен.-грунт.
разности

глубине не одинаково. Наименьшая норма, принятая нами в опытах (50 л/м²), дала наиболее повышенные показания влажности для поверхностных горизонтов (20—30 см), то же повышение влажности обнаруживается и для норм 100 и 150 л/м², но лишь оно отмечается в более глубоких горизонтах, близких к нижней границе смоченного грунта (70—80 см).

Влажность после полива в процентах на абс. сухую навеску

Таблица 9

Глубина в см	Естествен- ная влаж- ность	6-часо- вые прома- чивания с поверхно- сти	На площадь в 1 м ²		
			150 л	100 л	50 л
0	0,25	5,89	5,13	5,81	7,54
10	3,89	6,37	5,93	6,81	9,27
20	4,68	5,39	5,58	6,05	11,73
30	0,99	4,67	5,87	5,03	9,23
40	0,92	6,23	5,85	7,04	7,51
50	1,08	8,52	8,72	6,71	8,76
60	1,14	7,56	8,15	7,92	7,35
70	1,82	6,59	10,84	9,34	3,71
80	1,58	6,59	10,02	10,71	1,43
90	1,32	7,07	6,92	5,71	—
100	1,39	7,07	5,76	1,51	—
125	1,76	7,08	1,81	—	—
150	1,92	6,19	—	—	—
200	—	6,13	—	—	—
250	—	6,41	—	—	—

Данное явление может быть объяснено следующим образом: поливные воды на опытных площадках, впитываясь, проникают в виде гравитационного потока в нижележащие горизонты, заполняя при этом капиллярные и некапиллярные ходы. Но (указанному проникновению воды препятствуют два обстоятельства: 1) воздух, который встречается на пути следования воды, и 2) то сопротивление, которое испытывает гравитационный поток со стороны поверхностного натяжения пленок, ограничивающих капиллярные трубки. Поэтому движение гравитационного потока происходит до того момента, пока сопротивление противоположно направленных сил не будет уравновешено. Мениски нижней части капиллярных ходов, замыкая и тем самым подпирая воду, находящуюся над границей раздела вода-воздух, и создают ту повышенную степень увлажнения, которая обнаруживается в наших опытах (см. табл. 9).

Таким образом, говорить о предельной водоудерживающей способности отдельных горизонтов песчаных почво-грунтов как о величине более или менее стабильной нельзя, т. к. для каждого отдельного случая она будет зависеть от той нормы воды (будет ли она в виде дождя или искусственного полива), которой будет залита та или иная площадь. В нашем случае эти колебания, видимо, возможны в пределах от 6 и до 11%.

Легко-суглинистая № 1, почвенно-грунтовая разность была исследована как с поверхности, так и на глубине 20 см (гориз. В) и на глубине 70 см (гориз. С) от поверхности. Заливая опытные площадки избранными нормами — 50, 100 и 150 л на 1 м², мы установили, что

для поверхностных горизонтов скорость впитывания, благодаря распыленности пахотного горизонта, оказалась несколько пониженной.

Скорость просачивания воды в минутах на площади 1 м²

Таблица 10

Нормы воды в литрах	П о в т о р н о с т и				Среднее
	I	II	III	IV	
50	18	17	18	16	17
100	24	26	24	27	26
150	42	51	54	50	49

В среднем можно считать, что для принятых норм полива в течение одной минуты водопроницаемость для поверхностных горизонтов была равна 3—3,8 л. В том же случае, когда промачивание длилось 6 часов, к концу опыта был зарегистрирован постоянный расход, который для отдельных генетических горизонтов выражался в следующих величинах: для поверхностного горизонта — 0,85 л/мин., для горизонта В — 1,27 л/мин. и для горизонта С — 0,86 л/мин.

В зависимости от времени промачивания почво-грунтов и от величины принятых норм, смоченными были лишь определенные толщи. В частности, в результате увлажнения площадей были установлены следующие глубины промачивания:

Глубина промачивания в см от поверхности

Таблица 11

Норма полива л/г	Промеры по верху тр. в с. (нуль в цен. пл.)															
	70	60	50	40	30	20	10	0	10	20	30	40	50	60	70	80
50 л	—	15	19	26	27	29	30	34	27	31	30	25	15	11	—	—
100 „	10	29	41	44	45	45	45	43	45	46	47	44	39	19	—	—
150 „	21	38	50	54	55	57	56	59	60	58	55	52	49	36	20	18

Таким образом, под влиянием указанных норм увлажненными оказались различные по глубине горизонты. Максимальное промачивание можно считать для 50 литров 31—34 см, для 100 литров 46—47 см и для 150 литров 58—60 см.

Когда же увлажнение производилось с поверхности в продолжение 6 часов, то промачивание было отмечено до глубины 125 см., при увлажнении в течение того же времени горизонтов В и С изолированно от вышележащих (промачивание производилось со дна шурфа) в первом случае оказались смоченными почво-грунты мощностью 150 см (от 20 до 170 см), а во втором 155 см (с 70 до 225 см), при этом для двух последних случаев резкой границы смоченного грунта в нижней части обнаружить наглаз не удалось и потому глубина промачивания была установлена на основании данных влажности определенной по профилю до и после опыта.



Граф. 2. Контура смачивания легко суглин. 1 № почв-грунт. разности

Ниже приводятся контуры, в пределах которых почво-грунты оказались увлажненными (гр. 2). Проверенная после поливов влажность по вертикальному профилю дала следующие результаты:

Влажность после поливов в процентах на абс. сухую навеску

Таблица 12

На площадь в 1 м ²				
150 л	100 л	50 л		
22,53	23,68	23,82		
21,47	21,78	21,60		
20,87	21,57	20,36		
20,95	20,30	20,33		
20,42	18,12	15,69		
20,45	17,66	16,56		
18,74	15,81	12,59		
17,71	9,29	8,59		

На основании приведенных данных влажности представляется возможным установить степень вододерживающей способности почв и грунтов не только поверхностных горизонтов, но и лежащих. Оказывается, что вне зависимости от величины принятых в опытах норм полива увлажнение, сообщаемое последним для поверхностных горизонтов (для 30 см), остается почти неизменным, равным в среднем 20—21%, влажность же для горизонтов В и С несколько ниже и равна в среднем 17—21%. Повышая норму воды при зативе опытных площадок, мы лишь увеличиваем глубину промачивания, та же влажность, которую приобрели почво-грунты, лежащие непосредственно у поверхности площадок, является предельной и определяет их полную полевую влагоемкость.

Таким образом, для того, чтобы увлажнить почво-грунты изучаемой нами разности, обладающей легко суглинистым механическим составом до состояния полной полевой влагоемкости, достаточно залить опытную площадку 50—100 литрами воды из расчета на 1 м². В данном случае предельно увлажненными будут поверхностные горизонты до глубины 30 см. При условии же, если норма воды будет увеличена до 150 литров на 1 м², или тем более увлажнение будет производиться в продолжение 6 часов, то в таком случае увеличится лишь толща почво-грунтов, насыщенная водой, другими словами, до полной полевой влагоемкости будет уже доведен верхний 60 см почвенный покров.

В дальнейшем мы опишем аналогичные опыты, произведенные с почво-грунтами, обладающими (в той или иной степени) солонцеватостью и которые, кроме того, отличаются механическим составом.

У *средне-суглинистой слабо солонцеватой каштановой* почвенно-грунтовой разности № 6 были подвергнуты исследованию, кроме поверхностных горизонтов, горизонт В — глубина 22 см и горизонт С — глубина 55 см.

При увлажнении опытных площадок избранными нормами 50, 100 и 150 литров на 1 м² было установлено, что просачивание указанных порций воды было следующее:

Скорость просачивания поливных норм
в минутах на пл. 1 м²

Таблица 13

Норма в л	П о в т о р н о с т и				Среднее
	I	II	III	IV	
50	9	10	11	9	10
100	21	21	22	21	21
150	47	34	34	31	37

Полученные цифры устанавливают, что скорость просачивания отдельных норм полива для данной разности прямо пропорциональна величине заданной нормы и находится в отношении 1 : 2 : 3.

При более продолжительном (6 час.) увлажнении почво-грунтов, после того как расход при фильтрации устанавливается более или менее по-

стоянным, что обычно отмечается через четыре — пять часов от начала опыта, было зарегистрировано, что в зависимости от того, на поверхности ли почвенного слоя или с поверхности горизонтов В или С ведется исследование, впитывающая способность почво-грунтов не одинакова. Пониженной водопроницаемостью отличается солонцеватый уплотненный горизонт В. В описываемом случае водопроницаемость по горизонтам была следующей: для поверхностных горизонтов — 1,13 л/мин, для горизонта В — 0,62 л/мин. и, наконец, для горизонта С — 1,03 л/мин. Глубина промачивания почв и грунтов зависит от величины тех норм воды, которыми заливались опытные площадки. Произведенные промеры смоченных горизонтов на открытых стенках траншей, вырытых таким образом, что стенки последних совпадали со серединой площадок, дали следующие результаты:

Глубина промачивания в см от поверхности

Таблица 14

Нормы полива в л	Промеры по верху тр. (нуль — центр. площ.)															
	70	60	50	40	30	20	10	0	10	20	30	40	50	60	70	80
50	—	13	21	21	22	22	22	22	20	19	18	19	18	10	—	—
100	—	24	28	31	33	35	34	35	35	33	32	32	29	23	18	—
150	19	31	38	42	43	47	48	47	46	44	42	40	37	29	22	17

Из приведенных цифр видно, что глубина проникновения воды при норме 50 л на 1 м² ограничивается 22 см, для нормы 100 л — 35 см и для нормы 150 л — 47 см. При более продолжительном увлажнении и глубина промачивания естественно увеличивается. При смачивании почво-грунтов в продолжение 6 часов увлажненными оказались более мощные толщи, а именно: для опытных площадок, расположенных на поверхности, почво-грунты были промочены до 130 см, при промачивании горизонта В (22 см от поверхности) увлажнено было 123 см

в вертикальном направлении и, наконец, для горизонта С (53 см от поверхности) смоченными оказались грунты до глубины 165 см.

Более полное представление о степени промачиваемости можно иметь, если представить полученные материалы графически (граф. 3).

Благодаря отсутствию трещиноватости, контуры смоченных толщ почво-грунтов имеют совершенно симметричную форму. Влажность, определенная после смачивания по вертикальному профилю, распределялась следующим образом (см. табл. 15.)

Сопоставляя данные влажности, полученные при промачивании почво-грунтов различными количествами воды, можно видеть, что водоудерживающая способность для среднего суглинка еще не достигает предела, когда используются нормы, равные 50—100 литрам на 1 м².

В том же случае, когда площадки заливались водой из расчета 150 л

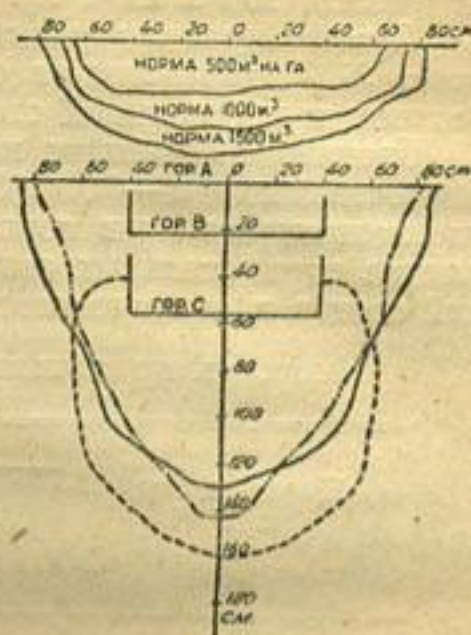
Влажность после поливов в процентах на абс. сухую навеску

Таблица 15

Глубина в см	Естественная влажность	6-часовое смачивание			На площадь 1 м ²		
		С поверхности	Гориз. В — 22 см	Гориз. С — 55 см	150 л	100 л	50 л
2	—	31,75	—	—	27,30	26,79	24,59
10	7,36	26,85	—	—	25,30	23,29	21,55
20	8,76	24,61	21,44	—	24,30	21,03	19,21
30	8,83	23,06	18,48	—	22,93	18,76	10,87
40	7,79	22,06	20,25	—	21,83	12,25	9,23
50	7,89	20,09	18,79	—	19,83	8,30	—
60	6,32	18,59	18,76	19,07	18,40	—	—
70	6,65	19,63	19,52	20,09	8,31	—	—
80	6,90	20,06	17,94	18,64	—	—	—
90	6,85	18,38	19,00	18,89	—	—	—
100	6,78	18,19	20,47	19,41	—	—	—
125	6,04	14,91	17,60	18,92	—	—	—
150	6,78	8,98	9,05	13,39	—	—	—
175	8,51	—	8,90	9,37	—	—	—
203	9,36	—	—	9,41	—	—	—

на 1 см², степень увлажнения почво-грунтов достигала их предельной водоудерживающей способности, т. к. дальнейшее увлажнение, продолжавшееся в течение 6 часов (в пределах верхнего 30-см поверхностного горизонта) увеличения влажности почвы не вызывало.

Отсюда следует, что полная полевая влагоемкость для среднесуглинистых слабосолонцеватых каштановых почво-грунтов, для 30—40 см



граф. 3. Контур смачивания среднесуглинистой слабо солонцеватой каштановой № 6 разновидности

поверхностного горизонта равна 22—27% и указанный предел влажности может быть сообщен данной разности при условии применения нормы, равной 150 л на 1 м².

Тяжело-суглинистая средне-солонцеватая почвенно-грунтовая разность № 7 отличается от описанных выше более тяжелым механическим составом и повышенной степенью солонцеватости.

Производя опыты по насыщению данных почво-грунтов различными количествами воды—50, 100 и 150 л на 1 м², было установлено, что водопоглощаемость их в первые моменты довольно высока, не смотря на наличие отрицательных свойств, каковыми являются тяжелый механический состав и солонцеватость.

Скорость просачивания воды в минутах на площ. 1 м²

Таблица 16

Нормы воды на 1 м ² в л	Повторности				Среднее
	I	II	III	IV	
50	10	8	12	10	10
100	16	25	24	25	23
150	32	34	41	36	30

Столь повышенная водопоглощаемость почво-грунтов данного типа может быть объяснена наличием трещиноватости в частности в пределах горизонта В (от 19 до 36 см), при этом, как только существующие трещины забухают, водопроницаемость резко падает, что отражается на дальнейшем насыщении почво-грунтов.

Поставленные наблюдения за водопроницаемостью в продолжение 6 часов показали, что после 4, 5 часов водопроницаемость приобретает более или менее постоянный характер, т. е. расход воды в единицу времени становится более постоянным. В данном случае, при смачивании почвы с поверхности, к концу опыта расход воды на фильтрацию на площади в один квадратный метр был равен 0,54 л/мин на площадке, заложенной на глубине 22 см (гориз. В)—0,31 л/мин. и, наконец, на глубине 55 см (гориз. С)—0,41 л/мин.

Как и в предыдущем случае, т. е. с почвенно-грунтовой разностью № 6, обнаруживается, что пониженной проницаемостью отличается горизонт В, солонцеватый, являясь вместе с этим и наиболее трудно насыщаемым.

Трещиноватость, а в связи с этим и несколько повышенная в первые моменты водопроницаемость почво-грунтов в известной мере отражается на глубине промачивания.

Глубина промачивания в см от поверхности

Таблица 17

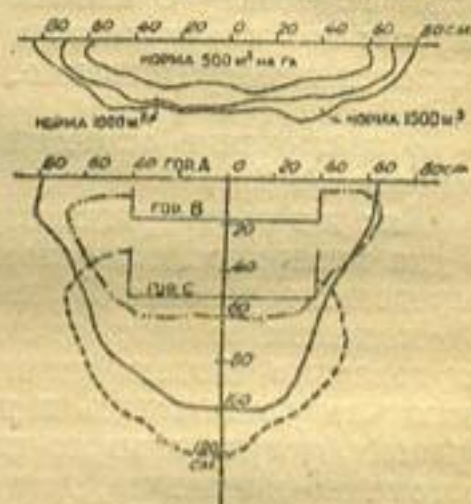
Нормы полива на 1 м ² в л	Горизонты по верху траншей в см (нуль в центре площадки)															
	80	70	60	50	40	30	20	10	0	10	20	30	40	50	60	70
50	—	—	8	14	16	20	20	18	21	23	22	16	15	12	8	—
100	—	12	17	20	27	26	29	30	29	27	27	26	26	23	18	11
150	6	14	20	30	29	28	30	30	32	31	31	34	32	23	23	—

Максимальное промачивание при увлажнении почво-грунтов избран-ными нормами дало для нормы 50 литров 20—23 см, для нормы 100 литров 29—30 см и для нормы 150 литров 31—32 см.

Приведенные в табл. 17 данные показывают, что пропорциональной зависимости глубины промачивания от величины принятой нормы не обнаруживается, — если при увеличении нормы от 50 до 100 лит/м² смоченная толща увеличивалась на 10 см, то при подобном же увеличении нормы от 100 до 150 л/м² вода в нижележащие горизонты дополнительно проникла всего на 2 см; это обстоятельство, несомненно, связано с наличием солонцеватости, присущей рассматриваемой разности. Ту же картину можно обнаружить и при 6 часовом смачивании. (гр. 4) В результате 6-часового промачивания почво-грунтов с поверхности увлажнились лишь первые 100—110 см, при промачивании с глубины 20 см (гориз. В) вода распространилась несколько глубже 100 см и, наконец, при увлажнении дна шурфа на глубине 52 см (гориз. С) почво-грунты увлажнились до 125 см глубины.

После полива опытных площадок была определена влажность, которая дала следующие результаты (см. табл. 18).

Сопоставляя приведенные данные влажности, можно видеть, что вододерживающая способность почво-грунтов поверхностных горизонтов (верхние 30 см) последовательно возрастает по мере увеличения норм с 50 до 100 и до 150 литров на 1 м², но уже дальнейшее увлаж-



Граф. 4. Контура смачивания тл. жело-суглинистой средне-солонцеватой каштановой № 6 разности

Влажность после поливов в процентах на абс. сух. навеску

Таблица 18.

Глубина в см	Естественная влажность в процентах	6-часовое промачивание			На площадь в 1 м ²		
		С поверхности	Гориз. В — 20 см	Гориз. С — 52 см	150 л	100 л	50 л
2	—	32,22	—	—	34,49	32,92	29,01
10	8,84	29,63	—	—	29,85	27,35	26,65
20	9,69	27,32	32,33	—	27,81	23,22	19,73
30	11,66	24,95	24,61	—	24,79	19,83	13,93
40	11,17	23,12	23,19	—	13,79	19,88	12,77
50	10,07	21,53	21,50	27,48	11,53	12,12	13,01
60	9,29	20,69	20,65	24,18	11,15	—	—
70	8,52	20,09	18,11	21,97	—	—	—
80	8,42	19,02	16,11	21,27	—	—	—
90	8,13	15,57	16,12	20,74	—	—	—
100	8,47	16,04	15,12	21,67	—	—	—
125	8,59	9,78	9,03	16,87	—	—	—
175	8,95	—	—	—	—	—	—

мение вплоть до наивысшего (в нашем опыте до 6 часов) изменений в результаты не вносит, поэтому можно считать, что норма 150 литров на 1 м² является тем минимумом, при котором еще возможно доведение поверхностных горизонтов до состояния полной полевой влагоемкости.

Установление же полной полевой влагоемкости для двух нижележащих горизонтов В и С потребует в каждом отдельном случае специальных исследований. Увлажнению должны подвергаться соответствующие горизонты изолированно от вышележащих, т. к. даже шестичасовой непрерывный полив с поверхности почвы не сообщает в частности горизонту С влажности, равной полной полевой ее влагоемкости, как это имеет место в том случае, когда указанный горизонт насыщается непосредственно.

В заключение остается рассмотреть *глинистую сильно солонцеватую разность № 8*.

Как и в предыдущих случаях, исследования были проведены не только для поверхностного слоя (горизонта А), но и для глубины 31 см (в пределах горизонта В), глубины 102 см (т. е. в пределах горизонта С). В отношении солонцеватого горизонта В следует указать, что он обладал довольно сильно развитой трещиноватостью, которая с глубиной несколько уменьшалась и призматические отдельности, слагающие этот горизонт, уступали место глыбам. Плотность по вертикальному профилю постепенно нарастала, достигая своего максимума на глубине 100—110 см от поверхности, после чего вновь наблюдалось ее понижение.

При заливе опытных площадок избранными нормами было установлено, что данная разность, несмотря на тяжелый механический состав, обладала повышенной впитывающей способностью.

Скорость просачивания поливных норм в мн на пл. 1 м².

Таблица 19

Нормы воды в литрах	Повторности				Среднее
	I	II	III	IV	
50	3	4	6	5	5
100	9	8	7	11	9
150	14	10	17	18	15

Быстрое проникновение воды происходило исключительно за счет трещиноватости солонцеватого горизонта. Совершенно естественно поэтому, что преувеличенная водопроницаемость, наблюдаемая лишь в начале, в дальнейшем резко падала, благодаря забуханию трещин. Опыты с увлажнением почво-грунтов в продолжение 6 часов показали, что при увлажнении поверхностных горизонтов фильтрация была ограничена 0,40 л/мин., для глубины 31 см (гориз. В) — 0,08 л/мин. и для глубины 102 см (гориз. С) — 0,06 л/мин.

Проведенные наблюдения за глубиной промачивания почво-грунтов при условии применения установленных методикой норм дали следующие результаты (см. табл. 20).

Сказанное выше относительно повышенной водопроницаемости за счет трещиноватости подтверждается приведенными цифрами, но если продолжительность промачивания увеличивается до 6 часов, проникновение гравитационного потока в результате забухания трещин пони-

Нормы полива в л	Промеры по верху траншей в см (нуль—центр площадки)												
	60	50	40	30	20	10	0	10	20	30	40	50	60
50	12	22	22	28	27	30	29	29	27	26	23	15	11
100	14	24	35	36	40	39	41	41	37	37	36	32	17
150	39	46	49	47	51	48	44	47	49	49	51	42	31

жается и зона смоченного грунта в конечном счете остается весьма ограниченной. Приводимый график дает более ясную картину, определяющую границы, в пределах которых грунт оказался увлажненным под влиянием избранных норм полива. (гр. 5).

Увлажняя изолированно выделенные генетические горизонты, мы имеем возможность наблюдать, в какой мере отражаются особенности их химического состава (солонцеватость) на глубину просачивания.

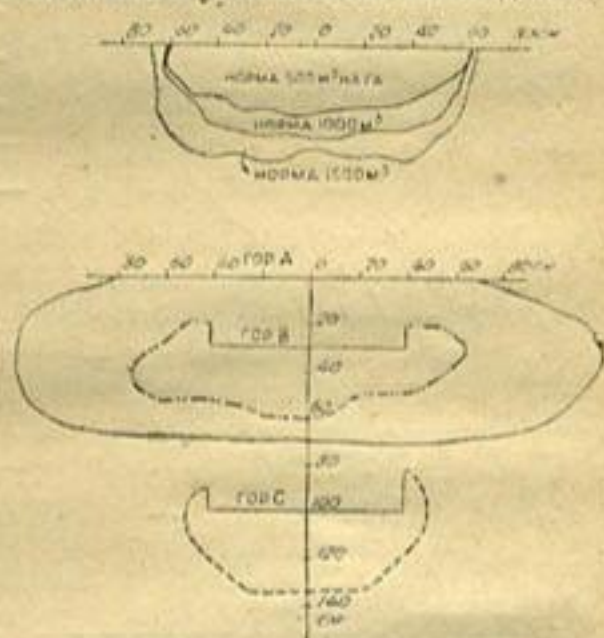
Контуры смоченных толщ почво-грунтов для глубин 31 см и 102 см (гор. В и С) оказались весьма ограниченными. Первые же порции воды, размочив грунт, привели его в дисперсное состояние (благодаря наличию в солонцеватом горизонте в поглощенном комплексе ионов натрия), а это повлекло за собой задержку водопроницаемости, а, следовательно, и насыщения почво-грунтов до предельной степени увлажнения.

Приводимые ниже данные влажности почво-грунтов подтверждают вышесказанное.

Для исследуемой глинистой сильно солонцеватой разности нормы воды в 50 и 100 литров на 1 м² не обеспечивают полного насыщения поверхностных горизонтов и лишь при увлажнении нормой в 150 литров можно считать, что водоудерживающая способность почво-грунтов становится близкой к своему пределу. Это подтверждается последующими опытами с 6-часовым увлажнением площадок (заложённых на поверхности почвы) которые в последнем случае дали показания влажности, весьма близкие к предыдущей, но лишь в пределах верхних 20 см.

Сопоставляя данные влажности, полученные для различных генетических горизонтов при наивысшем (6-час.) увлажнении, мы видим, что, промачивая площадки, расположенные на поверхности, в течение 6 часов, мы далеко не обеспечиваем степени предельного увлажнения нижележащих глубин, которые совпадают с солонцеватыми горизонтами, т. е. расположенными от поверхности на 31 см.

Следовательно, насыщение до полной полевой влагоемкости почво-грунтов, расположенных в пределах генетических горизонтов В и С, возможно лишь после того, как будут удалены лежащие под ними толщ почвы, при чем срок увлажнения в данном случае должен длиться не менее 6 часов, а то и более.



Граф. 5. Контура промачивания глинистой сильно солонцеватой № 8 разности.

Таблица 21

Глубина в см	Естествен- ная влаж- ность в %	6- час. промачив.			На площадь в 1 м²		
		поверх- ности	Гориз. В— 31 см	Гориз. С*— 102 см	150 л	100 л	50 л
2	11,91	38,40	—	—	38,34	36,57	38,29
10	13,02	30,45	—	—	31,65	29,03	29,48
20	15,34	27,37	—	—	27,41	26,16	25,95
30	14,83	26,67	32,54	—	25,37	25,36	17,97
40	16,20	24,97	26,38	—	23,54	15,01	14,41
50	17,34	23,48	24,93	—	16,14	15,29	—
60	18,51	28,86	17,81	—	17,19	17,59	—
80	16,43	15,94	17,05	—	16,84	—	—
90	14,70	16,60	17,59	—	—	—	—
100	15,72	—	—	—	—	—	—
102*	—	—	—	36,00	—	—	—
100	—	—	—	32,66	—	—	—
120	—	—	—	31,20	—	—	—
125	16,80	—	—	31,54	—	—	—
135	—	—	—	—	—	—	—
150	19,68	—	—	26,31	—	—	—
175	22,96	—	—	23,93	—	—	—
200	22,67	—	—	—	—	—	—

На основании полученных результатов для глинистых сильно-солонцеватых почво-грунтов представляется возможным сделать такого рода вывод: для того, чтобы указанные почво-грунты насытились до состояния полной полевой влагоемкости, срок увлажнения их должен быть принят не менее 6 часов. Если исследованию подвергаются более глубокие горизонты, то полная полевая влагоемкость последних может быть определена лишь при условии, что они будут насыщаться водою изолированно от вышележащих горизонтов.

Вообще же для почво-грунтов, которые обладают физико-химическими свойствами исключительно неблагоприятными для водопроницаемости и насыщения (как это имело место с только что описанной разностью), устанавливать точных поливных норм, которые довели бы их до состояния полной полевой влагоемкости, довольно затруднительно, поэтому будет более правильным, если в каждом отдельном случае определение предельной водоудерживающей способности будет устанавливаться путем постановки специальных опытов.

Заключивая рассмотрение вопроса об оптимальных нормах увлажнения, применение которых сообщает исследуемым почво-грунтам (30-см толще) влажность, соответствующую полной полевой влагоемкости, мы имеем возможность сделать следующие выводы:

1. Для того, чтобы довести влажность почво-грунтов, имеющих песчаный механический состав, до полной полевой влагоемкости, достаточно последние смочить из расчета 50 литров на 1 м².

2. Если данные почво-грунты имеют однородный механический состав и при увлажнении их поливные воды не смыкаются с грунтовыми, то влажность их по вертикальному профилю распределяется таким образом, что в нижней части капилляров у границы раздела воды с воздухом, возникающие силы менискового натяжения оказывают сопротивление силе тяжести воды, движущейся сверху, благодаря чему несколько выше указанной границы создаются горизонты повышенного увлажнения.

3. Почво-грунтам с легко суглинистым механическим составом полная полевая влагоемкость может быть сообщена (в пределах верхних 30 см) при условии увлажнения их нормой, равной 50—100 литрам на 1 м².

4. Для почво-грунтов средне суглинистых, обладающих при этом слабо солонцеватыми признаками, полная полевая влагоемкость для поверхностных 30—40 см может быть достигнута при заливе их нормой в 150 литров на 1 м².

5. Тяжело суглинистые почво-грунты со средне-солонцеватыми признаками, имеющие при этом небольшую величину водопроницаемости при повышенной влагоемкости, требуют для своего насыщения до полной полевой влагоемкости (поверхностных горизонтов мощностью 30 см) увеличенного количества воды и времени. Максимальной нормой в данном случае может считаться 150 литров на 1 м² или лучше 6-часовое промачивание.

6. Для того, чтобы обеспечить полную полевую влагоемкость для глинистых сильно-солонцеватых почво-грунтов, необходимо применять более продолжительное увлажнение—не менее 6-часового промачивания.

7. Для установления предельной водоудерживающей способности более глубоких горизонтов (почво-грунтов) следует насыщение их проводить изолированно от лежащих над ними толщ почво-грунтов, путем залива шурфа, дно которого должно совпадать с исследуемой глубиной.

8. В наших опытах, при промачивании с поверхности почво-грунтов избранными нормами 50, 100 и 150 литров на 1 м², средняя глубина промачивания находится в прямой связи с их механическим составом. Для песчаных разностей норма 150 литров на 1 м² промачивает до глубины 86 см, для средне суглинистых та же норма увлажняет до 47 см, тяжело суглинистых до 31 см и глинистых до 48 см.

В двух последних случаях повышенная глубина промачивания объясняется наличием трещиноватости в пределах солонцеватых горизонтов.

9. Скорость водопроницаемости, а вместе с этим и насыщаемость отдельных генетических горизонтов, также находится в прямой зависимости от физико-химических свойств почво-грунтов. Если для песчаных разностей скорость фильтрации с поверхности равна 5,4 литра в минуту на площади в 1 м² (к концу 6-го часа, когда расход установился более постоянный), то для солонцеватого горизонта глинистой разности расход воды в наших опытах был равен 0,06 литра в минуту.

В. Сопоставление методов определения влагоемкости почв и грунтов

Во втором разделе нашей работы дано сравнение результатов определения полной полевой влагоемкости в поле с данными определений капиллярной и полной влагоемкости, произведенных на образцах с ненарушенной и нарушенной структурой в лаборатории.

Выше уже была дана для части разрезов достаточно подробная характеристика естественной влажности и той влажности, которая была

определена в почво-грунтах после их промачивания установленными в опыте нормами.

В качестве исходных величин, определяющих полную полевую влагоемкость почв и грунтов (в пределах поверхностных 30 см), использованы данные влажности, которые были получены после 6-часового полива площадок. Указанные величины, гарантирующие безусловную точность, мы решили использовать еще в силу того, что отдельные рекогносцировочные опыты с увлажнением почво-грунтов в продолжение 10, 12, 24 и 48 часов не дали сколько-нибудь заметного повышения влажности в пределах исследуемых горизонтов, т. е. увеличение норм и продолжительности полива приводит не к повышению уже установившейся предельной степени увлажнения поверхностных горизонтов, а лишь к тому, что большие толщи почво-грунтов оказываются увлажненными до состояния, равного или близкого к предельной водоудерживающей способности последних.

Определяя капиллярную и полную влагоемкость в почво-грунтах в лаборатории на образцах с ненарушенной и нарушенной структурой, мы выбраковывали все те данные, которые в какой-либо мере внушали недоверие, при чем в таких случаях всегда увеличивалось число повторностей.

Кроме почвенно-грунтовых разностей, разобранных нами выше (№№ 1, 6, 7, 8 и 9) при обсуждении вопроса об установлении оптимальных норм полива, в дальнейшем, при сопоставлении результатов определения влагоемкостей принятыми нами методами в поле и в лаборатории, был использован более обширный опытный материал, включающий в себя данные почвенно-грунтовых разностей (№№ 2, 3, 4, 5). Для удобства обсуждения данных (как было указано выше) материалы об'единены в две группы:

а) относящиеся к почвенно-грунтовым разностям типа южных черноземов (№№ 1, 2, 3, 4);

б) к разностям каштанового типа (№№ 5, 6, 7, 8).

Для того, чтобы получить величины влажности, характеризующие полную полевую влагоемкость соответствующих горизонтов, нами выведены средние данные, определяющие влажность почво-грунтов после 6-часового их полива. Получены были следующие результаты (см. табл. 22).

Сравнивая между собою результаты, приведенные в табл. 22, можно обнаружить следующие особенности: данные полной полевой влагоемкости во всех положительных случаях оказались ниже, чем величины капиллярной и полной влагоемкости, определенные для тех же образцов, имевших ненарушенную и нарушенную структуру.

Влажность при полной полевой влагоемкости примерно составляет 60% от той степени увлажнения, которую приобретают почво-грунты, будучи насыщаемы в лабораторных условиях.

О. Э. Мейнцер (1), говоря о водоудерживающей способности грунтов, указывает, что при определении последней в монолитах, тем более имеющих небольшие размеры (в нашем случае 200 см) всегда будет наблюдаться повышенное ее значение по сравнению с теми данными, которые получаются в поле; таким образом, наши результаты находятся в полном согласии с указаниями О. Э. Мейнцера.

Указанная разница в величине водоудерживающей способности почво-грунтов в полевых и лабораторных условиях может быть объяснена изменением длины капиллярных трубок, которые в монолитах бывают более коротки, чем это имеет место в природных условиях.

Капиллярные трубки, будучи ограничены у монолитов нижней срезанной поверхностью дна его, могут удерживать значительно большее количество воды, чем это имеет место в условиях природного залегания

Данные влагоемкости в процентах, отнесенные к весу

Таблица 22

Название почво-грунта	Глубина в см	Порозность %	Полная полевая влагоемкость	Образцы с ненарушенной структурой влагоемкости		Образцы с нарушенной структурой влагоемкости	
				Капил.	Полная	Капил.	Полная
№ 1—легко-суглинистый южный чернозем	0—10	53,85	16,62	36,06	36,18	34,95	35,45
	30—40	51,46	21,33	37,06	38,59	31,23	33,45
	60—70	46,93	20,16	31,07	34,64	26,20	28,19
	100—110	49,35	16,10	30,76	33,51	24,19	25,82
	250—260	45,79	—	26,02	25,55	23,84	24,82
№ 2—средне суглинистый южный чернозем	0—10	56,09	27,04	40,53	44,51	30,57	30,78
	20—30	52,60	23,21	38,14	42,65	31,95	32,61
	30—40	52,72	21,88	32,92	36,01	24,84	25,27
	100—110	56,37	20,76	34,25	39,03	27,10	30,56
	250—260	45,00	—	27,84	28,62	22,21	23,08
№ 3—тяжело-суглинистый южный чернозем повышенной мощности	0—10	62,24	41,82	62,21	62,24	52,37	52,51
	25—35	61,90	27,88	50,70	54,27	39,36	39,96
	60—70	57,10	21,22	36,94	38,80	30,37	30,90
	100—110	53,07	20,72	34,89	39,82	29,39	29,84
	250—260	47,86	—	30,09	30,09	27,46	28,31
№ 4—тяжело-суглинистый южный чернозем	0—10	54,10	30,92	39,02	40,06	35,84	36,84
	25—35	57,85	24,79	38,40	43,89	33,86	34,36
	40—50	54,19	21,54	34,08	36,17	28,54	28,96
	100—110	45,96	20,53	28,56	30,04	23,49	24,17
	250—260	45,99	—	32,00	33,00	25,82	26,86

почво-грунтов, при котором длина капиллярных трубок неопределенно велика.

Как в первом, так и во втором случае вода в капиллярах будет удерживаться за счет молекулярных сил и сил поверхностного натяжения, возникающих на концах капилляров в монолитах, или на некоторой глубине от смачиваемой поверхности в естественных условиях, на границе поверхности раздела вода-воздух, где капиллярные силы будут оказывать сопротивление, которое уравновесит силу тяжести некоторого столба воды, подвешенного в вышележащих горизонтах.

Величина поверхностного натяжения может быть рассчитана по формуле, предложенной Эйтвешом, приводимой Н. В. Поляковым (3):

$$\alpha = 2,1 \frac{t_{\text{к}}^0 - t^0 - \tau}{(M - v)}^{2/3}$$

где $t_{\text{к}}^0$ — критическая температура;
 t^0 — температура воды;
 τ — поправка, равная нескольким градусам;
 M — молекулярный вес воды;
 v — удельный объем воды.

Факт сопротивления, которое оказывает менисковое натяжение в капиллярах на границе поверхности раздела вода-воздух, с достаточной наглядностью обнаруживается как в природных условиях, так и на монолитных образцах.

В естественных условиях при увлажнении почво-грунтов с поверхности, когда отсутствует смыкание поливных вод с грунтовыми, можно наблюдать возникновение горизонтов капиллярно-подвешенной воды. В данном случае в нижней части заполненных водою капилляров соз-

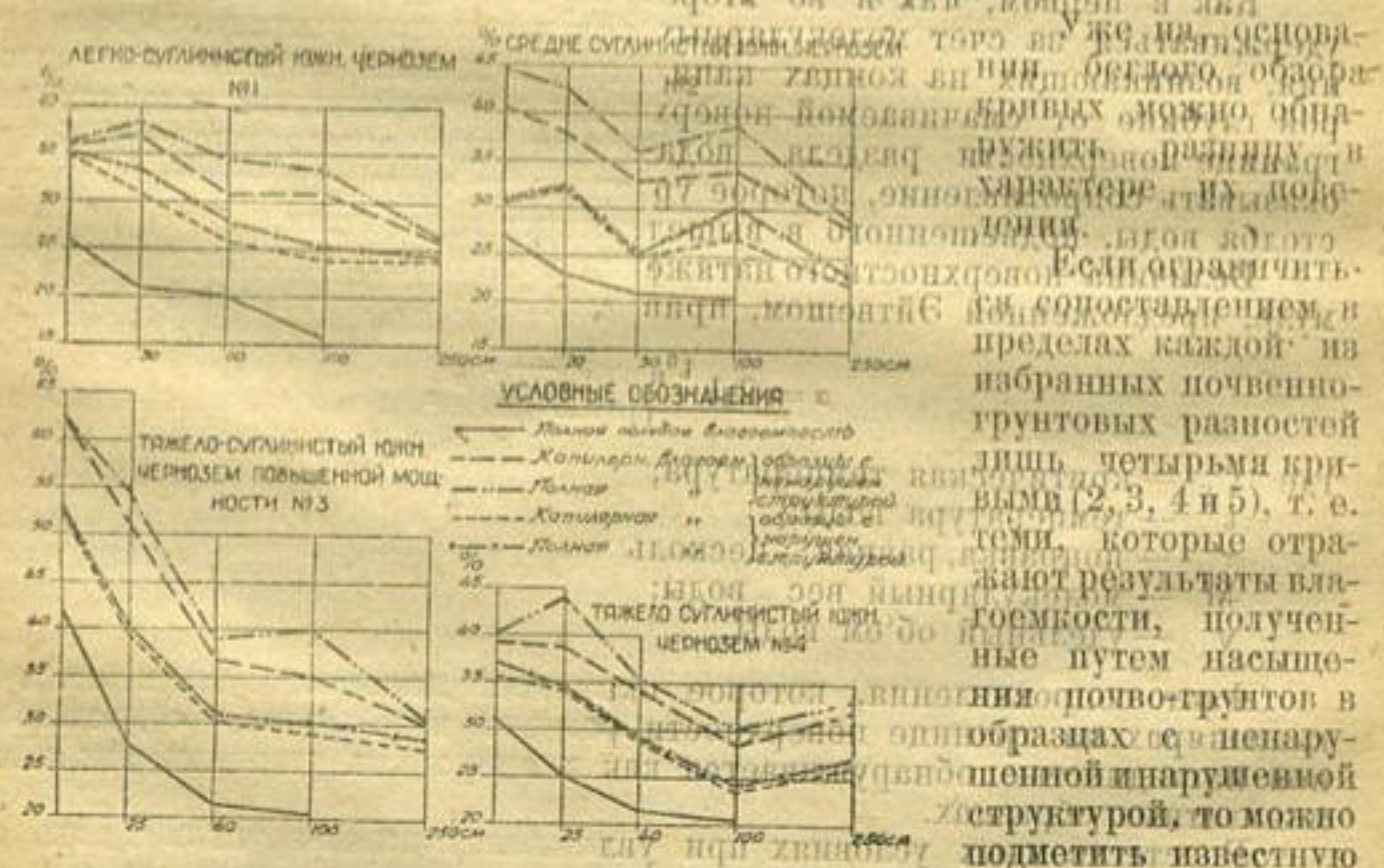
дается зона повышенного увлажнения (как это имеет место с песчаной № 9 почвенно-грунтовой разностью).

Такого же порядка явления наблюдаются и в монолитах, которые предельно насыщались с поверхности водою.

При разборке такого рода монолита после насыщения его водою и при определении в дальнейшем влажности по его вертикальному профилю обнаруживается, что поверхностные горизонты его всегда оказываются менее увлажненными, чем ниже расположенные участки монолита.

В ряде случаев установлено, что в монолитах, имеющих одностороннюю высоту, всегда будут повышено увлажненными нижние горизонты, примерно, 30—40 см от дна, поэтому при определении влагоемкости в монолитах нижний участок их (в указанных выше пределах) всегда следует выбраковывать. Подтверждение данному явлению мы находим в работах ряда исследователей—Лебедева А. Ф., Астапова С. В., Качицкого Н. А. и др. (5, 8).

Сопоставляя в дальнейшем данные, полученные при определении капиллярной и полной влагоемкости в лаборатории на образцах, имеющих ненарушенную и нарушенную структуру, можно видеть, что эти данные являются все же более близкими между собою, чем это имело место при сравнении их с полной полевой влагоемкостью. С другой стороны, совершенно точно установлено, что капиллярная и полная влагоемкость, определенная для образцов, имевших нарушенную структуру, всегда оказывается меньшей, чем для образцов, структура которых была не нарушена. Больше этого, данные полной влагоемкости для образцов с нарушенной структурой являются меньшими, чем величина капиллярной влагоемкости для тех же образцов, но имевших ненарушенную структуру. Результаты влагоемкостей, полученные изобранными нами методами, приобретают значительно большую наглядность и выразительность, после того, как будут представлены в виде кривых (граф. 7).



Граф. 7.

на себя внимание, это — более тесное расположение кривых (4 и 5) капиллярной и полной влагоемкости для образцов с нарушенной структурой.

турой. По мере того, как механический состав делается наиболее тяжелым, указанные кривые все более совмещаются. Если для легко суглинистой разности № 1 расхождение между капиллярной и полной влагоемкостью колеблется примерно до 2%, то для тяжело суглинистых почво-грунтов № 4 эти колебания находятся в пределах всего лишь 1%.

В случаях с нарушенной структурой не наблюдается резких отклонений полной влагоемкости от капиллярной, которое обычно происходит за счет повышенного количества некапиллярных ходов.

Когда же дело приходится иметь с почво-грунтами, имеющими ненарушенную структуру, отклонения в показаниях капиллярной и полной влагоемкости в значительной мере увеличиваются. Слагаясь в естественных условиях и находясь неопределенно продолжительное время под влиянием воздействия внешних агентов, почво-грунты лишь в редких случаях могут иметь совершенно однородное сложение. Это обстоятельство, несомненно, отражается на результатах капиллярной и полной влагоемкости, у которых отношение между абсолютными величинами в отдельных случаях может быть весьма непостоянным (табл. 22). Это и понятно. Та исключительная сложность сети капиллярных ходов, которые пронизывают почво-грунты в их естественном сложении, приводит к указанным выше последствиям. Сложнейший комплекс взаиморасположенной массы отдельных механических частиц различнейших размеров, имеющих минеральное и органическое происхождение, временами осложняется еще характером и степенью засоленности почво-грунтов, расположением и величиной отдельных кристалликов, их скопления и т. д. В конечном счете это приводит к крупным расхождениям данных для образцов с ненарушенной и нарушенной структурой. Приведенные соображения в полной мере подтверждаются данными влагоемкостей и кривыми, представленными на графике 6.

Приняв порозность для всех случаев за 100 и отнеся к ней влагоемкость (пересчитанную на единицу объема = 100 см³), мы получили следующие данные (см. табл. 23).

Результаты произведенного сопоставления порозности с полной полевой влагоемкостью, а также с капиллярной и полной влагоемкостью для образцов с ненарушенной и нарушенной структурой указывают, что при насыщении почво-грунтов в поле, путем полива с поверхности отдельных опытных площадок, предельное увлажнение составляет в среднем 51—70% от величины порозности. Величина капиллярной и полной влагоемкости для образцов с ненарушенной структурой в отдельных случаях является наиболее близкой по своему значению к порозности, составляя примерно от 83 до 100% от порозности, и, наконец, капиллярная и полная влагоемкость для образцов с нарушенной структурой, примерно, равна 65—88% от величины порозности, свойственной данным образцам.

На основании всего вышесказанного представляется возможным сделать следующие выводы:

1. При определении полной полевой влагоемкости, а также капиллярной и полной влагоемкости в образцах с ненарушенной и нарушенной структурой установлено, что полная полевая влагоемкость всегда будет меньше той влагоемкости, которая определяется в образцах, имевших ненарушенную и нарушенную структуру.

2. Капиллярная и полная влагоемкость, определенная в образцах (монолитах), имеющих ненарушенную структуру, всегда больше аналогичных определений влагоемкости в образцах с нарушенной структурой.

3. Разрушение естественного сложения почво-грунтов приводит к тому, что полная их влагоемкость обычно бывает ниже, чем капилляр-

Влагодность, отнесенная к порозности для южных черноземов

Таблица 3

Название почво-грунта	Глубина в см	Количество воды в 100 см ³ грунта в граммах (в %/о/о)				Влагодность, отнесенная к порозности в %/о/о			
		Порозность		Ненарушенная структура		Порозность		Ненарушенная структура	
		Полная	Полевая влагоем-	Полная	Капиллярная	Полная	Капиллярная	Полная	Капиллярная
№ 1 — легко-суглинистый южный чернозем	0 — 10	53,85	33,57	45,44	44,04	44,67	62,3	84,4	81,8
	30 — 40	51,46	28,37	49,29	41,54	44,49	55,1	95,8	80,7
	60 — 70	46,93	29,64	45,67	38,51	41,44	63,2	87,5	82,1
	100 — 110	49,35	23,67	45,22	35,56	37,96	47,9	91,4	72,0
	250 — 260	45,79	—	38,25	35,04	36,49	—	83,5	76,5
№ 2 — средне-суглинистый южный чернозем	0 — 10	56,09	32,18	48,32	36,38	36,63	57,4	88,0	64,9
	30 — 40	52,60	31,10	51,10	42,81	43,70	54,3	89,2	74,7
	60 — 70	52,72	31,21	43,06	36,27	36,89	59,2	91,2	68,8
	100 — 110	56,37	29,89	49,32	39,02	44,01	53,0	87,5	69,2
	250 — 260	45,0	—	42,87	34,20	35,54	46,3	95,3	76,0
№ 3 — тяжело-суглинистый южный чернозем повышенной мощности	0 — 10	62,21	40,57	60,34	50,80	50,93	65,21	97,0	81,7
	25 — 35	61,90	31,78	57,80	44,87	45,55	51,3	93,4	72,5
	60 — 70	57,10	30,97	53,93	44,34	45,11	54,2	94,5	77,7
	100 — 110	53,07	27,03	45,36	38,21	38,79	50,9	85,5	72,0
	250 — 260	47,86	—	43,93	40,09	41,33	49,5	91,8	83,8
№ 4 — тяжело-суглинистый южный чернозем	0 — 10	54,10	38,03	47,99	43,84	45,31	70,3	88,7	81,0
	25 — 35	57,85	32,23	50,00	44,02	44,47	55,7	86,4	76,1
	40 — 50	54,19	31,88	50,44	42,24	42,86	58,8	93,1	78,1
	100 — 110	45,96	32,91	43,70	35,94	36,98	71,6	95,1	78,2
	250 — 260	49,99	—	48,32	32,99	40,56	49,2	96,7	65,0

ная влагоемкость, определенная для тех же образцов, но имеющих ненарушенное строение (в монолитах).

* 4. Влагоемкость почво-грунтов, исследованных избранными нами методами, приведенная к порозности, принятой за 100, показала следующее соотношение: объем пор, занятых водой, при полной полевой влагоемкости в полевых условиях равен в среднем 51—70% от порозности, при капиллярной и полной влагоемкости в образцах, имеющих ненарушенную структуру, 83—100% и в образцах с нарушенной структурой 65—88%.

Почво-грунты каштанового типа.

В дальнейшем мы перейдем к рассмотрению второго цикла опытов, которые были проведены с почво-грунтами каштанового типа, имеющими, как и первые, различный механический состав и химические свойства.

Данные влагоемкости в процентах, отнесенные к весу

Таблица 24

Название почво-грунтов	Глубина в см	Порозность в %	Полная полевая влагоемкость	Образцы с ненарушенной структ. влаг.		Образцы с нарушенной структ. влаг.	
				Капиллярная*	Полная	Капиллярная	Полная
№ 5—тяжелосуглинистая каштановая слабо-солонцеватая	0—10	58,94	33,79	37,87	42,61	20,27	26,29
	20—30	55,27	25,99	39,66	44,17	18,01	42,09
	60—65	50,00	21,07	34,22	37,90	19,09	31,01
	100—110	45,95	21,16	24,44	28,49	15,83	25,67
	250—260	46,54	—	22,00	23,51	18,46	31,88
№ 6—средне-суглинистая слабо-солонцеватая каштановая	0—10	55,39	29,30	38,04	38,58	22,37	37,27
	20—30	55,80	23,84	34,93	40,14	21,84	31,62
	30—40	52,63	22,06	32,47	35,07	16,53	28,33
	70—80	47,73	20,08	27,36	30,03	16,91	25,41
	250—260	43,50	—	21,89	22,59	13,74	27,03
№ 7—тяжелосуглинистая средне-солонцеватая	0—10	55,61	30,93	46,68	48,27	17,57	33,04
	25—35	49,70	24,95	32,58	36,24	16,57	27,47
	40—50	51,73	21,63	32,70	35,36	17,01	28,46
	75—85	46,38	21,27	33,57	36,02	17,88	27,10
	250—260	47,29	—	36,20	37,18	18,24	28,14
№ 8—глинистая сильно-солонцеватая	0—10	56,09	34,43	39,08	43,18	20,83	41,86
	10—20	51,64	28,91	35,06	37,38	19,37	36,17
	30—40	44,01	27,46	28,16	29,19	15,79	28,60
	130—140	45,42	27,54	31,05	31,19	16,91	33,89
	250—260	47,54	—	31,80	32,14	17,16	40,43

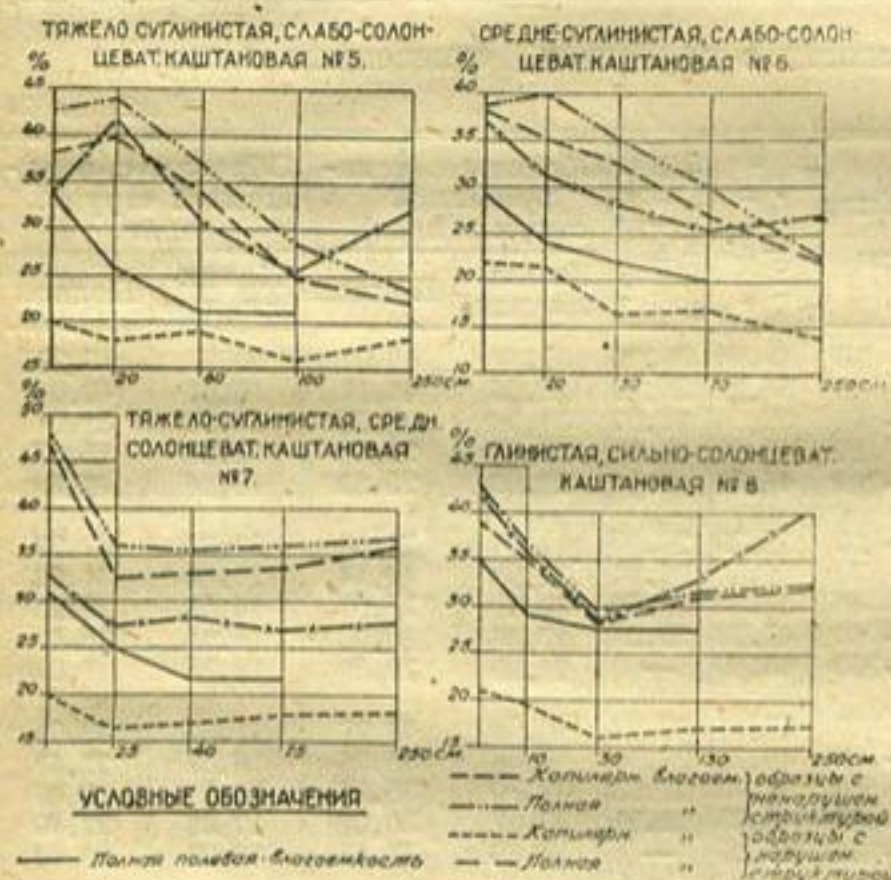
Обзор приведенных данных позволяет установить, что существующие отношения влагоемкостей для каштановых почвенно-грунтовых разностей не те, что мы имеем для южных черноземов.

Первое, что обращает на себя внимание, это весьма пониженные величины капиллярной влагоемкости, определенной в образцах с ненарушенной структурой. Несмотря на то, что при постановке опытов были строго выдержаны требования методики в части, предусматривающей заполнение цилиндров образцами, имеющими ненарушенную структуру, все же создать что-либо близкое к естественному сложению почво-грунтов видимо не удалось. Глубокое изменение системы капиллярных ходов привело к тому, что капиллярная влагоемкость по сравнению с полной, определенной для тех же образцов с нарушенной структурой, оказалась меньшей в среднем на 100%. Больше этого, данные капиллярной влагоемкости, определенные в образцах с нарушенной структурой, ока-

зались ниже полной полевой влагоемкости для тех же почво-грунтов. Это обстоятельство в первую очередь отличает каштановые разности от южных черноземов.

В образцах с ненарушенной структурой наблюдается известная зависимость в отношениях между капиллярной и полной влагоемкостью чего никак нельзя сказать об аналогичных величинах для тех же проб, имевших нарушенное естественное строение.

Нарушая естественное сложение такого рода почво-грунтов, мы произвольно изменяли величину их структурных отдельностей, которые, будучи химически и механически прочно связанными, распадаются лишь на более мелкие агрегаты.



Граф. 7.

капиллярный подъем воды к их поверхности, которая движется по крупным капиллярным ходам. При такого рода насыщении оказывается, что в образце остается большое количество заземленного воздуха, которое не успевает покинуть мелкую сеть разорванных капилляров, находящихся в пределах отдельных агрегатных комочков почво-грунтов. Кроме этого, слагающие их агрегатки создают повышенное количество некапиллярных ходов, которые при насыщении почво-грунтов до полной влагоемкости заполняются водою. Весьма возможно, что указанные явления оказались бы в значительной мере сглаженными, если бы в почво-грунтах присутствовал в повышенных количествах гумус, или при условии, если бы механический состав их был представлен более грубым материалом.

Сравнивая капиллярную влагоемкость с полной, при определении их в лабораторной обстановке, можно видеть, что отношение между указанными величинами различно. В образцах, имеющих нарушенную структуру, это отношение равно примерно 1 : 2, для образцов же с ненарушенной структурой это отношение уже более близко и равно 0,8 : 1.

Для более ясного представления о соотношении величин влагоемкостей, определенных принятыми нами методами, мы даем граф. 7.

Заполняя такого рода материалом цилиндры при определениях влагоемкости, мы по существу имеем дело не с глинистыми фракциями (самостоятельными частицами), а с агрегатиками, которые по величине своей скорее приближаются к зернам песка; что несомненно влечет за собой понижение общего объема капиллярных ходов, которые имеют данные почво-грунты в естественном сложении.

Насыщая такого рода образцы, мы обнаруживаем довольно быстрый

Кривые с достаточной убедительностью подтверждают только что приведенный выше анализ результатов; кривые 5, отражающие величину полной влагоемкости для образцов с нарушенной структурой, ведут себя весьма непостоянно, превосходя временами полную и капиллярную влагоемкость, полученную для образцов с ненарушенной структурой. Этого не было отмечено ни в одном случае при проведении таких же опытов с почво-грунтами типа южного чернозема.

Если использованные в нашем опыте приемы приведения нарушенных образцов искусственным путем к присущему им естественному сложению с учетом их удельного (объемного) веса дали столь отрицательные результаты, то до какой же степени произвольности подвергаются те образцы, которые обычно загружаются в цилиндры без учета каких бы то ни было факторов, а единственно подчиненные воле лаборанта?

В заключение сопоставим данные влагоемкостей, полученные в полевой и лабораторной обстановке, с порозностью, определенной для одноименных горизонтов. (Последняя во всех случаях принимается за 100%.)

Изучая данные полной полевой влагоемкости для каштановых разностей, можно видеть, что последние обладают относительно высокой водоудерживающей способностью.

В этом случае повышенная водоудерживающая способность почво-грунтов в их естественном залегании может быть объяснена, с одной стороны, высоким содержанием минеральных коллоидов (фракция меньше 0,001 мм), а с другой стороны, наличием в поглощенном состоянии наиболее гидрофильных ионов натрия.

С южными черноземами каштановые почвы могут быть сравнены следующим образом: если для южных черноземов отношение полевой полевой влагоемкости к порозности находилось в пределах 51—70%, то каштановые солонцеватые почво-грунты это отношение имеют в среднем от 56 до 75%, при чем для почво-грунтов, обладающих исключительно ярко выраженными признаками солонцеватости при тяжелом механическом составе (как это имело место для глинистой сильно солонцеватой разности № 8), количество пор, заполненных водою, доходило до 91,7% (см. табл. 25).

Насыщение почво-грунтов каштанового типа до полной влагоемкости в образцах с ненарушенной структурой дало величины, весьма близкие к пределу, т. е. водою были заполнены почти все поры.

В заключение необходимо еще раз отметить, что при определении капиллярной и полной влагоемкости в почво-грунтах, имеющих нарушенную структуру, совершенно неизбежно по сути самой методики получать искаженные результаты. Весь вопрос заключается лишь в том, какая степень искаженности будет в каждом частном случае. Установить величину ошибки возможно лишь после того, когда будут произведены соответствующие параллельные определения полной полевой влагоемкости в поле, — в естественной обстановке. Указанные определения являются единственно правильными, желательными и исключают необходимость применения никому не нужных определений влагоемкости на образцах, имеющих нарушенную структуру.

Таким образом, в части каштановых почвенно-грунтовых разностей, обладающих различной степенью солонцеватости и тяжелым механическим составом, можно сделать следующие общие заключения:

1. Полная полевая влагоемкость, определяемая в поле в естественных условиях, всегда бывает ниже капиллярной и полной влагоемкости, определенной в образцах с ненарушенной структурой.

2. Полная полевая влагоемкость, сопоставленная с порозностью, принятой за 100, составляет от нее 56—75%, а в отдельных случаях

Влагоемкость, отнесенная к порозности, для каштановых разностей

Таблица 25

Название почво-грунтов	Глубина в см	Порозность в %	Количество воды в 100 см в г						Порозность принимаемая за 100	Влагоемкость, отнесенная к порозности			
			Ненарушенная структура, влагоемкость		Нарушенная структура, влагоемкость		Полная полевая влагоемкость	Ненарушенная структура, влагоемкость		Полная полевая влагоемкость			
			Капиллярная	Полная	Капиллярная	Полная		Капил.			Полн.		
№ 5 — тяжело-суглинистая каштановая слабо солонцеватая	0 — 10	58,94	36,49	40,90	46,02	21,89	39,19	100	61,9	69,7	78,1	37,1	66,9
	20 — 30	55,27	30,93	47,20	52,56	21,43	50,09	100	56,0	85,4	95,1	38,7	90,6
	60 — 65	50,00	28,23	45,85	49,65	25,58	41,55	100	56,5	91,7	99,3	51,2	83,1
	100 — 110	45,95	34,07	39,35	45,87	26,47	41,33	100	74,1	85,6	99,8	55,4	89,9
	250 — 260	46,54	—	32,16	34,32	26,95	46,54	100	—	69,3	74,1	58,2	100,0
№ 6 — средне-суглинистая слабо солонцеватая	0 — 10	55,39	35,45	46,03	46,68	27,07	45,10	100	64,0	83,1	84,3	48,9	81,4
	20 — 30	55,80	33,14	48,55	55,79	30,36	43,95	100	59,4	87,0	100,0	54,4	78,1
	30 — 40	52,63	33,09	48,71	52,61	24,80	42,50	100	62,9	92,6	100,0	47,9	80,8
	70 — 80	47,73	31,69	43,23	47,45	26,72	40,15	100	66,4	90,6	99,4	60,0	84,1
	250 — 260	43,50	—	35,24	36,37	22,12	43,52	100	—	81,0	83,6	50,9	100,0
№ 7 — тяжело-суглинистая среднесолонцеватая	0 — 10	55,61	35,57	53,68	55,51	20,21	38,00	100	64,0	96,5	99,8	36,3	68,3
	25 — 35	49,70	34,18	44,63	49,65	22,70	37,63	100	68,8	89,8	99,9	45,7	75,7
	40 — 50	51,73	31,58	47,74	51,63	24,83	41,55	100	61,0	92,3	98,8	48,0	80,3
	75 — 85	51,20	30,20	47,67	51,15	25,39	38,48	100	58,9	93,1	99,9	49,6	75,2
	250 — 260	51,80	—	50,46	51,68	25,35	39,11	100	—	97,4	99,8	48,9	75,5
№ 8 — глинистая сильно солонцеватая	0 — 10	56,09	40,97	46,51	51,38	24,79	49,81	100	73,0	82,9	61,6	44,2	88,8
	10 — 20	51,64	38,45	46,63	49,72	25,76	48,11	100	74,5	90,3	96,3	49,9	93,2
	30 — 40	44,01	40,37	41,39	42,91	23,21	42,04	100	91,7	94,0	97,5	52,7	95,5
	130 — 140	50,10	39,93	45,02	45,23	24,52	49,14	100	79,7	89,8	90,3	48,9	98,1
	250 — 260	57,52	—	45,16	45,64	24,37	57,41	100	—	78,7	79,3	42,6	99,8

для глинистых сильно солонцеватых почво-грунтов и выше указанных пределов — до 91,7%.

3. При определении капиллярной влагоемкости в образцах, имеющих нарушенную структуру, отмечается, что нарушение естественного сложения приводит к тому, что общий объем капиллярных пор сокращается, примерно, наполовину по сравнению с их объемом, который имеют данные же почво-грунты, но с ненарушенной структурой.

4. В образцах с нарушенной структурой отношение капиллярной влагоемкости к полной равно, примерно, 1:2, в то время как в образцах с ненарушенной структурой это отношение равно 0,8:1.

5. При определении полной полевой влагоемкости не следует прибегать к методам лабораторного определения капиллярной и полной влагоемкости в образцах с ненарушенной и нарушенной структурой, т. к. данные, полученные указанным путем, ни в какой мере не отражают истинного положения вещей.

Общие выводы

Проведенные исследования, выясняющие вопросы влажности — предельной водоудерживающей способности, особенно необходимы для целей оценки строительных свойств почв и грунтов, а также для проведения расчетов при культурмелиоративных мероприятиях, выясняющих нормы полива, водоотдачу и т. п.

Существующие методы определений водоудерживающей способности почв и грунтов по существу ограничиваются использованными нами методами.

Проведенная нами работа показала, в какой мере необходимым является сопоставление результатов полевых исследований, устанавливающих полную полевую влагоемкость почв и грунтов, с методами лабораторных определений капиллярной и полной влагоемкости с образцами с ненарушенной и нарушенной структурой, которые еще до настоящего времени рекомендуются.

Использованный в настоящей работе опытный материал и полученные результаты исследований дают возможность сделать ряд выводов, которые могут быть распространены на более обширные объекты, объединяющие разнообразные почвенно-грунтовые разности, отличающиеся друг от друга как химическими свойствами, так и механическим составом.

В заключение мы приведем лишь ряд общих выводов, которые сводятся к следующему:

1. Для доведения почво-грунтов в полевой обстановке до состояния полной полевой влагоемкости необходимо избранные опытные площадки увлажнять из расчета 150 литров на 1 м².

2. В тех случаях, когда в качестве объекта исследований приходится иметь дело с почво-грунтами, обладающими более тяжелым механическим составом (тяжелые суглинки, глины) и повышенной степенью солонцеватости, срок увлажнения их должен быть увеличен до 6-часового непрерывного полива и более.

3. Указанные выше нормы полива гарантируют доведение почво-грунтов до состояния полной полевой влагоемкости лишь на глубину 30—40 см от поверхности заливаемых опытных площадок.

4. При необходимости насытить до указанного предела более глубокие горизонты почво-грунтов следует лежащие под ними слои удалить и насыщение производить непосредственно с их поверхности или в значительной мере удлинить сроки и нормы поливов.

5. Вслед за впитыванием последних порций воды поверхностными горизонтами почв и грунтов опытные площадки должны быть изолиро-

ваны слоем соломы, сена и т. п. для предотвращения могущего быть испарения, т. к. пробы на влажность могут браться лишь после того, как наступит состояние, близкое к гидростатическому равновесию воды в пределах увлажненных горизонтов. Для песков этот срок может быть ограничен 12—18 часами, а для разностей с более тяжелым механическим составом 2—3 суток.

6. Полная полевая влагемкость, определяющая предельную водоудерживающую способность почв и грунтов в их естественном залегании, приведенная к порозности, принятой за 100, составляет 50—75% от последней, при чем количество пор, занятых водою, увеличивается для разностей, имеющих более тяжелый механический состав и ярко выраженные признаки солонцеватости.

7. Капиллярная и полная влагемкость, определяемая в образцах, имеющих ненарушенную структуру, всегда дает более повышенные результаты по сравнению с полной полевой влагемкостью для тех же почвенно-грунтовых разностей.

8. При сравнении результатов капиллярной и полной влагемкости для образцов, имевших ненарушенную и нарушенную структуру, оказалось, что при нарушенной структуре влагемкость всегда бывает ниже, чем для образцов с ненарушенной структурой.

9. Для установления предельной водоудерживающей способности почв и грунтов в естественном их залегании пользоваться методами лабораторного определения ее на образцах с нарушенной и ненарушенной структурой не следует, т. к. получаемые данные являются совершенно не сравнимыми с действительным положением вещей, т. е. с результатами полной полевой влагемкости, определяемой в поле.

Литература

1. Мейнцер, О. Э. — Гидрологические понятия, определения и термины. 1933.
2. Иванов, Н. И. и Охотин В. В. — Дорожное почвоведение и механика грунтов. 1934.
3. Поляков, Н. В. — Основы мелиоративного грунтоведения.
4. Лебедев, А. Ф. — Почвенные и грунтовые воды. 1933.
5. Качинский, Н. А. — Опыт агро-мелиоративной характеристики почв. 1934.
6. Mc. Laughlin W. W. Blaney N. F. and Taylor C. A. — Soil moisture studies as a means of determining rainfall penetration. Тр. II международного конгресса почвовед. 2-я комис. 1932.
7. Heines, W. R. — On the existence of two equilibrium series in soil capillarity phenomena. Тр II между. конгр. почвов. 1-я комис. 1932.
8. Качинский Н. А. — О влажности почв и методах ее изучения. 1930.
9. Домрачева, Е. А. — Физико-механический и химический анализ почвы. 1930.
10. Качинский, Н. А. — Изучение физических свойств почвы и корневых систем растений. 1930.
11. Заурбрей, И. И. — Обзор современных германских работ. 1927.

Явления просадок при увлажнении лессовых пород, распространение просадочных грунтов и свойства их

1. Причины просадок увлажненных грунтов

Явления просадок грунтов стали известны давно. Еще в 1905 году наблюдались провалы на железнодорожном полотне Оренбург-Ташкентской железной дороги, которые произошли на территории, залитой паводковыми водами реки Сыр-дарья. Довольно частыми являлись просадки на железнодорожном полотне Северо-Кавказской дороги, в районе станции Солдатская. В этих местах требовались частые подсыпки опускающегося полотна; по словам путевого мастера, в одном месте грунт опускался в течение трех лет. За это время пришлось подсыпать полотно на суммарную величину 2 метра. Мы наблюдали такую просадку на станционных путях станции Солдатская, Сев.-Кав. ж. д., где она сопровождалась трещинами вдоль полотна. Ирригационная практика Средней Азии также давала примеры этого, все же до 1928 года просадки не являлись таким фактором, которому придавали бы серьезное значение и с которым считались бы при проектировке.

В 1927 и 1928 гг. была пущена вода на двух оросительных системах, находящихся в разных областях Союза: на Мало-Кабардинской оросительной системе, находящейся на Северном Кавказе, и на системе Джун в Средней Азии, в бассейне реки Чирчик. На обеих системах скоро появились очень сильные просадки, которые послужили причиной разрушений каналов и сооружений и создали большие трудности в освоении орошаемых площадей.

Внешне просадки выражаются в том, что поверхность почвы вдоль каналов опускается и как бы проваливается, образуя несколько ступенчатых сбросов, идущих параллельно каналу, или же образующих замкнутые эллипсоидальные фигуры. Они описаны в работе В. С. Гвоздева. Вода из каналов в просевших местах выливалась, заполняя образующуюся впадину, в результате чего получались небольшие озера или же расширения в русле канала. Дальнейшее проседание грунта вокруг таких расширенных мест увеличивало их площадь, при чем это увеличение направлялось, главным образом, вниз по склону, в результате чего иногда вода находила выход из озера и растекалась по степи. Это вызывало необходимость ремонтов, в виде подсыпки земляных валов вдоль канала.

Кроме того, просадки явились чрезвычайно большим препятствием для освоения площадей, предназначенных для орошения, так как рельеф после нескольких поливов приходил в такое состояние, что дальше поливать становилось невозможным; для этого необходимо было бы выравнивать всю поверхность и построить заново оросительную сеть, так как последняя опускалась ниже, чем орошаемые площади. После такой перестройки, дальнейшие просадки могли вновь разрушить всю систему и потребовалась бы вторичная переделка, и так до тех пор, пока совершенно не прекратятся просадочные явления. По наблюдениям, просадки под каналами в значительной части длятся целый год, а отдельные небольшие смещения наблюдаются в течение около 3 лет. Для Средней Азии указывают еще большие сроки. На орошаемых площадях это будет происходить во много раз медленнее по той причине, что здесь мы не имеем такого напора воды, как в канале, а также и потому, что орошаемые площади покрываются водой на короткий период, тогда как в канале вода находится постоянно.

Из особенностей просадочных явлений необходимо отметить их большое непостоянство и неравномерность, заключающееся в том, что часто они появляются уже на 2—3-й день после пуска воды, а иногда в течение 3 месяцев не заметно никаких признаков просадок. Закачиваются они иногда в течение 3—4 месяцев, а иногда длятся годами. Также наблюдаются более или менее длительные перерывы в процессе проседания, в течение которых передвижения грунта не наблюдается. Причины этих особенностей попытаемся выяснить в дальнейшем изложении.

Возможность применения орошения на просадочных грунтах, благодаря просадкам, оказалась весьма сомнительной и некоторые из оросительных систем, построенные еще в 1928 году, в значительной части не используются и по настоящее время. В качестве такого примера можно привести Мало-Кабардинскую систему. Если принять во внимание, что территории с просадочными лессовидными породами являются местами наиболее пригодными для орошения, так как здесь развиты плодороднейшие почвы с хорошими водными и физическими свойствами, которые обеспечивают наиболее выгодное использование поливной воды, и кроме того, грунты на большую толщу являются свободными от вредных солей, а грунтовые воды залегают чрезвычайно глубоко, что, вместе взятое, является гарантией против процессов засоления, то станет понятным, насколько большой ущерб хозяйству принесло это явление.

Дальнейшее развитие ирригации показало, что просадочные явления свойственны не только грунтам Малой Кабарды на Северном Кавказе или междуречью Чирчик-Боз-су, где проведен канал Джун, в Средней Азии, а представляют собою широко распространенное явление и свойственно также лессам других районов Северного Кавказа, в частности, лессам Моздокских и Прикумских степей, Алханчуртской долины, а также всем лессам Закавказья, Средней Азии и Казахстана. Так, например, известны просадки на канале Хасан-хан Туполянской системы, просадки на новых землях Кенимехского района, просадки на канале Када-сиу, просадки на Вахшском строительстве. Имеются сведения о просадках в лессах Украины и Поволжья. Следовательно, просадочными являются лессы и лессовидные породы всех засушливых областей, где предпринимаются или необходимы ирригационные работы. Кроме просадок на ирригационных системах в засушливых областях, в последнее время стали появляться сведения о просадках под промышленными и гражданскими сооружениями даже в районах умеренного климата, так,

например, просадки на грозненских нефтяных промыслах²⁴, на Кузнецком строительстве²¹, на Никопольстрое под вновь возводимыми сооружениями, а также в городах Туле²¹ и Киеве в результате проникновения воды в грунт вследствие аварии водопровода или при тушении пожара.

Для объяснения просадочных явлений в разное время были предложены следующие гипотезы:

1. Эоловое происхождение лессовой породы и являющаяся следствием этого высокая порозность породы.
2. Делювиальное происхождение и происходящая по этой причине высокая порозность породы.
3. Деятельность землероев.
4. Изменение коэффициента трения между частицами грунта при увлажнении.
5. Уменьшение капиллярных сил вследствие увлажнения грунта, благодаря чему нарушается прочность строения его.
6. Увеличение капиллярных сил при увлажнении и сдавливании грунта этими силами.
7. Вымывание тонких фракций породы в глубокие горизонты.
8. Выщелачивание солей из грунта.

Все эти гипотезы не являются равноценными в том смысле, что тогда как одни из них объясняют механическую или физическую сущность процесса, другие пытаются также объяснить происхождение этой механической причины. Эоловая гипотеза пыталась объяснить высокую порозность, а, следовательно, и просадочность лессов тем, что при отложении из воздуха сухих, тонких частиц породы они не уплотняются, а лежат в том положении, как легли первоначально.

Не возражая по существу против возможности такого случая, когда отложенная атмосферой порода может пролежать геологическое время в рыхлом состоянии, не будучи подвергнута увлажнению, все же заметим, что во всех случаях, в которых нам приходилось наблюдать просадочные лессы (Малая Кабарда, Моздокские степи, Прикумские степи, Чечня, Алханчуртская долина, бассейны Чирчика, Ангрена и Келеса), можно было с уверенностью утверждать, что лессы эти ни в коем случае не являются эоловыми образованиями. В них мы обычно встречаем прослой песка, мелкую гальку, а в среднеазиатских даже прослой неокатанного хряща и крупную гальку. Кроме того, встречаются лессы, пролежавшие долгое время под водой, свидетельством чему является слой тонкого глинистого аллювия, отложенного на поверхности их, и все же эти лессы являются сильно просадочными. Пример этого представляет верхняя терраса реки Купра в Малой Кабарде, а также аналогичный случай наблюдался нами в долине реки Келес около Ишан-базара в Средней Азии. Таким образом, эоловая гипотеза происхождения лесса противоречит наблюдаемым фактам.

Гипотеза, объясняющая высокую порозность лесса делювиальным происхождением, не встречает тех возражений против способа отложения этой породы, как эоловая гипотеза. Только делювиальным, а иногда аллювиальным происхождением лессов можно объяснить все особенности в характере их залегания, какие наблюдаются в действительности. К такой точке зрения склоняются многие геологи, исследовавшие лессовые породы в Средней Азии (8, 9, 10, 15). Но в то же время теория делювиального происхождения просадочных лессов также не объясняет причину сохранения просадочных свойств породой, которая подвергалась затоплению, а также не объясняла и связи в распределении просадочных грунтов с засолением их.

Гипотеза, объясняющая просадки деятельностью землероев, была выдвинута работниками Средней Азии и приписывала особую роль в этом отношении работе термитов.

Наблюдения над деятельностью землероев показали, что в их работе не замечается приуроченности к просадочным местам.

В отношении же термитов можно сказать, что даже в Средней Азии далеко не во всех районах распространения просадочных грунтов живут термиты, а на Северном Кавказе их вообще нет. Кроме того, необходимо отметить также и тот факт, что деятельность землероев приурочена к верхней толще в полтора метра и в гораздо меньших количествах к более глубоким слоям. Просадки же достигают глубины двух метров, т. е. превышают глубину распространения землероев, а уплотнению подвергался слой грунта во всяком случае не меньше 15 метров.

Гипотеза изменения коэффициента трения между частицами грунта при увлажнении, правильно объясняя физическую сущность процессов, все же не объясняет причины его. Она, как большая часть предыдущих гипотез, предполагает предшествующую высокую порозность лесса.

Сходство с предыдущей гипотезой представляет гипотеза, предложенная Ю. А. Абелевым²¹. В основу ее положена теория прочности глинистых грунтов Покровского²⁵. Способность лессовидных пород сохранять высокую порозность и не уплотняться в сухом состоянии объясняется как следствие действия капиллярных сил. Просадка, по этой гипотезе, происходит как результат образования гидростатического равновесия в порах грунта, благодаря чему появляется возможность уплотнения грунта под действием своей тяжести или тяжести сооружения.

Не касаясь существа теории прочности грунтов, необходимо отметить, что при таком объяснении нельзя понять происхождения просадочных пород и причин образования в них высокой порозности. Опыты Покровского⁷ и Терцаги¹¹ показывают, что глинистая порода при увлажнении подвергается сильному уплотнению, при чем порозность ее становится весьма низкой; такая порозность под действием уплотнения может быть достигнута только очень большими нагрузками (несколько килограммов на квадратный сантиметр). Отсюда мы должны считать, что если сухая порода способна при увлажнении уплотняться, то, следовательно, она никогда не увлажнялась раньше, иначе при ее высыхании произошло бы уплотнение. Однако, уплотнение лессов не произошло, поэтому можно думать, что они никогда не увлажнялись. Последнее положение противоречит наблюдаемым фактам и в частности наличием просадочных лессов на террасе, прикрытой сверху аллювиальными отложениями.

Гипотеза, объяснявшая просадку увеличением капиллярных сил при увлажнении грунта и сдавливанием этими силами грунта, была впервые выдвинута Н. И. Щеголевым на северо-кавказском краевом совещании по борьбе с просадками в 1931 г., а затем встретила поддержку в работе В. М. Батыгина²³. Сущность ее в том, что предполагается увеличение капиллярных сил при увеличении влажности. Возникающее таким образом отрицательное капиллярное давление в порах грунта при увлажнении его сдавливает грунт. Опытами Г. И. Покровского можно считать опровергнутой эту гипотезу, так как капиллярные силы при увеличении влажности не увеличиваются, как предполагалось авторами гипотезы, а уменьшаются. Явление разбухания просадочного грунта при увлажнении в том случае, если он одновременно не подвергается сдавливанию, также показывает, что увеличение влажности не сопровождается увеличением капиллярных сил и, во всяком случае, капиллярные силы, если они и возникают при этом, не могут явиться причиной

уплотнения. Понятно, что эта гипотеза также должна была признавать высокую, порозность как факт, происхождение которого не могло быть объяснено.

Гипотеза вымывания тонких фракций, предложенная проф. Григоревич-Березовским, быстро была опровергнута практикой, так как непросадочными оказались лессы, подстилаемые на небольшой (5—6 метров) глубине галечниками, где условия для выноса мелких частиц особенно благоприятны.

Гипотеза вымывания солей фильтрующимися водами не могла объяснить просадочности грунтов, в которых отсутствовали соли. Противоречием этой гипотезе также послужило присутствие солей в непросадочных грунтах.

Таким образом, ни одна из предложенных гипотез не объясняла удовлетворительно причины этого явления. Факты сохранения просадочных свойств в лессе, подвергавшемся затоплению и покрытом в настоящее время речным аллювием, казалось бы, отвергают возможность объяснения его делювиальным происхождением наноса. Следовательно, можно было думать, что вообще происхождение и судьба наноса не является существенным моментом, если одинаково просадочными являются как лессы несомненно делювиального происхождения, которые не были под водою, так и лессы, которые после своего образования подвергались затоплению. Но, как увидим далее, это далеко не так и просадочность лессовидных пород тесно связана с их происхождением, условиями отложения наносов и с дальнейшей историей пород. Это свойство является следствием определенных климатических и историко-географических условий, при которых были отложены и существуют просадочные грунты.

Уже первые рекогносцировочные исследования просадочных грунтов, проведенные в Малой Кабарде, показали наличие связи в распространении просадочных грунтов с определенными геоморфологическими элементами, а именно с высокими лессовыми плато, в которых прорезаны современные речные долины, имеющие несколько аккумулятивных террас, являющихся непросадочными.

Дальнейшее изучение просадок на Терской оросительной системе подтвердило это первоначальное наблюдение. Кроме того, оказалось, что непросадочными являются не только аллювиальные породы, слагающие речные террасы, но даже далеко не всегда и лессовые грунты являются просадочными. Все пониженные элементы рельефа, балки, пологие склоны к балкам и речным долинам и мельчайшие понижения и западинки, сеть которых пересекает лессовую равнину, оказались местами, под которыми залегают непросадочные грунты.

Наблюдения на оросительных системах в Средней Азии — Вахшском ирригационном строительстве, каналах системы Джун, канала Дам на левобережье р. Чирчика, в общем подтвердили выводы, сделанные в условиях Северного Кавказа, но наметили также значительные особенности, а именно: меньшую связь в распространении просадочных лессов с положительными элементами рельефа, хотя зависимость между степенью просадочности — и положением по отношению к рельефу все же была очевидной и здесь.

Результаты всех наблюдений могут быть резюмированы в следующих положениях:

1. Просадочные явления распространены в областях засушливого климата на лессах и лессовидных породах, при чем эти породы во всех исследованных районах являются делювием или пролювием, а иногда, очевидно, и аллювием.

2. Лессовые грунты, слагающие геоморфологические элементы, которые подвергались или подвергаются действию воды при современном уровне базиса эрозии и, следовательно, современном положении грунтовых вод, являются непросадочными.

3. В тех же случаях, когда лессовые породы слагают такие геоморфологические элементы, которые подвергались затоплению водой, даже на длительный период, но в условиях высокого базиса эрозии и, следовательно, при высоком уровне грунтовых вод, они являются просадочными в той же мере, как и породы соседних, не подвергавшихся затоплению мест.

4. В условиях лессовых пространств, имеющих пересеченный рельеф, с преобладанием склонов большого падения, характерных для среднеазиатских предгорных лессовых равнин, просадочные явления отличаются равномерностью на большом протяжении, и зависимость их размеров от рельефа в этих условиях мало ощутительна, а от микрорельефа даже почти совершенно не заметна.

5. В условиях лессовых пространств, имеющих плоский равнинный рельеф, обычный для Северного Кавказа, просадочные явления отличаются чрезвычайно большим непостоянством. Они могут в этих условиях на протяжении нескольких метров варьировать от полного отсутствия до максимально возможных размеров.

В этих особенностях сказываются условия стока. На пересеченных пространствах атмосферные воды быстро скатываются в овраги, не имея возможности скопиться в одном месте и произвести глубокое промачивание лессовидной породы. Следовательно, здесь исключена возможность увлажнения большой толщи породы, при котором только и может произойти просадка. В условиях же равнинного рельефа атмосферные воды при ливнях и таянии снега имеют возможность задержаться в микродепрессиях, следовательно, промачивание грунта может произойти на большую глубину. В результате увлажнения в таких местах происходят естественные просадки, выражающиеся в том, что после ливней появляются блюдцеобразные понижения, ограниченные несколькими широкими концентрическими трещинами со ступенчатыми сбросами по трещинам.

В дальнейшем вода, скапливающаяся в таком блюдце, вызывает расширение площади его, которое направляется, главным образом, вниз по склону и захватывает все новые и новые участки. Блюдце принимает сначала вид вытянутой бессточной лопатины, затем — лощины и, наконец, находит выход в какую либо балку и приключается к ней. Вначале дно такой лощины, имеющей просадочное происхождение, бывает неровным, в ней встречаются переуглубленные места, причем и здесь еще можно видеть дальнейшее развитие просадок в виде окруженных трещинами блюдца на дне ложинок. В дальнейшем эрозия выравнивает дно этих ложинок и на них постепенно вырабатывается балка, имеющая уже равномерное дно. Таким образом, просадочные явления на лессовых равнинах являются как бы зародышами элементов будущей гидрографической сети.

Такие процессы можно наблюдать на лессовых равнинах Северного Кавказа; в особенности характерно их развитие в районах станицы Солдатской, станицы Курской, на лессовом останце между станцией Урухской и Георгиевским, в районе хутора Пиева и во многих других местах. Отдельные же просадочные блюдца на Терско-Кумской равнине можно встретить почти повсюду. Особенно их было много в дождливые 1931 и 1932 гг.

Здесь необходимо отметить несколько весьма важных и поучительных фактов, подтверждающих высказанные ранее соображения. Непросадочными являются нижние части чрезвычайно пологих склонов балок и такие же пологие склоны к речным долинам, настолько пологие, что часто бывает невозможно провести границу между террасой и склоном лессового берега к ней.

Характер соотношения этих склонов с речной долиной дает основание думать, что они выработаны после того, как были сформированы террасы, и формирование их происходило при низком положении базиса эрозии.

Непросадочность этих элементов по всей вероятности является следствием того, что эти склоны находятся в иных условиях увлажнения. По ним в долины и балки скатываются атмосферные осадки с вышележащих частей водораздельных пространств и, таким образом, они подвергаются большему увлажнению, чем остальная часть лессовой равнины. Действительно, почвы, залегающие здесь, несут на себе черты большей выщелоченности и являются более гумусными.

Другой случай — верхняя терраса Курна, имеющая высоту над современным уровнем около 20 метров. Обнажения по реке показывают, что нижняя часть ее сложена обычной лессовидной породой, ничем не отличающейся от лессовидных пород остальной части Малой Кабарды. Толща его непостоянна, варьирует от 15 до 19 метров над уровнем реки. На лессе, резко отграничиваясь от него, лежит слой тяжелого и плотного аллювия, голубовато-серого цвета с ржавыми пятнами. В аллювии встречаются многочисленные речные и наземные ракушки. Факт нахождения аллювия на лессе указывает, что в период формирования верхней террасы эти участки подвергались затоплению, при чем затопление имело длительный характер, благодаря чему и могла быть отложена чрезвычайно тонкая глинистая порода. Все же, несмотря на это, лессовидный суглинок, находящийся под покровом глинистого аллювия, является сильно просадочным, так же как и окружающие пространства, не покрытые аллювием. Несомненно, что в период формирования этой террасы уровень грунтовых вод должен был быть высоким. Кроме общих соображений о его зависимости от положения базиса эрозии, это находит подтверждение и в сильном оголении аллювиального наноса, которое сохранилось и по настоящее время, несмотря на то, что грунтовые воды в настоящее время лежат очень глубоко. Близость грунтовых вод в условиях сухого климата благоприятствует процессам засоления. Видовой состав ракушек, имеющих в породе верхней террасы, дает основание думать, что климат периода формирования верхней террасы был близок к современному. Таким образом, в период формирования верхней террасы Курна соли не могли быть выщелочены из лесса.

Аналогичную картину просадок лесса на террасах нам пришлось наблюдать в долине Келес около Ишан-базара в Средней Азии.

Таким образом, лессы, подвергавшиеся затоплению в период высокого положения базиса эрозии, и, следовательно, при высоком уровне грунтовых вод, не теряют своих просадочных свойств.

Исходя из разобранных выше примеров с естественными просадками, можно сделать вывод, что многие просадочные места являются такими потому, что они подвергались просадкам раньше проведения канала, благодаря увлажнению атмосферными осадками. Но, как оказалось в дальнейшем, далеко не все непросадочные лессовидные грунты подвергались просадке раньше, многие из них никогда не были просадочными, при чем такая порода может находиться в непосредственном соседстве с просадочной породой.

Для изучения различия между просадочными и непросадочными грунтами на террасе будущего магистрального канала Малка-Кура на Северном Кавказе нами было заложено несколько шурфов, при чем часть их была расположена на таких элементах рельефа, где можно было с большой вероятностью ожидать просадочных явлений, а другие там, где просадки по всей видимости уже прошли раньше естественным путем, т. е. в понижениях. После того, как были сделаны определения объемного веса и взяты образцы для анализа, шурфы снова засыпались, а затем здесь был прорыт канал и пущена вода. Просадки действительно произошли там, где их ожидали. Во взятых из шурфов образцах были сделаны определения объемных весов¹, удельных весов и порозности.

Удельный вес, объемный вес и порозность грунтов из бассейна реки Терека

Таблица 1

Ш у р ф № 28				Ш у р ф № 26			
Просадочный грунт—образцы взяты до пуска воды.				Непросадочный грунт—образцы взяты до пуска воды			
Глубина в метрах	Объемный вес	Удельный вес	Порозность в проц.	Глубина в метрах	Объемный вес	Удельный вес	Порозность в процен.
1,0	1,42	2,70	47,4	1,0	1,41	2,70	47,8
2,0	1,41	2,80	49,3	2,0	1,59	2,70	41,1
3,0	1,37	2,82	51,4	3,0	1,50	2,80	46,4
4,0	1,30	2,80	53,6	4,0	1,49	2,78	49,4
5,0	1,44	2,78	48,0	5,0	1,54	2,76	44,2
6,0	1,50	2,80	46,4	6,0	1,61	2,76	41,7
7,0	1,42	2,81	49,5	7,0	1,63	2,73	40,0
8,0	1,33	2,77	52,0	—	—	—	—
9,0	1,32	2,77	52,3	—	—	—	—

Приведенные цифры показывают, что удельные веса просадочных и непросадочных грунтов мало различаются между собой. Немного больший удельный вес просадочных грунтов объясняется, по всей вероятности, более высоким засолением их. Тенденция увеличения удельного веса при повышении содержания солей замечается и среди просадочных грунтов.

Объемный вес просадочных грунтов ниже, чем непросадочных: таким образом, порозность последних значительно ниже. Это положение является одинаково справедливым для просадочных грунтов других областей Союза. В качестве примера можно привести грунты из бассейна рек Чирчика, Ангrena и Келеса в Средней Азии (см. табл. 2). Здесь шурф № 2 заложен на просадочном грунте, около канала Дам, а шурф № 5 в месте, которое может быть и являлось просадочным, но просадки произошли раньше, вследствие орошения, применявшегося

¹ Объемный вес определялся взятием образца с ненарушенной структурой стальным цилиндром, диаметром и высотой по 7 м. Удельный вес определялся пикнометрически в воде, порозность находилась из цифр объемного и удельного весов.

Порозность, удельный и объемный вес грунтов из бассейна рек
Чирчик, Анрен, Келес

Таблица 2

Ш у р ф № 2				
Просадочный грунт — образцы взяты до пуска воды				
Глубина в м	Влажность	Объемный вес	Удельный вес	Порозность в процентах
1,0	4,83	1,38	2,70	50,2
2,0	5,53	1,342	2,75	51,2
3,0	12,28	1,381	2,78	50,4
4,0	14,37	1,430	2,76	48,1
5,0	10,25	1,438	2,81	48,8
6,0	10,07	1,462	2,82	48,1
7,0	10,88	1,458	2,82	48,3

Ш у р ф № 5
Непросадочный грунт в месте, подвергавш. орошению

1,0	4,69	1,420	2,75	48,4
2,0	6,13	1,311	2,78	52,8
3,0	8,12	1,458	2,69	45,8
4,0	9,67	1,584	2,81	43,6
5,0	8,76	1,579	2,81	43,8
6,0	11,19	1,597	2,81	43,1
7,0	12,57	1,657	2,75	39,7

ранее, свидетельством чему являются следы арыков и поливных террас, сохранившихся до настоящего времени.

Сравнение грунта, подвергшегося просадкам, с грунтом, еще сохранившим это свойство, показывает, что порозность первого ниже, чем второго.

В качестве примера приводим порозность грунта по двум шурфам из бассейна Чирчик—Анрен—Келес в Средней Азии.

Один шурф № 7 был взят на просадочном месте, в нескольких метрах от канала Джун. Другой шурф № 8 был заложен в русле канала Джун, которое вследствие больших разрушений просадочными явлениями, было оставлено и направление его было изменено. По этим шурфам были сделаны определения объемного веса грунта (см. табл. 3).

Лессы этого района отличаются большим однообразием как в механическом, так в минералогическом и в химическом составе.

Приведенные цифры показывают, что в результате просадок происходит уплотнение грунта и порозность его уменьшается. В данном случае уменьшение порозности в толще породы 7 метров произошло на величину 3 %, т. е. каждый метр в среднем уплотнился на 3 сантиметра. При этом есть все основания полагать, что процесс просадки еще не закончился. Подтверждением этому является присутствие гипса в нижних слоях породы, а также характер порозности по шурфу № 8, где верхние слои имеют такую же порозность, что и более глубокие, тогда как в грунте с закончившимся процессом просадки наблюдается постепенное уменьшение порозности с глубиной. Это является след-

ствием того, что более глубокие слои подвергаются большим нагрузкам со стороны вышележащих слоев.

Объемный вес и порозность грунта до и после просадки из бассейна рек Чирчик, Ангрен, Келес

Таблица 3

Ш у р ф № 7 — Не подвергался просадкам

Глубина в м	Влажность	Объемн. вес	Удельн. вес	Порозность	
1,0	1,49	1,271	2,75	53,7	ср. 50,3
2,0	6,12	1,253	2,75	54,4	
3,0	4,77	1,409	2,75	48,8	
4,0	3,90	1,394	2,75	49,3	
5,0	3,28	1,368	2,75	50,2	Ср. 50,3
6,0	3,34	1,321	2,75	50,1	
7,0	3,41	1,327	2,75	51,72	
8,0	Н е	о п р е	д е л я	л о с ь	
9,0	7,97	1,334	2,75	51,5	
10,0	5,32	1,453	2,75	47,2	

Ш у р ф № 3

В русле канала Джун после просадок

1,0	Неопределялось				Средн. 47,3
2,0					
3,0	2,17	1,473	2,75	46,4	
4,0	3,58	1,434	2,75	47,9	
5,0	9,24	1,454	2,75	47,1	
6,0	6,34	1,417	2,75	48,5	
7,0	11,08	1,447	2,75	47,3	
8,0	14,18	1,447	2,75	47,3	
9,0	12,68	1,467	2,75	46,6	

В качестве аналогичного примера уменьшения порозности грунта в результате просадки может быть продемонстрирован опыт, проведенный Л. П. Беляковой в Малой Кабарде. Здесь был вырыт котлован и вблизи него шурф. Из шурфа сначала были взяты образцы для анализа и для определения объемного веса, а затем котлован наполнялся водою и поверхность почвы периодически нивелировалась. После окончания наблюдений снова вырывался шурф и также брались образцы для анализа и определялся объемный вес его (см. табл. 4).

В этом опыте разница достигла еще большей величины—5%, т. е. каждый метр уплотнился в среднем на 5 см, при чем особенно резкая просадка наблюдалась в то время, когда, по наблюдениям Л. П. Беляковой, вода достигла горизонта 10—14 метров, отличавшегося наивысшей порозностью. Необходимо отметить, что этот горизонт породы отли-

Объемный вес и порозность грунтов из Малой Кабарды

Таблица 4

Шурф № 34
Грунт до просадки

Глубина в м	Объемный вес	Удельный вес	Порозность	Средняя порозность
1,0	1,24	2,70	54,07	51,16
2,0	1,28	2,70	52,59	
3,0	1,42	2,79	49,12	
4,0	1,43	2,82	49,31	
5,0	1,31	2,82	53,48	
6,0	1,63	2,81	42,10	
7,0	1,39	2,82	50,71	
8,0	1,42	2,84	49,79	
9,0	1,46	2,82	48,16	
10,0	1,35	2,86	52,80	
12,0	1,35	2,82	52,13	
13,0	1,30	2,80	53,74	
14,0	1,19	2,80	57,50	
15,0	1,38	2,80	50,71	

Шурф № 32
Грунт после просадки

1,0	1,59	2,64	39,89	46,07
2,0	1,40	2,75	49,72	
3,0	1,51	2,70	44,10	
4,0	1,45	2,87	49,46	
5,0	1,42	2,80	50,52	
6,0	1,47	2,80	47,50	
7,0	1,56	2,80	44,25	
8,0	1,75	2,82	37,88	
9,0	1,60	2,80	42,90	
10,0	1,56	2,82	45,05	
12,0	1,43	2,82	49,31	
13,0	1,43	2,74	47,89	
14,0	1,43	2,78	48,56	
15,0	1,34	2,78	51,71	

чался также и наиболее высоким содержанием солей, главным образом сульфатов. Таким образом, хотя здесь порозность имела большое значение, но немаловажную роль, очевидно, играли процессы растворения и выщелачивания солей.

Химические анализы грунтов проводились с целью выяснить вопрос, какое значение для явления просадок имеют соли. Для примера приводим два шурфа (табл. 5) из района левобережья реки Чирчика в Средней Азии.

Шурф № 2 взят на просадочном грунте, шурф № 4 на грунте, который просадок на канале, проходящем здесь, не дает, хотя внешне грунт его почти ничем не отличается от первого.

Эти цифры показывают, что в данном случае просадочный грунт является значительно более засоленным, чем непросадочный, при чем засоление является по преимуществу сульфатным, тогда как хлориды имеются в незначительных количествах. Довольно близкие результаты дают грунты Северного Кавказа (см. табл. 6). Шурф № 34 уже упоминался выше, он был заложен в Малой Кабарде на просадочном грунте. Шурф № 36, там же, непросадочный, заложен около магистрального канала. Шурф № 28 в Моздокской степи на трассе магистрального канала Малка-Кура, после взятия образцов был зарыт и после пуска воды

Химический состав грунтов из Средней Азии

Таблица 5

Глубина в мет- рах	Водная вытяжка ¹					Валовая ¹ SO ₄ в вытяжке HCl
	Щелочно- сть в HCO ₃	Cl	SO ₄	Ca	Mg	

Шурф № 2

Просадочный грунт

1,5	0,037	0,010	0,002	0,006	0,013	не опр.
2,5	0,015	0,071	1,057	0,227	0,061	1,65
3,5	0,020	0,067	0,643	0,086	0,044	0,71
4,5	0,013	0,071	0,743	0,110	0,047	0,82
6,0	0,022	0,037	0,460	0,061	0,025	0,60
7,0	0,020	0,038	0,669	0,108	0,034	0,90
8,0	0,026	0,034	0,281	0,015	0,012	0,34
9,0	0,015	0,031	0,661	0,098	0,030	0,76

Шурф № 4

Непросадочный грунт

3,0	0,044	0,002	0,007	0,005	0,008	не опр.
4,0	0,042	0,011	0,020	0,005	0,010	не опр.
					Mg	NCl

в канал в этом пункте грунт дал сильную просадку. Шурф № 27 рядом с предыдущим, в расстоянии нескольких десятков метров выше по трассе, после пуска воды просадки не наблюдалось. Шурф № 26 между шурфами №№ 28 и 27 в месте пересечения каналом верхушки чуть заметной балочки, после пуска воды просадок не наблюдалось. Шурф № 13 на просадочном грунте в Малой Кабарде.

Цифры, приведенные в таблице 6, в общем подтверждают высказанное выше положение, что просадочные грунты более засолены, чем непросадочные, но в то же время анализы непросадочных грунтов из шурфов №№ 27 и 13 показывают довольно высокое засоление их.

Последнее указывает, что хотя засоление обычно является сопутствующим признаком просадочного грунта, но непросадочные грунты также могут иметь довольно высокое засоление, однако, здесь оно никогда не бывает очень высоким.

Тот факт, что непросадочные грунты, залегающие на таких же элементах рельефа, как и просадочные, никогда не бывают засолены так же сильно, как вторые, дает основание считать, что высокое содержание солей является основным признаком, отличающим эти грунты. Наличие этого различия в содержании солей между просадочными и непросадочными грунтами на положительных элементах рельефа, т. е. там, где соли сохраняются лучше от вымывания, чем в понижениях, заставляет считать этот признак первичным, т. е. что это различие появлялось при самом образовании этих двух разновидностей лессовидной породы, а остатки его сохранились и до настоящего времени.

Непросадочные грунты, находящиеся в отрицательных элементах рельефа, отличаются почти полным отсутствием воднорастворимых солей и гипса. Эта выщелоченность является, несомненно, вторичным признаком и происходит в результате того, что образовавшееся проса-

¹ Приготовление и анализ вытяжек производились согласно с методикой, изложенной в руководстве К. К. Гедройца — Химический анализ почв.

Химический состав просадочных и непросадочных грунтов Северного Кавказа

Таблица 6

Грунты просадочные — образцы взяты до просадки						
№ шурфа	Глубина в метр.	Водная вытяжка				Валовая SO_4 в HCl вытяжке
		SO_4	Cl	Ca	Mg	
23 Из района ст. Солдатской	1,0	0,05	0,02	0,08	0,03	0,14
	3,0	1,40	0,04	0,49	0,07	не опр.
	5,0	0,97	0,05	0,25	0,07	1,26
	6,0	1,12	0,07	0,35	0,09	1,98
	7,0	2,05	0,07	0,73	0,09	2,94
	8,0	0,47	0,10	0,14	0,05	0,55
	9,0	0,59	0,10	0,15	0,05	0,70
34 Малая Кабарда	1,0	0,01	0,08	0,02	0,01	0,07
	2,0	0,71	0,05	0,39	0,05	1,07
	3,0	2,56	0,09	0,87	0,07	3,95
	4,0	1,76	0,07	0,58	0,09	2,27
	5,0	1,56	0,06	0,51	0,07	2,03
	6,0	0,54	0,08	0,01	0,04	0,65
	7,0	0,58	0,09	0,01	0,05	0,72
	8,0	2,90	0,08	0,11	0,07	4,62
	9,0	0,83	0,08	0,21	0,05	1,07
	10,0	1,90	0,09	0,70	0,06	2,57
	12,0	0,70	0,11	0,21	0,07	0,83
	14,0	0,14	0,36	0,05	0,03	0,23
	15,0	0,24	0,15	0,07	0,03	0,30
26 Из района ст. Солдатской	1,0	0,04	—	0,10	0,04	0,10
	3,0	0,11	следы	0,12	0,03	0,38
	4,0	0,07	0,02	0,13	0,04	0,25
	5,0	0,22	0,02	0,09	0,04	0,42
	6,0	0,12	0,06	0,12	0,03	0,36
	7,0	0,04	0,09	0,07	0,02	0,18
	8,0	0,02	0,10	0,10	0,02	0,12
27 Из района ст. Солдатской	1,0	0,01	0,04	0,07	0,04	0,12
	3,0	0,86	0,05	0,36	0,07	1,03
	5,0	0,31	0,07	0,12	0,05	0,34
	6,0	0,53	0,07	0,14	0,09	0,62
	7,0	0,73	0,07	0,15	0,10	0,80
	8,0	1,36	0,10	0,44	0,11	1,67
36 Малая Кабарда	1,0	0,02	0,05	0,07	0,03	0,04
	5,0	0,64	0,08	0,19	0,06	0,66
	8,0	0,06	0,13	0,04	0,02	0,18
13 Малая Кабарда	1,0	—	—	0,08	0,03	0,05
	3,0	1,43	—	0,54	0,07	0,98
	5,0	0,54	0,07	0,15	0,06	0,71
	7,0	1,24	0,17	0,04	0,08	1,32

дочное понижение собирает воду, скатывающуюся с окружающих площадей, которая и производит вымывание. Подтверждением этому является наличие солей в грунте из шурфа № 32, уже упоминавшегося вы-

ше, который исследовался после того, как здесь произошли просадки (см. таблицу 7).

Возможность высокого содержания солей в грунте, только что подвергнутому просадкам, показывает, что такой утративший в недавнем прошлом просадочные свойства грунт, может быть очень богат солями и дальнейшее рассоление его происходит в результате промывания грунта водами, стекающими в просадочную западину.

Это промывание создает в дальнейшем резкое различие в засолении просадочного грунта и грунта, который уже подвергался просадкам и стал непросадочным.

Засоление грунта из шурфа № 32 после просадок (Малая Кабарда)

Таблица 7

Глубина в метрах	Анализ водной вытяжки				Валовая SO_4 в HCl вытяжке
	SO_4	Cl	Ca	Mg	
1,0	0,01	0,01	0,17	0,03	0,12
3,0	1,43	0,17	0,61	0,12	1,85
6,0	1,68	0,02	0,61	0,07	2,58
7,0	1,69	0,04	0,40	0,07	1,12
9,0	2,66	0,17	0,98	0,05	5,08
11,0	1,19	0,26	0,21	0,08	1,30
13,0	0,24	0,02	0,06	0,03	0,34
15,0	0,35	0,02	0,13	0,02	0,44

Первые порции воды, проникающие в почву, растворяют легко растворимые соли, в результате чего они переходят в жидкую фазу и освобождается объем, занятый прежде ими.

Более трудно растворимые соли, как гипс, для полного растворения требуют больших количеств воды, которые не могут поместиться в порах грунта. Для растворения 1% гипса из грунта нужно количество воды, в 17 раз превышающее объем всего грунта (при этом вычислении принято, что объемный вес грунта равен 1,5, порозность — 45%, растворимость гипса при температуре около 9°C — 0,2%).

Растворимость гипса и просадка за счет этого может, следовательно, происходить только в том случае, если фильтрующиеся через грунт воды выщелачивают гипс, при отсутствии же выщелачивания вода может растворить лишь незначительное количество его.

Вышеизложенное приводит к тому выводу, что высокое содержание солей при высокой порозности является надежным признаком просадочного грунта, но при низкой порозности засоление может являться или признаком первичного непросадочного грунта, или грунта, который стал непросадочным в результате просадок (вторично непросадочный грунт), хотя все же засоление непросадочных грунтов никогда не достигает таких размеров, какими они иногда бывают в просадочных.

Приведенные анализы грунтов из просадочных районов показывают, что здесь мы имеем исключительно сульфатное засоление. Хлориды, если и встречаются, то в совершенно ничтожных количествах, обычно не превышающих 0,1%, обычно же содержание их колеблется от 0,04 до 0,07. Лишь очень редко можно встретить цифру, превышающую 0,1%, и она обычно относится к глубоким горизонтам лесса. В то же время

содержание сульфатов может быть высоким, достигая в отдельных случаях 12% SO_4 . Такой характер засоления мы встречаем во всех просадочных грунтах. До настоящего времени еще не наблюдалось случая, когда в просадочных районах лессовый грунт имел бы хлоридное или хлоридо-сульфатное засоление, оно всегда почти бывает чисто сульфатным. Из сульфатов преобладает гипс и гораздо реже встречаются сернокислые магний и натрий. Последние обычно находятся в лессовидных породах более тяжелого механического состава.

Грунтовые воды, залегающие в лессах (см. табл. 8) просадочных районов, имеют совершенно иной характер засоления.

Здесь мы обычно встречаем одинаковое содержание хлоридов и сульфатов, поровну кальция, магния и натрия.

Таким образом, в грунтовых водах мы имеем высокое отношение легко растворимых солей к трудно растворимым, тогда как в грунтах оно является ничтожным. Солевой профиль по методу проф. Полюнова⁵ показывает резкую картину рассоления и ни в одном случае грунты просадочных районов не давали обратной картины, т. е. засоления.

Химический состав грунтовых вод в просадочных районах

Таблица 8

Место взятия воды	Глубина в м	Щелочность		SO_4	Cl	Ca	Mg
		Общая в CO_3	От нормальн. карбонатов HCO_3				
Хут. Москаленко	25	0,177	0,011	1,801	1,875	0,454	0,422
Хут. Конов	40	0,274	0,014	0,896	0,738	0,229	0,130
Село Соломенское	6	0,417	0,014	2,222	0,670	0,492	0,251

Грунтовые воды просадочных районов являются чрезвычайно пестрыми по химическому составу, который отражает собою не только характер засоления этих грунтов, но также и характер рельефа поверхности.

Под пониженными элементами рельефа воды обычно пресные, тогда как под повышенными или плакорными участками воды сильнее минерализованы. Это указывает на почвенное происхождение этих вод, т. е. что образовались они за счет просачивания сверху, благодаря чему их состав и является пестрым. Таким образом, как характер засоления грунтовых вод, так и характер засоления лесса, являются доказательством того, что эта порода в предшествовавшие периоды была засолена в гораздо большей степени.

Подтверждением этому является также солонцеватость глубоких горизонтов почвы Моздокских степей, которая отмечалась еще в работе С. С. Неуструева и Е. Н. Ивановой.

Изучение распространений просадочных явлений показало довольно строгую приуроченность их к определенным геоморфологическим элементам, а именно к высоким лессовым плато, играющим в отношении к долинам современных рек роль коренных берегов, в которые вложено несколько (на Кавказе 3) террас. В этих условиях огромная толща сухой лессовидной породы находится под опресняющим действием атмосферных осадков и, несмотря на засушливый климат этих областей, медленно, но неуклонно рассоляется. Засоленные грунтовые воды, бла-

годаря глубокому залеганию их, не могут затруднить этого процесса. Но очевидно вымывание солей из лесса в условиях такого сухого климата имеет свои специфические особенности. Мы никогда не наблюдали увлажнения атмосферными осадками грунта в плакорных местах или под положительными элементами рельефа. В то же время, в 1931 году, который отличался на Северном Кавказе обилием атмосферных осадков, грунт был значительно более влажным, чем в предыдущие годы; различие достигало в отдельных случаях 5%, хотя на вид он оставался все же совершенно сухим и в нем не было заметно видимого передвижения воды вниз. Следовательно, вода в грунт поступает, но в формах, которые не обнаруживаются простым наблюдением, очевидно, в виде пленочной воды. Возможно, кроме просачивания сверху воды атмосферных осадков, некоторую роль играет также конденсация паров воды. Такая возможность не исключена даже в жаркие и сухие дни, когда, казалось бы, должен идти обратный процесс, т. е. испарение. Если мы примем температуру глубоких слоев грунта постоянной и равной средней годовой температуре местности, что является одним из основных положений геофизики, то для Северного Кавказа (Ольгино) она будет $9,8^{\circ}$, для Средней Азии (Ташкент) $13,7^{\circ}$. Соответственно этому упругости паров воды, насыщающих пространство, при таких температурах будут 9,1 мм и 11,8 мм. Если взять самый жаркий месяц — июль, имеющий в Ольгино температуру $23,4^{\circ}$, то при относительной влажности этого месяца, равной здесь 60%, упругость паров воды будет 13,0 мм, т. е. даже в этом самом сухом месяце упругость паров наружной атмосферы выше, чем упругость паров воды, могущей оказаться в порах грунта. Следовательно, даже в июле вода из грунта не может испаряться. Для Ташкента средняя температура июля $27,0^{\circ}$, а относительная влажность 42,0%, чему соответствует упругость паров 11,2 мм. Таким образом в районе Ташкента упругость паров внутри пор грунта несколько больше, чем упругость паров во внешней атмосфере, но разница является чрезвычайно ничтожной и, если принять во внимание, что в капиллярах грунта поверхность менисков имеет вогнутую форму и, следовательно, упругость паров воды вследствие этого будет понижена, то станет понятным, что разницы, очевидно, не существует и, следовательно, никакого испарения из глубоких слоев грунта, в самые жаркие периоды, не может быть и здесь.

Пленочная вода, передвигаясь сверху вниз, может растворять и выщелачивать соли из грунта, но этот процесс протекает так спокойно, что никаких нарушений в строении породы не происходит и она сохраняет свою твердость, которая обязана очевидно склеивающей способности минеральных коллоидов. Вместо выщелоченных солей в грунте остаются мелкие пустоты и поры.

При попадании в такой грунт больших масс воды происходит сильное увлажнение больших толщ его, благодаря чему цемент, склеивающий отдельные частицы грунта, размягчается, соли, которые еще были в нем, начинают растворяться и грунт уплотняется.

В процессе уплотнения грунта немаловажную роль играет давление вышележащей толщи. Исследования уплотнения грунта, взятого без нарушения структуры, в стальных цилиндрах показали, что если грунт увлажняется без нагрузки, то всегда происходит разбухание его, тогда как под нагрузками влажный грунт в цилиндрах уплотняется. Точно также после заполнения водой каналов или котлованов на просадочных грунтах часто в начале нивелировки дают не понижение, а, наоборот, повышение бермы канала. Это происходит потому, что верхние слои в 1—1,5 м производят слишком незначительную нагрузку, кото-

рая не может дать эффекта уплотнения грунта, и потому происходит разбухание его. Оно достигает обычно 20—40 мм.

Таким образом соли, если не в настоящем, то исторически, являются причиной просадочных явлений. Но в то же время мы встречаем соли не только среди просадочных грунтов, а также и в непросадочных грунтах. Это заставляло предполагать, что грунты различаются распределением солей: если в непросадочном грунте они занимают пустоты между соседними плотно прилегающими частицами грунта, то в просадочных, очевидно, соли будут играть роль самостоятельных механических элементов.

С целью выяснения характера распределения солей было проведено микроскопическое исследование сложения грунта. Это исследование подтвердило высказанное здесь предположение. В просадочных грунтах соли выделяются обычно в виде прозрачных кристаллов, разбросанных среди частиц породы, — иногда спаянных грунтом по нескольку кристаллов в желваки. В непросадочных грунтах чаще всего встречаются выделения гипса в виде мелкокристаллических белоснежных скоплений внутри пор.

Здесь они по форме часто напоминают экскременты червей. Кроме того, для непросадочных грунтов характерны выделения солей в виде щетки или коробочки из кристаллов на поверхности щелевидных пор. Поры в непросадочных грунтах имеют округлую, овальную или щелевидную форму, тогда как в просадочном грунте поры являются резко неправильными, угловатыми, в результате чего сложение лесса кажется губчатым.

Если взять навеску лессовидной породы и, размешав с водою, дать высохнуть, то в результате получается сложение, аналогичное сложению многих непросадочных грунтов. Здесь также имеются круглые поры, которые, очевидно, происходят от защемления пузырьков воздуха во влажном полужидком грунте. Точно такие же круглые или овальные, сплюснутые поры встречаются в грунте, только что подвергавшемся просадкам.

Таким образом, присутствие круглых или овальных пор в грунте дает основание полагать, что такой грунт подвергается высокому увлажнению до полужидкого состояния, а следовательно, также и просадке, хотя все же проседание его может быть и не закончилось. Этот довольно верный признак для отличия просадочных грунтов от грунтов, уже подвергшихся просадкам, является, однако, только качественным признаком.

2. Опыты по исследованию влияния солей на порозность грунта

Для изучения роли солей в образовании высокой порозности лессовидных пород нами были поставлены следующие опыты.

Опыт 1

Взято четыре навески по 700 гр мелкозернистого кварцевого песка из Саблина (окрестности Ленинграда). Каждая из навесок помещалась в батарейный стакан, диаметром 8 см и высотой 12 см, который был предварительно градуирован. В стакан № 1 было прилито 300 куб. см воды, в стакан № 2 — такой же объем раствора, содержащего в литре 75 граммов NaCl , в стакан № 3 — столько же раствора Na_2SO_4 , 15 гр соли на литр, в стакан № 4 приливалось тоже 300 куб. см раствора Na_2SO_4 , 75 гр в литре.

Смесь песка и раствора в каждом из стаканов была тщательно размешана стеклянной палочкой для удаления находящегося в песке воздуха. Размешивание прекращалось после того, как прекращалось выделение пузырьков. После отстаивания песка раствор, находящийся сверху его, сливался. Из каждого стакана было слито по 160 куб. см; таким образом, в порах песка оставалось по 140 куб. см раствора. Затем стаканы были поставлены на полгода, и в течение этого времени вода испарилась. Стакан № 3 во время высушивания был разбит. К концу опыта в стакане № 4 произошло увеличение объема песка, его как бы вспучило в середине стакана. В стаканах № 1 и № 2 изменения объема не произошло. Вспученный песок имел большую прочность, был сцементирован и не подвергался уплотнению при надавливании рукою. В сухой песок, не разрушая его сложения, было прилито по 200 куб. см воды, в результате чего объем песка в цилиндре № 4 уменьшился и достиг первоначальной величины. Результаты этого опыта см. в таблице 9.

Объем песка в опытах с испарением солевых растворов

Таблица 9

Объем	1-й стакан — песок увлаж- нен водой	2-й стакан — песок увлаж- нен раствором NaCl	4-й стакан — песок увлаж- нен раствором Na ₂ SO ₄
1. Объем влажного песка после сливания раствора в куб. см . . .	400	400	400
2. Объем песка после высушивания в куб. см.	400	400	430
3. Объем песка после вторичного увлажнения в куб. см.	400	400	400

Таким образом только песок, увлажненный раствором Na₂SO₄, увеличил свой объем при испарении из него воды и вновь возвратился к прежнему объему после увлажнения.

Этого совершенно не наблюдалось в стакане с песком, увлажненным водой или раствором NaCl.

Опыт 2

Этот опыт совершенно аналогичен первому, но был поставлен на лессовом суглинке с Северного Кавказа. Место, откуда был взят суглинок, является непросадочным. Анализ водной вытяжки показал почти полное отсутствие в этом образце водорастворимых солей и гипса.

Так же как и в первом опыте, брались четыре навески. Вес каждой навески по 600 граммов. Они помещались в батарейные проградуированные стаканы и заливались теми же, что и песок, растворами в количестве 300 куб. см.

Для удаления воздуха производилось размешивание стеклянной палочкой. После отстаивания в течение двух часов из каждого стакана пипеткой снималось по 40 куб. см раствора: таким образом, в стаканах оставалось по 260 куб. см раствора. Затем стаканы были поставлены на полгода и в течение этого времени суглинок высыхал и постепенно уменьшался в объеме (см. таблицу 10). Высохший суглинок снова увлажнялся и измерялся его объем.

Объем	1-й стакан—суг- линок увлаж- ненный водой	2-й стакан—сугл. увлажненный раствором, содер- жащим 75 гр. NaCl в литре	3-й стакан—сугл. увлажненный раствором, содер- жащим 15 гр. Na ₂ SO ₄ в литре	4-й стакан—сугл. увлажн. раство- ром, содержащим 75 гр. Na ₂ SO ₄ литр.
1. Объем влажного суглинка сразу после сливания 40 к. с. раст- вора в кб. см	500	500	500	500
2. Объем влажн. сугл. через 1 дн. в кб. см	460	450	453	470
3. Объем влажн. сугл. через 3 дн. в кб. см	448	443	440	457
4. Объем влажн. сугл. через 16 дн. в кб. см	405	407	390	422
5. Объем влажн. сугл. через 19 дн. в кб. см	385	400	375	415
6. Объем сухого сугл. через 6 мес. в кб. см	355	370	355	435
7. Объемн. сугл. сразу после ув- лажнения в кб. см	355	365	350	365

В этом опыте обращает внимание явление увеличения объема навески при высыхании в 4-м стакане. Но необходимо заметить, что это увеличение происходило только за счет разрыхления верхнего слоя, толщиной всего в 1 см, а не за счет расpiration нижних слоев грунта в стакане. Таким образом, на поверхности грунта в стакане получался искусственно пухлый солончак.

Природные пухлые солончаки также отличаются разрыхлением верхнего слоя почвы, толщиной в несколько сантиметров, при чем это разрыхляющее действие приписывалось почвоведом кристаллам сернокислого натрия. Повидимому силы раздвигания при кристаллизации достаточны только для разрыхления тонкого слоя глинистой породы. В глубоких же слоях, где к силам сцепления между частицами присоединяется также сила тяжести вышележащих слоев породы, сила раздвигания является недостаточной и пухлого солончака не образуется. Наоборот, песок, в котором силы сцепления являются ничтожными, разрыхляется также в глубоких слоях.

Необходимо отметить, что, очевидно, разные соли будут действовать по-разному и расpiration сила кристаллизующихся солей будет в прямой зависимости от прочности образующихся кристаллов: чем прочнее кристалл какой-либо соли, тем большую силу он может преодолеть при своем образовании и тем на большей глубине он при кристаллизации может раздвинуть частицы грунта.

Из результатов этого опыта любопытным является то, что уплотнение глинистой породы, увлажненной растворами различных солей, происходит по-разному. Причины этого могут быть различны. Мы можем здесь назвать следующие:

1. Кристаллизация солей из сконцентрировавшегося раствора раньше, чем высыхающий грунт достигнет предела усадки. В этом случае

образующийся в порах грунта скелет из кристаллов соли не дает возможности продолжаться усадке.

2. Поглощение поверхностью частиц грунта сильно гидратированных ионов, и, в частности, ионов Na, в результате чего увеличивается кажущийся диаметр каждой частицы.

3. Неодинаковая коагуляция в присутствии разных солей, а именно: образование из частиц грунта агрегатов различной величины и различной плотности, в результате чего и вся масса грунта будет иметь неодинаковую плотность.

В природе явления засоления грунтов и почв могут происходить в засушливых областях, где почва подвергается ежегодно увлажнению и высушиванию.

Нами произведено несколько наблюдений за развитием почвенного комплекса и рельефа в пределах предсыртовой равнины Заволжья, к западу от Уральска, в районе хутора Железнова.

Здесь на лессовидном суглинке делювиально-пролювиального происхождения, отложение которого происходит и в настоящее время, довольно часто встречается трехчленный почвенный комплекс, состоящий из солонцов, западинных темноцветных почв и солончаков. Солонцы занимают плоские (плакорные) места, составляющие фон, на котором как оспа разбросаны микрозападины с темноцветными почвами, окруженными выпуклыми бордюрами, как бы валиками, почвенный покров которых состоит из солончаков с растительностью почти исключительно *Atriplex verrucifera*.

Характер соотношения этих элементов почвенного комплекса дает основание полагать, что первичным из них является солонец, на котором затем, вследствие суффозионных процессов, появляются западины, имеющие вначале незначительные размеры, но разрастающиеся в результате стока воды атмосферных осадков. Мы имеем здесь наряду с вполне сформировавшимися широкими и хорошо выраженными западинами, в которых поселилась кустарниковая растительность и почва имеет ясно выраженный черноземовидный облик, и такие западины, которые чуть заметны среди равнины и, повидимому, только что появились. Последние незначительны по своим размерам и почвенный покров их близок к солонцам окружающих ровных участков. Кроме этих крайних представителей ряда западинных почв, встречаются всякие переходы между ними. Подпочвенные слои черноземовидных западинных почв имеют чрезвычайно высокую плотность и повышенную щелочность, это указывает на предшествующее засоление их.

Нами были взяты три разреза. Один из них в западине, глубина которой, считая от поверхности солончакового бордюра, 25 см, а от поверхности плакорных участков 15—17 см.

Второй разрез на солончаковом бордюре, в расстоянии 9 м от первого.

Третий — на солонце, в расстоянии 8 м от второго.

Из всех разрезов взяты послойные образцы, в которых определялись объемный и удельный веса и высчитывалась порозность. Кроме того, производился анализ водной вытяжки и определялась валовая SO_4 методом содовой вытяжки (см. табл. 11).

Сравнение данных анализа по разрезам №№ 2 и 3 показывает большое накопление солей в солончаке. В последнем количество одного лишь гипса, высчитанное по валовой SO_4 , достигает 28%.

Если бы гипс, при накоплении его в солончаке, заполнял существовавшие ранее поры, то мы должны были бы иметь понижение порозности в горизонте накопления его. Сравнение пористости в горизонте

Зависимость порозности почв от засоления

Таблица 11

№№ разре- зов и на- звание почв	Глубина в см	Водная вытяжка					Удельный вес	Объемный вес	Порозность в %	Объем за- нат типс. 100 кв. см почвы	Порозность по роды без глина	Примеча- ние
		Общая щелоч- ность	SO ₄	Cl	Ca	Mg						
1. Западинная те- мноцветная почва	0 — 5	0,036	0,006	Нет	0,008	Следы	2,51	0,99	60,6	—	60,6	Гуму- сный
	10 — 15	0,037	следы	Следы	0,008	>	2,57	1,11	56,8	—	56,8	струк-
	30 — 45	0,025	>	нет	0,008	>	2,71	1,39	48,7	—	48,7	тур-
	47 — 52	0,046	0,019	>	0,011	>	2,76	1,77	35,9	—	35,9	ный
	70 — 75	0,068	0,013	0,022	0,013	>	2,70	1,75	35,2	—	35,2	горат-
	90 — 95	0,082	0,027	0,034	0,010	>	2,72	1,88	30,9	—	30,9	зонт
	110 — 115	0,087	0,022	0,028	0,008	>	2,78	1,94	30,2	—	30,2	
	130 — 135	0,080	0,025	0,039	0,010	>	2,85	1,96	31,2	—	31,2	
	165 — 170	0,059	0,025	0,102	0,012	>	2,81	1,84	34,5	—	34,5	
2. Солончак	0 — 5	0,083	Следы	0,027	0,011	0,003	2,75	1,28	53,4	—	53,4	
	10 — 15	0,057	0,014	0,143	0,014	0,013	2,64	1,43	45,8	0,14	45,9	
	30 — 35	0,036	1,644	0,820	0,390	0,071	2,90	1,48	49,0	13,70	62,7	
	50 — 55	0,012	0,947	0,524	0,288	0,070	2,90	1,63	42,1	20,90	63,0	
	70 — 75	0,010	1,068	0,549	0,287	0,079	2,89	1,71	40,9	11,95	52,8	
	90 — 95	0,009	0,984	0,508	0,263	0,070	2,82	1,67	40,7	4,91	45,6	
	110 — 115	0,010	0,907	0,506	0,279	0,081	2,77	1,70	38,7	4,11	42,8	
	130 — 135	0,042	0,846	0,565	0,175	0,061	2,78	1,77	36,3	4,11	40,4	
3. Солонец	0 — 5	0,056	0,035	Следы	0,009	0,007	2,71	1,50	44,7	—	44,7	
	13 — 18	0,105	0,053	0,135	0,014	0,002	2,78	1,77	36,3	—	36,3	
	28 — 33	0,051	1,320	0,419	0,295	0,060	2,89	1,60	44,6	5,39	50,0	
	50 — 55	0,034	1,044	0,475	0,285	0,072	2,86	1,61	43,8	6,39	50,2	
	70 — 75	0,046	1,117	0,361	0,023	0,020	2,81	1,70	39,5	5,07	44,6	
	90 — 95	0,041	0,711	0,275	0,175	0,047	2,81	1,79	36,3	2,94	39,2	
	110 — 115	0,078	2,120	0,449	0,606	0,133	2,76	1,80	34,8	4,14	38,9	
	130 — 135	0,081	0,102	0,553	0,059	0,036	2,78	1,81	34,9	0,47	35,4	

аккумуляции солей солончака с порозностью соответствующих глубин в солонце не показывает большой разницы между ними. Все же можно видеть, что в солончаке порозность несколько выше, чем в солонце. Если же принять об'ем, который в почве занят солями, за пустоты, то солончак имеет более высокую порозность.

Таким образом, при накоплении солей в почве происходит распирание ее, при чем соли кристаллизуются, очевидно, не в прежних порах и пустотах породы, а создают новые пустоты.

Сравнение западинной выщелоченной почвы с солонцом показывает, что порозность первой заметно понижена. Это опять-таки становится особенно наглядным, если принять об'ем, занятый в солонце солями, за пустоты. Исключение составляет гумусовый структурный горизонт.

Таким образом при выщелачивании солей, в условиях предсыртовой равнины, где эти понижения иногда заливаются водой, порода уменьшает свою порозность, причем, очевидно, происходит заполнение частицами породы пустот, занятых прежде солями, т. е. происходит некоторое уплотнение породы, очевидно сопровождаемое перераспределением частиц.

Как уже было указано выше, характер соотношения этих трех почв в комплексе заставляет считать более ранним, исходным членом его солонец, среди которого в результате местной суффозии образуются западины, постепенно увеличивающиеся в размерах. Затем уже вокруг таких западин появляются солончаковые бордюры.

Таким образом в условиях предсыртовой равнины делювиальный лессовидный суглинок при засолении подвергается распиранию кристаллизующимися солями, в случае же рассоления происходит уплотнение. Глубина распространения процессов распирания, по всей вероятности, не является большой. Во всяком случае, на глубине 1,35 метра различие в порозности уже не является значительным, хотя все же еще заметно.

Явления распирания солями почв и грунтов отражаются на рельефе местности в таких районах, где климатические условия благоприятствуют накоплению солей, а грунтовые воды имеют капиллярную связь с поверхностью почвы. Здесь развитие рельефа, а вместе с тем и почвенного комплекса, происходит под влиянием одновременно идущих процессов суффозии и засоления.

(Окончание следует)

К вопросу использования местных строительных материалов в строительстве Ср. Азии

В порядке реализации решений партии и правительства о снижении стоимости строительства и необходимости выявления местных строительных материалов и внедрения их в производство, сектор строительных материалов Средне азиатского научно-исследовательского института ирригации (Санири) произвел некоторые научно-исследовательские работы, в результате которых предлагает следующее:

1. В целях смягчения напряженного состояния со стеновыми материалами, Институт рекомендует применение кальцинированного лесса, представляющего собой смесь местного лесса с гашеной известью, в пропорциях по весу 4:1 до 10:1. Для получения лучшей теплопроводности следует прибавлять в него органические заполнители (хлопковая шелуха, саман и пр.).

Механическая прочность сжатия кальцинированного лесса, без органического заполнителя, в среднем измеряется 15—20 кг/см²; она может быть увеличена внесением гидравлических добавок.

Являясь в то же время безобжиговым блочным материалом, кальцинированный лесс дает значительную экономию на рабсиле, топливе и ускоряет процесс строительства.

Вследствие неразмываемости (хранение образцов в воде 60 дней, при 10-дневной выдержке на воздухе) и водонепроницаемости (давление до 2 атмосфер при толщине 10 см) он может быть употреблен в качестве облицовочного материала для мелкой ирригационной сети и как материал для дорог.

2. В целях выпуска на базе местного сырья пуццоланового портланд-цемента, необходимого для гидротехнического строительства, было произведено изучение ряда месторождений местных гидравлических добавок, в результате которых выявлено новое месторождение (Гаурдагское и Ташкепринское) и детально исследованы некоторые ранее известные.

В настоящее время Институт предлагает для получения пуццоланового портланд-цемента и известково-пуццолановых цементов гидродобавки следующих месторождений: глина (естественного обжига) Кизылкыйского месторождения дает известково-пуццолановые цементы 1-го сорта, в сочетании же с портланд-цементом в пропорции 30% глины плюс 70% портланд-цемента образует пуццолановый портланд-цемент

марки „00“. Кроме того, для увеличения продукции портланд-цемента Институт рекомендует добавление к клинкеру 10% этой глины.

Гаурдакский трепел вместе с известью гашеной дает известково-пуццолановые цементы 1-го сорта; в смеси с портланд-цементом в дозировке 30% трепела плюс 70% портланд-цемента образует пуццолановый цемент с механической прочностью, превышающей цемент марки „00“. При эксплуатации этого месторождения необходимо производить обогащение, вследствие его некоторой загипсованности.

Красноводский туф дает известково-пуццолановые цементы 2-го сорта; пуццолановый портланд-цемент с механической прочностью приближается к цементу марки „00“ в дозировке 20% туфа плюс 80% портланд-цемента.

Ташкепринский туф, по проведенному предварительному опробованию, обладает гидравлической активностью не менее чем арктикский, который уже эксплуатируется. Опробования Карамкульского, Азыбашского, Консайского и Ходжикентского месторождений пока положительных результатов не дали.

3. В качестве кровельного материала, облицовочного для ирригационных систем и дорожного строительства Институт выдвигает кир обследованного им Риштанского месторождения.

4. Кроме вышеуказанного, Институт проведено исследование вопроса получения битумных эмульсий и эмульсий-паст из нефтяных битумов, применение битумных эмульсий и эмульсий-паст, известных в практике автодорожного строительства.

Оно может быть опробовано и в ирригации в качестве одного из простейших видов облицовок ирригационных систем (приготовление битуминизированного кальцинированного лесса).

Институт разработал ряд рецептов по изготовлению битумных эмульсий и эмульсий-паст, приготовленных на местных не дефицитных эмульгаторах.

Разрешение этого вопроса освободит строительства от необходимости проведения горячего способа производств работ при все более внедряющемся применении органических вяжущих веществ (битумов) в различных отраслях нашего социалистического хозяйства.

Ташкент

СПИСОК ТРУДОВ

Среднеазиатского Научно Исследовательского Института Ирригации

„САНИИРИ“

(Ташкент, Ассакинская, 22)

- | | |
|---|-----------------|
| Выпуск 2. Д. Я. Соколов — Опытные исследования головного регулятора Вахшского магистрального канала | Цена 1 р. 25 к. |
| Выпуск 3. Д. Я. Соколов — Боковой отвод воды | Цена 1 р. 60 к. |
| Выпуск 4. Н. И. Каменев — Результаты механических испытаний каменных строительных материалов Средней Азии. Часть II | Цена 2 р. 70 к. |
| Выпуск 5. Е. А. Замарин и М. М. Решеткин — Просадка и водопроницаемость лесса | Цена 1 р. — |
| Выпуск 6. П. И. Васи — I. Размывающие скорости в лессовых грунтах II. С. С. Бан — Коэффициент бокового сжатия регуляторов | Цена 1 р. 50 к. |
| Выпуск 7. Д. Я. Соколов и М. С. Вызго — Пропускная способность водосливов практического профиля | Цена 1 р. 20 к. |
| Выпуск 8. В. Ярцев — Временные инструкции для производства полевых работ при обследовании гидротехнических сооружений | Цена 1 р. 30 к. |
| Выпуск 9. Е. А. Замарин — Гидротехнический расчет. Издание третье | Цена 2 р. 50 к. |
| Выпуск 10. I. Н. И. Теперин — Движение струи в массе жидкости. II. М. С. Вызго — Консольные перепады | Цена 1 р. 75 к. |
| Выпуск 11. П. И. Васи — Потери в каналах и формулы их учета | Цена — 85 к. |
| Выпуск 12. А. С. Вавилов — Противошуговые работы на канале Боз-су в период 1926 — 31 г. г. и меры борьбы с шугой | Цена 2 р. 25 к. |
| Выпуск 13. В. Н. Ярцев — Инструкция для производства полевых работ и предварительной обработки материалов при гидравлических исследованиях на ирригационных каналах | Цена 3 р. 50 к. |
| Выпуск 14. Е. А. Смирнов, В. М. Аполлосов, А. Н. Гостунский — Механизация очистки ирригационной сети в Средней Азии | Цена 1 р. 25 к. |
| Выпуск 15/1. М. С. Вызго и Н. И. Теперин — Гидравлическая лаборатория САНИИРИ на службу подготовки кадров | Цена — 60 к. |
| Выпуск 16. С. И. Батурин — К вопросу составления кадастра ирригационных систем Средней Азии | Цена 1 р. 35 к. |
| Выпуск 17. В. М. Аполлосов — Механизация земляных работ при устройстве орошения Дальверзинской степи Дальверзинстроем | Цена 3 р. 50 к. |
| Выпуск 18/2. В. Н. Ярцев и М. С. Вызго — Относьсь бережно к гидротехническим сооружениям | Цена — 35 к. |
| Выпуск 19/3. К. Н. Смирницкий — По-ударному проводи плановое водопользование в своем колхозе и совхозе (Распродан) | Цена — 20 к. |
| Выпуск 20. Е. Д. Рождественский — Инструкция к отбору проб воды на химический анализ и типы анализов для различных целей | Цена — 80 к. |
| Выпуск 21. Коэффициенты шероховатостей искусственных ирригационных сооружений Средней Азии | Цена 2 р. 50 к. |
| Выпуск 22/4 в. Н. Ярцев и Г. И. Туркин — Как учитывается оросительная вода | Цена 1 р. — |
| Выпуск 23/5. З. И. Шваб — Конные скрепера на очистке ирригационной сети | Цена — 95 к. |
| Выпуск 24/6. И. Ахтямов — Ирригационная линейка для мирабов и бригадиров | Цена 1 р. 30 к. |

- Выпуск 25. В. М. Аполосов, Г. А. Болдырев, К. К. Шубладзе — Переустройство ирригационных систем Ферганской долины. Цена 3 р. 50 к.
- Выпуск 26. З. И. Шваб — Применение гидромеханизации на очистке ирригационной сети. Цена 1 р.
- Выпуск 27. С. И. Батурин — Контрольный кадастр ирригационных систем Средней Азии. Цена 6 р. 50 к.
- Выпуск 28. Кривовяз — Техника полива хлопчатника в крупных механизированных хозяйствах. Цена 4 р. 25 к.
- Выпуск 29. Г. Н. Виноградов — Ирригация в долине Кашка-дарьи. Цена 5 р. 60 к.
- Выпуск 30. К. К. Шубладзе и А. С. Цветков — Механизация переустройства ирригационной сети. Цена 2 р. 50 к.
- Выпуск 31. В. Н. Ярцев — Практическое руководство для тарирования мелких гидротехнических сооружений. Цена 2 р. 50 к.
- Выпуск 32. Н. И. Царев и И. И. Горбенко — Исследования среднеазиатской древесины. Цена 1 р.
- Выпуск 33. В. Н. Ярцев — Водомерный лоток Вентури Поршала. Цена 2 р.
- Замарин — Движение грунтовых вод под гидротехническими сооружениями. Цена 1 р. 80 к.
- М. Громов и В. Баранов — Чигирь как водоподъемное колесо и как привод. Цена — 60 к.
- Выпуск 9/22. Временная инструкция по устройству гидрометрических станций и постов и ведению работ на них. Цена 1 р. 40 к.

Кроме того, имеются комплекты и отдельные номера журнала Вестник Ирригации за годы 1925 — 1930 по 12 р. за годовой комплект и 1 р. за каждый отдельный номер. Заказы выполняются наложенным платежом по первому требованию.

Ответственный редактор Г. И. Актокольский
Технический редактор Е. П. Глаголева

Сдано в производство.

Подписано к печати 1/X 36 г.

Узлит № 04555 — Тираж 200 + 52 экз. Бз 5,5 п. л.

Ташкент. Узполиграфкомбинат им. ~~Мухоморова~~ 1936 г.

До пользования книгой просьба внести следующие исправления

Стр.	Строка евер- ху	спи- зу	Напечатано	Следует читать
10	9		раз'единение труб	раз'едание труб
12	4		$l_{min} = 0,55$	$l_{max} = 0,55$
13		37	$v = Ki$	$v = K_i i^n$
13		19	что значение для его	значение и для его
19		2	$7/V 36$	$7/V 35$
20		10	$1 + \frac{m'}{\beta}$	$1 + \frac{m'}{\beta}$
21	16		$f(lgh)$	$f(lgh)^2$
21	25		и ω	и ω_2
22		12	$\left(\frac{K}{K_0}\right)$	$\left(\frac{K}{K_0}\right)^2$
22		7	$= \frac{\alpha h}{g}$	$s = \frac{\alpha h}{g}$
23	4		$\frac{C^2}{b}$	$\frac{C^2}{\gamma}$
23	5		$\gamma H_0 \frac{db}{d\omega}$	$H_0 \frac{db}{d\omega}$
24		12	$\frac{C^2}{\gamma}$	$\frac{C^2}{\gamma}$
25	5		$= \xi$	$= \xi^2$
25	6		$\cdot \xi_z$	$\cdot \xi^2$
26	2		$ds = \frac{\alpha}{d}$	$ds = \frac{\alpha}{g}$
27	7		$n = 0,017$	$n = 0,017$
27	15		$= \frac{\omega}{\lambda}$	$= \frac{\omega}{\gamma}$
27	18		$\lambda_1 = 3,864$	$\gamma = 3,864$
27		2	$= \frac{\alpha l_0 C B}{g \cdot \lambda}$	$= \frac{\alpha l_0 C^2 B}{g \cdot \gamma}$
27		4	$S = \frac{\omega_0}{l_0 B_{cp}} \cdot \left\{ (u_1' - u_2') + \right.$	$S = \frac{\omega'}{l_0 B_{cp}} \cdot \left\{ (u_1 - u_2) + \right.$
			$\left. + (1 + j_{cp}) B' \right\}$	$\left. + (1 + j_{cp}) B' \right\}$
27		8	$= \frac{\alpha Q^2 C^2 \cdot B}{g \cdot \lambda}$	$= \frac{\alpha Q^2 C^2 \cdot B}{g \cdot \gamma}$
27		8	$= \frac{\xi z + 1}{z + 1}$	$= \frac{\xi z + 1}{z + 1}$
27		10	Здесь ω и K_1	Здесь ω_1 и K_1
27		15	$= \frac{d \cdot l_0 C_2 B}{g \cdot \lambda}$	$= \frac{\alpha l_0 C^2 B}{g \cdot \gamma}$