

004

Труды

Среднеазиатского научно-исследовательского института ирригации

Proceedings

of the Middle Asia Scientific Research Institute of Irrigation

Issue 5

Выпуск 5

551

Е. А. Замарин и М. М. Решеткин

3-26

Просадка и водопроницаемость лесса

Settlement and Water Permeability of Loess

by

E. A. Zamarin and M. M. Reshetkin

Труды

Среднеазиатского научно-исследовательского института ирригации

Proceedings

of the Middle Asia Scientific Research Institute of Irrigation

Issue 5

Выпуск 5

Е. А. Замарин и М. М. Решеткин

551
3-26
557.48
9354

Просадка и водопроницаемость лесса

Settlement and Water Permeability of Loess

by

E. A. Zamarin and M. M. Reshetkin

БИБЛИОТЕКА
Ср.-Аз. Научно-Иссл. Ин-та
Ирригационных Сооружений
(САНКИРСО)
Ташкент, Лесалинская, 22.



Объединение Государственных Издательств

Среднеазиатское Отделение

Москва—1932—Ташкент

СОДЕРЖАНИЕ

1. Е. Замарин, М. Решеткин.	Стр.
Водопроницаемость лесса	3
1. Постановка полевых опытов	3
п. 1. Условия опытов	3
п. 2. Способ проведения опытов	4
2. Определение водопроницаемости	9
п. 1. Постановка опытов	9
п. 2. Способы определения водопроницаемости	9
п. 3. Характеристика водопроницаемости	11
п. 4. Выводы	13
2. Просадка лесса Е. Замарин.	16
1. Влияние химического состава грунта	19
2. Краткие выводы по изучению просадок лесса	21
3. Деформации лессовидных грунтов на ирригационных системах М. Решеткин.	23
1. Характеристика лессовидных грунтов	23
2. Типы деформаций	26
3. Осадка грунтов на каналах	27
4. Осадка грунтов на полях и вообще в орошаемых районах	30
5. Причины осадки грунтов	31
6. Цилиндрические просадки	32
7. Карстовые явления	32
8. Мероприятия по предотвращению вредных последствий деформаций	36
9. Необходимость дальнейших исследований	37
10. Примерные указания к производству опытов по замочке котлованов	38
11. Указания к наблюдениям за деформациями грунтов	39
Литература	40

Редактор А. П. Каваков.

Технические редакторы: { Э. Г. Балканский.
А. З. Сокольский.

Сдана в производство 22/VII-32. Подписана к печати 9/XI-32.

ВОДОПРОНИЦАЕМОСТЬ ЛЕССА

I. ПОСТАНОВКА ПОЛЕВЫХ ОПЫТОВ

М. Решеткин

П. 1. Условия опытов

Летом 1929 г. Опытнo-исследовательский институт водного хозяйства проводил изучение явлений осадки лессовых грунтов на канале Новый Джун под Ташкентом. В частности в программу работ входили опыты по определению водопроницаемости грунтов, подверженных деформациям. Примененный метод полевого эксперимента во многом напоминает способ, описанный в свое время А. К. Болдыревым.¹

Для постановки наблюдений был выбран участок не орошенной целины, по правую сторону магистрали, на 140 пикете. Опытные ямки задавались на расстоянии нескольких десятков метров от канала, вне зоны деформаций. Характер поверхностных горизонтов, слагающих местность, постоянен на всем участке, что явствует из разреза:

- | | |
|--|--------|
| 1. Глинистый слой, пронизанный большим количеством корней травянистой растительности | 0,15 м |
| 2. Серая глина, сильно ноздреватая, благодаря обильным ходам и камерам дождевых червей и других роющих животных; содержит заметные включения белых солей в некоторых макропорах, легко крошится на отдельные комки; границу слоя можно провести лишь условно из-за постепенности перехода его в подстилающую породу; мощность колеблется около | 0,35 " |
| 3. Желтовато-серая тонкопористая лессовидная глина, содержащая местами включения мелких кристаллов гипса; книзу порода приобретает большую связность и с глубины 2 м лопатой проходится с трудом; слой пройден на | 4,50 " |

Как видно из результатов механических анализов (таблица 1), грунты являются тяжелыми и средними разностями иловатых глин, содержащих песчаные фракции лишь в незначительных количествах. Порозность, определявшаяся способом парафинирования для образцов с ненарушенной структурой, характеризуется величинами 46—50% лишь для некоторых горизонтов, падая до 43—44% (см. табл. 1 на стр. 5).

Наблюдения ставились более чем на сорока опытных ямках, но некоторые опыты пришлось исключить из-за неудовлетворительности их по той или иной причине. Как видно из таблицы 2, условия наблюдений были различны, что достигалось комбинированием толщины слоя наполняющей ямку воды, длительностью опыта глубиной заложения ямки. Опыты 1—31 и 37 прошли при поперечном сечении наблюдательной



Рис. 1

¹ Болдырев А. К. Опыт над фильтрацией в горных породах *in situ* в связи с проектом водохранилища на р. Чу в Туркестане. Матер. по общей и прикл. геологии, в. 1926 г. 27,

наковых условиях преследовало возможность вывода средних величин (см. табл. 2 на 5 стр.).

Опыт 37 проводился с двумя перерывами, в течение которых вода осторожно вычерпывалась из опытной ямки, вслед за чем дно очищалось срезанием слоя грунта толщиной до 2 см. Характер записи наблюдений иллюстрируется таблицами 3 и 4.

При работах приходилось пользоваться водою из магистрали Нового Джуна, содержащей значительное количество взвешенных частиц. По возможности, но далеко не всегда, употреблялась отстоянная вода. Минерализация ее может быть охарактеризована анализом средней пробы (в миллиграммах на литр):

Плотный остаток	239,5	Серная кислота (SO_4)	50,5
Хлор (Cl)	9,0	Угльная кислота ($\text{HCO}_3 + \text{CO}_2$)	114,4

При подготовке опытных ямок, как обязательное правило, дно их, свободное от комков и пыли, давало разрез через зияющие макропоры, каналы и пустоты; диаметр последних для ноздреватого слоя зачастую достигает 0,5 см. После окончания наблюдений, хотя бы и двухчасовых, была разжижена поверхность дна ямки и на ней можно было отметить лишь небольшое количество зияющих устьев макропор. Заплывание происходило не только при употреблении мутной, но и совершенно прозрачной воды. С одной стороны, заиление дна ямки идет за счет осаждения взвешенных частиц как приносимых, так и взмучиваемых поступающей в ямку водой. Избежать взмучивания совсем, даже при применении водосливной

части, не удастся. С другой стороны, глинистый материал взмучивается и отлагается, хотя и в ничтожных количествах, проникающими в породу гравитационными водами. Опыт 37 подтверждает заметную роль процессов заиления в ходе просачивания: после каждой очистки дна наблюдаются резкое увеличение скоростей и следующее затем замедление. Таким образом, можно утверждать, что одним из существенных факторов, обуславливающих характер кривой просачивания, является процесс заиления и уплотнения дна ямки.

После окончания некоторых опытов делался разрез путем откопки через опытные ямки, перпендикулярный к двум стенкам. Границы увлажненного грунта промерялись и зарисовывались. Характер фигур промачивания показан на рисунке 2.

Рис. 2

П. 2. Способ проведения опытов

Подготовка опытной ямки. В зависимости от поставленных условий опытная ямка закладывается на поверхности земли или на некоторой глубине, на дне шурфа. Поперечное сечение последнего по дну должно составлять не менее 1,0 на 1,5 м, при чем в одной из стенок делается ступенчатый спуск; ямка задается в одном из углов, противоположных спуску в шурф. Поперечное сечение опытной ямки должно составлять точно 0,5 на 0,5 м или 1,0 на 1,0 м; глубина примерно на 5—10 см превосходит намеченную для данного опыта толщину слоя воды.

Предварительно вырывается ямка размеров несколько меньших, чем указанные. Точные размеры достигаются путем выравнивания небольшой шанцевой лопатой и штукатурной лопаточкой (малкой). Эти инструменты следует держать остро отточенными. При отделке ямки пользуются угольником и ватерпасом. Помимо точных размеров, готовая ямка отвечает двум требованиям: дно ее должно быть строго горизонтальным и наравне со стенками представлять свободный от пыли и комков разрез породы, что достигается постепенной подчисткой стенок и дна острым инструментом.

№ по пор	Глубина в м	(величины частиц в мм)				Пороз- ность в %	Остаток водной вытяжки
		> 0,25	0,25-0,05	0,05-0,01	< 0,01		
1	0,25	нет	7,31	26,53	66,16	43,7	76
2	0,50	0,22	5,02	25,53	69,23	46,7	83
3	0,75	нет	4,34	26,36	69,30	50,1	61
4	1,00	„	4,08	25,93	69,99	48,5	812
5	1,25	„	2,92	26,52	70,56	48,7	873
6	1,50	„	4,89	25,08	70,03	44,5	275
7	2,00	„	5,55	24,48	69,97	43,4	1,570
8	2,50	„	5,69	22,36	71,95	48,1	407
9	3,00	„	15,91	24,86	59,23	46,8	333
10	3,50	„	16,84	32,60	50,56	46,5	—
11	4,00	0,10	5,07	35,52	59,31	49,8	—
12	4,50	0,11	4,14	32,58	63,17	48,6	297
13	5,00	нет	7,55	28,70	63,75	47,2	1,643

Таблица 2

Слой во- ды в м	Длитель- ность ча- сов	№№ опытов при поперечном сечении 0,5 м и глубине			Попер. сечен.
		0,20-0,39 м	0,74-1,45 м	2,07-2,45 м	
0,05	2	1 2	13 14	25	32
—	4	3	15	26	33 34
—	6	4 5 6	16	27	35 36
—	12	7	17 18 19	28 29	—
0,10	2	8 9	20 21	—	—
0,25	2	10 11	22 23	—	—
—	12	12	24	30 31	—

Таблица 3

Номер и условия опыта	Колич. прилива воды л	Темпера- тура воды С°	Мутность воды	Длит. просач. м	Время от начала опыта в мин.	Колич. просач. воды л мин	Примеча- ние
1	2	3	4	5	6	7	8
Опыт 5	17	18,8	Прозрачн.	2,0	—	—	Наполнение
Глубина дна ямки —	10	„	„	11,0	5,5	0,91	
0,23 м	„	„	„	11,0	16,5	0,91	
Слой воды — 0,05 м.	„	19,0	„	13,0	28,5	0,77	
Длительность — 6 часов	„	19,6	„	15,0	42,5	0,67	
	„	„	„	17,0	58,5	0,59	
	„	18,8	„	14,5	74,25	0,69	
	„	19,2	„	15,5	89,25	0,64	
	„	19,6	„	15,0	104,5	0,67	
	„	21,0	„	15,0	119,5	0,67	
	„	„	„	18,0	136,0	0,56	
	„	„	„	17,0	153,5	0,59	
	„	26,2	„	16,5	170,25	0,61	

Номер и условия опыта	Колич. прилив. воды л	Температура воды С°	Мутность воды	Длит. просач. м	Время от начала опыта мин.	Колич. просач. воды л мин.	Примечание
1	2	3	4	5	6	7	8
Опыт 5	„	21,8	Прозрачн.	16,5	186,25	0,61	Наполнение
Глубина дна ямки—	„	23,2	„	17,0	203,5	0,59	
0,23 м	„	25,0	„	18,0	221,0	0,56	
Слой воды —0,05 м	„	21,2	„	18,0	239,0	0,56	
Длительность—6 часов	„	23,6	„	16,0	256,0	0,63	
	„	24,4	„	17,0	272,0	0,59	
	„	25,8	„	16,5	289,25	0,61	
	„	27,6	„	19,0	307,0	0,53	
	„	27,2	„	17,5	325,25	0,57	
	„	28,2	„	18,0	343,0	0,56	
	„	29,7	„	6,0	355,0	0,67	

Таблица 4

Номер и условия опыта	Колич. прилив. воды л	Температура воды С°	Мутность воды	Длит. просач. м	Время от начала опыта мин.	Колич. просач. воды л мин.	Примечание
1	2	3	4	5	6	7	8
Опыт 37	18	27,0	Слабая мутн.	1,0	—	—	Наполнение
Глубина дна ямки—	10	28,0	„	8,0	4,0	1,25	
0,34 м	10	„	„	9,0	12,5	1,11	
Слой воды —0,05 м	„	„	„	11,0	22,5	0,91	
Длительность—6 часов	„	30,2	„	14,0	35,0	0,71	
	„	„	Мутность	13,0	48,5	0,77	
	10	24,4	„	12,0	61,0	0,83	
	10	25,0	Слабая мутн.	15,0	74,5	0,67	
	10	26,6	„	15,0	89,5	0,67	
	10	27,8	„	17,5	105,75	0,57	
	3	27,8	Прозрачн.	4,5	116,75	0,67	Вычерпыван. Очистка дна Наполнение
	3	—	„	4,0	—	—	
	—	—	„	17,0	—	—	
	16	—	Мутность	1,0	—	—	
	10	—	„	11,0	146,5	0,91	
	10	—	Слабая мутн.	13,0	158,5	0,77	
	10	—	„	12,0	170,0	0,83	
	20	—	„	27,0	180,0	0,74	
	10	—	Мутность	18,0	213,0	0,56	
	10	—	Слабая мутн.	14,0	229,0	0,71	
	10	—	„	17,0	244,5	0,59	Вычерпыван. Очистка дна Наполнение
	5	—	„	7,0	256,5	0,71	
	11	—	„	5,0	—	—	
	—	—	„	15,0	—	—	
	15	25,6	Мутность	1,0	—	—	Наполнение
	10	25,6	„	13,0	287,5	0,77	

Номер и условия опыта	Колич. прилив. воды л	Температура воды С°	Мутность воды	Длит. просач. м	Время от начала опыта л мин.	Колич. просач. воды л/мин.	Примечание
1	2	3	4	5	6	7	8
Опыт 37	10	26,9	Слабая муть.	9,0	298,5	1,11	
Глубина дна ямки—	10	„	„	14,0	310,0	0,71	
0,34 м	10	28,2	„	14,0	324,0	0,71	
Слой воды —0,05 м	10	„	„	16,0	339,0	0,63	
Длительность —6 часов	10	24,6	Мутность	15,0	364,5	0,67	
	10	„	Слабая муть	15,0	369,5	0,67	
	10	28,9	„	14,0	384,0	0,71	
	4	29,6	„	9,0	395,5	0,45	

Как показывает опыт, в случае подготовки ямки накануне наблюдений, на ночь ее необходимо закрывать от землероев, в частности жука навозника, в целях предохранения от порчи. Следует также избегать закладывать ямки на места более или менее крупных нор землероек, так как это ведет к искажению результатов наблюдений.

Подготовка к наблюдениям. После устройства опытной ямки, в журнале наблюдений дается характеристика условий опыта по следующей форме:

Форма 1

О п ы т №

Местонахождение опытной ямки.....

Размеры ямки: поперечное сечение.....м, глубина дна ямки от поверхности земли.....м.

Характеристика пород, пройденных шурфом и опытной ямкой (наименование, цвет, связность, слоистость, пористость, корневая система, включения, влажность и т. д.).....

Толщина слоя воды.....м.

Начало опыта.....ч.м.; конец.....ч.м.

Длительность опыта.....ч.

19.....г.

Наблюдатель (подпись)

При ведении наблюдений, помимо баков с запасной водой, применяются два бака из оцинкованного железа емкостью по 50 л. Оба бака снабжены кранами и на внутренних стенках имеют деления для учета вытекающей воды. Резиновыми трубками баки соединяются с устанавливаемой на дне опытной ямки водосливной частью. Последняя устроена для предохранения дна и стенок опытной ямки от размыва притекающей струей воды. Мерные баки перед наполнением их водою устанавливаются так, чтобы дно их было горизонтально. К стенке опытной ямки гвоздями прикрепляется водомерная рейка; высота выступа последней над дном должна равняться толщине слоя воды, принятой для данного опыта. Вслед за этим открывают кран одного из мерных баков и быстро наполняют опытную ямку до нужного уровня, учитывая количество воды и время. В случае потребности в наполнении ямки более, чем 50 л, вода выпускается из второго бака, а в это время первый бак вновь наполняется водой. Как при первоначальном наполнении ямки, так и при ведении самых наблюдений, желательно применение прозрачной воды. Для отстаивания служат запасные баки.

Ведение наблюдений. В момент дохождения воды в опытной ямке до требуемого уровня, пуск воды из бака прекращается, и открывается кран другого мерного бака, уже к этому времени наполненного водою, как было отмечено. От начала наблюдений и дальше пуск воды регулируется так, чтобы уровень воды в ямке держался строго постоянным. Во время работы одного бака, другой наполняется водою, чтобы не было перерывов в ее подаче в ямку. Запись наблюдений ведется по следующей форме:

Форма 2

Количество вливаемой воды л	Температура воды С°	Начало вливания часы—мин.	Конец вливания часы—мин.	Колебания уровня см	Примечание
1	2	3	4	5	6

В первой строке указывается количество влитой в ямку воды при наполнении ее до нужного уровня, а также температура воды, часы и минуты начала и конца вливания; в шестой графе отмечается: „Наполнение ямки“. При ведении наблюдений в последующих строках фиксируется начало и конец вливания каждые 10 л с точностью до полминуты. Температура воды определяется погруженным в ямку термометром.

Как было отмечено, мерные баки надлежит наполнять отстоянной водою, для чего пользуются запасными баками. В случае наполнения опытной ямки мутной водою в графе шестой отмечают степень мутности.

Зарисовка фигуры промачивания. По истечении установленного для опыта времени, прекращается пуск воды из мерного бака, из опытной ямки вынимается водосливная часть и быстро вычерпывается остающаяся вода. При этом учитывают количество вычерпанной воды и время, ушедшее на вычерпывание, что и отмечается в первой, третьей и четвертой графах формы 2; в графе шестой ставится: „Вычерпывание“. Вслед за этим, путем откопки делается поперечный разрез, перпендикулярный к двум стенкам опытной ямки и проходящий через ее центр. Граница увлажненной породы, наблюдаемая в полученном разрезе, зарисовывается на отдельной странице журнала наблюдений в масштабе не менее 1:20. Отмечается время, ушедшее от конца вычерпывания воды из опытной ямки до конца зарисовки.

Полевая обработка наблюдений. Наряду с черновым журналом наблюдений ведется чистовой, куда ежедневно по окончании опытов переносятся записи. При этом таблица наблюдений имеет такой характер:

Форма 3

Количество вливаемой воды в литрах	Темпера- тура воды С°	Начало	Конец	Длительность вливания в минутах	Колебания уровня в минутах	Время от начала наблюдения в минутах	Скорость просачивания л/сек.	Примечание
		вливания						
		ч.—м.	ч.—м.					
1	2	3	4	5	6	7	8	9

Графы пятая, седьмая и восьмая заполняются после соответствующих подсчетов. „Время от начала наблюдений“ для той или иной скорости просачивания следует исчислять суммированием времени, прошедшего от начала наблюдений до начала вливания соответствующих 10 л воды, и половины времени, идущего на вливание этих 10 л.

Предметы, необходимые для ведения опытов:

а) Для подготовительных работ:

1. Лопата для земляной работы.
2. Лопата шанцевая, малая.
3. Мылка.
4. Складной метр или рулетка.
5. Угольник.
6. Напильник плоский.

б) Для наблюдений:

1. Баки мерные с кранами — емкостью по 50 л — 2 шт.
2. Баки запасные, емкостью по 100 л — 2 шт.
3. Трубки резиновые к бакам.
4. Водосливная часть.
5. Вебра для подноски воды — 4 шт.
6. Рейка нодомерная.
7. Термометр Цельсия.
8. Часы или секундомер.
9. Тетради в клетку для записи наблюдений.
10. Карандаш простой.
11. Нож перочинный.
12. Полотенце.

II. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВОДОПРОНИЦАЕМОСТИ

Е. Замарин

П. 1. Постановка опытов

Одновременно с наблюдением за просадкой грунта изучалась и водопроницаемость джунского лесса. По ряду причин опыты эти не могли быть проведены с нужной полнотой, поэтому приводимые ниже выводы носят скорее качественный, чем количественный характер. Тем не менее материал опытов до некоторой степени может быть полезен при изучении свойств лесса.

П. 2. Способы определения водопроницаемости

*Первый способ.*¹ Здесь рассматривается движение воды, просачивающейся из шурфа в грунт, в искусственных (идеальных) условиях, именно, предполагается, что, вступая в грунт, вода полностью заполняет поры и что та область грунта, в которой заполнены движущейся водой все поры, резко без переходных частей отделена от сухого грунта, где движения воды нет. Далее считается, что вода заполняет поры свободно без всякого сопротивления находившегося в них воздуха и что воздух не задерживается в зоне движения воды; капиллярное насыщение грунта в расчет не принимается.

Для учета самого движения для отдельных отрезков времени оно рассматривается, как установившееся и следующее закону Дарси.

При таких допущениях считают, что вода, поддерживаемая в шурфе на постоянной высоте H , через некоторый промежуток времени (для лесса — около часа) распространяется по области грунта, ограниченной сферой радиуса R_1 , таким образом, что объем просочившейся в грунт воды W_1 , будет равен объему пор.

$$[4,19 R_1^3 - 3,14 a H - 0,52 h (3a^2 + h^2)] \rho = W_1$$

Здесь первый член — объем сферы;

второй — объем воды в шурфе;

третий — объем сегмента над водой;

ρ — порозность (для свободных пор грунта).

Обозначения a , h , R , H приведены на рисунке 3, для подсчета h имеется зависимость

$$h = R_1 - \sqrt{R_1^2 - a^2}.$$

¹ Замарин Е. Водопроницаемость лесса. „Вестник Иригации“, 1929, № 12.

Зная следующую порцию поглощенной грунтом воды W_2 , можно найти радиус растекания R_2 следующей сферы и т. д.

$$R_2^3 = R_1^3 + \frac{W_2}{4,19 \rho}$$

Средняя скорость продвижения воды по оси симметрии от первой до второй сферы будет равна

$$V_2 = \frac{l_2}{t_2} = 2 \frac{R_2 - R_1}{t_2}$$

где t_2 — длительность впитывания объема воды W_2 .

Геометрические формы движения воды заключают в себе еще следующую искусственность; представим, что в момент времени t_1 , проникая вниз, грунтовая вода подошла до небольших уча-

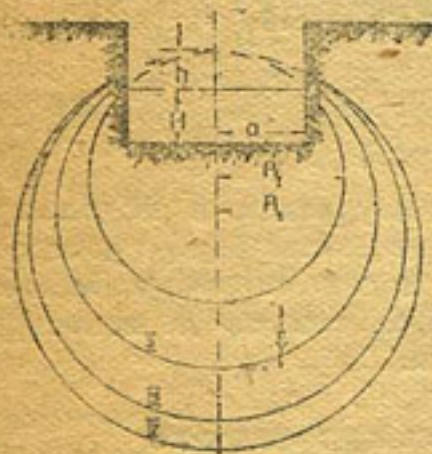


Рис. 3

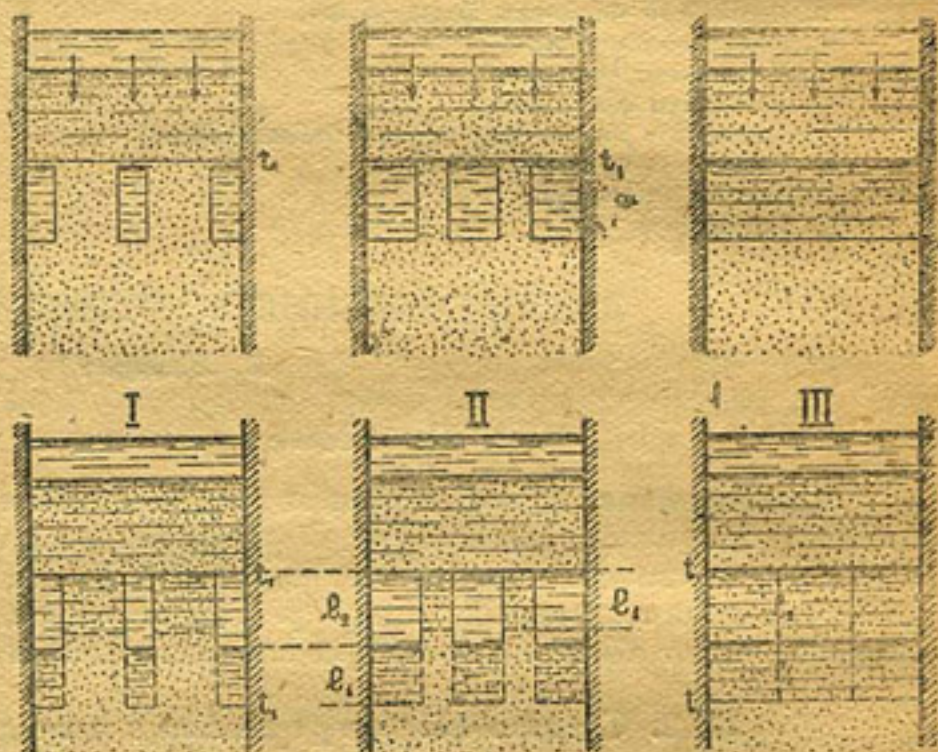


Рис. 4

стков грунта длиной l_2 , в которых уже имелись свои воды (верхние чертежи рисунок 4).

Если бы не было таких областей, то к моменту t_2 вода подвинулась бы на путь l_1 ; наличие этих областей приводит к тому что, грунтовая вода, идущая сверху, едва коснувшись их, быстро передает по ним давление и как бы выдавливает эти области вниз на длину l_1 . Таким образом, наличие этих областей никакого влияния на движение воды как будто не оказывает, даже в последнем случае, когда встречная область занимает весь путь фильтрации; между тем, известно, насколько энергично поглощается вода сухим грунтом и как слабо идет поглощение ее мокрым.

Кроме сказанного, необходимо отметить, что по мере насыщения грунта водой, независимо от кольматации, он все меньше и меньше фильтрует, а потому, при некоторой величине растекания, при радиусе сферы R_n вода по внешней поверхности ее движется уже не по закону Дарси, а как капиллярная.

С течением времени сферы растекания переходят к формам, близким к вытянутым эллипсоидам.

Если оценку движения производить по средним скоростям через выделенные сечения потока, что равносильно оценке движения по средним уклонам через те же сечения, то наиболее характерными сечениями будут: первое — по смоченной поверхности шурфа, и последнее — по внешней поверхности растекания воды для данного момента. Начальный уклон по поверхности шурфа i_1 всегда очень велик; затем он убывает, стремясь к своему пределу — единичному уклону.

Средний уклон по внешней поверхности должен быть меньше i_1 , так как площадь этой поверхности больше смоченной поверхности шурфа; кроме того, по большей части внешней поверхности, по бокам ее движение весьма слабое.

В пределе при глубоком залегании грунтовых вод еще до смычки с ними фильтрующейся воды движение воды уже не подчиняется закону Дарси. Перед

им моментом средний уклон по внешней поверхности может достигать величин меньших единицы.

Указанные соображения создают неопределенность в выборе величины коэффициентов фильтрации.

Второй способ. За коэффициент фильтрации принимают среднюю скорость по смоченной поверхности шурфа для относительно установившегося движения; так, принятая величина обычно оказывается больше действительной. Кольматация дна и стенок шурфа, усиливаемая обвалами его стенок, замедляет просачивание воды и может создать ложное представление об установлении движения.

Третий способ. Вскрывая грунт под шурфом, по форме и размерам фигуры смачивания грунта можно получить представление о его фильтрационных способностях.

Если глубину промачивания разделить на его длительность, то полученная в результате скорость фильтрации будет до некоторой степени соответствовать коэффициенту фильтрации.

Четвертый способ. Пользуясь фигурами растекания, можно подсчитать среднюю скорость фильтрации по наибольшему горизонтальному сечению фигуры, уменьшив диаметр сечения, примерно, на 5—10%. Эта скорость также может служить отчасти характеристикой фильтрации грунта.

Таблица 1

№ № опыта	Продолжительность от начала опыта (в часах)			
	2	4	6	8
7	156	95	68	37
17	—	91	65	36
18	158	92	63	34
19	—	83	63	49
28	—	95	63	42
29	—	85	63	35
24	—	94	77	47
30	—	77	72	47
31	164	94	85	55
12	—	—	—	45
Среднее	159	90	69	43

от начала опыта. Результаты подсчетов для $0,5 \times 0,5$ м шурфов приведены в таблицах 1—3.¹

Таблица 2

№ № опыта	Продолжительность от начала опыта (в часах)		
	2	4	6
4	—	104	72
5	155	95	76
6	163	88	70
16	—	—	56
27	—	91	65
37	168	—	—
Среднее	162	92	68

Пятый способ. Коэффициент фильтрации устанавливается по эмпирическим формулам в зависимости от механического состава и порозности грунта.

П. 3. Характеристика водопроницаемости

Первый способ. Для порозности грунта 0,47 и влажности его около 8—12% (по объему) по указанным выше формулам подсчитаны средние скорости движения после 2—4—6—12 часов в конце опытов. Кроме того, для продолжительных опытов (4 и более часов) подсчитаны скорости для 2—4—6-часовых промежутков, считая

Таблица 3

№ № опыта	Продолжительность от начала опыта (в часах)	
	2	4
3	—	100
15	190	67
25	—	82
26	142	83
Среднее	166	83

Для двухчасовых опытов получилось:

$$V_{\text{ср}} = 0,0157 \text{ мм/сек.}$$

Из таблиц видно, что в среднем для всех опытов величины скоростей фильтрации за одинаковые промежутки времени от начала опыта—одинаковы и могут быть выражены так:

Таблица 4

	Продолжительность от начала опыта (в часах)				Шурфы
	2	4	6	12	
V_1	161	88	68	43	Малые
V_2	154	87	72	—	Большие

Группировка опытов по количеству впитанной грунтом воды дает большое разнообразие в свойствах испытывавшихся грунтов.

Если принять среднюю оценку водопроницаемости грунта за единицу, то опыты могут быть сгруппированы так:

Таблица 5

Сравнительная оценка водопроницаемости	0,55	0,70	0,85	1,0	1,15	1,3	1,4
№ № опытов	29	16—22 25—27 30	14—17 24—28 36	1—2—5—10 13—18—19—20 21—26—31 34—35	4—6—11 15—23—37 32—33	3	7—12

При сопоставлении таблиц 1 и 5 ясно, что первый способ дает осредненную, в общем грубую, характеристику водоотдачи, не отражая индивидуальных качеств грунта.

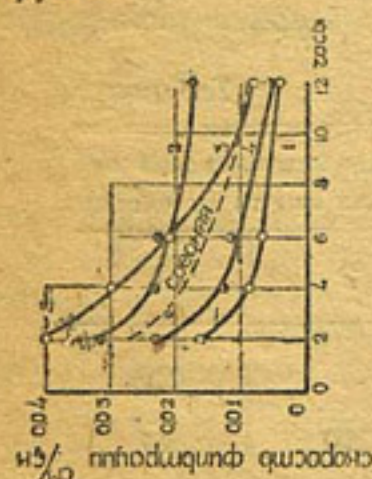


Рис. 5

При больших шурфах (1×1 м) для одинаковых промежутков времени от начала опыта для всех грунтов величины скоростей однообразны, подобно таблицам 1—3; (средние значения скоростей приведены в 4-й таблице). Оставляя анализ полученных скоростей на дальнейшее, отметим, что величины их постепенно снижаются (рис. 5, крив. 1).

Второй способ. Подсчитанная по смоченной поверхности шурфа средняя скорость близка к сравнительной оценке водопроницаемости грунтов, приведенной в таблице 5; эта скорость лучше выявляет индивидуальные особенности грунтов, чем предыдущая. Здесь также заметно снижение скоростей для более длительных опытов, что видно из таблицы 6, где приведены величины V_2 для 2—4—12-часовых опытов, а также и из рисунка 5 (кривая 2).

Таблица 6

T часов	2	4	6	12	Шурфы
$V_2 \times 10\,000 \text{ мм/с.}$	317	232	225	179	Малые

Водопроницаемость исследуемых грунтов, судя по таблице 5, разнообразна, а поэтому средние скорости V_2 , приведенные в таблице 6 и полученные из опытов с малыми шурфами, вообще говоря, в немалой степени случайны и не могут точно характеризовать затухания скоростей, что подтверждается неплавностью кривой $V_2 = f(t)$, приведенной на рисунке 5 (кривая 2).

Для затухания скоростей очень интересны индивидуальные кривые, приведенные на рисунке 6 для 12—6—4—2-часовых опытов.

Третий способ. Для некоторых шурфов после опыта грунт вскрывался и замерялись фигуры смачивания.

Отношение длины промачивания грунта ко времени промачивания дает среднюю скорость в порах грунта. Так как мы ведем сравнение скоростей фильтрации, а не скоростей в порах, то полученное выше отношение следует умножить на относительный объем свободных пор.

Приняв эту величину в среднем равной 0,43, получаем следующие средние значения скоростей фильтрации.

Таблица 7

№№ опытов	Длительность опытов (часы)	$V_2 \times 10\,000$ мм/сек	Шурфы
1—2 10—11 13—14 20—21 22—23	2	400	Малые
3, 15, 25, 26	4	300	"
4, 5	6	210	"
17—18	12	80	"
32	2	600	Большие
34	4	330	"

Для больших шурфов данные V_2 из-за единичности наблюдений мы не будем рассматривать. Снижающаяся по времени кривая скоростей V_2 приведена на рис. 5 (кривая 3).

Четвертый способ является продолжением предыдущего и дает следующие величины средних скоростей фильтрации по поперечнику фигуры растекания.

Таблица 8

Длительность опытов в часах	2	4	6	12
$V_4 \times 10\,000$ мм/сек	233	127	117	50

Скорости V_4 наименее пригодны для характеристики водопроницаемости. Так, например, если вода встретит грунт несколько меньшей водопроницаемости, чем вышележащие слои, то она начинает усиленно растекаться по сторонам, отчего величины (V_4) получаются крайне малыми, так как не учитывается ими боковое растекание воды (рис. 6.)

П. 4. Выводы

Все четыре рассмотренных способа дают снижение кривых скоростей по мере увеличения длительности опыта (рис. 5). Снижение скоростей неизбежно

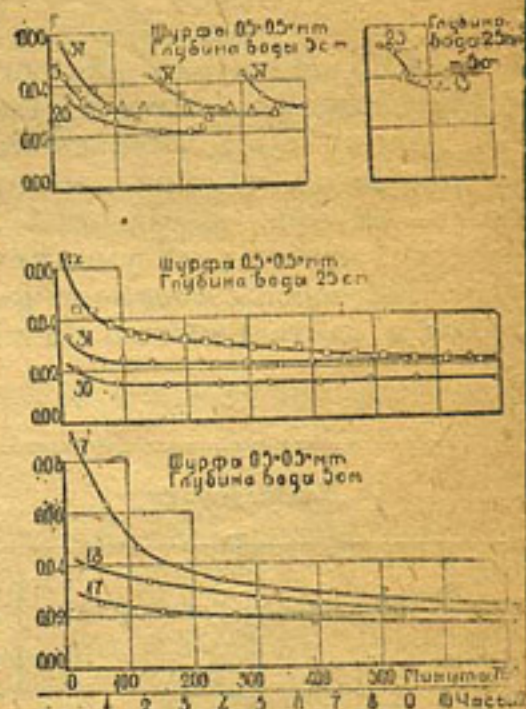


Рис. 6

так как по мере увеличения объема напитанного водой грунта сопротивления прониканию воды увеличиваются и становятся наибольшими, когда вся область грунта под шурфом пропитается водой. Кроме того, обвал и смыл стен шурфа способствует усилению кольматации дна и замедлению впитывания, то-есть уменьшению скорости.

На рисунке 6 приведены кривые скоростей V_2 , при чем для опыта № 37 показаны три кривые, потому что в течение опыта, примерно через каждые два часа, дно очищалось. Как видно из кривых, кольматация значительно снижает пропускную способность грунта; через два часа снижение достигает 35%—с 0,045 до 0,03 мм/сек.

Из четырех полученных разными способами кривых (рисунок 3) трудно установить наилучше характеризующую водоотдачу грунта: можно лишь указать, что 1-я кривая, вследствие искусственности подсчетов, положенных в ее основу, дает преуменьшенную характеристику водоотдачи, а 2-я кривая наоборот значительно ее преувеличивает.

Будем считать среднюю из 4 кривых к концу 12-часового опыта за коэффициент фильтрации лесса средней проницаемости, то-есть таблицы № 5, при чем вес значений 2-й кривой примем равным 0,6, остальных—за единицу.

При таких условиях получаем абсолютное значение коэффициента фильтрации $K = 0,007$ мм/сек $= 0,6$ м в сутки; наибольшее $K = 0,86$ м в сутки и наименьшее 0,33 м в сутки. Если принять эти величины за более или менее достоверные, то пользуясь таблицей 5, можно найти среднее абсолютное значение коэффициентов фильтрации для 2—4—6—12-часовых опытов и сопоставить их со средними значениями скоростей V_1 и V_2 из тех же опытов. В таблице 9 приведены отношения V_1 и V_2 к K .

Таблица 9

Т час.	2	4	6	12
$V_1 : K$	2,26	1,15	1,05	0,65
$V_2 : K$	4,5	3,2	3,4	2,6

Следовательно, оказывается, 6 часовые опыты дают скорость V_1 , близкую к найденному значению K ; для того, чтобы получить значение K , значения скорости V_2 должны быть уменьшены в 4,5—2,6 раза. Таким образом, для джунского лесса оказывается, что при переходе от скорости просачивания через смоченную поверхность шурфа, полученную в конце 6 и 12-часового опыта,—к коэффициенту фильтрации, необходимо умножить скорость соответственно на 0,3 и на 0,4.

Интересны соотношения между объемом в литрах влитой для опыта в шурф воды и длительностью опыта, указанные для малых шурфов в таблице 10.

Таблица 10

Длительность		Т час.	2	4	6	12
Глубина во- ды в шурфе	Малые шурфы	5 см	91	152	212	354
		10 см	130	—	—	—
		25 см	202	—	—	686
	Большие шурфы	5 см	310	385	409	—

Если обозначить количество влитой воды через W , а высоту воды в шурфе через H , то они для малых шурфов примерно удовлетворяют следующим соотношениям, при постоянной длительности опыта:

$$\frac{W_1}{W_2} = \sqrt{\frac{H_1}{H_2}}$$

При постоянной высоте воды в шурфе, но при переменной длительности опыта, соотношения объемов воды будут следовать зависимости

$$\frac{W_1}{W_2} = \left(\frac{T_1}{T_2} \right)^{3/4}$$

Соотношение между объемом воды, поглощенной малыми и большими шурфами при высоте воды в них в 5 см, можно принять так:

$$\frac{V_n}{W_n} = \frac{\Omega}{\omega} \sqrt[4]{\frac{T_1}{T_n}}$$

где V_n и W_n — объемы воды, поглощенной большим и малым шурфом за время T_n ; Ω и ω — смоченные поверхности большого и малого шурфов равные 120 и 35 кв. дм; T_1 — начальный промежуток времени в часах.

Объединяя эту зависимость с предыдущей, получаем:

$$V_n = \frac{W_1 \cdot \Omega}{\omega} \sqrt[4]{\frac{T_n}{T_1}}$$

Зная из опыта W_1 , T_1 и ω , по этой формуле можно найти V_n для T_n и Ω . К сожалению, малочисленность опытных данных не дает возможности определить пределы применения полученных зависимостей.

Эта же причина позволяет сравнивать средний опытный коэффициент фильтрации с теоретическим коэффициентом только качественно.

Для механического состава грунта, приведенного в таблице 11:

Таблица 11

d mm	0,25—0,05	0,05—0,01	0,01—0	p=0,47
g %	7	29	64	
∂ ср	0,15	0,03	0,005	
g : ∂	0,5	9,7	128	$\Sigma \frac{g}{\partial} = 138,2$

Формула коэффициента фильтрации может быть представлена в таком виде:

$$K = \frac{23 \cdot p \cdot 10^4}{\Theta^2} \text{ метров в сутки}$$

для температуры 18° С, где $\Theta = 6 (1-p) \Sigma \frac{g}{\partial}$, то-есть в 16 раз больше, чем по формуле Крюгера для мелкозернистых грунтов, искусственно уложенных.

Резюме

Способ наливных шурфов, применяемый для получения коэффициента фильтрации грунтов, к настоящему времени еще недостаточно проработан.

До накопления и обработки соответствующего материала полевых исследований можно полагать, что скорость проникания воды в грунт через смоченную поверхность шурфа к концу 6—12-часовых опытов примерно в 3,3 и 2,5 раза больше коэффициента фильтрации.

Опыты 2-часовой длительности не дают устойчивых характеристик коэффициента фильтрации из-за ряда случайных причин.

Для коэффициента фильтрации, находимого первым способом, необходимо руководствоваться таблицей 9.

ПРОСАДКА ЛЕССА

Часть лессовых грунтов при замочке их водой проседает; так, если в просадочном грунте проложить арык (рисунок 1), то через некоторое время после пуска воды по нему, грунт вдоль арыка начинает осаживаться, образуя ряд трещин и террас.

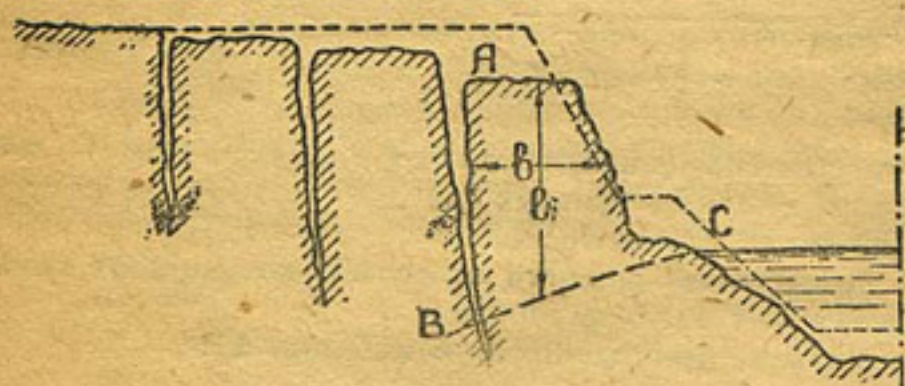


Рис. 1

Вода, просачиваясь из арыка в грунт, распространяется по кривой СВ; при этом в насыщенном водой грунте значительно ослабевает его связность: часть солей выщелачивается, увеличивается фильтрация, а в результате массив грунта, ограниченный этой кривой, вертикалью АВ и поверхностью грунта, не имея надежной опоры, оказывается как бы висющим. По мере распространения воды вглубь

грунта расстояние СВ может так увеличиться, что скалывающие (срезающие) напряжения в плоскости АВ превзойдут предельные и массив АВС опустится вниз, вытесняя при этом часть нагнанного водою грунта. За первой трещиной АВ образуются следующие и так дальше; чем больше грунт вблизи арыка пропитан водою, тем больше проседает первая терраса. Не останавливаясь больше на видах просадок (они описаны в газетах и техжурналах), приведу их цифровую характеристику, пользуясь рукописным техническим отчетом по исследованиям джунских земель, составленным гидрогеологом М. М. Решеткиным.

Механический состав джунского лесса, являющегося в общем тяжелыми пылеватыми глинами, виден из анализов образцов из 1 и 4 шурфов, заложенных на целине близ 140 пикета магистрального канала.

Таблица 1

Механический состав лесса

Слой грунта в м от поверхности	Размеры фракции в мм			Порозность в процентах
	0,25—0,05	0,05—0,0	0,01—0	
0—1	61	261	67,7	46,4
1—2	54	247	69,9	46,5
2—3	89	241	67,0	46,8
3—4	13,7	31,4	54,9	47,6
4—5	52	3,3	62,4	48,6
Среднее	7,9	27,7	64,4	47,2

0,1% d > 0,25 мм.

Следующие две скважины (шурфы до 4 м) были заложены у 123 пикета магистрали: № 2—на дне арыка Джун, свыше 3 лет находящегося в эксплуатации, и № 3 на целине за зоной просадок вблизи от предыдущей скважины. Механический состав грунтов шурфов скважин № 2 и № 3 приведен в таблице 2.

Таблица 2

Слой грунта в м от поверхности земли	Ш у р ф № 2			Ш у р ф № 3			Примечание
	0,25—0,05	0,05—0,01	0,01—0	0,25—0,05	0,05—0,01	0,01—0	
0—1	6,9	32,2	60,9	5,0	25,2	69,9	По данным анализов проб — через 1 м
1—3	7,7	33,2	59,1	6,1	32,6	61,3	
3—5	6,1	35,6	59,3	5,0	35,6	59,4	
5—7	12,6	31,3	56,1	5,9	32,9	61,2	
7—9	4,6	35,1	60,3	5,6	39,5	54,9	
9—15	4,1	31,7	64,9	5,0	31,0	64,0	
Среднее	6,2	32,8	61,0	5,3	32,8	61,9	

Одновременно с механическим составом грунта определялась и его порозность: до 4 м способами парафинирования и по способу Копецкого, ниже 4 м — только по Копецкому.

Зная порозность грунта до и после смачивания его водой, то есть P_2 и P_3 , можно найти его уплотнение S по сравнению с первоначальным объемом:

$$S = \frac{1-P_2}{1-P_3} - 1 = \frac{P_3-P_2}{1-P_3} \dots \dots \dots (1)$$

Последняя формула предполагает только просадку грунта по вертикали, считая, что в двух других измерениях она отсутствует; в дальнейшем будет введена поправка и на боковую просадку. Подсчеты просадок по формуле (1) приведены в таблице 3.

Таблица 3

Слой грунта в м от поверхности земли	Порозность в процентах		Вертикальная осадка в процентах	Примечание
	Шурф 2	Шурф 3		
0—2	40,6	47,4	12,9	Порозность подсчитана по определениям ее, сделанным через каждый метр
2—4	41,8	50,5	17,6	
4—6	40,4	47,1	12,7	
6—8	41,6	44,2	4,7	
8—13	38,3	39,5	2,0	

Наблюдения над порозностью имеются до глубины 15 м; однако, недостаточная уверенность в точности определения порозности глубоких слоев¹ заставляет ограничить подсчеты до глубины скважин в 13 м. Вертикальная просадка от 8 до 15 м, по подсчетам бывших в нашем распоряжении порозностей грунта, колеблется от 3 до 1,5%.

Средняя просадка для 13-метрового слоя грунта примерно равна 8,1%.

Остановимся теперь на боковой усадке грунта. Проседая вдоль арыка, грунт образует ряд террас, отделенных друг от друга продольными вертикальными трещинами.

¹ Из-за трудности взятия проб грунта с 15-метровой глубиной при большой его плотности; так, например, на глубине 15 м $P_1=0,32$.

По материалам упомянутого отчета можно считать ширину каждой террасы в среднем около 4 м; ширину трещины по верху около 0,3; книзу ширина трещины убывает, достигая нуля на глубине ∞ 4 м.

Так как замеренная наибольшая глубина трещин (4 м) не указывает действительной глубины их и вследствие непрямолинейности их и неправильностей клиновой формы трещин (так как палкой трудно дойти до ее дна), то будем считать:

- 1) наибольшую глубину трещины около 5—6 м;
- 2) ширину ее, меняющуюся линейно от нуля на дне до 25—30 см наверху.

Тогда отношение ширины трещины к ширине террасы укажет относительную усадку грунта в поперечном (к арыку) направлении,¹ что и приведено в таблице 4.

Таблица 4

Расстояние от поверхности земли в м	Поперечная усадка S_2 %	Слой грунта в м от поверхности земли	Поперечная усадка %
0	7,0	—	—
1	5,7	0—2	5,7
2	4,5	—	—
3	3,2	2—4	3,2
4	1,9	—	—
5	0,6	4—6	0,7
5,5	0,6	—	—

Таким образом, действительная просадка грунта будет равна

$$S_0 = S - S_2 \dots \dots \dots (2)$$

Величины S_0 приведены в таблице 5.

Таблица 5

Слой грунта в м от поверхности земли	0—2	2—4	4—6	6—8	8—13	0—13
Просадка в процентах	7,2	24,4	12,0	4,7	2,0	ср. 6,7

Наличие продольных трещин указывает, что грунт имеет не только вертикальную усадку, но и горизонтальную; учет последней несколько снижает величину вертикальной просадки грунта.

Однако, наблюдаемая ширина трещин между террасами не всегда соответствует той, которая должна бы быть от горизонтальной усадки грунта; трещина может быть увеличена обвалами ее стенок, небольшим наклоном столбов грунта к арыку и т. д.

Более правильное представление об относительной просадке грунта будет характеризоваться средними величинами между вертикальными просадками, подсчитанными без учета и с учетом горизонтальной (боковой) усадки грунта. Ниже в таблице приведены величины в процентах относительных просадок лесса, каждого метра грунта, взятого на разных расстояниях от поверхности.

¹ Если грунт напичан водой до поверхности.

Вертикальная просадка в процентах.

Слой грунта в м от поверх- ности земли	Порозность в процентах		Без учета	С учетом	Средняя
	Шурф 2	Шурф 3	Боковой усадки		
0—2	40,6	47,4	12,9	7,2	10,1
2—4	41,8	50,5	17,6	14,4	16,0
4—6	40,4	47,1	12,7	12,0	12,4
6—8	41,6	44,2	4,7	4,7	4,7
8—13	38,3	39,5	2,0	2,0	2,0

В среднем для 13-метрового слоя грунта просадка получилась равной 7,4 см на каждый метр.

Деформация грунта на глубине 13 м не заканчивается; наблюдения за порозностью грунтов показали, что на глубине 15 м просадка, хотя и небольшая, около 1—1,5%, еще наблюдается. Позвидимо, не делая грубой ошибки, можно предположить, что просадка прекращается на глубине около 17 м от поверхности; другими словами, слой грунта, удаленный от поверхности на 17 м, не деформируется.

Таким образом, абсолютная просадка верхнего слоя грунта равна:

$$P = 7,4 \times 13 + (17 - 13) \times 1,0 = 101 \text{ см.}$$

В действительности на Новом Джуне просадки наблюдались в 75—150 см, как средние, и до 2,0 как исключительные.

По данным предыдущей таблицы построены графики относительных осадок каждого слоя грунта (в сантиметрах на каждый метр) и абсолютных, показывающих полную просадку рассматриваемого слоя грунта. График показывает результирующую просадку, происшедшую как от механического уплотнения грунта, так и от вымывания солей из него 19 (см. табл. 7 на стр. 20). Химический состав грунтов скважины 2 и 3 приведен в таблице 7.

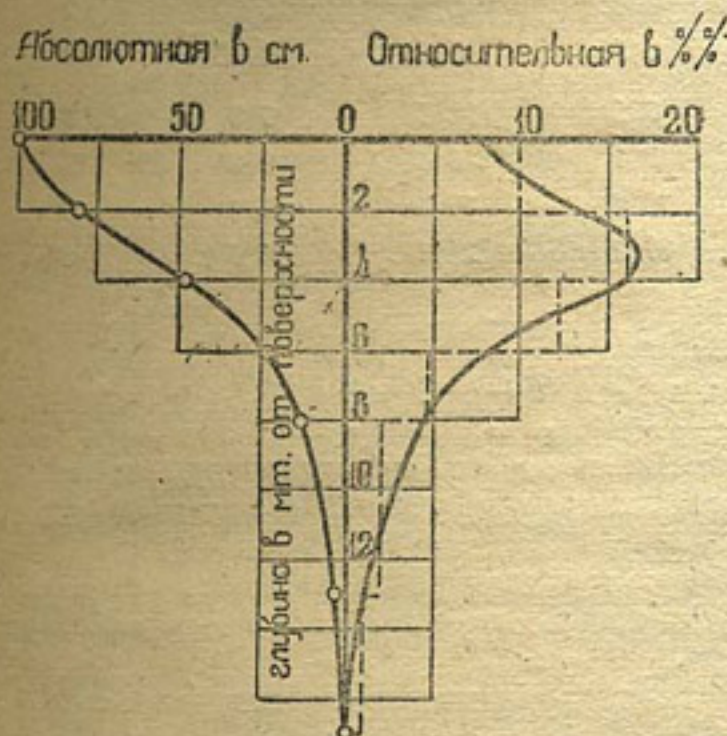


Рис. 2

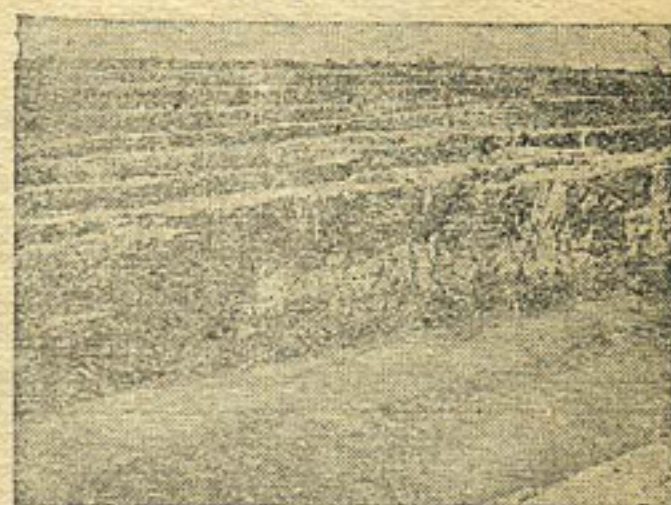


Рис. 3. Просадочные террасы в 2-метровой выемке Новый Джун

1. Влияние химического состава грунта

Большинство солей не оказало заметного влияния на просадку грунта — вымыв одних (СаО) почти компенсировался вымывом других (MgO), вероятно, из арычной воды, состав которой по Новому Джуну в миллиграммах был таков:

Плотный остаток—240
Хлор (Cl) — 9

Серная кислота (SO₄)—51
Угольная кислота (HCO₃+CO₂)—114

Способ анализа	С о л и	Г л у б и н ы в ы т я ж и я п р о б				Шурфы
		0—5 м	5—10	10—15	Средняя	
Сплав	SiO ₂	54,8	55,4	53,4	54,2	2
		52,4	55,0	55,8	54,4	3
	Al ₂ O ₃	16,6	17,1	15,7	16,6	2
		15,8	15,4	15,2	15,5	3
	Fe ₂ O ₃	4,5	3,2	2,7	3,5	2
		3,2	3,7	4,0	3,6	3
	CaO	13,1	12,5	13,2	12,9	2
		15,3	13,4	14,1	14,2	3
	MgO	3,6	3,9	3,4	3,6	2
		0,5	3,2	3,6	2,4	3
	SO ₄	2,8	3,0	5,2	3,7	2
		6,8	3,6	3,2	4,6	3
Соляно-кислая вытяжка	SO ₄	0,2	0,7	2,1	1,0	2
		3,1	1,2	0,6	1,6	3
Водная 3-минутная вытяжка в отноше- нии 1:5	Плотный остаток	0,25	0,78	1,13	0,72	2
		1,30	1,09	0,63	1,01	3
	Cl	0,003	0,003	0,040	0,015	2
		0,008	0,009	0,015	0,014	3
	HCO ₃ +CO ₂	0,16	0,14	0,10	0,13	2
		0,10	0,12	0,14	0,12	3
	SO ₄	0,12	0,41	0,59	0,37	2
		0,67	0,56	0,32	0,52	3
	CaSO ₄ +2H ₂ O	6,0	6,5	11,3	7,8	2
		14,5	8,1	6,8	9,8	3
	CaCO ₃	19,9	18,4	17,0	17,4	2
		18,8	19,2	21,1	19,7	3

Взвешенные наносы при расходе воды около 0,5 м³/сек.

$$d = 0,25 - 0,05 \dots\dots\dots 0,36 \text{ кг на куб. м}$$

$$d = 0,05 - 0 \dots\dots\dots 5,65 \text{ " " " "}$$

Как видно из таблицы 7, существенно влияют на просадку грунтов гипс и известь. До глубины 10 м гипс заметно вымывается, усиленно отлагаясь потом на 10—15-метровой глубине.

Это указывает, что на такой глубине просачивающаяся из арыка вода уже далеко не заполняет всех пор грунта, растекаясь по сторонам отдельными струйками, отчего гипс и выпадает из раствора.

Количество извести, наоборот, в верхних слоях увеличивается (вероятно из арычных вод); на глубине около 5 м остается неизменным и на 10—15 м известь вымывается.

Изменение в количестве (по объему) гипса и извести приведено в таблице 8.

Таблица 8

Слой грунта в м от поверхности земли	0—5	5—10	10—15
Изменение содержания гипса и извести в % от объема	— 6,6	— 2,3	0

График просадок указывает результирующее действие как уплотнения грунта, так и передвижения солей; следовательно, если в итоге получаем, что грунт уплотнился на четвертом метре на 16 % и при этом из него было вымыто 6,6% солей, то в действительности уплотнение грунта достигало $16 + 6,6 = 22,6\%$, так как поры от вымытых солей были потом заполнены грунтом.

График просадок показывает удельные значения просадок, происходящих от механического уплотнения грунта (главным образом от ослабления связности и от взвешенного состояния при промочке) и от вымыва солей. Если принять осадку от механического уплотнения за единицу, то уплотнение от вымыва солей будет составлять следующие доли от первого:

Таблица 9

Слой грунта в метрах от поверхности земли	Просадка от механического уплотнения	Просадка от вымыва солей	Отношение просадок
0—2	10,1	6,6	1:0,65
2—4	16,0	6,6	1:0,41
4—6	12,4	4,5	1:0,37
6—8	4,7	2,3	1:0,49
8—10	2,0	2,3	1:1,15
10—12	2,0	0	1:0
12—13	2,0	0	1:0
Среднее	—	—	1:0,46

Таким образом, просадка грунта от механического уплотнения вдвое больше просадки от вымыва солей.

2. Краткие выводы по изучению просадок лесса

1. Джунские грунты под влиянием напитывающей их воды проседают неравномерно.

2. Наибольшая просадка (то-есть уплотнение грунта) наблюдается на глубине 3—5 м.

3. Просадка от механического уплотнения грунта примерно вдвое больше просадки от вымыва солей.

4. При грунтах, проседающих под действием воды, следует воздерживаться от возведения на них капитальных сооружений без длительной замочки грунта; на первых порах следует строить временное сооружение на предварительно замоченном грунте, поднимая отметки сооружений с учетом возможных просадок.

5. Для ускорения процесса просадки грунта замачивать его следует по увеличенной, против проектной, поверхности котлована с устройством в нем скважин через каждые 1—2 м или шурфов через 3—4 м глубиной 3,5—5 м. Для ускорения процесса просадки полезно окружать котлован под сооружение кольцом со скважинами и шурфами и одновременно замачивать грунт и в котловане, и в кольце.

6. Поверхностная и глубинная замочка грунта через котлован с шурфами и скважинами, производимая с перерывами (15—25 дней котлован под водой; 5—10 дней без воды, при чем в это время дно котлована очищается от колымающей его почвы), позволит сократить длительность просадки (исчисляемую до 10—15 лет до 1—2 лет. Так как наибольшая просадка грунта при напитывании его водой, как указывает инж. С. А. Петров, большею частью происходит в первые месяцы, то необходимо замочку котлованов производить в течение 2—5 месяцев, в зависимости от размера сооружений и величины нагрузки от них на основания.

Незаконченная еще за это время просадка грунта будет мало разниться с естественной.

Во всяком случае при производстве замочек на проседающих грунтах следует признать обязательным точный учет самого процесса проседания грунта, а равно и дальнейших осадок сооружений—это позволит уточнить необходимые сведения о длительности и приемах замочек.

Нередко рекомендуемый прием предохранения от просадки лесса под сооружениями, заключающийся в устройстве под ними водонепроницаемого слоя, необходимо отбросить, во-первых, потому, что водоупорных материалов практически почти нет, а во вторых, в крупных сооружениях неизбежны швы (конструктивные, температурные и т. д.), которые всегда являются слабым местом против фильтрации вод.

Так или иначе, но вода проникнет под сооружение и вызовет просадку лесса; при наличии „водоупорного“ пласта, только замедляющего фильтрацию, но не ликвидирующего ее, процесс просадки растянется на неопределенно долгое время, для таких же протяженных сооружений, как каналы, серьезно говорить о „водоупорном“ слое нельзя. При замочке каналов, проектная отметка дна которых не добирается на величину ожидаемой просадки, также полезно устраивать вдоль трассы скважины или шурфы.

Увеличение поверхности замочки по сравнению с площадью котлована вызывается не только стремлением ускорить процесс просадки, но и желанием получить большие массивы замоченного и осевшего грунта.

Распространение просадки за контуры котлована не велико; по словам инж. С. А. Петрова, при расширении арыка Старого Джуна, у акведука п. 100 работавшего несколько десятилетий, просадки расширенной его части местами несколько не уступают просадкам на Новом Джуне.

В заключение отметим, что подробное изучение просадок лесса позволит более точно характеризовать его механические свойства.

Так, если обратиться к первому рисунку, то, пренебрегая реакцией мокрого грунта по линии ВС, то-есть рассматривая часть его ABC как консоль перед моментом осадки, будем иметь следующие напряжения на разрыв и срез:

$$\sigma = 3\delta \frac{b}{l}$$

$$\tau = b\delta$$

где σ —вес единицы объема;

b —средняя ширина первой террасы;

l —средняя высота ее.

Учет реакции основания ВС уменьшит величины напряжений σ и τ .

ДЕФОРМАЦИИ ЛЕССОВИДНЫХ ГРУНТОВ НА ИРРИГАЦИОННЫХ СИСТЕМАХ

На протяжении последних шести лет ирригационной практике пришлось столкнуться с деформациями от воздействия воды на лессовидные грунты на вночь сооружаемых каналах. В основном эти деформации сводятся или к оседанию каналов или к образованию в дне и откосах их поглощающих воду отверстий, по которым происходит быстрый подземный размыв. Несколько лет назад эти явления были приняты строителями, как нечто необычное, зависящее от каких-то исключительных свойств грунтов той или иной местности. Теперь же установлено, что это вполне обычное явление как для Средней Азии, так и для Кавказа, и объясняется общими свойствами лессовидных грунтов, слагающих здесь громадные территории.

Оседание грунтов может привести к потере командования каналами, с одной стороны, и к разрушению сооружений и частым прорывам, с другой. Возникновение подземных водомоин — прямой путь к прорывам каналов. Борьба с этими явлениями крайне затруднительна, тем более, что в случаях образования подземных водомоин, обычные меры недействительны. Тем самым эксплуатация новых систем в первые годы существования обременяется колоссальными накладными расходами, а полное прекращение подачи воды на поля нередко наносит непоправимый ущерб народному хозяйству.

Больше того, в практике населения Средней Азии для ряда мест известны случаи, когда сооруженный канал нельзя было эксплуатировать из-за рассматриваемых явлений. Та же судьба постигла и один из каналов, сооруженных водохозяйственной организацией в последние годы в бассейне Сурхан-дарьи (Узбекистан).

Как это видно из изложенного, вопрос о деформациях лессовидных грунтов под воздействием ирригационных вод, имеет большое практическое значение. Отсюда вытекает необходимость, во-первых, в процессе изысканий установить способность грунтов сохранять свою устойчивость или давать деформации, во-вторых, при проектировании учесть меры, ведущие к созданию устойчивости каналов и сооружений, и, в-третьих, провести в жизнь эти меры при строительстве и в период эксплуатации вновь сооруженной системы.

Прежде чем перейти к дальнейшему изложению, необходимо сделать оговорку. Вопрос об оседании лессовидных грунтов и о подземном их размыве не освещен до сего времени в достаточной мере; гидротехнический опыт в этой области никем пока не подытожен. Эти обстоятельства не могли не отразиться и на предлагаемом ниже материале и придают ему предварительный характер.

1. Характеристика лессовидных грунтов

Под лессовидными грунтами следует понимать желтовато-серые или серы глинистые или суглинистые, различные по своему происхождению, континентальные отложения, обладающие значительной, резко заметной на глаз пористостью. Грунты эти отличаются большой связностью и в сухом состоянии весьма устойчивы в крутых или вертикальных обрывах.

Лессовидные породы состоят почти исключительно из глинистых (диаметром менее 0,01 мм) и иловатых (0,05 — 0,01 мм) частиц и обычно не содержат части

крупнее 0,25 мм в диаметре. Более подробная характеристика механического состава дается таблицей 1. Как это видно из приведенных данных, наблюдаются заметные колебания в процентном соотношении фракций не только для различных местностей, но в некоторых случаях и для грунтов одного и того же района.

В целом же, если придерживаться обычных классификаций, по своему механическому составу лессовидные грунты должны быть отнесены к суглинкам и глинам, а частью и к тяжелым глинам. Однако по внешнему виду рассматриваемые грунты резко отличаются от пород, относящихся к названным категориям. Одним из наиболее ярких внешних отличий является пористость лессовидных пород.

Таблица 1

Р а й о н ы	Механический состав в % по весу (диаметр частиц в мм)				Удельный вес	Объем- ный вес	Пористость в %	Плотный остаток вод- ной вытяжки в мг на 100 г породы
	>0,25	0,25—0,05	0,05—0,01	<0,01				
1. Малокабардин- ский канал (по Гво- мезу	0—0,3	1,3—3,1	24,5—35,6	62,1—73,9	2,47—2,70	1,48—1,64	34—43(?)	145—1.548
2. Терские каналы (по Полюнову) . .	0	8,6—16,6	28,7—37,9	47,2—60,2	—	—	46—52	75—3.500
3. Поселок Гроз- ненских промыслов по Михееву	0,7	— 10,0	31,4	57,9	2,76	1,36	51	—
4. Ташкент, Бурд- жирск. перепад (по Толстухину)	0	4,0—15,4	27,8—41,4	51,4—64,6	—	—	—	48— 132
5. Ташкент, Кады- рья—верхний лесс	0—0,7	0,6—3,6	19,9—40,5	56,8—79,2	—	—	38—48	32— 65
6. Ташкент, Кады- рья—нижний лесс	0—4,7	17,0—41,8	25,2—46,5	26,7—50,0	—	—	35—43	—
7. Ташкент, канал Новый Джун	0—0,2	2,2—10,2	25,2—45,7	54,5—70,1	2,54—2,73	1,19—1,41	45—50	54—1.643
8. Бухарский оазис	0—0,4	12,8—41,0	15,5—33,1	29,3—71,4	—	—	34—41	—
9. Суухан-дарья, канал Хасаи-хан . .	0	22,0—25,6	10,8—15,0	61,3—63,6	—	—	48—49	39— 487
10. Вахш, Ак-газа .	0—0,6	2,7—16,4	41,5—55,3	38,0—52,4	—	—	—	121—1.081

Кроме весьма высокой капиллярной пористости, эти грунты обладают значи-
тельной пористостью некапиллярной. Последняя складывается многочисленными ка-
нальцами и пустотами—характерными признаками лессовидных пород. Канальцы,
являющиеся полостями, оставшимися на местах корневых систем, или ходами
различных животных, имеют диаметр, колеблющийся в пределах 1—2 мм. Лессо-
видным грунтам, помимо пористости этого рода, свойственны нередко более
крупные ходы землероев, корневинны и трещины, проникающие подчас на значи-
тельную от поверхности земли глубину.

Предпоследняя графа таблицы 1 дает количественную оценку пористости
лессовидных грунтов. Характерными величинами являются 45—50%. В некоторых
случаях пористость ниже 45% и даже падает до 34—35%; однако, эти цифры от-
носятся лишь к слоям, залегающим на некоторой глубине от поверхности земли,
или к породам относительно древним, к которым относится, например, нижний
лесс района Кадырья, или к грунтам, находившимся под длительным воздействием
роосительных вод.

Рассматриваемые величины дают суммарную характеристику пористости—
капиллярной и некапиллярной; для раздельной характеристики мы не располагаем
сведениями. В настоящем случае речь идет о величинах пористости грунтов в их
естественной ненарушенной структуре.

Для характеристики лессовидных грунтов по их минеральному составу ограничимся рассмотрением лесса Ташкента. Данные микроскопического изучения состава пород скважины, заданной на глубину 20 м в районе Бурджарского перепада, указывают на чрезвычайное однообразие всей толщи. Порода представляет агрегат мелких зерен кварца, карбонатов, глинистых минералов и слюды с некоторой примесью других минералов. Нижние горизонты обогащены гипсом.

Химические анализы указывают на существенность участия кремнезема, глинозема и углекислого кальция в сложении лессовидных грунтов. Процентное содержание их дано в таблице 2. Весьма важным свойством рассматриваемых грунтов является большое содержание легко растворимых в воде солей и гипса (таблица 1, последняя графа).

Таблица 2

№№	Р а й о н ы	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO
		В п р о ц е н т а х		
1	Новый Джун	52,4—56,8	15,2—17,1	12,5—15,3
2	Кадырья, верхний лесс	49,3—53,7	13,6—18,0 ²	11,7—16,3
3	Боз-су, ГЭС (по Каменеву)	50,2—51,4	16,4—18,0	14,3—15,2
4	Голодная степь, северо-западная часть по Каменеву ³)	46,2—56,3	9,6—12,0	10,2—12,5

Высокая пористость лессовидных пород и самый ее характер обуславливают гидрологические свойства, выделяющие эти породы из обычных суглинистых глинистых образований. Это—значительная влагоемкость, скорость и высота капиллярного подъема и легкая водопроницаемость. Гидрологическими особенностями объясняется та медленность, с которой продвигается вода при первом пропуске по вновь сооруженному в лессовидных грунтах каналу. В литературе приводится такой пример: скорость движения воды в канале Сулу-чебутлы на Северном Кавказе при расходе, равном 10 куб. м, в указанных условиях составляла 80 м в сутки (3, страница 2, сноска). Для хозяйственного арыка, сооруженного в 1931 г. в районе Вахшского строительства (Таджикистан), при длине арыка около 6 км при приблизительном расходе в 30 л в секунду потребовалось три месяца для пропуска воды. Средняя скорость продвижения воды составляла здесь (грубо) 70 м в сутки. Рассматривая подобные примеры, не следует, однако, забывать о том, что в таких случаях одной из весьма существенных причин медленности движения воды являются чрезвычайно частые прорывы каналов.

Водные свойства грунтов могут быть охарактеризованы такими величинами:

гигроскопическая влажность	2,2—3,8 % по весу;
капиллярная влажность	около 16 % "
полная влагоемкость	28,7—40,4 % "
скорость капиллярного поднятия:	
средняя для первого часа	10—20 см в час;
" " двух часов	7—12 "
" " двенадцати часов	3—4 "
высота капиллярного поднятия	3—4 м.

[Фильтрационные способности лессовидных грунтов могут быть охарактеризованы величинами, вычисленными на основании опытных работ в районе Нового Джун, в Зеравшанской котловине и в Голодной степи. В первом случае опыта ились в разных слоях грунта, от 0,2 до 2,5 м от поверхности. Установлено, что пестрота водоотдачи велика и коэффициент фильтрации равен 0,6 м в сутки.

¹ Толстихин Н. И. К вопросу о минералогическом составе ташкентского лесса. Тр. САГ серия V I-а, вып. 7, 1928, стр. 1—5.

² Сумма R₂O₃.

³ Каменев Н. И. Исследование свойств строительных кирпичей Ташкентского района. „Вестник Иригации“, 1926, № 10, стр. 54—56.

с отклонениями от 0,34 до 0,86 м в сутки. Эти величины получены для установившегося движения при двенадцатичасовых опытах; для более кратких опытов, когда вода не заполняет всех пор грунта и движется отдельными струйками преимущественно по крупным и прямолинейным порам, или для начального периода длительных опытов водопроницаемость лесса увеличивается против указанных цифр в 2—4 раза. Таким образом, просачивание в целинном, не налитом лессе характерно своей интенсивностью. По сравнению с формулой Крюгера, коэффициент фильтрации целинного лесса увеличивается примерно до 18 раз.

Кольматация значительно снижает водопроницаемость лесса; так, четырехчасовая длительность движения уменьшает водопроводимость до 1,5 раза.

Коэффициент фильтрации, вычисленный по данным П. И. Бутова¹ для лесса Зеравшанской котловины (между Катта-курганом и Бухарой), составляет 0,3—0,7 м в сутки.

Обработка данных откачек, выполненных В. С. Малыгиным в Золотой орде (Голодная степь), определяет те же величины для водоносных суглинков от 0,86 до 1,73 м в сутки (Добавление Е. А. Замарина).

Лессовидные грунты обладают весьма высокой связностью, объясняющей их сопротивление раздавливанию, устойчивость в крутых откосах и вертикальных обрывах. Это касается естественных обнажений и искусственных выемок. Высокая степень связности характерна для сухих лессовидных грунтов; при увлажнении, устойчивость их быстро убывает, и при насыщении водою в сущности исчезает. В этом легко убедиться, погрузив образец лессовидного грунта в воду.

Некоторые результаты опытов САРГРУ с прибором Лемана, проведенных в Ташкенте, указывают на закономерную зависимость величины разрушающей нагрузки от степени влажности грунта. Грунты сухие выдерживают давление в пределах от 4 до 12 кг/см. При влажности, лишь немного превышающей 20%, те же величины падают ниже 2 кг/см. В силу того, что опыты САРГРУ касались грунтов естественной влажности, по ним нельзя строить кривую зависимости связности лессовидных грунтов от влажности в широких пределах.

2. Типы деформаций

Несмотря на то, что явления деформаций лессовидных грунтов к настоящему времени изучены еще далеко недостаточно, все же можно попытаться классифицировать их. Прежде всего следует различать явления в зависимости от вызывающих их геодинамических факторов. Таковыми могут быть:

- 1) работа текучих вод;
- 2) действие силы тяжести.

Среди первой группы явлений, включающей процессы эрозионные, надо выделить, во-первых, поверхностный размыв, во вторых, размыв, обусловленный проникновением воды в толщу лессовидного грунта. Действие силы тяжести, проявляющееся в результате подготовительной работы, выполненной иными геодинамическими агентами (выветривание, подземные воды и т. д.), вызывает разнообразные по внешним проявлениям процессы, к которым относятся оползни, обвалы и провалы, а также и явления оседания грунтов. Деформации, происходящие за счет поверхностного размыва, оползневые явления и обвалы не рассматриваются, так как эти категории явлений должны служить темами особого обсуждения. Следует, впрочем, отметить, что в силу условий рельефа пространств, сложенных лессовидными грунтами, ирригационной практике почти не приходится сталкиваться с оползневыми явлениями. Для Средней Азии можно указать чуть ли не единственный случай, имевший место при сооружении в 1927 г. в Ташкенте Бурджарского перепада. Немногочисленные примеры оползания лессовидных грунтов в естественных условиях, при чем во всех этих случаях масштаб явлений невелик, что объясняется как рельефом, так и способностью лессовидных грунтов сохранять устойчивость в крутых откосах, иногда даже при основании откоса, сложенном из водоносных слоев.

¹ Бутов П. И. О проницаемости для воды лессовидных суглинков в Средней Азии. „Вестник Иригации“. 1929. № 3, стр. 77—87.

Не рассматриваются и суффозионные процессы,¹ роль которых в формировании рельефа лессовых пространств может быть крайне интересной темой для исследований. В ирригационной практике неизвестны деформации, которые можно объяснить с достаточной достоверностью этими процессами. Предположительно можно думать, что суффозия приводит к так называемым цилиндрическим просядам, о которых будем говорить дальше.

Ниже внимание сосредоточено на двух категориях явлений—оседание лессовидных грунтов и подземный их размыв.

3. Осадка грунтов на каналах

Осадка лессовидных грунтов, возникающая на вновь сооруженных каналах вслед за пропуском по ним воды, проявляется в опускании дна каналов и зоны, непосредственно к ним прилегающей. Это опускание сопровождается нарушением сплошности оседающего массива, распадающегося по возникающим трещинам на отдельные параллельные каналу террасы. Величина вертикального смещения этих террас уменьшается в стороны от канала, в силу чего поперечный профиль зоны деформаций приобретает ступенчатый облик. Характер этих явлений иллюстрируется рисунками 1—3.

Опускание дна обычно колеблется в пределах до 1 м и лишь в исключительных случаях достигает 2 м. Количество параллельных каналу террас оседания составляет 4—5, но бывает иногда большим. Вертикальное смещение одной ступени по отношению к другой не постоянно и колеблется от 0 (для наиболее удаленных от канала участков) до 0,5 м; но ближайшая к каналу терраса не всегда смещается больше других. В редких случаях смещение отдельных террас достигает 0,75—1 м.

Для террас оседания весьма характерно то, что поверхность их приобретает некоторый уклон или увеличивает уклон, существовавший до деформаций, в сторону канала. Этот признак почти постоянен. Ширина деформирующейся зоны колеблется как для разных районов, так и в пределах одной и той же ирригационной системы. Так, для магистрали Нового Джуна (Ташкентский район) при секундном расходе, равном нескольким кубическим метрам, осадка захватывает полосу, края которой отстоят от бровки канала на 4—20 м или несколько больше. Для Хасан-хана и второго строительного участка Вахшстроя расстояние это при небольших расходах (во втором случае, например, 30 м составляет лишь 4—5 м. В исключительных случаях на некоторых каналах ширина зоны деформаций достигает 30 м. При этом нельзя установить какой-либо очевидной зависимости между расходом или шириной канала и интенсивностью деформаций.

Что касается распределения осадок по длине каналов, то, как это было описано В. С. Гвоздевым для Малокабардинского канала на Сев. Кавказе, деформации нередко располагаются прерывисто (3, рисунок 4 а). Трещины, очерчивающие террасы оседания, на некотором протяжении параллельные каналу, эллиптически смыкаются, пересекая канал. В некоторых местах, как описывает тот же автор, такие эллипсы соединяются друг с другом, образуя более протяженные участки оседания (3, рисунок 4-б). Прерывистое распределение деформаций указывает Г. К. Титов² для каналов Хасан-хан и Хазар-бак в бассейне реки Сурхан в южном Узбекистане. Примерно та же картина намечается для низовой части канала Новый Джун. Протяженность эллипсов оседания достаточно разнообразна, и, если для Малокабардинского канала указывается длина до 100—200 м, а иногда и свыше 1 км, то для Хасан-хана осадка наблюдается на участках длиной всего лишь до 25 м. Однако, прерывистое распространение осадок не является постоянным признаком. Для хозяйственного арыка второго строительного участка Вахшстроя на ряде участков эллипсы оседания, имеющие в длину 15—40 м каждый, перекрывая друг друга, непрерывно прослеживаются на большом протяжении. Непрерывное распространение осадок особенно хорошо выражено на Новом Джу-

¹ Суффозия (подкапывание)—работа подземных вод по растворению и выносу минеральных веществ, слагающих водоносные слои; подробнее смотри Павлов А. О рельефе равнин и его изменениях под влиянием подземных и поверхностных вод. „Землеведение“, 1898, книга 3—4, стр. 91—147.

² Неопубликованные материалы.

не, на участке первых 15 км магистрали, где трещины оседания на всем протяжении развиты равномерно, и лишь в исключительных случаях можно отметить приближение и пересечение их с каналом.

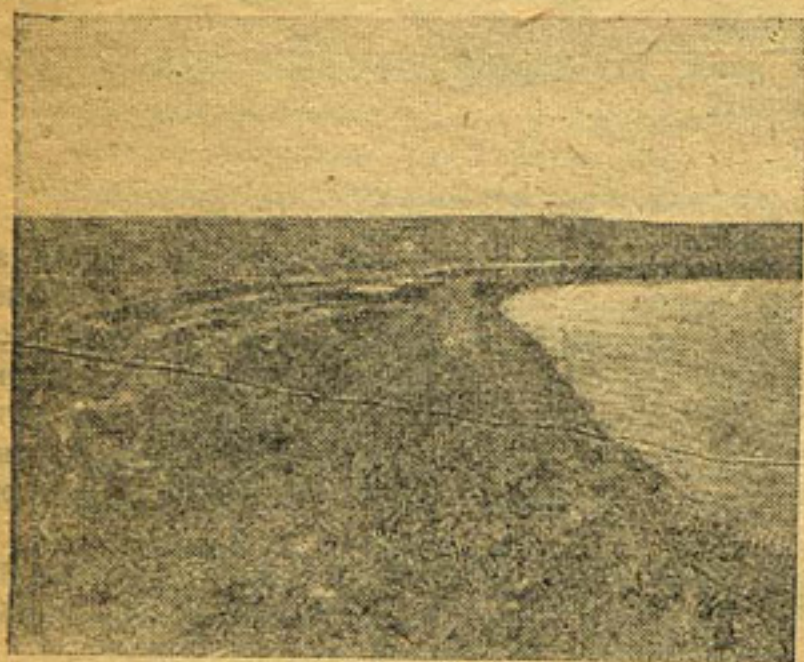


Рис 1. Осадка на канале Новый Джун

дит в склоне, можно отметить, что оседание интенсивней на более высоком берегу. Это явление, повидимому, закономерно.

В практическом отношении чрезвычайно существенно установление длительности явлений оседания, их предельной величины и зависимости от размеров каналов. Характер материалов по изучению осадок, находящихся в нашем распоряжении, не позволяет ответить на эти вопросы. Видимое начало явлений имеет место очень скоро вслед за первым пуском воды по каналу. Признаки оседания грунтов отмечаются через несколько дней, а иногда и через несколько часов после начала промачивания. В течение первого года работы канала осадка происходит наиболее интенсивно, постепенно и, повидимому, прогрессивно затухая на протяжении нескольких лет. Все же есть основания думать, что и по истечении 3—5 лет существования канала оседание грунта продолжается. Весьма важно то обстоятельство, что рассматриваемые явления могут происходить и на старых каналах. Так, на канале Старый Джун, существующем свыше ста лет, грунты осели в результате его некоторого уширения в 1926 г.



Рис. 2. Трещина оседания на канале Старый Джун

Особо интересна зависимость рассматриваемых процессов деформаций от генезиса лессовидных грунтов и от условий рельефа. Для Северного Кавказа проф. Б. Б. П о л ы н о в¹ установил связь осадок с рельефом, при чем отметил, что в местах пониженных, где возможно скопление дождевых и снеговых вод, деформации не наблюдаются. Сведения по другим районам указывают, что соотношение это не постоянно. Так, для первых 15 км магистрали Нового Джун осадка вдоль канала прослеживается непрерывно; канал, проходящий по водоразделу, пересе-

Трещины, отделяющие террасы оседания друг от друга и от целинного массива, имеют обычно зияющий характер, при чем ширина их у поверхности земли весьма непостоянна, сильно колеблясь как на отдельных поперечниках, так и по длине канала. Предельная ширина обычно достигает нескольких дециметров. Изредка в тех местах, где каналы проходя в глубоких выемках, ширина трещин возрастает, не превышая однако 1 м. Книзу трещины сужаются, при чем доступные для промеров глубины составляют несколько метров, а наибольшая из известных величин достигает 7 м. По отношению к каналу террасы оседания расположены более или менее симметрично. Лишь в тех случаях, когда канал прохо-

кает то склоны, то седловины, что не дает, однако, возможности установить соотношение между рельефом и интенсивностью осадок. В концевой части того же канала в условиях сильно пересеченного рельефа, судя по некоторым беглым наблюдениям, на тех участках, где канал прорезает водоразделы, осадка незначительна или отсутствует совсем, усиливаясь в местах пересечения ложбин. В этом отношении интересен канал Хасан-хан, проходящий в склоне предгорной равнины, расчлененном ложбинами. Если в одних случаях осадка располагается здесь в местах, где канал врежется в склон, то в иных, не менее частых случаях, осадки приурочены именно к пересечениям каналом тальвегов этих ложбин.

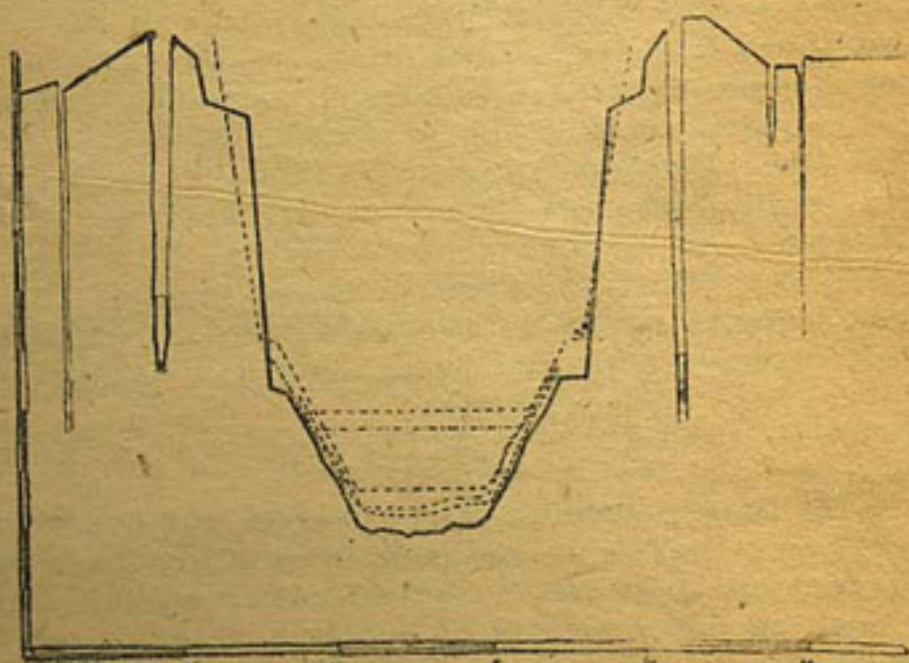


Рис. 3. Поперечный профиль на спрямлении
Старого Джуна (1929 г.)

Нельзя считать окончательно решенным и вопрос генетического характера грунтов, подверженных деформациям. Большинство каналов, где в настоящее время констатированы явления осадок, располагаются в областях развития покатых предгорных равнин, сложенных пролювиальными накоплениями. В таких условиях находятся Новый Джун, Атбашинский канал, Хасан-хан и проектируемый Вахшский канал в Средней Азии, а также, повидимому, и Малокабардинский и другие каналы Северного Кавказа. В этом отношении весьма наглядны явления на Кумкурганской системе в долине реки Сурхан. Один из распределителей этой системы проходит у основания пролювиальной предгорной террасы, прорезая то аллювиальные, то пролювиальные лессовидные суглинки. Первые оказываются вполне устойчивыми, тогда как вторые выявили способность давать осадку. Еще более поучителен пример канала Хазар-бак, расположенного в пределах бассейна той же реки. Осадки здесь распространены прерывисто, при чем канал проходит в условиях спокойного рельефа. Исследования Г. К. Титова установили, что в распределении деформаций здесь имеется строгая закономерность — осадки приурочены к желтоватым суглинкам, тогда как красноватые суглинки, выполняющие древние ложбины, выработанные некогда в поверхности предгорной равнины, слагают устойчивые участки канала.

Все эти факты как будто бы убеждают в том, что деформации при промачивании свойственны отложениям предгорных равнин (пролювию). Однако, известны случаи, противоречащие этому положению. Так, например, в 1931 г. в бассейне Зеравшана, в хвостовой части канала Нарпай, в области развития пролювиальных лессовидных суглинков был сооружен канал, при чем процессов оседания грунтов здесь не отмечено.

Явления оседания лессовидных грунтов впервые привлекли особое внимание в 1926 г. после сооружения начальной части канала Новый Джун под Ташкентом. Оседание грунтов, начавшееся вслед за первым пуском воды, в связи с условиями рельефа вызывало весьма частые прорывы магистрального канала, разрушения сооружений и создало чрезвычайно тяжелые условия эксплуатации системы, нередко ставя под угрозу дальнейшее ее существование. Можно указать, что первый год существования канала на участке в 15 км наблюдалось до 30 прорывов, совершенно прекращавших работу системы.

На протяжении последних лет, в связи с быстрым ростом ирригационного строительства, деформации грунтов, сходные с новоджунскими, приобретают характер явлений довольно обычных при сооружении новых систем. Для Средней

Азии могут быть указаны Атабашинский канал в районе города Фрунзе, канал близ города Туркестана, несколько каналов в приташкентском районе, Пахта-арал в Голодной степи, Катарал и другие каналы в ферганской котловине, каналы Хасан-хан, Хазар-бак и Кум-курган в бассейне р. Сурхан-дарья и ряд небольших каналов в Таджикистане. Судя по литературным сведениям, подобные процессы не менее широко распространены как в Закавказьи, так и в пределах равнин Северного Кавказа. Кроме того, можно указать на вполне аналогичные джунским, деформации каналов в Голодной степи, сооруженных в 1912—1913 гг.¹ Благодаря плоско-равнинному рельефу местности, осадки не вызывали повидимому особенно существенных повреждений каналов, и этим надо объяснить то, что они и не привлекали должного внимания. Неучтенным остается и опыт местного населения в сооружении оросительных каналов. А между тем в ряде мест Средней Азии удалось установить, путем опроса, что некоторые попытки сооружения каналов оканчивались неудачно именно из-за возникавших в лессовидных грунтах деформаций, сходных с рассматриваемыми или близких им.

4. Осадка грунтов на полях

Оседание лессовидных грунтов, под воздействием ирригационных вод, наблюдается не только по каналам, но и в пределах орошаемых полей. В этих случаях количество воды и длительность ее воздействия иного порядка, соответственно с чем преобретают другой облик и явления деформаций. Интенсивное промачивание в пределах полей наблюдается лишь в некоторых точках, что связано с деятельностью роющих животных.

На полях, подвергающихся первым поливам, весьма часто норы землероев превращаются в поглощающие воронки, в которых исчезает иной раз чуть ли не вся вода оросительной канавки. При сколько-нибудь длительном воздействии вод, насыщающих грунт этим путем, вокруг поглощающего отверстия появляются концентрические трещины, и участок, охваченный ими, диаметром от 1 до 5 м оседает, принимая воронкообразный характер. Вертикальное смещение достигает 0,5 м. На месте входа в нору благодаря размыву и осадкам образуется шахта глубиной иногда до 1 м того же диаметра; на дне ее обычно сохраняется поглощающее отверстие. Иногда из-за таких явлений новоселы вынуждены бросать некоторые участки.

Образование воронок оседания, обусловленное проникновением воды в жилища роющих животных и насекомых, иначе говоря, интенсивным промачиванием грунта на большую глубину, происходит и в естественной обстановке в условиях плоско-равнинного рельефа и выпадения обильных и вместе с тем крайне редких ливневых вод. Подобные явления, связанные с проникновением воды в жилища термитов, были описаны в 1916 г. Н. А. Димо (5) для неорошенных частей Голодной степи, в 1931 г. И. Г. Куликовым² для предгорных равнин, намеченных к орошению в долине реки Вахш. Наблюдения в последнем районе убеждают в том, что так называемые степные блюдца являются не чем иным, как сnivelированными воронками оседания. Эти воронки, возникшие в естественных условиях, по внешнему виду вполне сходны с воронками на орошаемых полях. Деформирующийся участок очерчивается концентрическими зияющими трещинами и для вахшских равнин достигает иногда диаметра 12 м. Поперечный профиль воронок при их возникновении ступенчатый, вертикальное смещение в центре воронок доходит до 1 м. Образования этого рода достаточно широко распространены и описаны, например, для равнины Северного Кавказа В. С. Гвоздевым (3) и Волковым (2). По указанию последнего автора, диаметр некоторых воронок достигает 60 м. К явлениям того же порядка, очевидно, относятся и „провальные воронки“, отмеченные Б. И. Михеевым в районе грозненских промыслов (9, стр. 634). Надо полагать что эллиптические осадки на каналах, не имеющие значительной протяженности, также связаны с жилищами землероев. Во всяком случае это очевидно для оросителей Нового Джуна.

¹ Хрусталева Н. И. Механизация земляных работ в орошении. „Вестник Ирригации“ 1929 г., № 4, стр. 61—62.

После того, как на ряде вновь сооруженных каналов выявилась способность лессовидных грунтов к интенсивным осадкам, лиц, причастных к проектированию, стал интересовать вопрос о возможности общего оседания поверхности освоенных земель в результате их орошения. Если исходить из данных ряда полевых опытов и принять во внимание жесткие поливные нормы, обычные для Средней Азии, можно заранее считать, что промачивание грунтов при каждом поливе распространяется до глубины порядка 1 м, благодаря чему возникавшие деформации не могут быть существенны.

Среднеазиатский опытно-исследовательский институт водного хозяйства поставил в 1929 году экспериментальную проверку этого вопроса. На площади нового орошения в хвостовой части Ново-Джунской системы было заложено три опытных участка. Размеры первого из них составляли 0,6 на 0,9 км, второго и третьего—0,5 на 0,5 км. Рядом поперечников участки были разбиты на квадраты, имевшие 100 м в стороне. По поперечникам провели нивелировку, при чем пересечения поперечников закрепили скрытыми точками—колышками, забитыми в дне ямок, глубиной в 30 см, засыпанными грунтом вслед за нивелировкой. После окончания вегетационного периода колышки были вскрыты и по ним была проведена вторичная нивелировка. В пределах всех трех участков заметного на глаз оседания грунтов обнаружено не было за исключением террас оседания вдоль оросителей (шириной от 0,30 до 1,5 м, при вертикальном смещении от 5 до 40 см). Этот опыт, проведенный на площадях, использованных под культуры, разнородные по количествам потребляемой воды (хлопок рядовой, хлопок джоячный, кукуруза, бахчи), показал, что средняя величина оседания поверхности орошаемых полей не превосходит 2 см. Иначе говоря, в этом случае деформации не имеют практического значения.

5. Причины осадки грунтов

Установлено, что почвы издавна орошаемых земель существенно отличаются от почв неорошенных пространств своими физическими и химическими свойствами. Одним из основных факторов, вызывающих эти изменения, служит вода. Оседания лессовидных грунтов на каналах мы также вправе связывать с изменениями физических и химических свойств грунтов, сформировавшихся в условиях весьма слабого увлажнения—с изменениями, вызываемыми интенсивным увлажнением. Таким образом, установление причин явлений осадки должно базироваться на тщательном и всестороннем изучении свойств грунтов. Аналитические материалы, которыми мы располагаем к настоящему времени, не отличаются обилием. С очевидностью можно полагать, что процессы оседания грунтов обуславливаются их уплотнением, и если, например, для грунтов в их естественном состоянии пористость составляет 46 %, то для грунтов, подвергшихся промачиванию в течение трех лет, она равна лишь 38 %. Эти величины являются средними из определений пористости для образцов, взятых прибором Копецкого, до глубины 15 м из двух буровых скважин. Первая из них была задана в целинном грунте, вторая—на дне канала Новый Джун, на одном и том же поперечнике.

Сущность рассматриваемых процессов, надо полагать, сводится к тому, что лессовидные грунты при промачивании утрачивают связность, трение между отдельными частицами уменьшается, и в результате этого под действием собственного веса грунт уплотняется. Изучение механических свойств грунтов, и в частности изменений этих свойств при воздействии воды, в настоящее время находится в зачаточном состоянии. Связность лессовидных пород в зависимости от степени увлажнения никем пока не исследовалась, что затрудняет попытки более подробного рассмотрения механизма явлений осадок.

Весьма интересны предварительные результаты исследований, проводимых проф. Б. Б. Польшовым и его сотрудниками в районах Малокабардинского и Терских каналов. К сожалению, эти материалы не опубликованы. Устанавливая уменьшение пористости грунтов в результате их оседания, путем анализа ряда фактов Б. Б. Польшов приходит к тому заключению, что высокая пористость грунтов не служит обязательным признаком их способности давать осадку. Эта способность выявляется лишь при наличии не только высокой пористости, но и при одновременном значительном содержании легко растворимых в воде солей и особенно

сульфатов. Кристаллы солей не только могут входить в состав деформирующихся грунтов путем заполнения пор между его частицами, но и участвуют в комплексе частиц, трение между которыми создает устойчивость грунта. Таким образом, потеря устойчивости требует не вымывания солей, а лишь их растворения.

Химическая характеристика грунтов позволяет считать, что выщелачивание растворимых соединений, содержащихся в грунтах, может иметь лишь вторичное значение. Для грунтов Нового Джуна (что рискованно распространять на другие районы) в этом случае играет роль растворение гипса, происходящее, впрочем, в относительно большие промежутки времени. Таким образом, эти процессы могут лежать в основе лишь последующих стадий оседания, развивающихся на протяжении нескольких лет. В целом же, уплотнение в процессе осадки складывается из уменьшения, во-первых, исходной пористости грунтов, во-вторых, пористости, возникающей в результате вымывания солей.

6. Цилиндрические просадки

В особом рассмотрении нуждаются вертикальные деформации грунтов, напоминающие провальные образования, возникающие в пределах развития аллювиальных отложений. При неправильных или приближающихся к округлым очертаниях площадь проседающих участков колеблется от 1 м и менее до 30—90 м. Амплитуда вертикального смещения достигает 0,2—1,5 м. Профиль в поперечном разрезе воронкообразный, однако, встречаются и такие формы, у которых стенки отвесны. Характерным для таких образований является довольно обычное для них четкообразное расположение, при чем смежные просевшие участки соединены бывают между собой неглубокими впадинами в виде канавок или желобов.

Возникновение таких просадок в массовом количестве и связанное с этим разрушение железнодорожного полотна описано для района г. Кзыл-орда (Перовск). Деформации грунтов произошли здесь в феврале 1903 г. вслед за тем, как терраса Сыр-дарьи, обычно не заливаемая, была затоплена водами реки (18). Подобные явления неоднократно наблюдались различными исследователями в области развития дельтовых отложений Аму-дарьи (Куня-дарья, район Чимбая и т. д.); сходные по ряду признаков просадки указываются для дельты реки Сулак на Северном Кавказе.²

Подробные материалы изучения деформаций этого рода отсутствуют, однако, некоторые особые морфологические черты, приуроченность к отложениям аллювиальным, находящимся при этом под воздействием неглубоких грунтовых вод, заставляет выделить эти явления в особую группу. Не исключена возможность того, что мы имеем дело с результатами суффозионных процессов.

Нам неизвестны случаи, когда рассмотренные образования, для наименования которых, пожалуй, наиболее удачным термином могут служить „цилиндрические просадки“ (7, стр. 3), являлись причиной катастроф на ирригационных системах. Однако, возможность подобных явлений безусловно следует отметить ввиду при сооружении каналов в полупустынных областях, сложенных глинистым аллювием.

7. Карстовые явления

Пористая структура лессовидных грунтов обуславливает то обстоятельство, что грунты эти, по своему механическому составу относящиеся к водонепроницаемым породам, оказываются легко проницаемыми для воды. Роль канальцев, частой сетью пронизывающих лессовидные грунты, наглядно можно наблюдать при вскрытии водоносного слоя: в таких случаях вода поступает в шурф характерными отдельными струйками, а не сочится более или менее сплошь, как это бывает при вскрытии песчаного водоносного слоя. Следует отметить, что лессовидные породы, залегающие ниже уровня грунтовых вод и находящиеся под

Полынов Б. Б. и Мартынов П. Ф. Отчет о работах почво-грунтовой лаборатории Г. Н. М. Инст., произведенных в 1930—31 г. в области Терской оросительной системы (Рук. пись). — Изучение просадок на Мамабардинской и Терской оросительных системах. Изв. Сектора гидротехники и гидротехнических сооружений, в XXI, 1931, стр. 308—309.

² Устное сообщение В. И. Батыгина.

непрестанным их воздействием, оказываются относительно устойчивыми; подтверждением может служить хотя бы то обстоятельство, что колодцы, заданные в таких грунтах без крепления, существуют подчас многие десятилетия и нуждаются лишь в некоторой чистке. Это говорит, в частности, о том, что циркуляция воды в водоносных лессовидных грунтах не приводит к каким-либо быстрым деформациям. Картина меняется, если перейти к рассмотрению роли воды, протекающей по полостям в поверхностных горизонтах грунтов полупустынных пространств. Зная способность лессовидных пород быстро размокать и легко переходить во замученное состояние, здесь следует ожидать возникновения процессов размыва. В этом можно убедиться в лаборатории, ставя опыты по фильтрации в монолите. Если последний окажется пронизанным хотя бы незначительным по своему поперечному сечению ходом землероя, при чем направление этого хода совпадает с направлением движения воды, то после нескольких часов опыта наблюдается заметное уширение такого канала и вынос эродированного материала.

При характеристике деформаций, возникающих при орошении полей в пределах новых систем, вскользь упоминалось уже о размыве, идущем при проникновении воды в норы землероев. Однако, в этих случаях размыв угасает относительно быстро в результате заполнения жилища землероя материалом, эродируемым в стенках поглощающей шахты. В совершенно иных условиях протекают подобные явления на участках, прилегающих к крутым склонам или обрывам, где имеется налицо возможность свободного выноса эродируемого материала. Это приводит к дальнейшему развитию процессов подземного размыва, получивших в литературе название глинистого карста или карста лессовидных грунтов (10 и 12). Возникающие в результате подземного размыва формы не только микро—но и мезорельфа, следует считать явлениями не менее распространенными, чем нормальный поверхностный размыв (рис. № 4). В связи с незначительным количеством атмосферных осадков в пределах полупустынных стран, карстовые процессы в лессовидных грунтах чаще и резче всего порождаются ирригационными водами.

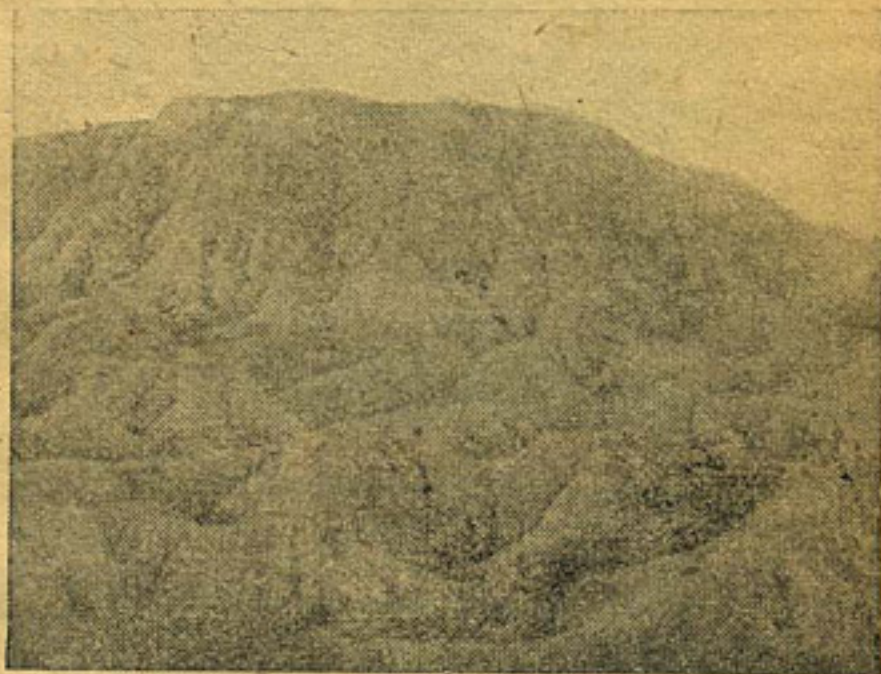


Рис. 4. Формы карстового размыва на Малом Балахане—слепые овраги, оканчивающиеся поглощающими шахтами (по Нацкому)

Пытаясь установить последовательные формы проявления карста, в качестве начальной стадии можно принять возникновение одиночных вертикальных шахт в периферических частях орошаемых полей, прилегающих к бровкам склонов ложбин или оврагов (рис. № 5). Зона, подверженная такого рода образованиям, достигает ширины 3—5 м, считая от бровки, реже 10 м. Диаметр шахт колеблется в пределах до 0,5—1 м, лишь в некоторых случаях достигая 2 м; глубина шахт зависит от глубины оврагов и всегда несколько уступает последней. В склоне оврага обычно имеется выводящее отверстие, размеры которого непропорционально малы по отношению к шахте. Во время поливов полей нередко можно отметить, что струя воды, исчезающая из джояка или из сбросного водотока, выклинивается на расстоянии нескольких метров в обрыве оврага. В тех случаях, когда ходы животных или остающиеся на месте отмерших корней растений полости превращающиеся в поглощающие отверстия, вскрываются в стенке обрыва, происходит непосредственный размыв водопроводящих каналов. При условии отсутствия подготовленного свободного выхода можно допустить образование выво-

данных отверстий за счет вод, фильтрующихся сквозь грунт, или выдавливания последнего при разжижении его.

Дальнейший рост карстовых форм выражается в появлении новых шахт, сообщающихся с прежде возникшими и отступающих последовательно все дальше



Рис. 5. Зачаточная шахта на краю орошаемого поля (ур. Кадырья, Ташкент).

и дальше от бровки оврага. Благодаря размыву дна соединительных каналов и обрушиванию кровли они постепенно превращаются в галлерей, и участки между отдельными шахтами приобретают вид висячих мостов. В последующей стадии происходит обвал или оседание мостов и соединение шахт в один общий овраг. Обычно дольше всех сохраняется мост, отделяющий карстовую впадину от оврага, обуславливающего возможность ее развития. Таким образом, возникает карстовая форма слепого оврага. Размеры последнего превышают иной раз сотню метров в длину и 20—30 м в ширину, поперечный профиль отвечает каньонообразной форме нормального оврага в лессе. По дну карстового оврага намечается русло проходящих по нему вод, то и дело исчезающее в галлерейх, вторично проработанных в осевших или обвадившихся массах. Растут такие формы отчасти попрежнему за счет вертикальных шахт, образующихся несколько отступая от бровки вершинной части, отчасти за счет открытых каньонообразных отвершков. На джунских землях овраги уширяются в значительной мере благодаря оседанию отдельных массивов, отделенных трещинами от склонов. Выводящее отверстие слепого оврага сохраняет свои непропорционально малые размеры.

При изучении крупных карстовых оврагов, являющихся результатом выноса во взмученном состоянии иной раз нескольких тысяч кубометров грунта, можно наблюдать плоские конуса, сохраняющиеся при благоприятных обстоятельствах перед выходным отверстием. Остановливаясь на устьевых отложениях, хочется подчеркнуть, что в данном случае мы имеем достаточно яркое доказательство преобладания при карсте в лессовых породах процессов размыва перед растворяющим действием воды.

Подчиняясь общим законам, продольный профиль карстового оврага стремится к кривой равновесия. Однако, в результате постепенного разрушения всех мостов и выноса обрушившегося или осевшего материала слепой овраг превращается в нормальный открытый овраг задолго до достижения им старческой стадии. Вместе с тем, проникая вглубь орошенных земель, такой овраг часто создает условия для образования целой серии карстовых отвершков.

Ограничиваясь в настоящем случае описанием овражного типа карста в лессовидных грунтах, отметим, что наряду с этим может быть выделен и ряд других форм, возникающих в результате подземного размыва—это полуциркулярные впадины, пещеры, туннели и т. д.

Ирригационная практика в ряде случаев сталкивается с процессами карстообразования. Сюда относятся размыв на окраинах полей и разрушение каналов и сооружений. Образование поглощающих шахт на участках, прилегающих к обрывам или крутым склонам, вызывает трудности в ведении поливного хозяйства.

неумелом или небрежном ведении полива на протяжении нескольких часов значительные окраинные участки полей могут быть приведены в состояние, непригодное для дальнейшего орошения. Известны случаи, когда при особенно неблагоприятном сочетании условий рельефа и быстрой размываемости грунтов, для некоторых участков с самого начала орошение оказывается невозможным. Значительные площади оказываются иногда совершенно непригодными для дальнейшего ведения поливного хозяйства после двух-трех лет эксплуатации. В Приташкентском районе можно найти немало примеров порчи земель за счет выработки карстового ландшафта. Это имеет место в периферических частях систем Старого и Нового Джуна, вдоль обрывов террас реки Чирчик, в районе станций Кауфманская и Вревская и т. д.

Своеобразный ход поверхностного размыва в лессовидных толщах—возникновение каньонов, заставляет искать не вполне обычных мер борьбы. Одной из таких мер, с успехом применяемой в последнее время в Средней Азии, являются консоли, устанавливаемые на сбросах. Но случаи, когда карстовые водомоины разрушают такие сооружения, нередки. На системах Нового Джуна, Атбашинского канала (район г. Фрунзе, Киргизия) и в других местах неоднократно наблюдалось появление поглощающих отверстий в дне канала, выше консоли и быстрый размыв таких отверстий в значительные шахты, поглощающие всю воду: в результате этого, сооружение оказывается висящим над выводящей галлереей, овраг же получает возможность дальнейшего роста. Такой размыв протекает в несколько часов, при чем иногда разрушаются сооружения, вполне исправно работавшие в течение более или менее продолжительного времени.

Познакомившись с быстротой процессов карстообразования, следует считать, что сооружение каналов в крутых откосах требует особых мер предосторожности. В этих случаях общие руководства до последнего времени рекомендуют иметь в виду лишь возможность подмыва со стороны реки, если таковая имеется, или оползней. В Средней Азии с явлением подземного размыва пришлось встретиться почти четверть века тому назад при сооружении холостой части Голодностепского канала, на что имеются указания в литературе.¹ В 1930 г. те же явления повторились после пуска воды по вновь сооруженным каналам Хасан хан и Хазар-бак в бассейне Сурхан-дарьи в южном Узбекистане. Борьба с карстовыми явлениями, развивавшимися здесь параллельно с оседанием грунтов, оказалась чрезвычайно тяжелой. На первом же из названных каналов, в результате возникновения поглощающих шахт, прорывы привели к тому, что воду так и не удалось довести до обработанной и уже заселяемой площади.²

Не останавливаясь на дальнейших примерах из строительной практики Средней Азии, которые можно было бы привести, укажем лишь, что наблюдениями последних лет установлено не меньшее распространение процессов карста, чем явлений поверхностного размыва. Географическое распространение карстообразования в лессовидных грунтах, как и явления оседания, не ограничивается Средней Азией, и формы, подобные средне-азиатским, описаны не только для Северного Кавказа, но даже и для Белоруссии (8).

Повсеместность подземного размыва объясняется тем, что эти явления происходят в достаточно разнородных грунтах. Карстовые формы возникают как в пределах нового, так и старого орошения в лессовидных грунтах, независимо от их происхождения (не только в пролювии, но и в аллювии и делювии). Для района канала Даргом под Самаркандом известны случаи развития поглощающих шахт в кварцевых песках. Для Малого Балахана, Западного Копет-дага и побережья Аральского моря те же явления описаны для меловых и третичных глин.

Стоит отметить карстовые явления в галечниках района г. Наманган (Ферганская котловина), где разрушения одного из каналов объясняются размыванием и выщелачиванием гипсовых линз, подчиненных галечникам (14).

¹ Отчет комиссии гидрологического комитета по ревизии оросительных работ в Голодностепи, Ходжентского уезда, Самаркандской области. Спб. 1908. Страницы 16—18.

² Неопубликованные материалы Г. К. Титова.

³ См. 10 по списку литературы, а также: Берг Л. С. Рельеф Туркмении. Туркмени. т. II, 1929, стр. 59, и Берг Л. Аральское море. Изв. Туркест. отд. Русского геогр. общ., т. V, стр. 144—145 и 179.

Переходя к обсуждению мер предотвращения вредных последствий деформаций грунтов, следует исходить из того, что рассмотренные процессы являются совершенно закономерным следствием изменений физических и химических свойств грунтов под воздействием ирригационных вод на грунты. Основным требованием нужно признать необходимость установления и учета способности грунтов давать деформации в процессе изысканий и проектирования. Следовательно, в программы изысканий надлежит включать специальные исследования, слагающиеся из геологического и геоморфологического изучения района на основе детальной съемки в горизонталях, разностороннего изучения физических и химических свойств грунтов и постановки опытных работ по замочке котлованов. По возможности длительные, опытные полевые работы, следует признать обязательными, хотя бы и в малом масштабе.

В случае, когда способность грунтов давать осадку установлена, необходимо придерживаться следующих положений:

Рекомендуемый нередко прием предохранения лессовидных грунтов от осадки под сооружениями, заключающийся в устройстве под ними водонепроницаемого слоя, необходимо отбросить по причинам, о которых уже говорилось выше (отсутствие действительно водоупорных материалов, швы в сооружениях, дающие возможность фильтрации, и прочее).

Воздействие воды на грунт в дальнейшем, возможно, будет устранено путем обработки дна и откосов каналов растворами тех или иных химических соединений, обладающих диспергирующими способностями. Этот вопрос практически не проработан, однако, известно, что на Северном Кавказе местные жители с успехом засыпают в пруды поваренную соль для придания грунтам водоудерживающей способности.¹

В условиях равнинной местности осадки грунтов на каналах не являются угрозой для их устойчивости; в условиях же беспокойного рельефа небольшие деформации легко приводят к прорывам каналов и серьезным разрушениям за счет размыва.

С этой точки зрения наиболее устойчивыми оказываются участки каналов, сооруженные в полных выемках. Проложение каналов в полувыемке-полунасыпи требует не только смачивания насыпного грунта, но и предварительной замочки целины в основании насыпи. Один из способов, предлагаемый для сокращения дополнительных земляных работ, необходимых после деформации, сводится к выполнению канала на неполный по глубине проектный профиль. Разработка проектного профиля канала производится после окончания деформаций (3, рисунок 10). Эта мера с успехом применялась на Новом Джуне при работах по спрямлению ряда крупных извилин канала. Первый пропуск воды по магистральному каналу и распределителям должен происходить медленно и путем постепенного достижения предельного расхода, при чем желателен по возможности долгий срок замачивания перед приступом к эксплуатации системы. Только при этом условии возможно выполнение указанного.

Это чрезвычайно существенно и в отношении сооружений, сохранность и правильная работа которых требуют устойчивости грунтов в их основании.

В этих случаях практикуется предварительная, возможно более продолжительная (не менее нескольких месяцев) замочка котлованов. Для ускорения процесса осадки грунта строителями Нового Джуна применяется бурение скважин на дне замачиваемых котлованов. Для таких скважин следует рекомендовать глубину в 15 м при диаметре 5—10 см. При заплывании скважин надлежит повторно бурить их. Но и после длительной замочки котлована можно считать исключительными лишь наиболее интенсивные начальные стадии деформаций; продолжительность этих явлений должна исчисляться несколькими годами, отчего на новых оросительных системах всего целесообразнее прибегать к деревянным сооружениям временного типа. В частности о целесообразности этого говорит опыт Нового Джуна.

¹ Устное сообщение Б. И. Михеева.

литературе есть указания на необходимость выработки методов кратковременной подачи воды в количествах, не вызывающих просадок (7, стр. 4). Независимо от этих соображений в Средней Азии обычно применяются жесткие нормы водопользования, однако, и небольшие количества воды, подаваемой на поля, вызывают воронкообразную осадку при проникновении воды в жилища роющих животных. Предварительное затопление полей без дополнительных работ возможно лишь в условиях плоско-равнинного рельефа. Последующее выравнивание поверхности полей в некоторых случаях требует значительного объема земляных работ. Может быть, более выгодным в экономическом отношении окажется тампонаж нор землероев, предшествующий обработке и первому поливу. Мы не имеем сведений о практическом применении этого способа.

В отношении возведения гражданских сооружений на лессовидных грунтах в литературе есть ряд указаний, в основном сводящихся ко всяческому предохранению оснований от промачивания водою (1 и 4). Однако, при сооружении зданий в орошаемых районах значительно целесообразнее достижение устойчивости грунтов в основаниях замачиванием котлованов. Этот способ применяется в районе Вахского строительства в Таджикистане.

Карстовый размыв на участках полей, прилегающих к крутым склонам или обрывам, может быть предотвращен устранением поливных культур в зоне, шириною в 10—15 м, считая от бровок склонов. Та же мера применима к каналам в местах, где они сближаются с обрывами; его от бровки обрыва должно быть не менее 15—20 м. В случаях же сооружения каналов в крутых откосах, единственным средством гарантировать устойчивость канала могут служить предварительные постепенные замочки отдельных его участков под самым бдительным надзором. При условии предварительной замочки основания, а также замочки и искусственного уплотнения насыпаемого грунта, насыпи могут в некоторых случаях быть более устойчивыми, чем целинные грунты.

При обсуждении мер борьбы с прорывами каналов из-за карстового размыва можно исходить лишь из опыта эксплуатации канала Хазар-бак. Попытки засыпать возникавшие здесь промоины грунтом с его утрамбовкой или же замачивать и утрамбовывать его оказались совершенно недействительными, так как немедленно вслед за восстановлением канала промоина возникала на том же месте. Было затрачено много сил на борьбу с прорывами и в конце концов наиболее реальным средством ликвидации прорывов оказалась заливка промоин лессовидным грунтом в совершенно разжиженном состоянии¹.

Опыт работы новых систем в районах, сложенных деформирующимися грунтами, показывает, что наиболее серьезные разрушения каналов в результате как осадок, так и надземного размыва, заключаются не в самих деформациях, а в чрезвычайно быстром следующем за ними нормальном размыве. Ликвидация во время замеченного прорыва в большинстве не требует особых усилий. Таким образом, одним из обязательных условий успешной работы оросительной системы является правильно организованная скорая помощь.

9. Необходимость дальнейших исследований

В заключение необходимо подчеркнуть то обстоятельство, что исследование и изучение деформации лессовидных грунтов на ирригационных системах недопустимо отстало от потребностей строительства. На протяжении 6 лет в разных местах Союза при сооружении каналов возникали эти явления, тем не менее и в настоящий момент, когда разворачиваются все более крупные работы, мы по-прежнему не знаем о сущности осадок.

Нужно считать, что способность оседать при промачивании является одним из основных свойств лессовидных грунтов. Эти грунты слагают в Средней Азии и на Кавказе огромные территории, от орошения которых нельзя отказаться без нарушения интересов развития нашего хозяйства. Вместе с тем, борьба с явлениями, сопутствующими процессам оседания, крайне затруднительна и вызывает непроизводительную затрату крупных средств; прекращение же своевременной

¹ Непубликованные материалы Г. К. Титова.

вимый, ущерб. Как следствие, практика ирригационного строительства требует, во-первых, установления метода прогноза возможностей осадок в районах, намеченных под орошение, во-вторых, выработки мер предотвращения вредных последствий деформации грунтов. Это в свою очередь требует постановки широких и длительных исследований, при чем безусловно необходимо методическое объединение всех отдельных работ, ведущихся различными организациями в этой области. Основными направлениями исследований должны быть:

1. Геоморфологическое и геологическое изучение районов, подверженных деформациям.
2. Изучение физических и химических свойств лессовидных грунтов, целинных и подвергшихся деформациям.
3. Экспериментальное исследование механических свойств лессовидных грунтов.
4. Опытные полевые работы по замачиванию грунтов в котлованах.
5. Стационарные наблюдения за процессами деформаций в орошаемых районах.

10. Примерные указания к производству опытов по замочке котлованов

1. Котлованы задаются на трассе канала, при чем желательно, чтобы отметки их дна отвечали проектным отметкам дна канала. Глубина и ширина котлованов равны поперечному сечению канала, длина не менее ширины. Дно котлованов должно быть горизонтальным. При заложении нескольких котлованов на одном участке расстояние между ними принимается не менее 40 м. При рытье котлована отвалы располагаются только с двух сторон так, что короткие стороны котлована остаются свободными от отвалов.

2. После окончания земляных работ производится нивелировочная съемка участка с тем расчетом, чтобы нивелировка охватывала площадь, распространяющуюся не менее чем на 50 м в стороны от бровок котлована. Каждая из выемок должна быть пересечена не менее, чем пятью нивелировочными поперечниками. Для каждого участка устанавливается не менее двух реперов, расположенных не ближе, чем в 40 м от бровок выемок. В частности, в результате нивелировки, необходимо получить данные для точного определения емкости котлованов при различной степени наполнения. При условии, если в непосредственной близости к котловану топографически ниже располагается обрыв или склон, съемкой захватываются и последние.

3. Для учета уровня воды в каждом котловане устанавливается не менее двух реек, при чем укреплены они должны быть не только в дне, но и в стенках котлована. Ноль реек должен быть увязан нивелировкой.

4. Разведочные шурфы, преследующие цели характеристики грунта в его естественном состоянии, задаются до начала опытов на расстоянии не менее 10 м от бровки выемок. В дальнейшем шурфы могут быть использованы для наблюдений за появлением и распространением в стенках видимой влажности.

5. Начиная с момента пуска воды в котлован, ведется ее учет как водосливами, так и рейками, на протяжении всего опыта. В частности, фиксируется количество воды и время, ушедшее на наполнение котлована до требуемой отметки. Поддержание воды в котловане на постоянном уровне регулируется оттоком излишка воды, также учитываемого водосливом.

6. Попутно наблюдается и капиллярное перемещение воды (видимым на глаз увлажнением грунта) в стенках котлована и в стороны от его бровок.

7. На протяжении всего опыта ведутся наблюдения над деформациями грунтов (осадка или карстовые явления) как в откосах и на дне выемки, так и в зоне, ее окаймляющей. Наблюдения эти ведутся путем повторной нивелировки по точкам, отвечающим предварительной нивелировке. Сроки нивелировки определяются скоростью явлений деформации. Осадка дна котлована во время его заполнения водой отмечается промерами с помощью специально сооружаемых мостков или пласта. Сверх того, все замеченные явления фиксируются в дневнике с точным указанием времени и сопровождаются зарисовками их в плане и

профиле. При этих наблюдениях следует руководствоваться прилагаемыми ниже указаниями.

8. В случае наличия обрыва или склона вблизи опытного бассейна следует вести наблюдения и здесь (деформация грунта, появление воды и т. д.).

9. При осушении котлована необходимо наблюдать за сохранностью скважин, если они задаются в котловане.

10. Параллельно с наблюдениями на опытных котлованах под наблюдение берется и подводящая и отводящая сеть, питающая опытный участок.

11. Указания к наблюдениям за деформациями грунтов

1. При изучении осадок надлежит отмечать:

а) распространение явлений осадок (непрерывное, прерывистое) по магистрали, распределителям, оросителям;

б) ширина полосы вдоль каналов, охваченной деформацией;

в) зависимость распространения и ширины деформирующейся зоны от общего характера рельефа и геологического строения;

г) симметрия и асимметрия в развитии осадок по отношению к каналу;

д) характер трещин, очерчивающих оседающие массивы; протяженность, ширина и глубина их; характер стенок; развитие трещин в целинном и насыпном грунте;

е) признаки размыва стенок трещин, образование шахт и галлерей (см. карстовые явления);

ж) наклон поверхностей оседающих массивов (целинного и насыпного грунта) амплитуда смещения отдельных террас оседания;

з) характер деформации в местах прорывов каналов.

2. Изучение карстовых явлений в лессе требует выявления следующего:

а) описания элементов карстового рельефа (шахт, подземных галлерей, слепых оврагов и т. д.), зависимость и расположение этих элементов по отношению к основному рельефу участка;

б) при описании шахт надлежит отмечать расстояние шахты от обрыва или склона, диаметр и глубину, характер стенок и дна шахты, признаки размыва и оседания грунта, наличие выводящей галлерей;

в) при описании галлерей—соотношение ее с другими элементами, протяженность, форма и размеры поперечного сечения, очертание в плане, продольный профиль, признаки размыва по дну;

г) при описании карстовых оврагов—протяжение и очертание в плане, продольный и поперечный (в различных частях оврага) профили, характер склонов, наличие подземного и поверхностного размыва по склонам и в голове оврага, наличие и характер мостов, образуемых целинным грунтом, и вторичных, характер выводного отверстия (галлерей),

д) при описании выводящих отверстий галлерей и оврагов чрезвычайно существенно наличие или отсутствие признаков выноса размываемого грунта (плоских конусов выноса), которое следует отмечать.

3. При описании деформаций в районе сооружений надлежит описывать и повреждения в различных частях сооружений.

4. При изучении деформаций на мелкой и мельчайшей сети и на орошаемых полях необходимо установить связь между деформациями и норами землероев.

5. Описание надлежит сопровождать фотографированием и зарисовкой в плане и профиле типичных участков. Наилучшим способом является, конечно, инструментальная съемка и нивелировка типичных участков. Желательна повторная нивелировка. При составлении поперечных профилей нивелировка обязательно должна выходить за пределы зоны возможных деформаций и опираться на репера, установленные в безусловно устойчивых местах.

6. Опросные сведения должны установить время первого пуска воды по каналу, время появления первых признаков деформаций, ход последних. Весьма интересны акты технических осмотров мест повреждений.

ЛИТЕРАТУРА

1. Абелев Ю. М. Временная инструкция по проектированию и возведению гражданских и промышленных сооружений на лессовидных грунтах. Строит. промышлен. 1931 г. № 7, 367—370.
2. Волков А. К. К вопросу о „просадках“ в бассейне реки Терека. Мелиорация и торф, 1931 № 5, стр. 62—64.
3. Гвоздев В. С. Просадки на Малокабардинской оросительной системе. Изв. Гос. научно-мелиор. института, в. XXI, 1930, стр. 244—271. То же. Отдельный оттиск. Л. 1930. Стр. 1—27.
4. Глаголев А. Угроза основания Бобриковского комбината. Строительство Москвы, 1931, 3, стр. 31—32.
5. Димо Н. А. Роль и значение термитов в жизни почв и грунтов Туркестана. Почвенные экспедиции в бассейнах рек Сыр-дарьи и Аму-дарьи, в. II, 1916 г., стр. 1—38. То же. Русский почвовед, 1916, № 7—10, стр. 1—38.
6. Жар. Земля бунтует. „Семь дней“, 1929, № 18, стр. 8—9. [Очерк посвящен явлениям осадков на Новом Джуне].
7. Лисицын К. И. О просадочных явлениях на Северном Кавказе. Первый Всесоюзный гидрогеологический съезд. Тезисы докладов. № 15. М.—Л. 1931.
8. Люнггартсгаузен Ф. В. Аб „лѣссовым карсьце“; iab асобным типе равочкау. Працы Навуковаго т-ва па вивучэнню Беларусі, том 1, 1926, стр. 143—146.
9. Михеев Б. И. О причинах разрушения зданий на территории грозненских промыслов. Строит. промысл. 1930, № 8—9, стр. 632—635.
10. Нацкий А. Д. Геологический очерк Малого Балахана по исследованиям в 1914 и 1916 годах. Материалы по общей и прикладной геологии, в. 4, 1916, стр. 1—55.
11. Пышкин Б. А. Семхов Пахта-арал. „Вестник ирригации“ 1928, № 1, стр. 39—44. [Осадка грунтов на каналах в северо-западной части Голодной степи].
12. Решеткин М. М. О карстовых явлениях в лессе. „Вестник ирригации“, 1929, № 10, стр. 93—96 [Литература].
13. Решеткин М. М. Просадки лессовидных грунтов на ирригационных системах. Первый Всесоюзный гидрогеологический съезд. Тезисы докладов. № 34. М.—Л. 1931.
14. Решеткин М. М. Фильтрация в гипсоносных галечниках. „Вестник ирригации“, 1928, № 11—12, стр. 141—148.
15. Розов Л. П. Общая схема почвенных исследований, необходимых для обоснования мелиоративных проектов. М. 1931, стр. 1—10.
16. Хеладае И. Е. Явления образования трещин и осадки грунтов вдоль оросительных каналов. Труды Второго всесоюзного гидрологического съезда, ч. II, 1929, стр. 558—561.
17. Штамбок. Надо отстоять землю. „Правда Востока“, 1931, стр. 2. [О прорывах каналов в оазисе Джун].
18. Штукенберг А. Воронки на железнодорожном полотне Оренбургеко-Ташкентской железной дороги около г. Перовска. „Железнодорожное дело“ 1905, № 21—22, стр. 237—244 и № 25—26, стр. 291—295.