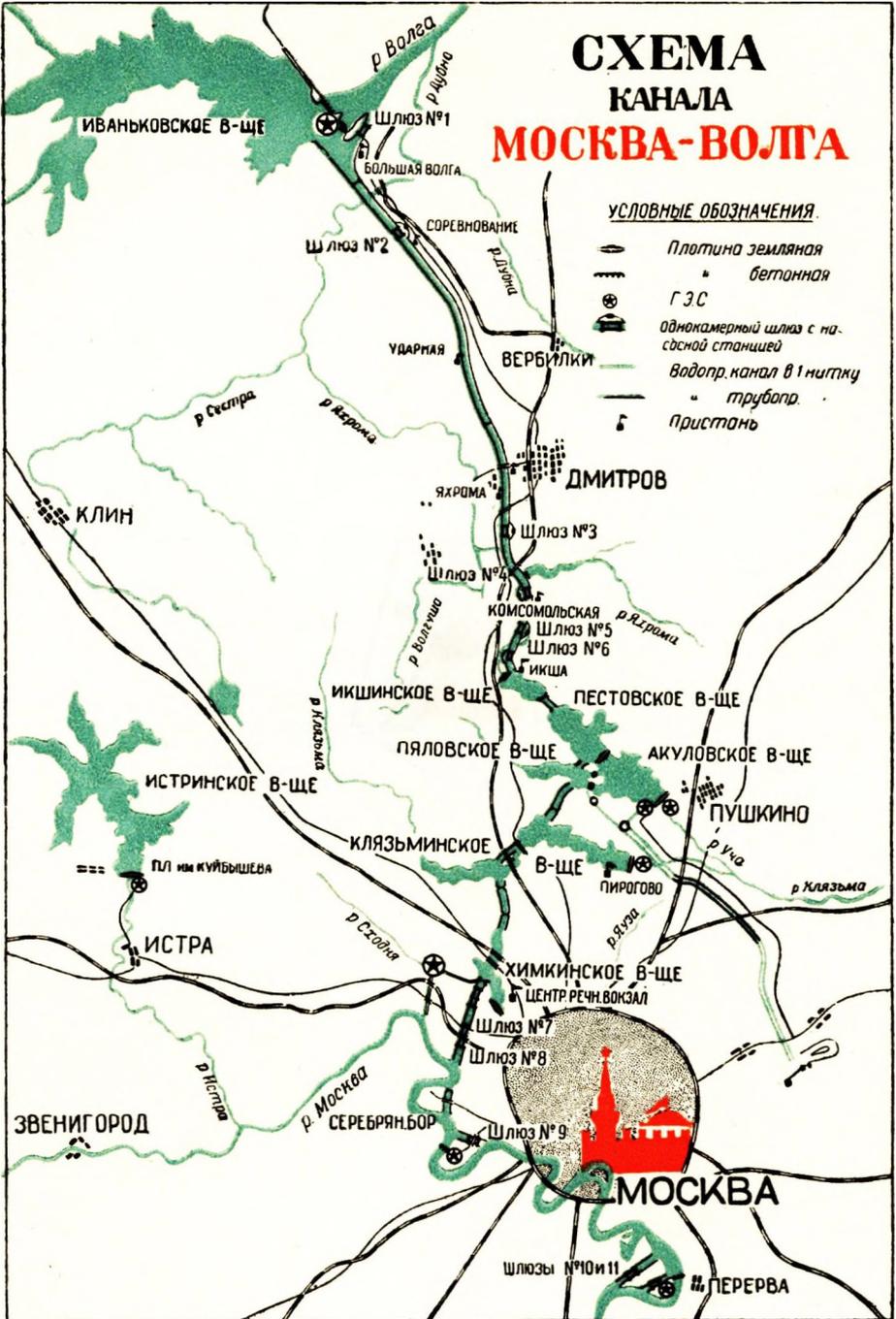


Пролетарии всех стран, соединяйтесь!



СХЕМА КАНАЛА МОСКВА-ВОЛГА



УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ

- Плотина земляная
- бетонная
- ГЭС
- Однокамерный шлюз с насосной станцией
- Водопр. канал в 1 нитку
- трубопр.
- пристань



НКВД СССР
БЮРО ТЕХНИЧЕСКОГО ОТЧЕТА О СТРОИТЕЛЬСТВЕ КАНАЛА
МОСКВА — ВОЛГА

КАНАЛ
МОСКВА-ВОЛГА

ТОРФ
НА СТРОИТЕЛЬСТВЕ КАНАЛА

1932—1937 гг.

Редактор инж. М. С. РУДОМИНЕР
Техн. редактор Д. М. МЕДРИШ
Художник (переплет и форзац) С. МЕЛЬНИКОВ

В настоящем выпуске Технического отчета рассматриваются различные виды применения торфа в гидротехническом строительстве канала Москва — Волга (постройка дамб, понуров, экранов и пр.), использования торфа в качестве основания под сооружениями, а также деформации торфяных оснований и сооружений и способы их устранения и предупреждения.

Подробно излагаются также применявшиеся методы исследования болот и торфа как строительного материала и приводится описание способов производства работ.

Отдельные главы содержат богатый экспериментальный материал по устойчивости торфяных сооружений и физико-механическим свойствам торфа, а также ряд новых положений, методов исследования и способов производства работ. Материал имеет большое практическое значение.

Работа может быть полезной для инженерно-технических и научно-исследовательских работников проектных, строительных и научно-исследовательских организаций.

Настоящий выпуск составлен начальником Торфяного отделения Геотехнического отдела Строительства канала Москва—Волга И. И. ВИХЛЯЕВЫМ.

Редактирование проведено Редакционной коллегией в составе главного редактора дивинженера С. Я. ЖУК, зам. главного редактора проф. М. М. ГРИШИНА и членов: М. Н. ПОПОВА, В. Д. ЖУРИНА, А. И. БАУМГОЛЬЦ, В. А. СЕМЕНЦОВА и А. О. ВИЛЬДГРУБЕ.

Ответственный за выпуск—зам. главного редактора проф. М. М. ГРИШИН.

Технический редактор от Бюро Техотчета Н. В. КАЧЕРОВСКИЙ.

ОГЛАВЛЕНИЕ

	Стр.
От редакционной коллегии.....	5
Г л а в а I. Введение.....	6
1. Торф в гидротехническом строительстве.....	—
2. Применение торфа на канале Москва — Волга и постановка изучения торфа.....	11
Г л а в а II. Методика лабораторного исследования технических и физико-механических свойств торфа.....	14
1. Ботанический состав торфа.....	—
2. Степень разложения торфа.....	15
3. Влажность торфа.....	16
4. Зольность торфа.....	18
5. Удельный вес торфа.....	20
6. Объемный вес торфа.....	21
7. Углы внутреннего трения и силы сцепления.....	23
8. Пластичность торфа.....	29
9. Компрессионные свойства торфяных грунтов.....	33
10. Фильтрационная способность торфа.....	39
11. Описание прибора для определения осадки и коэффициента фильтрации . .	46
Г л а в а III. Полевые изыскания и исследования торфяных болот для строительных целей	50
1. Типы торфяных болот.....	—
2. Торфяные болота трассы канала и виды торфа.....	51
3. Объем и содержание полевых изысканий торфяных болот.....	53
4. Отбор проб и взятие монолитов и блоков торфа на болоте.....	56
5. Полевые исследования торфяной массы.....	58
6. Обработка материалов полевых исследований.....	60
Г л а в а IV. Строительная характеристика торфяных залежей, пересекаемых каналом Москва — Волга.....	62
Г л а в а V. Торфяная залежь как несущее основание.....	90
1. Типы торфяных оснований	—
2. Подстилающие торфяную залежь мягкие минеральные грунты.....	91
3. Практика оставления торфяных залежей в качестве несущего основания .	93
4. Подготовка торфяного основания под сооружения.....	94
Г л а в а VI. Отсыпка приканальных торфяных дамб, понуров и экранов	100
1. Профиль канала на торфяных болотах.....	—
2. Песчаные пригрузки торфяных насыпей.....	101
3. Типы торфяных приканальных дамб.....	102
4. Торфяные экраны.....	107
5. Торфяные понуры.....	112
6. Характеристика торфяных приканальных дамб.....	115
7. Отсыпка торфяных сооружений.....	—
Г л а в а VII. Осадка торфяного грунта.....	122
1. Факторы, влияющие на осадку.....	—
2. Исследование осадок.....	123
3. Сравнение полученных результатов о величине осадки с литературными данными.....	142

Г л а в а VIII. Устойчивость торфяных откосов.....	143
1. Методика расчета.....	—
2. Пример расчета.....	145
3. Криволинейное скольжение в мягких илистых и торфяных грунтах	146
Г л а в а IX. Крепление торфяных откосов.....	151
1. Крепление наброской из камня.....	—
2. Преимущества волокнистой торфяной постели.....	152
3. Способ заготовки волокнистого торфа.....	154
4. Укладка торфяной постели на откосах.....	155
5. Сравнительная стоимость крепления на гравийной и моховой постели	—
Г л а в а X. Всплывание торфа.....	156
1. Всплывание торфяных кусков и сплавин.....	—
2. Всплывание "торфяных островов".....	157
3. Влияние торфяных островов на качество воды.....	158
4. Борьба со всплывшими торфяными островами.....	—
Г л а в а XI. Деформация сооружений из торфа и на торфяном основании	159
1. Авария западной опытной торфяной дамбы на болоте вида VII.....	160
2. Деформация основания восточной намывной песчаной дамбы.....	162
3. Деформация откоса выемки канала в юго-восточном углу опытного участка на болоте вида VII.....	164
4. Деформация западной торфяной дамбы.....	166
5. Деформация мергелистой опытной дамбы.....	167
6. Деформация торфяного основания и откосов выемки канала на болоте вида III	—
7. Деформация откосов западной торфяной дамбы канала.....	169
8. Деформация полотна шоссейной дороги.....	170
9. Деформация торфяных откосов выемки канала на болоте в да VIII	171
10. Деформация торфяного понура у дамбы водохранилища.....	173
11. Деформация слоистого экрана.....	174
12. Выпучивание торфяного дна и откосов канала в зимний период.....	175
13. Основные причины деформаций.....	176
Г л а в а XII. Выводы.....	177
1. Общие соображения.....	—
2. Проектирование и возведение торфяных сооружений и сооружений на торфяном основании.....	178
Приложения.....	182
1. Инструкция по исследованию очеса и верхнего волокнистого слоя торфяных болот и мерам борьбы с всплыванием торфа в водоемах	—
2. Бур Гиллера	186
3. Полевой журнал зондирования торфяной залежи	188
4. Полевой журнал взятия образцов торфа.....	—
5. Вычисление средней глубины (как средней глубины профилей зондирования) и запаса сырой массы торфа на болоте.....	189
6. Таблица значений функций $\varphi\left(\frac{s}{h_0}\right) = -\ln\left(1 - \frac{s}{h_0}\right)$ для подчета коэффициента фильтрации.....	190
Литература.....	191

Применение торфа в строительстве является делом новым, имеющим большое будущее в гидротехническом и дорожном строительстве, особенно в средней и северной полосах СССР, изобилующих болотами. Современные гигантские гидротехнические строительства, не имеющие прецедента в истории, охватывают большие территории, где наряду с минеральными грунтами в большом количестве встречаются и органические грунты (торф). В связи с этим результаты опыта применения торфа в гидротехническом строительстве канала Москва — Волга приобретают большую практическую ценность.

Канал Москва — Волга на своем пути пересекает 22 больших и малых болота, проходя $\frac{1}{3}$ своего протяжения то частично, то полностью в торфяном грунте.

Если в малых строительствах возможно обойти отдельно встречающиеся единичные болота, то при постройке канала Москва — Волга обойти болота было невозможно и нецелесообразно как по техническим, так и экономическим соображениям. Поэтому Строительством и были приняты меры к изучению торфа как строительного материала и как несущего основания, а также к изучению методики производства работ по отсыпке торфяных сооружений и сооружений на торфяном основании и широкому применению его в производственных условиях.

В этой большой и новой работе исследования торфа помимо автора настоящего выпуска Отчета И. И. Вихляева, руководившего торфяными работами, принимал участие весь коллектив торфяного отделения Строительства.

Редакционная коллегия надеется, что настоящая работа даст возможность широкому кругу советских исследователей, проектировщиков и строителей использовать опыт строительства канала Москва — Волга по применению торфа в гидротехнике.

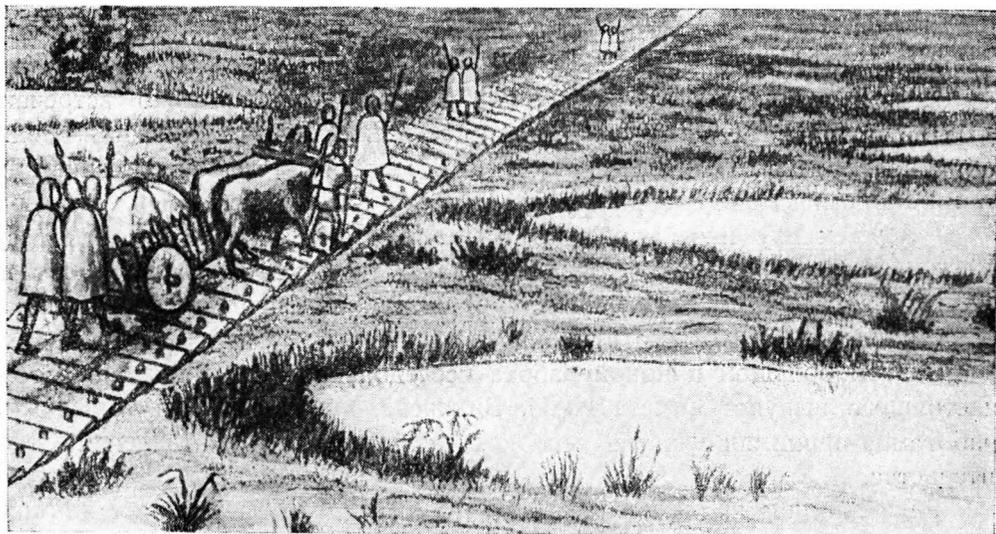
РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

ГЛАВА I ВВЕДЕНИЕ

1. ТОРФ В ГИДРОТЕХНИЧЕСКОМ СТРОИТЕЛЬСТВЕ

Литературные источники и обнаруженные в торфяных болотах многочисленные ископаемые свидетельствуют о том, что торф еще в древности применялся в гидротехническом и дорожном строительстве как строительный материал и как несущее основание.

Д-ром Фрю¹ были обнаружены в Швейцарии на болоте «Эпсах» на глубине 2 м остатки свайных построек, относящихся, судя по находке бронзовых топоров, к бронзовому веку, который Гейерли (Heierli) для Швейцарии относит приблизительно за 1 000 лет до начала нашей эры.



Фиг. 1. Древняя дорога по торфяному болоту (по Шварцу).

В Германии, на Буртангском торфяном болоте (Bourtanger Moor), на левом берегу р. Эмс, на границе между Ганновером и Нидерландами, в 1918 г. была обнаружена деревянная дорога в торфу на глубине 1,0—1,2 м в виде деревянного настила шириной 3,3 м (фиг. 1). Бревна настила по бокам дороги были закреплены деревянными костылями с целью предохранения лежней от неравномерной осадки в торфу и отклонения от горизонтального положения.

Считают, что эта дорога описана древним историком Тацитом под названием «длинных мостов» (Pontes longi) Домиция и относится к первым

¹ D-r J. F r u h und S c h r o t e r, Die Moore der Schweiz, S. 338, 1904.

годам нашей эры. В позднейших немецких описаниях эти дороги названы болотными мостами (Moorgbrücke). Тацитом же описана битва Цецины с Арминием на одном из таких «длинных мостов» на границе Ганновера и Ольденбурга, где на глубине 1,5 м была обнаружена деревянная дорога, описанная Гризебахом.

В Ольденбурге в округе Вехты на торфяном болоте была обнаружена деревянная дамба на глубине 1,5 м, состоявшая из досок длиной 2,5 м, шириной 20—28 см и толщиной 5 см. На концах досок были выдолблены квадратные отверстия, которые служили для укрепления уложенных внахлестку досок костылями, забитыми в торфяной грунт, глубина которого достигала 3,5 м. Автор, описавший эту дорогу, подчеркивает, что она была построена топором без применения пилы, которой тогда еще не было.

В Голландии в бассейне р. Дренты на глубине 2,5—3 м в торфяном болоте обнаружена древняя римская дорога, которую относят ко времени походов Германика, т. е. тоже к первым годам нашей эры.

В 30-х годах прошлого столетия при устройстве осушительного канала на Лайбахском болоте (б. Австрия), на глубине 1,2 м обнаружена деревянная дорога шириной 7,5 м.

Дорога имела протяжение около 3 км и была устроена следующим образом: поверх торфяного слоя низинного болота был устроен помост из уложенных поперек жердей диаметром 10—15 см, и на этот помост был набросан слой щебня толщиной 0,75 м.

По вскрытии торфа обнаженные куски щебня оказались столь мягкими, что легко раздавливались руками. Однако спустя 5—6 дней обнаженный щебневый настил наподобие бетона настолько отвердел, что по нему, как говорится

в описании, «могли двигаться тяжелые вагонетки с торфом». Поддерживающие настил жерди на дневной поверхности первоначально выглядели свежими, однако на воздухе стали быстро разлагаться и крошились.

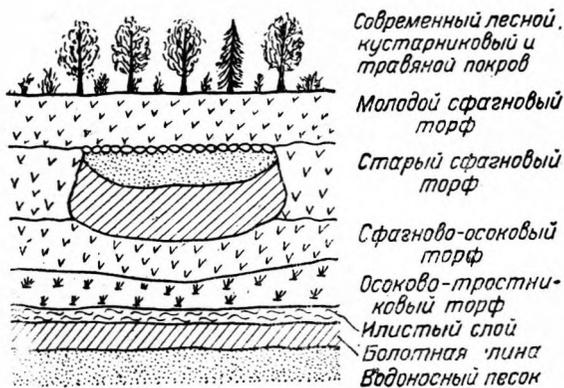
На одной из древних дорог по этому же Лайбахскому болоту была найдена монета с изображением римского императора Тиберия Клавдия, относящаяся к 41 г. нашей эры (акад. Оппоков Е. В).

В СССР в 200 км от Ленинграда по линии железной дороги Ленинград—Дно, вблизи ст. Уторгаш и поселка Видони на торфяном болоте обнаружена на глубине 2,5 м старая шоссейная дорога Екатерининского времени, соединявшая Ленинград с Москвой. Полотно дороги отсыпано из песчаного и гравелистого грунта с галькой на торфяном основании мощностью до 8 м. Верхняя часть насыпи покрыта песком слоем в 1,5 м. Поверхность дороги отмощена камнем толщиной 0.40 м.

В настоящее время над поверхностью шоссе вырос торфяной слой, покрытый крупной лесной, а также кустарниковой растительностью. Полотно шоссе как бы погребено в торфе, давшем наибольшую осадку по оси насыпи (фиг. 2).

Возле ст. Завидово Московской области в 1848 г. было проложено по болоту мощностью в 4,5 м полотно Октябрьской ж. д. Под нагрузкой насыпи и добавочной динамической нагрузкой от продолжительного движения поездов (в течение 90 лет) торфяное основание дало по оси насыпи осадку, достигающую 45,6% от толщины сжимаемого торфяного основания (фиг. 3).

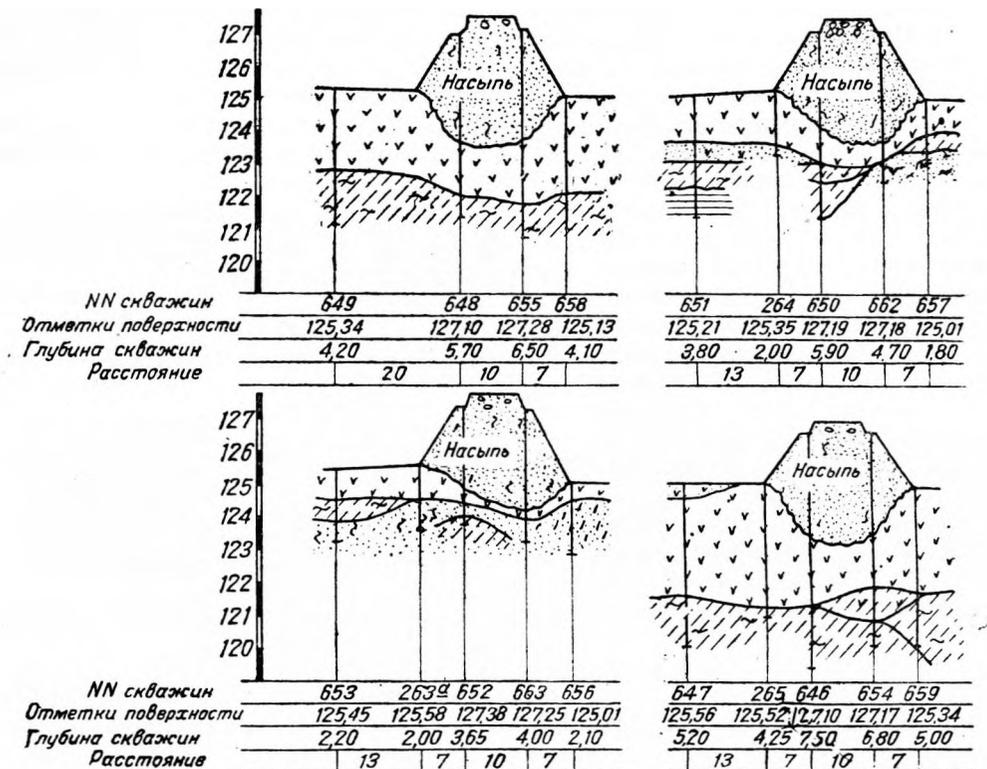
Кроме дорог на болотах в Италии, Венгрии, Ирландии и СССР были



Фиг. 2. Старое погребенное шоссе на торфяном болоте.

обнаружены свайные постройки, аналогичные свайным ростверковым постройкам Швейцарии; они устраивались на деревянном помосте (на ростверке) и впоследствии были заторфованы (покрыты торфом). Эти постройки относились к различным весьма ранним историческим периодам (проф. А. А. Иностранцев).

В более позднее время торф находит применение в гидротехническом и дорожном строительстве в больших размерах и в условиях более сложной строительной техники. Проф. А. Людин (А. Ludin) в своем труде «Гидроэлектростроительство Скандинавии»¹ приводит данные, показывающие, что в Норвегии торф в гидротехническом строительстве применялся, уже более 100 лет тому назад.



Фиг. 3. Осадка насыпи полотна железной дороги в Завидовском районе.

В ранний период ядро плотины сооружалось на скальном основании из торфа и с (поверхности покрывалось наброской из камня (фиг. 4, а). В более позднее время и в более высоконапорных плотинах из торфа делались срединные диафрагмы плотин между стенками сухой каменной кладки (фиг. 4, б); верхний водослив и водоразборная труба устраивались в дамбе (фиг. 5). В мягких грунтах торфяная диафрагма устраивалась с зубом (фиг. 6).

В Германии на большом сравнительно протяжении в торфяных грунтах были прорыты каналы: в 1871 г. Stid-Nord-Kanal, а также Гунте-Эмс канал (Hunte Ems); позднее был прорыт глубокий Кильский канал (Kaiser-Wilhelm-Kanal)².

Проф. Терцаги К.³ в своем труде «Инженерная геология» указывает, что в Швейцарии для электрической станции Andelsbuch была устроена плотина на торфяном основании мощностью 1,0—4,0 м; плотина состояла

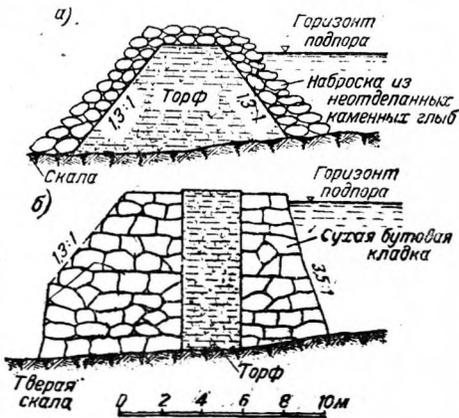
¹ Проф. А. Людин, Гидроэлектростроительство Скандинавии, сокращ., перевод с немецкого „Nordisdhe Wasserkrafte ОНТИ, 1934.

² F u l e c h e r, Der Bau des Kaiser-Wilhelm-Kanals, „Zeitschrift fur Bauwesen“, S. 117. 1897.

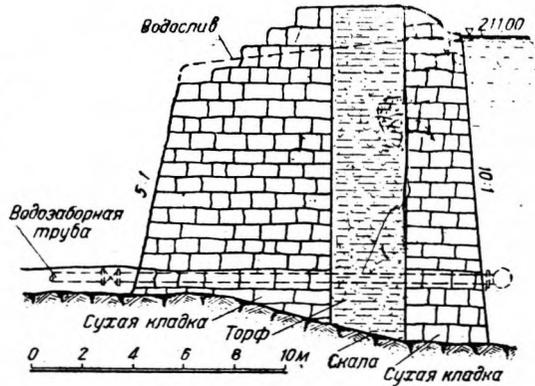
³ Проф. Т е р ц а г и К., Инженерная геология, стр. 206, изд. ОНТИ НКТП СССР, 1934

из гравия и была снабжена ядром и зубом из суглинка (L e h m k e g n) При - канальные дамбы из торфа на торфяном основании намывались также на Рейнском канале на участке Амстердам-Утрехт, причем была отмечена малая водопроницаемость торфа ².

В Германии и б. Австрии с начала прошлого столетия на торфяных болотах в значительном количестве строились колонии, причем жилые и хозяйственные постройки сооружались непосредственно на торфяном основании. Проф. Терцаги (ibid, стр. 210) описывает метод подготовки



Фиг. 4, а, б. Старая и новая форма (поперечный разрез) плотины из сухой кладки с торфяным ядром.

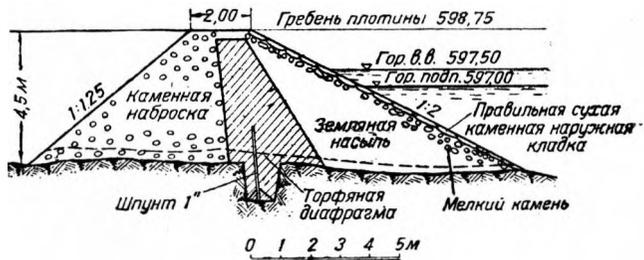


Фиг. 5. Плотина Салькус. Поперечный разрез.

в указанных странах торфяного грунта в качестве несущего основания под мелкие фабричные здания в районе Ольденбурга и под массивные здания на торфяных болотах Markardsmoor — в Ганновере и на болоте Augustumalmoog — в Восточной Пруссии.

В области изучения торфяных грунтов как несущего основания проделана большая работа Шведской геотехнической комиссией; результаты этой работы опубликованы в трудах Комиссии.

В СССР в 1928 г. была сооружена на р. Куре (Северный Кавказ) Курильская плотина из минеральных грунтов на торфяном основании мощностью 3,5—4,5 м (фиг. 7). Осадка сжимаемого торфяного основания по оси дамбы достигала 60%. Столь высокий процент осадки произошел, очевидно, не только вследствие уменьшения пор сжимаемого основания,



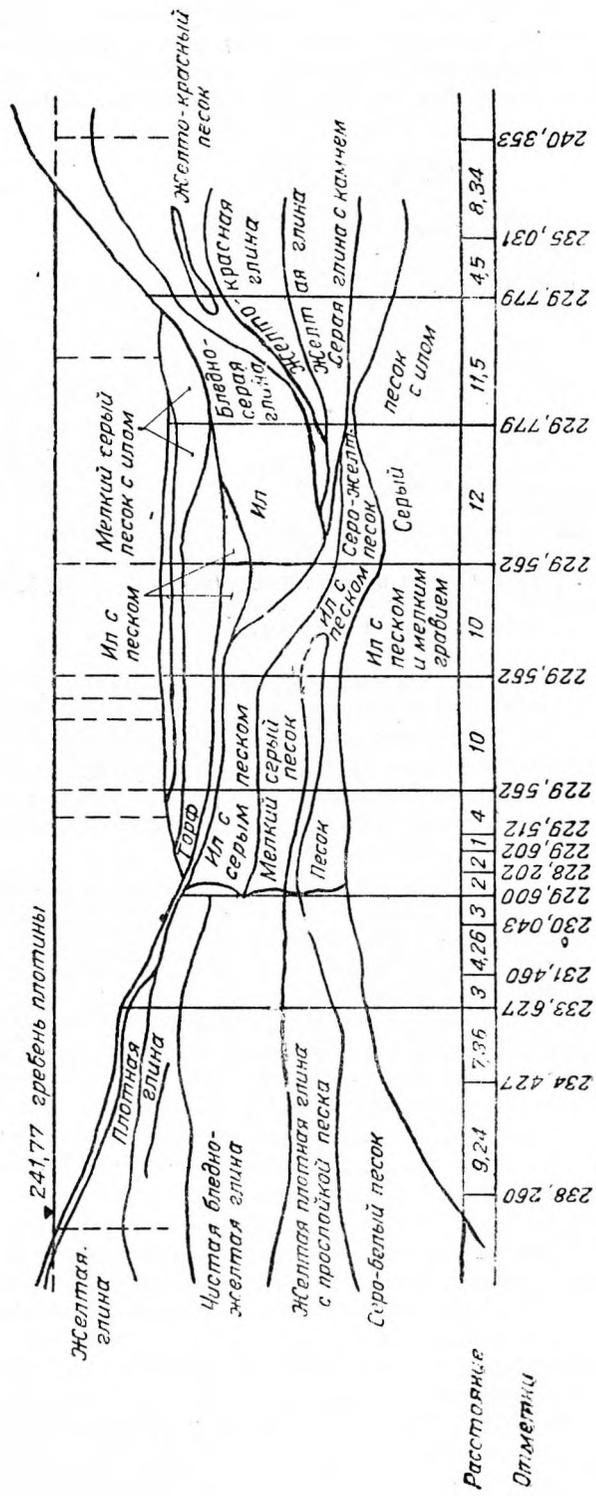
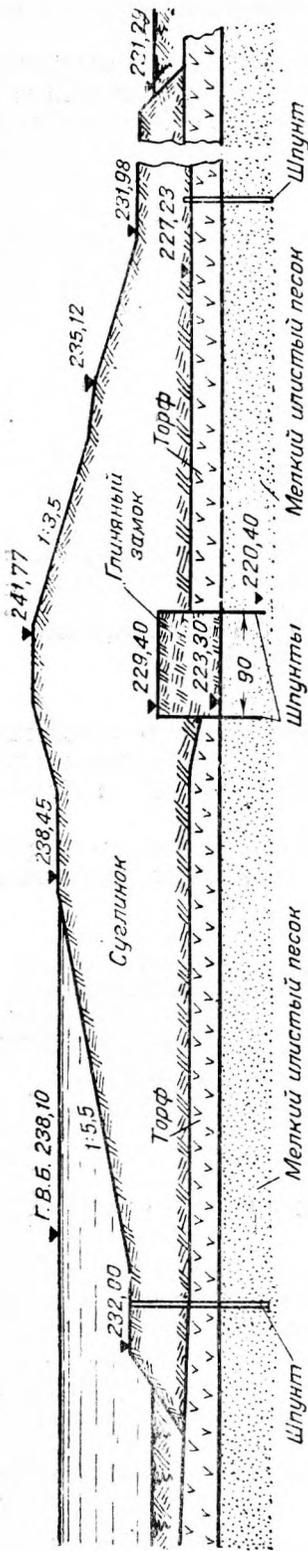
Фиг. 6. Поперечный разрез плотины Гайангер.

но также и за счет бокового перемещения неустойчивой массы основания под торфом. Взятые в основании образцы торфа при ненарушенной структуре до уплотнения имели коэффициент фильтрации $K_{10^0} = 0,00094 \text{ см/сек}$ и после уплотнения массы $K_{10^0} = 0,000000467 \text{ см/сек}$. (Метод определения коэффициента фильтрации не указан, и не указано также, происходила ли фильтрация под давлением или без давления.)

В 1932 г. была построена в Московском районе Софринская плотина из минеральных грунтов на торфяном основании, высота плотины 5 м.

¹ Терцаги указывает, что насыпь дала немедленную и значительную осадку, и дно бассейна у подножия плотины поднялось; равновесие наступило только тогда, когда площадь основания была увеличена изменением наклона откосов. *Ред.*

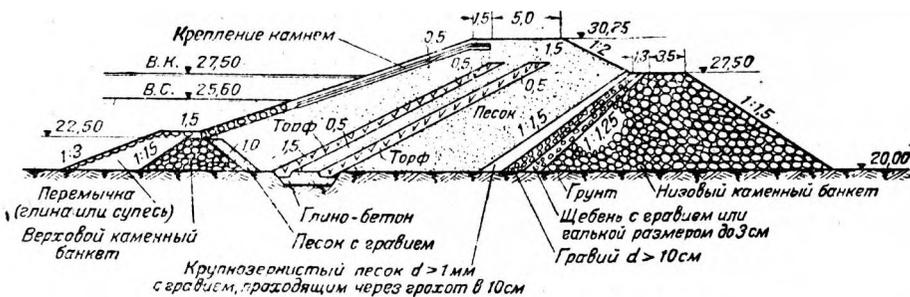
²Zentralblatt der Bauverwaltung, XIV Jahrgang № 15, S. 153, April 1894.



Фиг. 7. Куринская (Терская) плотина на торфяном основании.

В 1930—1932 гг. в Белоруссии были построены для рыбного прудового хозяйства две песчаные плотины высотой 0,7 и 3,5 м на торфяном основании мощностью от 1,45 до 2,65 м. Хотя наблюдалась значительная осадка торфяного основания под давлением насыпи, плотины работают без перебоев; торф оказался маловодопроницаем¹. В Лосиноостровской прудовой плотине (близ Москвы) противофильтрационный экран выполнен из торфа; наблюдения показали, что после отсыпки торфяного экрана фильтрация значительно уменьшилась.

В 1931—1932 гг. торф был применен в гидротехническом строительстве на Беломорско-Балтийском канале им. Сталина. К сожалению, ни характеристика применявшегося торфа, ни методы его применения нигде не описаны. Однако из имеющихся отрывочных материалов можно все же считать установленным, что на этом канале торф применялся: в слоистых экранах песчаных плотин (фиг. 8), затем для заполнения простенных пространств в дне камер шлюзов, для торфяных фартуков около верхних пал шлюзов, под настилом пола в верхних понурах шлюзов (слоем в 10 см) и под каменное крепление откосов выемок и насыпей в виде торфяной постели вместо гравийной (волокнистый торф слоем 30 см).



Фиг. 8. Песчаная плотина с торфяным экраном.

Вышеприведенные данные говорят о довольно широком применении торфа в гидротехническом строительстве. Однако методические указания о способах применения торфа, характеристика видов и свойств его как строительного материала, а также данные о результатах наблюдений за работой готовых сооружений из торфа и на торфяном основании отсутствуют совершенно. Нет также никаких данных об устройстве больших торфяных дамб.

Строительство канала Москва—Волга, лишенное вследствие этого возможности воспользоваться в отношении применения торфа опытом других строителей, было вынуждено само организовать широкое изучение вопросов применения торфа для строительных целей и использования его в качестве основания.

2. ПРИМЕНЕНИЕ ТОРФА НА СТРОИТЕЛЬСТВЕ КАНАЛА МОСКВА—ВОЛГА И ПОСТАНОВКА ИЗУЧЕНИЯ ТОРФА

а) Торфяные сооружения канала. Канал Москва—Волга на своем протяжении пересекает 22 больших и малых болота, проходя на протяжении 30 км полностью или частично в торфяных грунтах. Обход торфяных болот был связан с необходимостью удлинения русла канала и с значительным увеличением объема земляных работ. Поэтому после всестороннего обсуждения вопроса и строительного исследования торфяных болот трассы было решено их не обходить и соответствующие виды торфяных грунтов использовать в гидротехническом строительстве канала.

¹ Инж. Лу н д и, Осадка торфа под насыпями, изд. Белорусского техмассектора, 1935

В практике строительства канала торфяные грунты были применены в качестве: строительного материала для сооружения приканальных дамб, противофильтрационного материала для отсыпки экранов и понуров, несущего основания под сооружениями, а также актифильтра в виде постели, вместо гравийной, под каменное крепление откосов насыпей и выемок.

Применение торфа в гидротехническом строительстве канала, а также работы по выемке торфяного грунта характеризуются нижеследующими данными:

Отсыпано приканальных торфяных дамб высотой от 4 до 8 м на торфяном основании.....	13,5 км
В ядро тела торфяных дамб отсыпано торфяного грунта из выемок канала и резервов с применением уплотнения.....	1 006 тыс. м ³
В качестве несущего основания под сооружениями оставлено после тщательного исследования прочности торфяного грунта, подстилаемого твердыми минеральными породами.....	1 241,5
Вынуто в основании сооружений торфа, подстилаемого ненадежными мягкими минеральными грунтами (мергелем, илами, сапропелем).....	1 080,8 ,,
Вынуто торфяного грунта при прорытии русла канала на протяжении от Москва-реки до Волги.....	7 562,8 ,,
Уложено торфа в понуры и экраны на отдельных сооружениях канала.....	383,0 ,,
Произведено крепление откосов выемки и насыпи каменной укладкой на волокнистой торфяной постели .	35,0 ,, ,,

В отдельных районах Строительства были возведены следующие сооружения на торфяном основании или с применением торфа:

Приканальные торфяные дамбы на торфяном болоте вида VII.....	3,5 км
Приканальные дамбы на болоте вида III.....	4,2 .
Торфяной понур по дну канала, проходящего в крупнозернистом песке в районе болота вида I.....	0,36 ,
Западная торфяная дамба на болоте вида IV.....	1,0
Приканальные торфяные дамбы на торфяном болоте вида VIII.....	5,25 ,,
Обстановочные приканальные „попы“ в зоне водохранилища	27 шт.
Крепление откосов насыпи и выемки на торфяной постели	15 000 м ²
Трехслойный торфяной экран и двухслойный понур на минеральной плотине.....	290000 .
Торфяной понур на левобережной дамбе Ивановского водохранилища.....	72 000 ,,
Крепление мокрого откоса той же дамбы каменной наброской на торфяной постели на площади около ...	20 000 ,,

Количественный баланс работ с торфом на строительстве канала выражается следующими цифрами:

а) Вынуто торфа из русла канала и уширений.....	7 563 тыс. м ³
б) Вынуто торфа в основании приканальных дамб и других сооружений.....	1081 ,,
в) Вынуто торфа из резервов приканальных болот ...	1 359 ,, ,,
В с е г о	10003 тыс. м ³
г) Отсыпано торфа в гидротехнических сооружениях канала	1 006 ,, ,
д) Оставлено торфа под сооружениями в качестве несущего основания.....	1241 ,, ,,

Таким образом при сооружении канала в отношении органических (торфяных) грунтов полностью осуществлен принцип максимального использования местных грунтов из выемки русла и ближайших резервов. Это дало возможность сэкономить значительное количество рабочего вре-

мени и средств и явилось результатом широко поставленного изучения торфа.

б) Работа торфяного отделения Строительства. Работа по изучению торфа как строительного материала и по применению его в гидротехническом строительстве является делом новым и впервые на строительстве приняла размеры, не имеющие прецедента ни в практике СССР, ни заграничной. Значение результатов этой работы выходит далеко за пределы строительства канала Москва — Волга.

За строительный период торфяным отделением Строительства были проделаны следующие работы:

1. Произведено научно-техническое исследование 22 болот, пересекаемых трассой канала, общим протяжением 29,5 км (23% протяжения трассы) и 20 торфяных болот в приканальной полосе (резервы) и в районах водохранилищ. При исследовании произведено бурение торфяной залежи в количестве 20 153 *лог. м* в 6006 пунктах и взято 13 664 образца торфа для лабораторного анализа.

2. В организованных трех лабораториях в г. Дмитрове и двух на трассе было произведено 40 200 анализов торфа; некоторые из анализов (углы сдвига и внутреннего трения, пластичность) впервые в большом лабораторном масштабе стали производиться в торфяной лаборатории Строительства.

3. Разработаны вопросы: пределов осадок торфяных оснований и торфяных дамб; значений степени разложения торфа, обеспечивающих коэффициент фильтрации для строительного и противofильтрационного торфа ($K_{10^0} = 0,0000$ А); влияния промерзания торфа на изменение его физических свойств после оттаивания. Установлены методы отсыпки и уплотнения торфяного грунта в сооружения.

4. Составлены 124 технических записок и заключений, а также более тысячи (1002 шт.) профилей строения и технических свойств торфяных болот трассы, планов, чертежей и графиков, которые были использованы Техническим отделом при проектировании торфяных сооружений и сооружений на торфяном основании.

5. В целях нормирования торфостроительных работ на трассе и для инструктирования работ по отсыпке и уплотнению торфа в сооружениях был разработан и спущен на трассу ряд инструкций: по торфостроительным работам, по наблюдению за отсыпкой и уплотнением торфа в сооружениях, по устройству торфяных кавальеров, по креплению откосов каменной наброской на торфяной постели, по исследованию болот в районе водохранилищ, по борьбе с всплывающим торфом, по подбору и оформлению исследовательских материалов к сдаче торфяных сооружений. Инструкции по торфостроительным работам выпущены впервые.

6. Для опытного наблюдения за поведением отсыпанных в натуральную величину торфяных дамб на торфяном основании на трассе канала были организованы два опытных участка.

Для контроля за правильностью отсыпки и уплотнения торфа в производственных сооружениях были организованы в различных районах семь контрольных торфяных пунктов с лабораториями при них.

Кроме научно-исследовательских и опытных работ торфяное отделение Строительства принимало непосредственное участие в практической производственной работе.

В течение всего периода работ (1933—1936 гг.) по вызову из отдельных районов и по распоряжению руководства Строительства специалистами торфяного отделения было сделано 277 выездов на трассу для проведения работ и для производственно-технической консультации, что дало возможность предотвратить часть аварий, а в части происшедших аварий применить технически правильные приемы к их ликвидации.

Исследовательские партии производили работы по полевому исследованию болот на трассе в течение всего времени работы торфяного отделения. Ввиду срочности заданий работа не прерывалась и в зимние периоды.

Только в результате этих работ и было возможно целесообразно проектировать торфяные сооружения и сооружения на торфяном основании.

На основании исследовательских работ было внесено много рационализаторских предложений, в результате которых был уменьшен сьем торфа в основании дамб; после исследовательских работ на болоте вида IV перенесена к востоку трасса канала; предложен тип торфяной дамбы с диафрагмой из переработанного торфа; уменьшена пригрузка откосов выемки и насыпи торфяных дамб. С целью получения более сравнимых результатов и сокращения времени на производство анализов сконструирован прибор для исследования компрессионных свойств торфа и фильтрации на одном и том же образце; применен метод определения отрывающего усилия торфяных оплавин на территории водохранилищ и т. п. Указанные предложения дали возможность Строительству сберечь значительное количество времени и средств.

С целью рационального использования торфяного грунта как строительного материала и как несущего основания торфяные болота должны быть предварительно подвергнуты подробному полевому изысканию и исследованию. Это обстоятельство вызывается значительной пестротой и неоднородностью торфа не только в отдельных болотах, но и в пределах одного и того же болота, не только по географическому расположению залежи, но и в пределах одного и того же стратиграфического профиля.

Полевые изыскания и исследования торфяных болот должны сопровождаться и подкрепляться лабораторным исследованием торфа.

Данные лабораторного исследования должны характеризовать состав и технические свойства торфяного грунта, а также физико-механические константы — компрессионные, пластические, фильтрационные и другие свойства.

Ниже следует описание применявшихся на строительстве лабораторных методов исследования (гл. II), а также приемов полевых изысканий и исследований (гл. III). Попутно приводятся также и результаты этих исследований.

ГЛАВА II

МЕТОДИКА ЛАБОРАТОРНОГО ИССЛЕДОВАНИЯ ТЕХНИЧЕСКИХ И ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ТОРФА

В лаборатории Строительства канала производились исследования ботанического состава, степени разложения, а также технических и физико-механических свойств поступавших образцов торфа.

Лабораторное исследование образцов торфа должно производиться вслед за отбором проб на болоте, иначе образцы подсыхают, обезвоживаются и изменяют свои свойства, а потому результаты лабораторного исследования не могут характеризовать действительных свойств торфяного грунта в залежи.

1. БОТАНИЧЕСКИЙ СОСТАВ ТОРФА

Ботанический состав торфа определялся с помощью микроскопа. Предварительно гумус (гомогенная часть) отделялся от оформленных растительных остатков, не потерявших свою структуру, чтобы этим сделать их более наглядными и поддающимися определению. Отделение гумуса от растительных остатков производилось путем отмучивания образца торфа через металлическое сито с диаметром отверстий в 0,1 мм при торфе сильно разложившемся и 0,25 мм при торфе менее разложившемся. Сита с меньшими диаметрами отверстий применялись во втором случае для того, чтобы вместе с водой не ушла часть растительных остатков.

Перед отмучиванием (промыванием) торфа определялась степень засоренности массы минеральным наносом. Для этой цели в заполненный во-

дой стеклянный кристаллизатор калось немного торфа, который затем тщательно перемешивался стеклянной палочкой. Смесь отстаивалась до 2—3 мин., после чего воду с волокнами осторожно сливали в сито, а частицы песка или других минеральных примесей оставались на дне кристаллизатора. По наличию примесей судили о степени засоренности торфа.

После этого приступали к промыванию торфа через сито под струей воды из водопровода. При этом торф в ситочке осторожно разминался руками, но не протирался сквозь сито. Промывание торфа производилось до тех пор, пока из сита не начинала выходить прозрачная вода.

Отмученная масса торфа поступала непосредственно на анализ, который производился под микроскопом при увеличении не менее 90 раз. Для этого торф из кристаллизатора переносился пинцетом на предметное стекло стандартного размера, на которое добавлялось несколько капель воды, а растительные остатки равномерно распределялись по всему стеклу. В тетради отмечались все попадающиеся при передвижке стекла на-глаз остатки как основных торфообразователей данного образца, так и встречающихся единично; кроме того устанавливалось и процентное соотношение отдельных торфообразователей. При достаточном навыке предел точности достигал 3—5%.

Название виду данного торфа давалось по остаткам основных компонентов, растений-торфообразователей, причем в название входили те торфообразователи, количество которых в данном образце превышало 15%, например при ботаническом составе образца: осоки — 30%, древесных остатков — 40%, гипнума — 20% и сфагнума—10% торфу давалось название — гипново-осоково-древесный. Сфагнум в название не включался, так как количество массы его остатков было менее 15%.

На первом месте в названии ставился торфообразователь, содержащийся в меньшем количестве, на последнем месте — торфообразователь, преобладавший по количеству.

2. СТЕПЕНЬ РАЗЛОЖЕНИЯ ТОРФА

Степень разложения торфа определялась двумя методами: микроскопическим и механическим или весовым (способ отмучивания).

а) Микроскопический метод заключался в следующем. Проба торфа весом 30—40 г помещалась на листе картона или пергамента, тщательно перемешивалась и разравнивалась тонким слоем, затем из разных мест образца бралась средняя проба и пинцетом переносилась на предметное стекло. Здесь к частице торфа добавлялось 5—6 капель воды, после чего торф самым тщательным образом распределялся по поверхности стекла и покрывался покровным стеклом. Рассмотрение производилось под микроскопом, причем наиболее удобно оказалось увеличение в 90—100 раз; увеличение же больше, чем в 140 раз, крайне суживает поле зрения, что в данном случае нежелательно.

Для каждого образца просматривалось определенное число проб: 10 — для технических анализов, 30 — для более углубленных. Для оценки степени разложения торфа каждое поле зрения делилось на квадраты или сегменты. Сдвигая мысленно в одну сторону все более крупные растительные остатки, пытались глазомерно определить, какую они занимают часть площади (поля зрения). Определив, что более крупные растительные остатки в поле зрения занимают, положим, $\frac{2}{5}$ площади или 40%, устанавливали таким образом степень разложения в 60%. При больших степенях разложения отсчеты производились непосредственно по расположению гумуса.

Для технического анализа просматривались 3 стекла, причем на двух стеклах по 3 поля, на одном — четыре; для углубленного анализа просматривалось 10 стекол по 3 поля зрения на каждом стекле. Из полученных в итоге наблюдений 10 или 30 цифр бралась средняя арифметическая с округлением до 5%.

б) При механическом или весовом методе определения степени разложения (предложен проф. Кудряшовым В. В.) брали пробу весом около 50 г и делили ее на весах на две равные части. Одну из них подсушивали до воздушно-сухого состояния, после чего помещали в термостат (сушильный шкаф), представляющий железный ящик с полками, обогреваемый электричеством. После трехчасового нахождения в термостате при постоянной температуре в 105° образец взвешивался с точностью до второго знака.

Вторую часть образца торфа отмучивали струей воды в сите с отверстиями 0,1—0,25 мм. При этом получают две фракции: гумусовая, уходящая вместе с водой, и фракция растительного волокна, остающаяся в сите. При промывке торф следует слегка перебирать пальцами, всячески избегая при этом протирания или продавливания его сквозь сито. Когда из сита начинает выходить прозрачная вода, отмучивание считается законченным. Оставшееся в сите промытое растительное волокно тщательно собирали, высушивали в термостате до абсолютно сухого состояния в течение 3 час. при 105° , после чего взвешивали.

Степень разложения торфа определялась по формуле:

$$Z = 100 - \frac{a \cdot 100}{b}, \quad (1)$$

где Z —степень разложения; a — вес абсолютно сухого волокна из отмученной навески и b —вес абсолютно сухого торфа неотмученной половины.

3. ВЛАЖНОСТЬ ТОРФА

Одним из наиболее отличительных свойств торфа является весьма большая естественная влажность массы, достигающая 90—92%, т. е. в торфе содержится по весу только $1/10$ часть твердой фазы (грунтового скелета), остальные $9/10$ приходятся на воду.

Количество воды в торфе меняется в зависимости от степени осушения залежи торфа в болоте, от ботанического состава торфа, степени его разложения и зольности и от величины сжимающих усилий вышележащей нагрузки.

Компрессионные свойства, трение, силы сцепления, фильтрация, объемный вес, пластичность и другие строительные свойства торфяного грунта зависят от влажности в гораздо большей степени и более своеобразно, чем это можно наблюдать в минеральных грунтах, особенно вследствие того, что влага в торфе и в минеральных грунтах находится в различных формах соединения.

В общем зависимость строительных свойств торфа от условий влажности массы еще недостаточно выяснена, и этот вопрос подлежит дальнейшей методической разработке и изучению.

а) **Формы воды в торфе.** Вода в торфе содержится в следующих формах. Свободная вода, т. е. гравитационная, капельно-жидкая вода, подчиняющаяся силам тяжести и другим физическим законам; связанная вода — не подчиняющаяся силе тяжести; она может быть удалена из торфа длительным высушиванием на воздухе при физическом и термическом воздействии и воздействии химических реагентов.

Связная вода также находится в торфе в различных формах, а именно в форме: а) капиллярной воды, которая заполняет мельчайшие волосные поры и может быть удалена под влиянием нагрузки или центрифугирования с ускорением от 1 до 20000 g; б) пленочной воды, которая не может быть удалена центрифугированием даже с ускорением свыше 20 000 g; в) коллоидной воды, которая может быть удалена только высушиванием, при термическом воздействии и действии химических реагентов и г) парообразной воды, насыщающей пустоты и поры торфа.

В торфе с хорошей степенью разложения коллоидной воды имеется больше, чем в торфе с меньшей степенью разложения. Под влиянием

вышележащей нагрузки коллоидная вода выжимается в ничтожном количестве и большей частью вместе с частицами гумифицированной торфяной массы.

Поведение воды в торфе под влиянием нагрузки значительно отличается от поведения воды в минеральных грунтах. В последних вода выжимается одинаково во все стороны; в торфяных же различно, вдоль и поперек волокон остатков разложившихся растений — торфообразователей. Под влиянием компрессии выжимается капельно-жидкая и капиллярная вода, но значительное количество воды в коллоидной форме еще остается. Из тонких капилляров вода не выжимается и при нагрузке в десятки атмосфер (профессоры Дубах А. Д. и Стадников Г. Л.). При выводе коэффициента порозности торфа эта коллоидная вода, удаляемая только высушиванием при 105° , не должна приниматься в расчет или же должна учитываться особым методом, отличным от метода высушивания, применяемого для минеральных грунтов.

б) Определение влажности торфа. Влажность торфа представляет отношение веса воды в данной навеске торфа к весу этой навески или к весу сухого вещества той же навески, выраженное в процентах. Это так называемая весовая влажность, которая по отношению к сухому веществу обозначается через W , а по отношению к первоначальному весу — через W_c .

Различают также объемную влажность, представляющую выраженное в процентах отношение объема воды к объему сухого вещества в данной навеске; она обозначается через W_0 . Зависимость между различными значениями влажности определяется формулами:

$$\left. \begin{aligned} W &= \frac{W_c}{100 - W_c} \cdot 100; \\ W_0 &= W \cdot \Delta, \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

где Δ означает удельный вес торфа.

Для определения влажности торфа в бюксу (стеклянный стаканчик с притертой крышкой) или в специальные алюминиевые стаканчики набиралась средняя проба торфа (тщательно перемешанной массы образца) весом около 10—20 г. Стаканчик с торфом взвешивался, и вес его записывался в ведомость. Затем стаканчик или бюкса ставились в сушильный шкаф для сушки при температуре не выше 105° . Температура сушки не должна превышать 105° , так как торф имеет в своем составе пропитанное водой органическое вещество, которое при более высокой температуре начинает разлагаться. Это — одна из особенностей в методике исследования влажности торфа в отличие от исследования минеральных грунтов, у которых влажность может быть определена и при температурах, значительно превышающих 105° .

Сушка производилась в течение 4—8 час., после чего стаканчик (бюкса) с торфом вновь взвешивался и снова ставился на 2 часа в сушильный шкаф для продолжения сушки до постоянного веса и затем опять взвешивался. Повторное подсушивание и взвешивание производилось до тех пор, пока вес бюксы или стаканчика с торфом переставал уменьшаться. Взвешивание производилось с точностью до 0,02 г.

Подсчет влажности в процентах к весу сырого вещества (к первоначальному весу) производился по следующей формуле:

$$W_c = \frac{A - B}{A - C} \cdot 100, \quad (3)$$

где A — вес стаканчика с торфом до сушки;

B — вес стаканчика с торфом после сушки;

C — вес пустого стаканчика или бюксы.

Все записи и подсчеты сводились в ведомость по следующей форме (табл. 1).

Ведомость анализов образцов торфа на влажность

№ образцов	Глубина взятия образца в м	№ бокс	Влажность весовая по отношению к сырому веществу								Влажность в %
			Вес бокс в г	Вес бокс с торфом в г	Вес сырого торфа в г	Вес бокс с сухим торфом в г			Вес сухого торфа в г	Вес воды в г	
						взвешивание					
						I	II	III			
1	0,50	1	17,95	28,12	10,17	20,71	20,71	32,04	2,76	7,41	72,8
9	0,50	29	29,49	38,86	9,37	32,05	32,04		2,55	6,82	72,7

4. ЗОЛЬНОСТЬ ТОРФА

После сжигания торфа в тигле остается несгораемый остаток—зола. Весовое количество оставшейся золы, деленное на взятую для сжигания навеску торфа и умноженное на 100, составляет процент зольности торфа.

а) В и д ы з о л ь н о с т и т о р ф а . Различают два вида зольности торфа: зольность конституционную, которая получается в результате сжигания органического вещества, и зольность наносную, получаемую от присутствия посторонних минеральных частиц, занесенных в торф извне водой или образующихся при периодических пожарах на болоте. Наносная зольность может быть отмучена от волокна путем декантации: масса кладется в стеклянный сосуд (кристаллизатор) и перемешивается стеклянной палочкой.

Зольность конституционная сравнительно не высока. Так, зольность моховых торфов в среднем можно принять равной от 1,5 до 6%; зольность переходных видов торфа — от 6 до 8%; луговые виды торфа имеют зольность от 8 до 12% (по отношению к сырой навеске). Зольность наносного порядка может быть весьма значительной, что зависит от характера и интенсивности наноса минеральной примеси дождевыми и весенними водами с окружающего болота водосбора. Если нанос минеральных частиц происходил периодически в зависимости от влажного или сухого года, то зольность располагается неодинаковыми слоями (прослойками между торфяными слоями). Иногда большая зольность встречается в торфе отдельными очагами, линзами или включениями, в виде конкреций, что часто является следствием выпадания минеральных образований в местах выхода грунтовых вод и в местах фильтрации воды через торфяные слои.

Строительные свойства торфа находятся в тесной зависимости от зольности наносного порядка. Так, пластичность торфа уменьшается с возрастанием зольности. Объемный вес возрастает с увеличением зольности. Коэффициент фильтрации торфа возрастает или убывает в зависимости от крупности наносных частиц. Угол внутреннего трения и силы сцепления зависят только от зольности наносного порядка, уменьшаясь или увеличиваясь в зависимости от количества и характера наносных частиц. Компрессионные свойства торфа также зависят от наносной зольности. Так, с увеличением наносной зольности уменьшается сжимаемость торфяного пласта, компрессионная кривая становится положе и более низко располагается в плоскости чертежа.

б) О п р е д е л е н и е з о л ь н о с т и . Для определения зольности на строительстве канала использовался торф, оставшийся после определения влажности. При этом боксы с торфом после определения влажности сохранялись в эксикаторе (стеклянном сосуде с притертой крышкой) с крепкой серной кислотой или безводным хлористым кальцием. Сухой торф в количестве от 1 до 2 г помещался в тигель, который предварительно

взвешивался на аналитических весах с точностью до 0,0002 г. Тигель с торфом также взвешивался на аналитических весах и устанавливался в муфельную печь с электрическим обогревом. Сжигание торфа производилось в течение 4 час. при температуре от 650 до 850°. При этом нельзя допускать пламени в тигле, так как в таком случае могут улетучиться и несгоревшие частицы. Кроме того при сильном первоначальном огне некоторые составные части золы оплавляются, обволакивая озоленное вещество, которое после этого трудно поддается прокаливанию.

Лучше всего сгорание происходило, когда тигли с навеской торфа ставились в холодную муфельную печь и затем включался ток; в этом случае сухая перегонка и озоление совершались спокойнее по мере нагревания печи. Сжигание следует вести в помещении с вентиляцией или в вытяжном шкафу, так как многие продукты сухой перегонки торфа (углеводороды) имеют весьма неприятный запах.

По окончании сжигания тигель с золой вынимался из печи, охлаждался в эксикаторе и затем взвешивался на аналитических весах. Полнота сжигания торфа в тигле контролировалась повторным одночасовым прокаливанием тигля с золой и повторным взвешиванием до постоянного веса с допустимой разницей в последующем весе до 0,005 г.

Для анализа брались две навески одного и того же торфа, которые помещались в два тигля и одинаково сжигались. При определении процента зольности допускалась разница двух параллельных определений не более 2%. При получении разницы больше 2% анализ производился снова.

Подсчет содержания золы производился по следующей формуле:

$$A_c = \frac{\Phi_n - T}{\Phi_0 - T} \cdot 100, \quad (4)$$

где A_c — процент золы к абсолютно сухому веществу;

Φ_n — вес тигля с золой;

T — вес пустого тигля;

Φ_0 — вес тигля с образцом торфа до сжигания.

В случаях, когда известна влажность торфа по отношению к сырому веществу, подсчет содержания золы производился по следующей формуле:

$$A_c = \frac{g \cdot 100}{p \cdot (100 - W_c)}, \quad (5)$$

где g — вес полученной золы в г;

p — навеска сырого торфа в г;

W_c — процент влажности торфа к сырому веществу.

Результаты лабораторных исследований заносились в особую ведомость по следующей форме (табл. 2).

Т а б л и ц а 2
(форма)

Ведомость анализов образцов абсолютно сухого торфа на зольность

№ анализов	№ проб	№ тиглей	Вес пустого тигля в г	Вес тигля с торфом в г	Вес тигля с золой после прокаливания		Вес абсолютно сухого торфа в г	Вес золы в г	Зольность в %
					I взвеш. в г	II взвеш. в г			
2426	546	21	13,7200	15,9117	13,9458	13,9450	2,1917	0,2250	10,27
2427	575	22	13,6736	16,8480	14,1142	14,1136	3,1744	0,4400	13,88
2428	538	23	15 3332	17,1508	15,5445	15,5445	1,8176	0,2113	11,60
и т. д.									

5. УДЕЛЬНЫЙ ВЕС ТОРФА

Удельный вес торфа (A) есть вес частиц торфа в граммах, поделенный на объем, занимаемый этими частицами, в куб. сантиметрах. Обозначая вес частиц в 1 см^3 торфа через S , объем воды и воздуха через l и удельный вес через Δ , получим для удельного веса выражение:

$$\Delta = \frac{\delta}{1 - n}. \quad (6)$$

Как видно из приведенного выражения, главным условием при определении удельного веса торфа должно быть полное удаление воды и воздуха из порошка навески торфа. Поэтому торф, взятый для анализа, предварительно высушивался в сушильном шкафу при 105° до абсолютно сухого состояния. Высушенный торф размалывался в ступке в порошок и затем просеивался сквозь сито, имеющее 900 отв/см^2 .

Удельный вес определялся с помощью пикнометра емкостью 250 см^3 . Перед определением удельного веса объем пикнометра градуировался при разной температуре. Этим достигалась возможность определения удельного веса при любой температуре с введением поправок на плотность воды.

Градуировка пикнометра производилась следующим образом. Взвешенный на аналитических весах пустой пикнометр наполнялся дистиллированной водой и опускался в ванночку с водой для уравнивания температуры пикнометра с температурой воды в ванночке. Удалив фильтровальной бумагой излишки воды из пикнометра сверх черты на стекле, его быстро закрывали крышкой, вытирали поверхность досуха и взвешивали на аналитических весах. По разнице весов пикнометра с водой и сухого определяли объем пикнометра при температуре воды в ванночке. Эта операция повторялась при разных температурах, и на основе полученных результатов составляли кривую зависимости объема пикнометра от температуры воды в нем.

Определение удельного веса производилось следующим образом. В высушенный градуированный пикнометр клали навеску размолотого и просеянного абсолютно сухого торфяного порошка и наполняли его до половины или до $3/4$ объема дистиллированной воды. После этого пикнометр опускался в сосуд с дистиллированной водой и кипятился на электрической плите или в песочной ванне. Кипячением торфа в пикнометре достигалось удаление воздуха из торфа. Кипячение продолжалось до тех пор, пока весь воздух не удалялся из торфа и весь порошок не опускался на дно. Затем пикнометр охлаждался, помещался в вакуум-эксикатор, и из него осторожно выкачивался воздух для удаления последних следов его из торфа.

При прекращении выделения пузырьков пикнометр доливался водой, опускался в ванночку с водой для нагрева до соответствующей температуры, освобождался при помощи фильтровальной бумаги от излишка воды сверх черты, закрывался пробкой, вытирался и взвешивался на аналитических весах. Зная температуру пикнометра с находящимися в нем торфом и водой, находили по графику вес воды в пикнометре при данной температуре; прибавляя вес пустого пикнометра, определяли вес пикнометра с водой.

Подсчет удельного веса производился по формуле:

$$\Delta = \frac{B}{A + B - C}, \quad (7)$$

где Δ — удельный вес торфа;

B — вес порошка абсолютно сухого торфа;

A — вес пикнометра с водой;

C — вес пикнометра со смесью воды и торфа.

Обычно определение удельного веса торфа велось одновременно с определением его влажности высушиванием в термостате. Иногда анализ удельного веса торфа начинали тотчас же, не дожидаясь результата высушивания порошка торфа в термостате, беря навеску невысушенного торфа из того же образца, который параллельно подвергался исследованию на влажность. Большой частью к концу лабораторного анализа на удельный вес заканчивалось и определение влажности данных образцов торфа. Зная процент влажности порошка торфа, производили пересчет навески невысушенного торфа на вес его в абсолютно сухом состоянии.

Пересчет влажности производился по формуле:

$$B = \frac{P(100 - W_c)}{100}, \quad (8)$$

где B — вес абсолютно сухого торфа;

P — вес навески невысушенного торфа;

W_c — весовая влажность торфа по отношению к сырому веществу.

При массовых определениях удельного веса оказывалось удобным располагать все лабораторные записи и вычисления в ведомости по следующей форме (табл. 3).

Таблица 3
(форма)

Ведомость определения удельного веса торфа

№ п/п	Место взятия образца	Глубина взятия образца в г	Вес пикнометра B_2	Вес пикнометра с навеской в г	Навеска P в г	Влажность в %	Абсолютн. сухая навеска B в г	Вес пикнометра с водой A_2	Вес пикнометра с водой+абсолютно сухой навески $(A+B)$ в г	Вес пикнометра со смесью воды и навески C в г	Вес вытесненной воды в г	Удельный вес Δ
1	пк 10/1 + 0	0,5	11,1851	13,0634	1,8783	13,05	1,6362	50,8614	52,4946	51,4222	1,0224	1,59
2	пк 10/1+0	1,0	11,3550	13,1039	1,7489	13,39	1,5147	50,8614	52,3761	51,4012	0,9749	1,55
3	пк 10/3 + 0 и т. д.	1,0	11,1774	13,7068	2,5294	12,68	2,2086	50,8614	53,0700	51,5180	1,5220	1,45

Удельный вес органического вещества торфа незначительно колеблется около 1,4—1,5. Присутствие в торфе наносных минеральных частиц или частиц золы от периодических пожаров на болотах значительно увеличивает удельный вес торфа, приближая его к удельному весу минеральных грунтов.

Таблица 4

Удельный вес торфа

Наименование болот	Удельный вес торфа			
	От	До	Среднее	Число образцов
Болото вида IV	1,64	1,86	1,75	12
, V		1,55	1,51	10
, VI (№ 1 и 2) .	1,63	1,66	1,645	12
, VII	1, 60	1,63	1,62	10

6. ОБЪЕМНЫЙ ВЕС ТОРФА

а) Определение объемного веса. Объемный вес торфа (Γ), как и всякого грунта, зависит от удельного веса слагающих торф частиц и порозности массы: чем больше порозность (количество воды и воздуха) торфа, тем меньше его объемный вес, и наоборот. При одной и той же

порозности объемный вес больше при большем удельном весе частиц торфа. Иначе говоря, увеличение засоренности торфа минеральными частицами увеличивает его объемный вес.

Объемный вес торфа уменьшается в участках, расположенных к центру торфяника, и увеличивается при приближении к периферии, что, очевидно, находится в зависимости от более интенсивного заноса минеральными частицами периферийных частей залежи.

Объемный вес торфа определялся без учета порозности и представлял собой отношение веса торфа к его объему. Обозначая через γ объемный вес торфа, через P — вес торфа в граммах, через V — объем торфа в куб. сантиметрах, получим следующее выражение объемного веса:

$$\gamma = \frac{P}{V}. \quad (9)$$

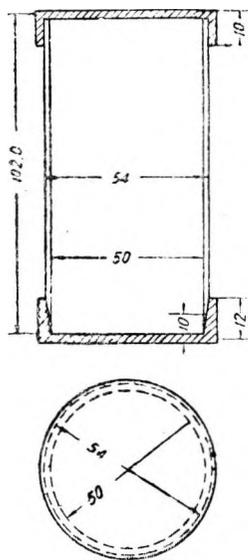
Отбор проб на объемный вес как из блоков, так и из укладываемого слоя в сооружение производился обычно стаканом Некрасова (фиг. 9). Стакан изготовлялся из железной двухдюймовой трубы с обточкой внутренней и внешней сторон; крышки штампованные или сварные, плотно пригнанные; стаканы нумеровались.

Поверхность отсыпанного слоя торфа в сооружении или блоке срезалась на 1—2 см, и в выровненную поверхность вдавливался стакан острыми краями с погружением ниже уровня поверхности на 1 см с помощью второго стакана. Затем широким ножом или лопаточкой стакан вынимался вместе с торфом и излишки торфа обрезались сверху и снизу стакана вровень с краями. Торф, прилипший к наружным бокам стакана, также тщательно очищался.

В целях контроля на расстоянии 15—20 см таким же образом отбирался торф вторым стаканом.

Для определения объемного веса торфа производилось взвешивание стаканов пустых и с торфом.

Подсчет объемного веса производился по приведенной выше формуле (9). Результаты определения объемного веса записывались в ведомость следующей формы (табл. 5).



Фиг. 9. Стакан Некрасова для отбора проб торфа.

Таблица 5
(форма)

Ведомость определения объемного веса торфа

Дата	№ контрольных точек или блоков	Место взятия образца		Определение объемного веса					
		ПК	Отметка или высота от основания	№ стаканов	Вес (в г)			Объем торфа в стакане в см ³	Объемный вес γ
					стакана с торфом	стакана	торфа		
30/VII 1936 г.	1	34/8 + 28	131,00	4	483,57	264,52	219,05	212,26	1,032
30/VII 1936 г.	2	34/8 + 56	130,50	8	485,70	264,60	221,60	212,26	1,044
31/VII 1936 г.	3	34/8 + 73	130,50	12	484,17	265,33	218,84	212,26	1,031
и т. д.									

Объемный вес сырого торфа с болот, расположенных по трассе канала, выражается следующими цифрами (табл. 6).

Т а б л и ц а 6

Объемный вес торфа

Наименование болот	Объемный вес			
	От	До	Среднее	Число образцов
Болото вида IV (осушенное, заиленный осоково-древесный торф).....		1,537	1,167	7
Болото вида V (осушенное, моховой торф).....	0,866	1,006	0,943	11
» » VI (недостаточно осушенное, тростник и травянисто-древесный торф).....	0,872	0,994	0,945	7
Болото вида VII (осушенное, травянисто-осоково-древесный торф).....	0,924	1,020	0,983	11

б) Зависимость между уплотнением торфа и его объемным весом и коэффициентом фильтрации. Выжимая давлением воду и воздух из торфа, т. е. уплотняя торф, мы тем самым увеличиваем его объемный вес. Таким образом по объемному весу торфа можно судить о степени его уплотнения при отсыпке в сооружения. Но при этом необходимо принимать во внимание степень однородности отсыпаемого торфа. Так как торф в карьере даже в пределах одного забоя бывает разной зольности, а следовательно и разного объемного веса, то одно и то же уплотнение в разных местах отсыпки может характеризоваться различными значениями объемных весов.

Однако проще степень уплотнения характеризовать не объемным весом, а коэффициентом фильтрации торфа, так как корреляция между уплотнением и фильтрацией выражается весьма ясно. Вынутый из залежи и затем замороженный торф приобретает малый объемный вес и большой коэффициент фильтрации, вследствие чего оказывается для строительных целей непригодным. Высушенный торф имеет малый объемный вес (0,45—0,55) и большой коэффициент фильтрации, плохо уплотняется, вследствие чего также является непригодным для строительных целей. Куски сухого торфа, выброшенные на дно водоема или водохранилища, могут после наполнения всплыть на поверхность.

7. УГЛЫ ВНУТРЕННЕГО ТРЕНИЯ И СИЛЫ СЦЕПЛЕНИЯ

а) Определение угла внутреннего трения, угла сдвига и силы сцепления. Сопротивление сдвигу, как известно, складывается из сил трения и сил сцепления. Зависимость между силой трения, силой сцепления и нормальным давлением обычно выражается формулой Кулона¹:

$$T = C + fN, \quad (10)$$

где T — сдвигающие напряжения в $кг/см^2$;

N — нормальные напряжения в $кг/см^2$;

C — сила сцепления на единицу площади в $кг/см^2$;

f — коэффициент внутреннего трения, равный $t g \psi$, где ψ — угол внутреннего трения.

Отношение $\frac{T}{N} = tg \psi$ называется коэффициентом сдвига, а ψ — углом сдвига.

¹ См. К. Терцаги, Инженерная геология, стр. 30, 1933. *Ред.*

Следовательно для получения по формуле Кулона коэффициента сдвига необходимо уравнение (10) разделить на N :

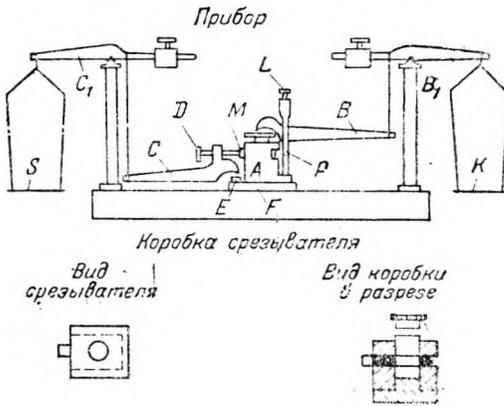
$$\frac{T}{N} = f + \frac{C}{N} = \operatorname{tg} \psi. \quad (11)$$

Исходя из приведенных формул и производили лабораторные определения углов внутреннего трения, сдвига и сил сцепления.

Определение указанных физико-механических свойств для торфа производилось на приборе проф. Н. П. Пузыревского (фиг. 10). Образцы для

опыта набирались в нарушенном и в ненарушенном состоянии и срезались на приборе как с предварительной подготовкой в специальных ваннах проф. Пузыревского (фиг. 11), так и без подготовки.

Прибор проф. Н. П. Пузыревского (фиг. 10) состоит из коробки срезывателя A , устанавливаемой на подставку F , и коленчатого рычага C , имеющего опору в упоре E подставки F ; при помощи рычага сообщается срезывателю горизонтальное направление сдвига через регулирующий винт D на головку M срезывателя A . Длинное плечо коленчатого рычага C соединено свободно при помощи стержня с плечом коромысла B_1 , к которому подвешены чашка весов K и противовес.

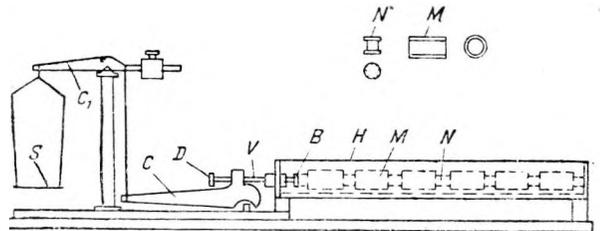


Фиг. 10. Схема прибора проф. Пузыревского для определения углов внутреннего трения и сил сцепления.

дающим усилие от груза, положенного на чашку весов S . Для создания вертикального давления служит двухплечный рычаг B , упирающийся коротким плечом в крышку коробки срезывателя и имеющий точкой опоры винт L , укрепленный в раме. Длинное плечо рычага B соединено свободно при помощи стержня с плечом коромысла B_1 , к которому подвешены чашка весов K и противовес.

Ванна проф. Н. П. Пузыревского (фиг. 11) представляет собой чугунную коробку H размерами 40 X 40 X 620 мм с толщиной стенок 10 мм.

В одну из торцевых стенок ванны вставлен стержень — шток V с диском B с внутренней стороны ванны. Шток движется в отверстии в стенке и пригнан так, что вода не может проходить в зазоры между стенкой отверстия и штоком. Стержень нарезкой входит в выступ коленчатого рычага C и оканчивается головкой D , служащей для регулирования равновесия весов: коромысла с чашкой S , на которую кладется груз. В ванну по длине ее помещаются шесть алюминиевых или медных цилиндров M размером по длине 80 мм и внутренним диаметром 32 мм, в цилиндры входят свободно специальные пробки N высотой и диаметром 30 мм с отверстиями для выпуска отжимаемой воды.



Фиг. 11. Схема ванны к прибору проф. Пузыревского для подготовки проб грунта к срезу.

Подготовка образцов торфа в ванне для срезывания производилась следующим образом. Цилиндры с образцами заполнялись сразу в количестве 6 шт. на одну ванну. Установив горизонтально ванну и отрегулировав коромысло весов, передающих давление на шток, заряжали ванну цилиндрами с торфом. Зарядку начинали с вставления пробок в цилиндры с тор-

фом, соединяя одной пробкой по два цилиндра. Спаренные цилиндры укладывали в ванну, не допуская нажима штоком на цилиндры. Затем вставляли пробки между парами цилиндров и у торцевой стенки, где был вставлен шток, и в ванну наливали воды настолько, чтобы цилиндры покрылись водой, после этого постепенным накладыванием гирь на чашку весов их приводили в положение полного равновесия. От выжимания воды из торфа в цилиндрах пробки входили в цилиндры все больше и больше, и чашка весов начинала опускаться, что обнаруживалось примерно через полчаса после зарядки. Тогда, подвинчивая регулирующий винт, поднимали чашку весов опять до положения равновесия; это повторялось периодически в течение всего времени, пока шел процесс обжима и уплотнения торфа. По прошествии примерно 20 час. чашка переставала опускаться, тогда, прибавляя новые гири на чашку весов, доводили нагрузку до заданной величины, соответствующей проектной удельной нагрузке, и продолжали дальнейшее наблюдение за отжимом воды. Так как объем торфа в цилиндрах вследствие отжима воды сильно уменьшается, то случилось, что пробки входили в цилиндры нацело, и цилиндры упирались концами друг в друга. В этом случае воду из ванны тотчас же выливали и производили перезарядку, вставляя дополнительно вторые пробки между цилиндрами и у торцевых стенок; залив ванну снова водой, загружали чашку весов гирями, доводя нагрузку до необходимой величины.

После того как чашка весов переставала опускаться и процесс отжатия воды под данной нагрузкой заканчивался, образцы торфа считались подготовленными, и ванна разгружалась. Подготовка торфа продолжалась 7—10 дней.

Подготовленные в ванне образцы торфа должны были тотчас же срезаться на приборе проф. Пузыревского. Если немедленная срезка не предполагалась, то образцы не вынимались из ванны.

Срезка торфа на приборе проф. Пузыревского производилась следующим образом. Коробка срезывателя вместе с вставленным в нее срезывателем устанавливалась на подставку прибора. Совместив края отверстий срезывателя и коробки, заполняли полученное цилиндрическое отверстие торфом. Заполнение производилось из цилиндров, взятых из ванны. Для этого края цилиндра совмещали с краями отверстий коробки и торф из цилиндра выталкивали в отверстие коробки срезывателя особым круглым деревянным шомполом, имевшим диаметр, равный отверстию коробки и цилиндра. Заполненная торфом коробка закрывалась крышкой и прижималась к упору. Затем на крышку производилось надлежащее вертикальное давление, передающееся рычагом от груза, положенного на правую чашку весов. Величина груза, соответствующая данному нормальному напряжению, отыскивалась по готовой таблице (см. ниже табл. 8).

Если образец срезался под вертикальным давлением большим того, под которым он находился при подготовке в ваннах, то ждали, пока из торфа, подвергнутого увеличенной вертикальной нагрузке, стечет излишняя вода. Далее горизонтальным давлением производился срез образца торфа по двум плоскостям при помощи срезывателя. Для этого горизонтальный винт подводился вплотную к головке срезывателя, а на левую чашку весов накладывался груз ступенями примерно в 20 г, причем наблюдали за перемещением срезывателя под действием горизонтальной силы.

Постелено добавляемый на чашку весов груз вызывал деформацию торфа, но не производил еще окончательного сдвига, шока нагрузка не достигала величины скалывающей (разрушающей) силы.

Этой величиной являлась та, которая производила безостановочный сдвиг без увеличения груза на чашке весов; при этом получалась деформация таких размеров, что чашка весов опускалась и садилась на подставку прибора. Величина срезывающего напряжения, соответствующего скалывающей силе, берется из готовой таблицы по величине груза (табл. 9). Величины нормального и срезывающего напряжений, вызванных

в торфе грузами на правой и левой чашках весов, записывались в особый бланк для ведения записей среза.

После производства среза торф из срезывателя вынимался и сейчас же передавался для определения влажности, порозности ¹, удельного веса, объемного веса, зольности, степени разложения и ботанического состава. Полученные после определения данные также записывались в бланк (см. форму бланка и табл. 7).

Определение коэффициента внутреннего трения и сил сцепления торфа на приборе Пузыревского (форма бланка)

АНАЛИЗ № 106

Образец нарушенной, ненарушенной структуры (подчеркнуть).

Взят на пк 3 + 0 в расстоянии от оси плюс 0 м с болота вида VII.

Глубина 1 м с отметки —131,00.

Торф срезался с подготовкой, без подготовки (подчеркнуть).

Нормальное напряжение при подготовке для № 1 — 250, № 2 — 250, № 3 — 1 000,

№ 4 — 1 000, № 5 — 5000, № 6 — 5000 г/см².

Т а б л и ц а 7
(форма)

Таблица данных к расчету коэффициента внутреннего трения и сил сцепления

№ стаканов от поршня	1	2	3	4	5	6
Нормальные напряжения в момент среза в г/см ² —N	250	250	1 000	10 00	5000	5 000
Срезающее усилие в г	285	275	802	755	2 535	2 500
Срезающее напряжения в г/см ² —T	403	388	1 119	1067	3 710	3 540

Определение объемного веса торфа

Вес	До среза		После среза		До среза		После среза		До среза		После среза	
	До среза	После среза	До среза	После среза	До среза	После среза	До среза	После среза	До среза	После среза	До среза	После среза
Вес тары с грунтом в г		40,15		41,13		42,80		42,15		42,38		43,95
Вес тары в г		23,30		23,45		23,75		21,68		21,23		24,25
Вес грунта в г		16,85		17,68		19,05		20,47		21,15		19,70
Объем грунта в см ³	—	14,14	—	14,14		14,14		14,14		14,14		14,14
Объемный вес		1,19		1,25		1,35		1,45		1,49		1,39

Определение влажности торфа

Вес	№ бюкс											
	Ф66	Ф 51	Ф 90	Ф 70	И 66	И 23	И 44	И 25	И 30	И 48	Ф 75	Ф 63
Вес бюксы с торфом до сушки в г	28,31	40,05	28,87	41,13	27,05	32,80	26,62	32,15	25,17	42,38	26,73	43,95
Вес бюксы с торфом после сушки в г	24,75	29,35	24,70	30,02	24,80	28,03	24,63	26,27	24,02	32,97	24,25	34,73
Вес бюксы в г	22,85	23,30	22,45	23,45	22,62	23,75	22,95	21,68	22,82	21,23	21,05	24,25
Вес заторфованного мергеля в г	5,46	16,85	6,42	17,68	4,33	9,05	3,67	10,47	2,35	21,15	5,68	19,70
Вес воды в г	3,56	10,80	4,17	11,11	2,25	4,77	1,99	5,90	1,17	9,32	2,50	9,24
Влажность W _c	64,2	64,1	64,9	63,0	52,0	52,6	54,4	56,7	49,0	44,0	44,0	46,7

¹ Способ определения коэффициента порозности ε см. ниже, п. 9.

Торф заложен в ванну № 3 15 мая 1935 г., срез производился 26 мая 1935 г.

Характеристика торфа: Степень разложения. Ботанический состав: заторфованный мергель. Зольность — %. Удельный вес — $\Delta = 2,05$. Коэффициент порозности $\epsilon = 212,5\%$.

Для установления зависимости между сдвигающими силами и нормальным давлением опыты по срезыванию торфа проделывались при различных нормальных давлениях. После производства срезывания образцов полученный материал подвергался обработке. Величины усилий вертикального давления пересчитывались на нормальное напряжение, выражаемое в $г/см^2$, путем деления величины вертикального давления, выраженного в граммах, на площадь отверстия срезывателя, выраженного в кв. сантиметрах. Величина срезывающего усилия, выраженная в праймах, делилась на двойную площадь отверстия срезывателя, выраженную в кв. сантиметрах, так как срез происходил по двум плоскостям.

Полученные данные нормальных и срезывающих напряжений наносились точками на координатную сетку, изготовленную на обратной стороне бланка (фиг. 12).

По оси абсцисс наносились нормальные напряжения N , а по оси ординат срезывающие напряжения T . Через нанесенные на сетке точки проводили прямую, которая и показывала графически направление и величину угла внутреннего трения, равного углу этой линии с осью абсцисс. На этом же бланке под координатной сеткой по готовым формулам производили вычисление коэффициента и углов внутреннего трения, углов сдвига и сил сцепления.

Иногда коэффициент внутреннего трения вычисляли и по любым двум точкам полученной прямой линии, беря разность их координат и деля ее на горизонтальное расстояние между ними, т. е.

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{T_2 - T_1}{N_2 - N_1} = \text{коэффициенту внутреннего трения.}$$

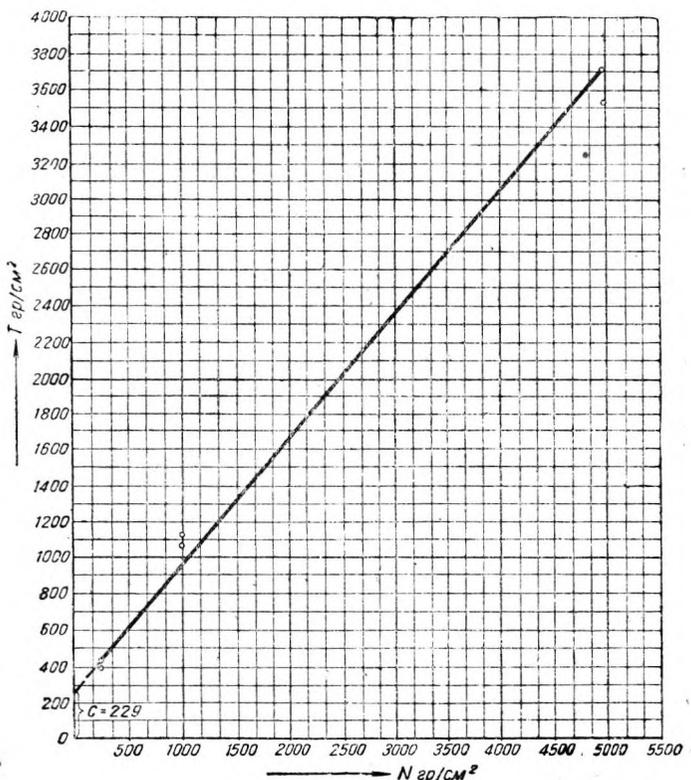
Силу сцепления брали обычно непосредственно по графику на бланке, но ее можно вычислить и более точно по формуле:

$$C = T - N \operatorname{tg} \varphi, \quad (12)$$

где C — сила сцепления в $г/см^2$;

T и N — координаты любой точки на прямой графика, т. е. соответствующие друг другу срезывающее и нормальное напряжения в торфе в момент среза;

$\operatorname{tg} \varphi$ — коэффициент внутреннего трения.



Фиг. 12. Зависимость углов сдвига от нагрузки.

Иногда коэффициент внутреннего трения вычисляли и по любым двум точкам полученной прямой линии, беря разность их координат и деля ее на горизонтальное расстояние между ними, т. е.

Углы сдвига

N	T	$\operatorname{tg}\psi$	ψ
250	403	1,61	58°0'
250	388	1,55	57°0'
1 000	1 119	1,12	48°0'
1 000	1 067	0,926	42°50'
5 000	3710	0,742	36°40'
5 000	3540	0,710	35°30'

Для случая, представленного на графике (фиг. 12), получаются следующие значения:

$$\operatorname{tg}\psi = \frac{T}{N} = \text{тангенсу угла сдвига};$$

$$\operatorname{tg}\varphi = \frac{T-C}{N} = \frac{3710-229}{5000} =$$

$$= \text{тангенсу угла трения} = 0,696;$$

$\varphi = 34^{\circ}50'$ — угол внутреннего трения,
 $C = 229 \text{ з/см}^2$ — сила сцепления,

б) Тарировка прибора и ванны проф. Н. П. Пузыревского. Тарировка заключается в составлении таблиц, дающих зависимость между величиной груза, лежащего на чашке весов, и возникающим напряжением в грунте образца: нормальным от груза на правой чашке и сдвигающим от груза на левой чашке.

Для тарировки прибора проф. Пузыревского необходимо найти: а) соотношение плеч правого и левого коромысла, б) соотношение плеч рычага, передающего вертикальную силу, и рычага, передающего горизонтальную (срезающую) силу, в) вес крышки коробки срезователя, г) вес рычага, передающего вертикальную нагрузку, подвешивая в горизонтальном положении длинный конец его, д) величину площади отверстия срезователя и е) вес грунта, лежащего выше верхней плоскости срезователя.

Соотношение плеч коромыслов и рычагов представляет отношение длины большего плеча к длине меньшего. На основании этих данных составляется формула как для нормального (вертикального), так и для срезающего (горизонтального) напряжения в зависимости от величины груза, лежащего на чашке весов.

Нормальное напряжение вычисляется по формуле:

$$N = \frac{Qab}{\omega} + \frac{q+r+t}{\omega}, \quad (13)$$

где N — вертикальное напряжение в т/см^2 ;

Q — вес гирь, положенных на правую чашку весов;

a — соотношение плеч правого коромысла;

b — соотношение плеч рычага (правого), передающего вертикальную силу;

q — вес крышки коробки срезователя;

r — вес грунта, лежащего выше верхней плоскости срезователя;

t — вес конца рычага, подвешенного в горизонтальном положении;

ω — площадь сечения отверстия коробки срезователя.

Срезающее напряжение определяется формулой:

$$T = \frac{Q_1 a_1 b_1}{2\omega} - \frac{S}{2\omega}, \quad (14)$$

где Q_1 — вес гирь, положенных на левую чашку весов;

a_1 — соотношение плеч левого коромысла;

b_1 — соотношение плеч рычага (левого), передающего горизонтальную силу;

2ω — двойная площадь сечения отверстия срезователя;

S — сила трения металла по грунту.

Для определения силы S закладывают разжиженный грунт в коробку и вдавливают пестиком так, чтобы часть грунта вошла в зазор между поверхностями срезователя и коробки; затем, освободив коробку от грунта, накладывают гири на чашку весов, пока не произойдет безостановочного движения срезователя.

Если величину груза, лежащего в этот момент на чашке весов, обозначим через P то сила трения S металла по грунту будет равна: $S = P a_1 b_1$.

На основании приведенных формул составляются таблицы для каждого прибора по различным грунтам (в частности по торфу). По этим таблицам и определяются напряжения, соответствующие величине грузов, положенных на чашки весов (табл. 8 и 9 нормальных и срезающих напряжений, подсчитанных для прибора № 2 по торфу).

Таблица 9

Таблица срезающих напряжений и соответствующих грузов, подсчитанных для прибора № 2 по торфу

$T \text{ г/см}^2$	$Q_1 \text{ г}$	$T \text{ г/см}^2$	$Q_1 \text{ г}$
0	0	450	621,81
20	15,51	500	692,31
30	29,61	1000	1 397,31
40	43,71	1 500	2 102,31
50	57,81	2 000	2 807,31
100	128,31	2500	3 512,31
150	198,81	3 000	4 217,31
200	269,31	3 500	4 932,31
250	339,81	4 000	5 627,31
300	410,31	4 500	6 332,31
350	480,81	5 000	7 037,31
400	551,31	5500	7 742,31

Таблица 8

Таблица нормальных напряжений и соответствующих грузов, подсчитанных для прибора № 2 по торфу

$N \text{ г/см}^2$	Q_2	$N \text{ г/см}^2$	Q_2
163,4	0	4 000	1 318,4
500	115,7	5 000	1 662,1
1 000	287,5	6 000	2 005,7
1 500	459,3	7 000	2 349,4
2 000	631,1	8 000	2 693,0
2 500	803,0	9 000	3 037,0
3 000	974,8	10 000	3 380,3

8. ПЛАСТИЧНОСТЬ ТОРФА

а) Характеристика пластичности. Пределы весовой влажности (по отношению к сухому весу), в которых торф приобретает свойства пластичности, называют пределами пластичности. Различают следующие виды пластичности.

Верхний предел пластичности F или нижний предел текучести, характеризуемый таким состоянием торфа, при котором по определению Охотина края грунта (толщиной около 2 см), помещенного в полукруглую чашку и разделенного бороздкой в 2 мм, слипаются на высоту 1 мм от удара чашки о жесткую подставку при падении с высоты в 40 см.

По определению Казагранда верхний предел пластичности характеризуется весовой влажностью, при которой края грунта, разделенного бороздкой в полукруглой чашке, слипаются от 25 ударов чашки о подставку при высоте падения в 1 см и при частоте 2 удара в 1 сек.

Нижний предел пластичности A или предел выкатывания по Аттербергу характеризуется такой весовой влажностью грунта, при которой нить раскатанного грунта толщиной 3 мм начинает разрываться на части и крошиться.

Число пластичности Φ есть величина, представляющая разность весовой влажности верхнего и нижнего пределов пластичности ($F - A - \Phi$).

Число пластичности характеризуется такой влажностью, в пределах которой торф обладает свойствами пластичности.

Увеличение степени разложения влияет на уменьшение верхнего предела пластичности, но не имеет определенного влияния на предел выкатывания.

Степень переработки торфа, пропущенного через машину, влияет на уменьшение верхнего предела пластичности на 20—30% и не влияет на предел выкатывания.

Пластичность также зависит от величины и характера зольности торфа. Увеличение зольности в виде тонкой минеральной примеси от 5 до 25% при всех степенях разложения понижает верхний предел и число пластичности и мало влияет на предел выкатывания. В мало разложившемся торфе с минеральной примесью выше 25% сильно уменьшаются оба предела пластичности и число пластичности при повышении зольности; наоборот, в хорошо разложившемся торфе с той же зольностью оба предела и число пластичности уменьшаются только незначительно при повышении зольности.

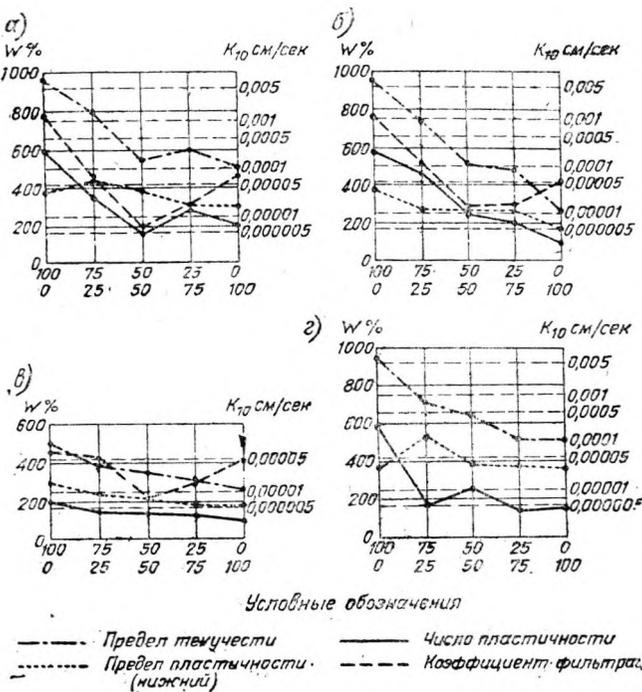
Колебания величин пластичности для торфов с зольностью до 25% следующие. Мало разложившийся торф (болота вида I и III), верхний

предел пластичности — от 650 до 950%, нижний предел пластичности — от 300 до 425%. Хорошо разложившийся торф (болота вида VI и VII): верхний предел пластичности — от 500 до 600%, нижний предел пластичности — от 250 до 350%.

Что касается числа пластичности, то по наибольшему числу определений оно получилось для первого случая от 300 до 450%, а для второго случая — от 175 до 300%.

Для одной и той же зольности число пластичности оказывается для мало разложившегося торфа больше, нежели для хорошо разложившегося торфа.

Зависимость чисел пластичности от естественной влажности не была установлена, так как не имеется четкой корреляции между влажностью и пластичностью. Поэтому судить о величине пластичности торфа



Фиг. 13. Зависимость числа пластичности и коэффициента фильтрации от степени разложения и зольности смеси торфа:

а — смесь малоразложившегося торфа с болота вида I и хорошо разложившегося с болота вида VI; б — смесь хорошо разложившегося торфа с болота вида I и высокозольного с болота вида VI; в — смесь хорошо разложившегося торфа болота вида VI с высокозольным торфом того же болота; г — смесь малоразложившегося торфа с болота вида I и хорошо разложившегося с болота вида VII.

в залежи или сооружении по величине естественной влажности до сих пор не имеется возможности.

Между пластичностью и коэффициентом фильтрации наблюдается известная зависимость. Особенно эта зависимость ясно выражена в смеси двух видов торфа различной зольности и различной степени разложения (фиг. 13). Чем больше зольность смеси торфяного и минерального грунта, тем меньше число пластичности и коэффициент фильтрации; чем больше степень разложения смеси торфов, тем меньше коэффициент фильтрации, а также меньше пластичность той же смеси.

Зависимость между коэффициентом фильтрации и пластичностью различных торфов представляется в виде весьма изломанной линии по обеим сторонам некоторой кривой, которая с повышением пластичности и коэффициента фильтрации имеет тенденцию к повышению сходимости: эта за-

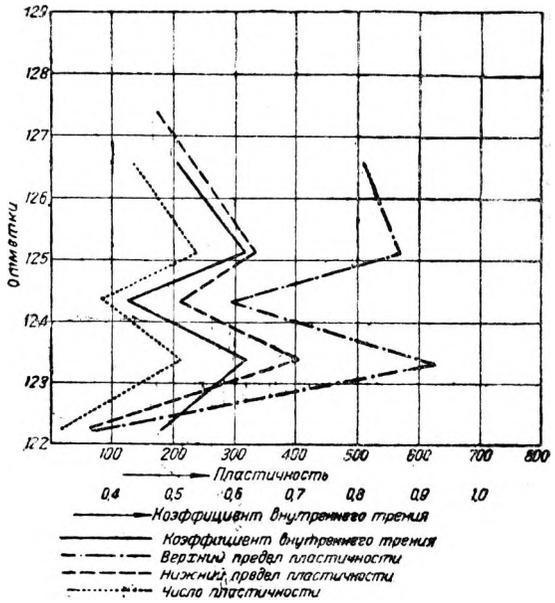
висимость показывает, что коэффициент фильтрации связан довольно сложной функцией как с верхним, так и с нижним пределами пластичности.

Связь пластичности с коэффициентом внутреннего трения и силами сцепления выявляется посредством графической зависимости указанных констант от глубины залежи торфа. Для хорошо разложившегося торфа болота вида VII с увеличением сил сцепления величина пластичности уменьшается, а с увеличением коэффициента внутреннего трения — увеличивается (фиг. 14 и 15). Для торфа других болот связь между пластичностью, коэффициентом внутреннего трения и силами сцепления выражается неясно, так как в данную зависимость входит много побочных факторов: степень заиленности, минерализация торфа и пр., учесть которые не всегда возможно.

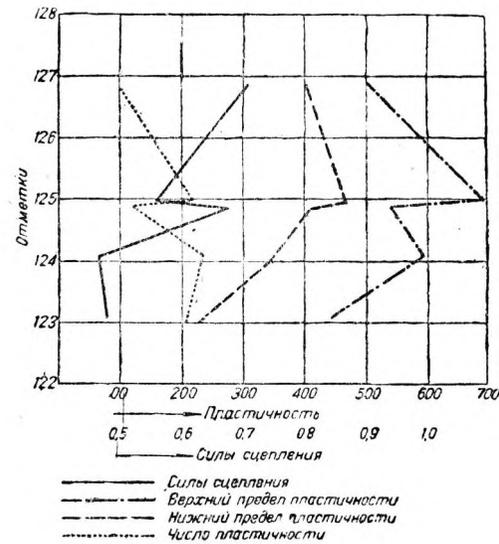
Зависимость углов внутреннего трения и сил сцепления от удельного веса торфа и пластичности весьма сложна.

б) **Определение пластичности.** Верхний предел пластичности определялся на приборе Казагранда (фиг. 16). Прибор состоит из

деревянной подставки размером 15 X X 12,5X5 см, имеющей на одной стороне прямоугольную выемку размером 5 X 5 X 2 см, в которую вставлена таких же размеров резина. У края подставки привинчена к ней медная стойка в виде открытой с двух сторон коробки с отверстиями в обеих стенках, через которые проходит ось эксцентрика, похожего на раковину улитки. Эксцентрик приводится во вращательное движение ручкой, наглухо припаянной к его оси. Медная круглая чашка, представляющая собой шаровой сегмент, опирается дном на резину и подвешена одним краем на серьге, вращающейся на оси, приделанной к медной пластинке, которая служит для регулирования положения чашки на резине; эта пластинка может подвигаться взад и вперед на двух винтах, входящих свободно в продольные отверстия пластинки и закрепляющих ее на стойке в нужном расстоянии от края. На серьге имеется выступ; эксцентрик при своем



Фиг. 14. Физико-механические и технические свойства торфа болота вида VII. Графики зависимости величины пластичности и коэффициента внутреннего трения от глубины залежи торфа.



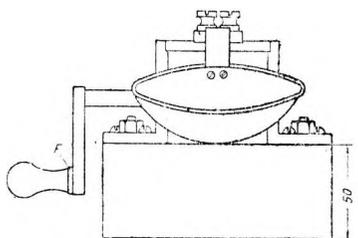
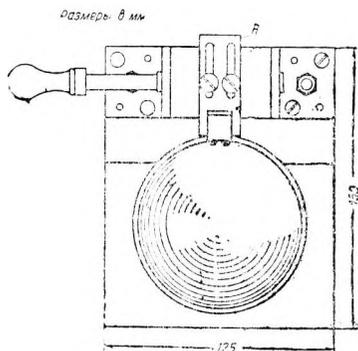
Фиг. 15. Физико-механические свойства торфа болота вида VII.

Графики зависимости величины пластичности и сил сцепления от глубины залежи торфа.

вращении задевает этот выступ и тем самым поднимает чашку до горизонтального положения.

Определение верхнего предела пластичности торфа производится как при сильно нарушенной, так и при слабо нарушенной структуре массы. Для получения сильно нарушенной структуры торф пропускается один или два раза через мясорубку; для получения слабо нарушенной структуры торф просто разминают руками в чашке.

В дальнейшем опыт ведется следующим образом. Торф накладывает в чашку прибора (при наклонном положении ее на резине) так, чтобы масса торфа была на уровне нижнего края чашки, и добавляется незначительное количество воды с тщательным перемешиванием торфа. Выравнивая лопаточкой поверхность торфа, этой же лопаточкой разделяют массу на две части с промежутком между ними по дну чашки в 2 мм и с промежутком между верхними краями массы около 1 см так, чтобы дно чашки было видно в виде прямой полоски. Затем поворачивают ручку прибора



10 раз со скоростью не больше двух оборотов в 1 сек. Если после этого края торфа у дна чашки сошлись на высоту 1 мм, то опыт считается законченным. Если же края торфа не сошлись на указанную величину, то добавляя в торф еще немного воды и, перемешивая тщательно массу, продолжают опыт в том же порядке, пока края торфа при 10-кратном вращении ручки не сойдутся на высоту 1 мм. Если края торфа слипаются на большую высоту или слипаются при меньшем числе оборотов, то прибавляют немного

торфа из более сухих запасов и с полученной смесью производят те же операции до тех пор, пока края торфа не будут слипаться на высоту 1 мм.

Как только достигают слипания торфа, сейчас же берут из чашки небольшую навеску торфа (около 15—20 г), кладут в предварительно зану-

Фиг. 16. Прибор Казагранда для определения нижнего предела текучести.

мерованную и взвешенную бюксу и, закрыв крышкой, взвешивают бюксу с торфом на технических весах с точностью до 0,01 г. Затем, полуоткрыв крышку бюксы с торфом, ставят ее в термостат (сушильный шкаф) для высушивания и определения весовой влажности. Оставшийся в чашке прибора торф употребляется для определения нижнего предела пластичности (предела выкатывания). Для этого вынимают торф из чашки прибора, слегка обсушивают фильтровальной бумагой (завертыванием в нее торфа на 1—2 мин.), кладут на стекло и тотчас же руками раскатывают в проволоку толщиной 3 мм. Если масса торфа при данной толщине крошится, то опыт считается законченным. Если торф крошится при большей толщине, чем 3 мм, то к торфу добавляют немного воды и после размешивания массы снова производят выкатывание торфа в проволоку до тех пор, пока торф не будет крошиться только при толщине проволоки в 3 мм.

Если торф выкатывается не крошась в более тонкую проволоку, то необходимо его слегка обсушить, завернув в фильтровальную бумагу, и затем продолжать опыт до получения проволоки, крошащейся при толщине 3 мм. Достигнув этого результата, торф кладут в предварительно взвешенную и занумерованную бюксу. Бюкса с торфом снова взвешивается

и ставится в термостат для высушивания и определения весовой влажности.

Весовая влажность торфа в чашке прибора Казагранда при слипании краев на 1 мм высоты и будет называться верхним пределом пластичности F .

Весовая влажность торфа при выкатывании будет называться нижним пределом пластичности A .

Число пластичности Φ будет являться разностью между верхним и нижним пределами пластичности:

$$\Phi = F - A.$$

Данные и результаты опыта вписываются в бланк следующей формы (табл. 10 и 11):

Бланк для определения пластичности (форма)

Образец торфа № 8927. Торф болота вида III. Зольность 9,8%. Степень разложения 79%.

Т а б л и ц а 1 0

Т а б л и ц а 1 1

Определение верхнего предела пластичности

Бюкса	№ 42		№ 36	№ 32
	Бюкса + сырой торф	33,11	33,41	36,37
Бюкса + сухой торф	21,50	21,63	21,70	
Вода (а)	11,61	11,78	14,67	
Бюкса	18,74	19,22	18,59	
Сухой торф (b)	2,76	2,41	3,11	
$F = \frac{a}{b} \cdot 100$	420,6	488,9	471,7	
$F_{cp} = 460,4$				

Определение нижнего предела пластичности

Бюкса	№ 10	№ 51	№ 13
	Бюкса + сырой торф	30,19	30,89
Бюкса + сухой торф	20,22	20,87	22,77
Вода (а)	9,97	10,02	11,21
Бюкса 10,51,13.	17,40	17,90	19,75
Сухой торф (b)	2,82	2,97	3,02
$A = \frac{a}{b} \cdot 100$	353,5	337,3	371,2
$A_{cp} = 354,0$			

Число пластичности $\Phi = F - A = 460,4 - 354,0 = 106,4$.

9. КОМПРЕССИОННЫЕ СВОЙСТВА ТОРФЯНЫХ ГРУНТОВ

а) Исследование компрессионных свойств. Изменение объема под влиянием сжатия (компрессии) от действующих внешних сил характеризует компрессионные свойства торфа.

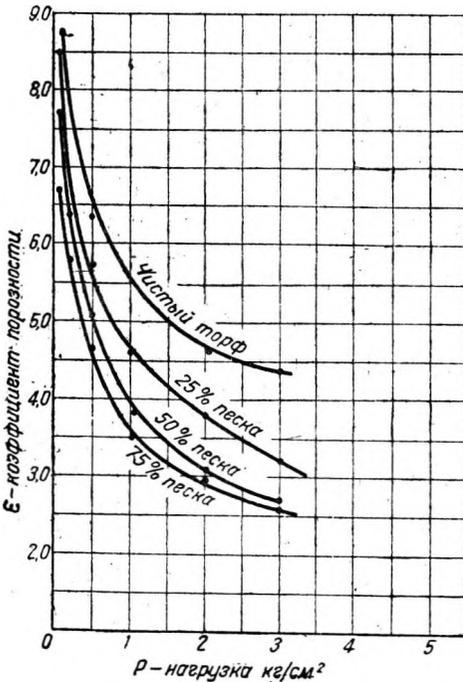
Объем торфа изменяется за счет удаления из пор воды и воздуха. Влияние наличия воздуха на компрессионные свойства торфа невелико, и в большом количестве опытов оно устранялось помещением испытуемого образца на 1—2 суток в воду до полного насыщения пор торфа водой, т. е. до состояния «грунтовой массы» (термин проф. Герсеванова Н. М.).

В таком состоянии вода торфа не проявляет своих капиллярных свойств и таким образом не вызывает дополнительной силы, изменяющей объем испытуемого образца. Устранив влияние воздуха, находят зависимость объемной влажности испытуемого образца от производимого на него давления, выраженного в $кг/см^2$.

Исследования, проведенные на строительстве канала, показали, что формула компрессионной кривой, данная проф. Терцаги для минеральных грунтов, оказалась пригодной в значительном числе случаев и к торфам с большим или меньшим содержанием наносных минеральных составных частей торфа, что и дало возможность исследовать компрессионные свойства различных торфов с болот трассы канала.

При сопоставлении уравнений компрессионных кривых для торфов, с различным содержанием минеральных составных частей было найдено, что с увеличением содержания минеральных составных частей (зольности) величины коэффициентов (параметров) A и B в уравнении компрессионной кривой Терцаги [см. ниже формулу (15)] изменяются в очень широких пределах: A — от 5,5 для торфа, содержащего 15% минеральной части (зола) до 0,58 — для минерального грунта; B — соответственно от 1,3 до 0,045.

Наряду с содержанием в торфе минеральных частей, влияющих на изменение вида компрессионной кривой, уменьшение величины пластичности также влияет на изменение параметра B ; при убывании величин пластичности торфов уменьшается и параметр B . При этом следует заметить, что отношение числа пластичности Φ к параметру B для хорошо разложившихся торфов обычно изменяется в пределах от 90 до 150, для мало разложившихся торфов — от 30 до 50, для минеральных же грунтов — от 20 до 100. Так, для средне- и малоразложившихся торфов болота вида III отношение числа пластичности к параметру B близко к 40; для хорошо разложившихся торфов болот вида VII и IV близко к 100; для подстилающих торф мягких минеральных грунтов указанное отношение колеблется в пределах 20—100.



Фиг. 17. Компрессионные кривые торфа с различным содержанием минеральной примеси. Образцы торфа с нарушенной структурой.

Что касается отношения величин верхнего предела пластичности F к параметру A , то оно колеблется для торфа от 80 до 125, тогда как для минеральных грунтов это отношение меняется в пределах от 25 до 50.

Разумеется, указанные соотношения величин могут служить лишь для приближенной оценки компрессионных свойств.

Наличие параметра p_c в уравнении компрессионной кривой сказывается на величине параметров A и B , а следовательно на отношениях

параметры A и B оказываются большими по абсолютной величине, чем при отсутствии параметра p_c , а следовательно отношения меньшими. Но так как для торфа параметр p_c обычно невелик,

то изменение величины параметров A и B незначительно.

Если сопоставить графики компрессионных кривых для торфов с различной степенью заиленности минеральными частицами (фиг. 17), то можно видеть, что кривые торфов с меньшей степенью минерализации более выпуклы и быстрее падают при малых давлениях, чем кривые торфов с большей степенью минерализации. Кроме того последние кривые располагаются ближе к оси абсцисс.

При изменении порозности торфа меняются его компрессионные свойства, так как между порозностью и коэффициентом фильтрации торфа и его компрессионными свойствами также существует прямая зависимость: чем больше коэффициент фильтрации торфа, тем торф более сжимаем под нагрузкой. Однако эта зависимость имеет предел, после которого при увеличении сжимающих нагрузок коэффициент фильтрации или остается

постоянным, или изменяется незначительно. Компрессионные кривые торфа для разных болот на трассе канала показаны ниже на фиг. 65.

б) Определение компрессионных кривых торфа. По Терцаги¹ зависимость между давлением и порозностью грунта без бокового расширения выражается следующим уравнением в прямоугольных координатах:

$$\varepsilon = A - B \ln(p + p_c), \quad (15)$$

где ε — коэффициент порозности;

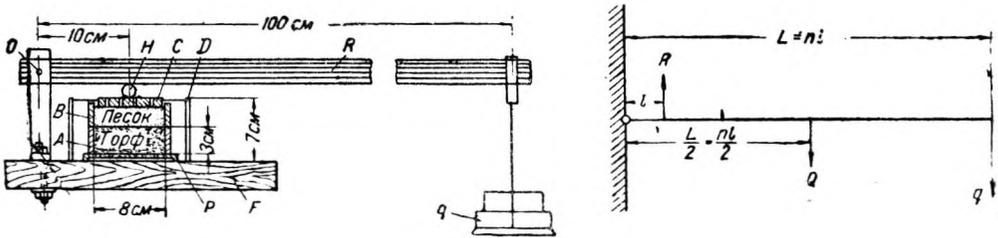
A , B и p_c — некоторые постоянные для данного грунта числа, определяемые из данных опыта;

p — сжимающее давление на грунт в $кг/см^2$.

Величина p_c в большинстве случаев практически может быть принята равной нулю, тогда уравнение принимает вид:

$$\varepsilon = A - B \ln p. \quad (15a)$$

Так было поступлено при составлении части уравнений компрессионных кривых торфа в основании под опытными дамбами для подсчета величины осадки (см. ниже гл. VII, п. 2, табл. 51). Широкие пределы изменения коэффициентов A и B позволили при обработке подойти к подбору компрессионных кривых с большой степенью вероятности.



Фиг. 18. Схема прибора проф. Терцаги для определения компрессионных свойств торфа.

Для того чтобы получить постоянные для данного грунта числа A , B и p_c были поставлены опыты на обжатие грунта при различных значениях p $кг/см^2$ и подсчитывалась соответствующая каждому значению p порозность обжатого грунта. Затем полученные данные порозности и нагрузки накладывались на осях прямоугольной координатной сетки: на оси абсцисс — нагрузка p , на оси ординат — порозность ε .

Экспериментальные точки на сетке объединялись по лекалу плавной линией. Полученная кривая и являлась экспериментальной компрессионной кривой для данного грунта. Параметры A , B и p_0 в уравнении Терцаги получались путем дальнейшей обработки кривой (см. ниже).

Опыты обжатия грунта для нахождения зависимости порозности от давления (без бокового расширения) производились на приборе Терцаги (фиг. 18). Прибор состоит из двух бронзовых колец — верхнего и нижнего (A и B), соединенных между собой конусными по кругу фасками, с внутренним диаметром 8 см; высота нижнего кольца для торфа хорошего разложения делается 3 см; для торфа слабого разложения — 5 см; высота верхнего кольца — от 2,5 до 3 см.

Кольца устанавливались на круглой бронзовой подставке P с отверстиями для стока воды и вместе с подставкой опускались на дно цинкового бака D диаметром 12—16 см и высотой от 7 до 10 см (в зависимости от высоты устанавливаемых колец). Нижнее кольцо заполнялось торфом и ставилось на подставку, причем предварительно на последнюю укладывались 4 листа фильтровальной бумаги. Торф накрывался одним листом фильтровальной бумаги и на него в верхнее кольцо насыпался крупно-

¹ К. Терцаги, Строительная механика грунтов, стр. 90; К. Терцаги, Инженерная геология, стр. 40, 1933.

зернистый песок. Непосредственно на песок накладывалась бронзовая перфорированная плитка С. В бак наливалась вода до такого уровня, чтобы она покрыла песок в верхнем кольце. Весь прибор ставился на стол F под рычажную систему для передачи вертикальной нагрузки на торф через положенный на верхнюю бронзовую плитку шарик Н.

В кольцо торф набирался как с нарушенной, так и с ненарушенной структурой. Торф с ненарушенной структурой набирался вдавливанием и врезанием острых краев кольца в выровненную поверхность монолита или блока. Торф с нарушенной структурой накладывался в кольцо широким шпателем с соответствующим уплотнением. Во избежание изменения веса массы вследствие высыхания набранный в кольцо торф немедленно ставился в прибор и заливался водой.

Торф в кольце оставался под водой без нагрузки в течение 2 дней для насыщения водой в пределах полной влагоемкости. Последняя определялась путем взвешивания и считалась достигнутой тогда, когда два последующих веса различались между собой не более чем на 0,01—0,02 г; удаление воды из бака перед взвешиванием кольца с торфом производилось посредством сифона. После насыщения торфа производилась постепенная нагрузка его вертикальным давлением с интервалами в 100, 250, 500, 750, 1 000, 1 500, 2 000, 3 000 и 5 000 г/см² через каждые примерно 2—9 суток, в зависимости от водоотдачи торфа; увеличение нагрузки производилось после получения двух одинаковых последующих весов кольца с торфом, для чего прибор разбирался и кольцо с торфом взвешивалось через каждые двое суток. После достижения максимальной нагрузки производилась постепенная разгрузка прибора в порядке, обратном нагрузке.

Во время производства опыта вычислялось нормальное давление на образец торфа в кольце от груза на конце рычага, а также веса самого рычага по формуле:

$$N = \frac{n}{\omega} \left(q + \frac{Q}{2} \right), \quad (16)$$

$$q = \frac{N\omega}{n} - \frac{Q}{2},$$

N — удельное давление на торф в кг/см²,

n — отношение плеч рычага;

ω — площадь кольца в см²;

q — вес чашки весов с гирями в кг;

Q — вес рычага в кг.

Вычисление значительно упрощалось, когда для каждого прибора предварительно определялись значения n , ω и Q , являющиеся для данного прибора постоянными величинами.

К вычисленному напряжению N кг/см² прибавлялось давление от веса бронзовой плитки, положенной сверх песка на втором кольце, и шарика для равномерной передачи давления. Это давление вычислялось по формуле:

$$N_{\text{бр}} = \frac{P}{\omega},$$

где P — вес бронзовой плитки с шариком в кг; ω — площадь кольца в см².

Удельное сжимающее давление на грунт, входящее в уравнение Терцаги (15), равняется:

$$p \text{ кг/см}^2 = N + N_{\text{бр}}. \quad (18)$$

После производства опыта отжатия грунта для каждой нагрузки вычислялся коэффициент объемной влажности или порозности торфа. Для этого по весу торфа в кольце и его весовой влажности до опыта определялся вес сухого вещества торфа в кольце по формуле:

$$M = \left(1 - \frac{W}{100 + W} \right) \cdot P, \quad (19)$$

где W — весовая влажность в отношении к сухому веществу;

P — вес торфа в кольце в г до опыта.

Далее, по весу образца торфа в кольце как до, так и после изменения нагрузки и весу сухого вещества находилась разность, представляющая собой вес воды в торфе. Если вес образца во время опыта Q , а вес твердого (сухого) вещества M , то вес воды: $B = Q - M$. Отсюда определялась меняющаяся влажность торфа во время опыта в процентах к сухому веществу до и после изменения нагрузки:

$$W = \frac{B}{M} \cdot 100.$$

Одновременно с набором торфа в кольцо брался образец для определения удельного веса. Ввиду того что торф перед опытом полностью насыщался водой до получения грунтовой массы, воздух в торфе предполагался отсутствующим и при определении коэффициента порозности не принимался в расчет. Коэффициент порозности (в нашем случае отношение объема занятых водой пор к объему скелета торфа) определялся по формуле:

$$\epsilon = \frac{W\Delta}{100}, \quad (20)$$

где ϵ — коэффициент порозности торфа;

W — весовая влажность в процентах к сухому веществу;

Δ — удельный вес торфа.

Данные опыта заносились в журнал по следующей форме (см. форму и табл. 12).

Т а б л и ц а 1 2
(форма)

Определение коэффициента порозности

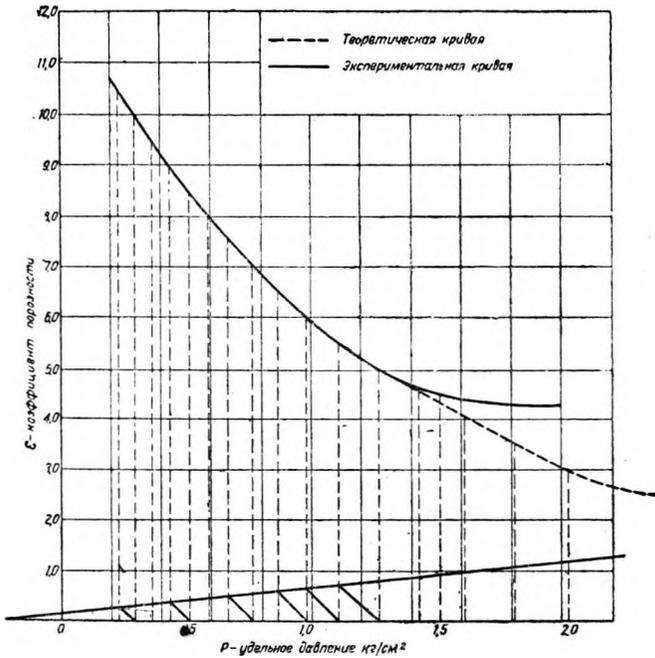
№ п/п	Дата		Удельное давление p в г/см ²	Вес в г		Вес воды в образце $B = Q - M$	Влажность в % к сухому веществу W	Коэффициент порозности ϵ	Толщина образца в см
				кольца с торфом	торфа Q				
1	10/I	1935 г.	0						
2	13/I	1935 г.	5,5	252,78	76,99	70,35	1060	16,32	1,6
3	29/I	1935 г.	5,0	249,43	73,64	67,00	1 009	15,65	1,4
4	9/II	1935 г.	110.	243,91	68,12	61,48	925	14,25	1,2
5	25/II	1935 г.	300	235,23	59,44	52,80	795	12,25	1,2
6	9/III	1935 г.	589,6	228,22	52,43	45,79	721	11,13	1,0
7	21/III	1935 г.	589,6	225,85	49,56	42,92	646	9,95	0,9
8	28/III	1935 г.	589,6	217,50	41,71	35,07	527	8,10	0,7
9	6/IV	1935 г.	1012,2	215,90	40,41	33,47	503	7,76	0,7
10	6/V	1935 г.	1 715	212,50	36,71	30,07	453	6,97	0,6
11	26/V	1935 г.	1 715	208,50	32,71	26,07	393	6,05	0,6
12	3/VI	1935 г.	2 745,8	208,15	32,36	25,72	387	5,96	0,53
13	15/VI	1935 г.		203,86	28,07	21,43	323	4,97	0,45

Образец с болота V с ненарушенной, нарушенной (подчеркнуть) структурой, пк — глубиной 1 м, расстояние от оси ± —

Истинный удельный вес $\Delta = 1,54$
 Диаметр кольца $d = 8 \text{ см}$
 Площадь кольца $\omega = 50,21 \text{ см}^2$

Вес кольца $Q = 175,79 \text{ г}$
 Вес твердой массы $M = 6,64 \text{ г}$

Дальнейшая обработка компрессионной кривой показана на фиг. 19, представляющей компрессионную кривую болота вида III;

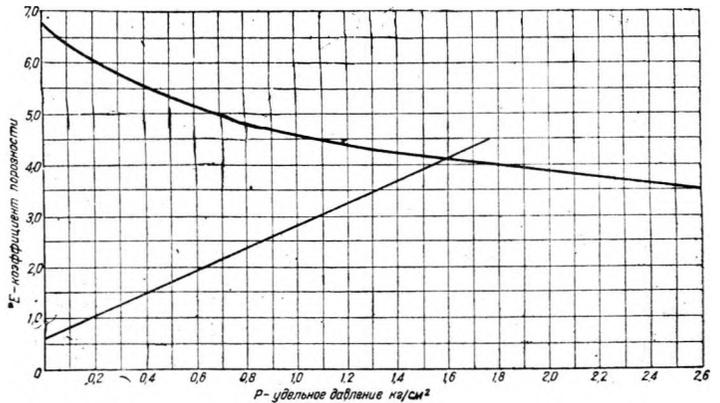


Фиг. 19. Компрессионная кривая торфа болота вида III.
 Уравнение кривой $\epsilon = 7,54 - 5,04 \ln(p + 0,34)$.

торф имел степень разложения 62,3% и зольность 5,3%; образец брался с ненарушенной структурой. Кривая разбивалась на ряд участков горизонтальными прямыми, проведенными на равном расстоянии друг от друга. Из точек пересечения этих прямых с кривой опускались перпендикуляры на ось абсцисс, на которых засекались циркулем от оси абсцисс точки радиусом, равным расстоянию между перпендикулярами. Полученные точки должны лежать на одной прямой; если точки немного отклоняются от прямой, то прямая проводится между ними примерно посередине.

В правильно проведенном опыте прямая должна пересекать ось ординат, т. е. переходить за начало координат. Отрезок, отсе-

каемый прямой на оси абсцисс влево от оси ординат, должен равняться в масштабе величине p_0 в уравнении компрессионной кривой; коэффициент A в этом уравнении определяется как ордината компрессионной кривой в точке с абсциссой, равной $1 - p_c$. Коэффициент B определяется как разность между величиной A и ординатой точки с абсциссой равной $e - p_c$, где e — основание натуральных логарифмов и равно 2,718.



Фиг. 20. Компрессионная кривая болота № 1 у минеральной плотины. Уравнение кривой $\epsilon = 4,9 - 1,3 \ln(p + 0,27)$

На фиг. 20 представлена компрессионная кривая болота у минеральной плотины; торф травянисто-тростниково-древесный, степень разложения 77%; зольность—16%.

Ниже в главе VII, п. 2, табл. 51 даются уравнения компрессионных кривых для торфа в основании под опытными дамбами ¹.

10. ФИЛЬТРАЦИОННАЯ СПОСОБНОСТЬ ТОРФА

а) Характеристика фильтрационных свойств торфа. Степень водопроницаемости торфа измеряется коэффициентом фильтрации K , который представляет собой скорость просачивания воды через поры торфа в $см/сек$ при потере напора (гидравлическом уклоне), равной единице. Эта скорость весьма мала и измеряется дробью с одним или несколькими нулями после запятой.

Вследствие того что коэффициент фильтрации при различных температурах фильтрующейся воды бывает различным, его обычно приводят к температуре 10° и обозначают символом K_{10° .

Математическое выражение коэффициента фильтрации вытекает из закона Дарси для фильтрации воды через песок, а именно:

$$v = \frac{KH}{l}, \quad (21)$$

откуда

$$K = \frac{vl}{H},$$

где K — коэффициент фильтрации в $см/сек$;

H — высота потери напора при фильтрации в $см$;

l — высота фильтра или длина пути фильтрации в $см$;

v — средняя скорость фильтрации воды в $см/сек$.

Отношение $\frac{H}{l}$ выражает потерю напора, приходящуюся на единицу толщины фильтра, или гидравлический уклон, обозначаемый через i .

Коэффициент фильтрации одного и того же торфа бывает различен в зависимости от условий его определения. Так, коэффициент фильтрации, определенный при вертикальной нагрузке, значительно отличается от коэффициента фильтрации, определенного без нагрузки, а этот в свою очередь отличается от коэффициента фильтрации, определенного при высоком напоре. Поэтому, говоря о коэффициенте фильтрации, всегда следует указать условия его определения.

На величину коэффициента фильтрации торфа в значительной мере влияет степень переработки торфа в торфяных машинах.

На строительстве канала Москва — Волга опыты по исследованию влияния степени переработки торфа на коэффициент фильтрации были произведены с торфом болота вида III и дали следующие результаты.

Простое перемешивание торфа руками понижало коэффициент фильтрации с 0,0037 до 0,00082. После однократной переработки в прессе взятого в ненарушенном состоянии торфа коэффициент фильтрации в среднем понижался с 0,00035 до 0,000047; после вторичной переработки получилось еще большее уменьшение — до $K_{10^\circ} = 0,0000013$; одновременно была получена большая однородность по другим показателям, как например по объемному содержанию воды, твердой фазы и воздуха.

Торф с большей степенью разложения после переработки массы в прессе понижал коэффициент фильтрации в среднем с 0,000465 до 0,000067; тот же торф, уплотненный после переработки, еще понижал коэффициент фильтрации до 0,000023.

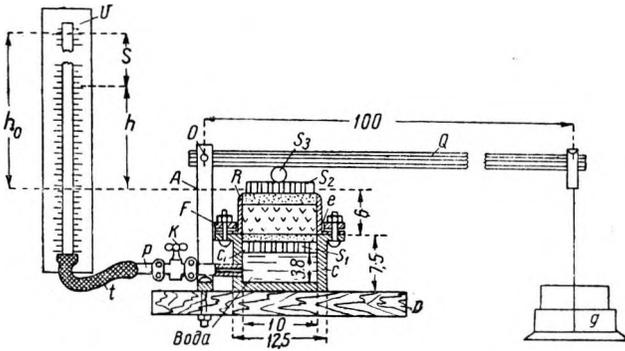
В итоге можно констатировать, что коэффициент фильтрации торфа, независимо от его ботанического состава и степени разложения, может быть понижен переработкой массы до требуемой для строительных целей величины.

¹ Более подробно о методе определения постоянных A , B и p_c компрессионной кривой вида $\epsilon = A - B \ln(p + p_c)$ см. в статье инж. Работнова Н. К., Графоаналитический метод построения компрессионных кривых, журнал „Москвалогострой“ № 2, 1936.

б) Определение коэффициента фильтрации торфа. Для определения коэффициента фильтрации торфа под нагрузкой применялся прибор системы Терцаги (фиг. 21). Прибор состоит из бронзового сосуда C с внутренним диаметром 10 см и общей высотой 7,5—8 см. На кольцеобразный выступ в стенках сосуда C_1 кладется перфорированная бронзовая пластинка S_1 , обтянутая сверху латунной сеткой с отверстиями в 0,3 мм.

В сосуд C через отверстие впаяна бронзовая трубка p с краном K ; посредством резиновой трубки бронзовая трубка соединяется с водомерным стеклом диаметром не менее 6 мм в свету. Сосуд наполняется до краев водой; пространство над пластинкой до верха сосуда наполняется промытым мелкозернистым кварцевым песком, причем надо следить за тем, чтобы ни одна песчинка не попала на верхнюю гладкую кольцеобразную поверхность сосуда, на которую кладется кружок фильтровальной бумаги. Сверху на края сосуда устанавливается бронзовое кольцо R диаметром 10 см и высотой (для торфа) 6 см. Толщина стенок — 0,5 см; верхние края их заострены и отогнуты вовнутрь. В кольцо набирался торф слоем, толщиной в 4 см. Кольцо с торфом укладывалось, таким образом, чтобы, между торфом и песком, не оставалось воздуха. Затем, наложив на выступ бронзового кольца R на поверхность фланца сосуда C резиновую кольцеобразную прокладку, свинчивали кольцо с фланцем сосуда.

Верхнюю поверхность торфа покрывали круглым листом фильтровальной бумаги, смоченной водой, и сверху накладывали слой крупнозернистого песка толщиной в 1,5 см; через этот слой песка происходит фильтрация воды. На песок накладывалась круглая бронзовая перфорированная пластинка S_2 , имеющая наверху в центре углубление, в которое вкладывался стальной шарик S_3 , смазанный вазелином (во избежание ржавления). Нагрузка на шарик передавалась рычажной системе Q от гирь, положенных на чашку весов g на конце рычага.



Фиг. 21. Прибор Терцаги для определения коэффициента фильтрации под нагрузкой.

После приложения нагрузки на торф в водомерное стекло наливалась вода, уровень которой отсчитывался от уровня воды, налитой вровень с краями бронзового кольца R ; этот уровень поддерживается все время: соответствующим пополнением на высоте верхнего края кольца. Вода в водомерном стекле понижается с уменьшающейся скоростью.

В начале процесса фильтрации, после наполнения водомерного стекла водой, кран бронзовой трубки закрывался и замерялся уровень воды в стекле над уровнем воды в кольце — h_0 . Затем, отметив время начала опыта фильтрации, открывали кран и периодически производили отсчеты уровня воды в стекле (h), отмечая одновременно с этим время, в которое производился отсчет, и температуру воды t° , проходящей через фильтр.

В опытах с образцами с большой водопроницаемостью и при малой нагрузке, когда торф мало уплотнен, фильтрация происходила быстро. Понижение уровня воды в таком случае приходилось отмечать с помощью секундомера. При образцах с малой водопроницаемостью и при большой нагрузке, когда торф уплотнен, фильтрация замедлялась. Это давало возможность замеры времени производить по часам. Скорость фильтрации через торф при прочих равных условиях зависела от свойств торфа.

Вычисление коэффициента фильтрации для каждого значения уровня воды L , продолжительности падения уровня (от h_0 до h) — T и температуры фильтрующейся воды — t° производилось по следующей формуле:

$$K = -\frac{l}{T} \ln\left(1 - \frac{s}{h_0}\right) \frac{d^2}{D^2}, \quad (22)$$

где K — коэффициент фильтрации;
 l — толщина испытуемого образца торфа в см;
 T — время фильтрации в сек.;
 h_0 — начальный уровень воды в см;
 s — высота падения уровня ($h_0 - h$) в см;
 d — диаметр водомерной трубки;
 D — диаметр бронзового кольца.

Выражение $\ln\left(1 - \frac{s}{h_0}\right)$ для удобства подсчета заменялось выражением $\varphi\left(\frac{s}{h_0}\right)$ и находилось по таблице (приложение 6).

Коэффициент фильтрации, определенный при температуре воды t° , приводился к температуре 10° по формуле Газена:

$$K_{10^\circ} = \frac{K}{\tau}. \quad (23)$$

Температурный коэффициент τ определялся по формуле:

$$\tau = 0,7 + 0,037 t^\circ, \quad (24)$$

где t° — температура воды при опыте в градусах Цельсия. Записи наблюдений вносили в особый журнал (см. форму и табл. 13).

Таблица 13
(форма)

Таблица записей по определению коэффициента фильтрации на приборе Терцаги

№ опытов	Дата	Удельное давление N в г/см ²	Время отсчета ¹		А в см	$s = h - h$	$\frac{s}{h_0}$	$\varphi\left(\frac{s}{h_0}\right)$	Толщина образца в см	Температура воды $t^\circ C$	Примечание
			Секунды	7							
1	15/X 1934 г.	$\frac{1\ 420}{78,5} = 18$	0	0	19,3	0	0	0	4,0	15	$\tau_1 = 1,15$
			5,4	5,4	11	8,3	0,432	0,566	4,0	15	$\tau_1 = 1,15$
			16,0	16,0	5	14,3	0,740	1,347	4,0	15	$\tau_1 = 1,15$
			28,0	28,0	2	17,3	0,896	2,265	4,0	15	$\tau_1 = 1,15$
2	20/X 1934 г.	$\frac{11\ 420}{78,5} = 145$	0	0	19,8	0	0	0	2,8	12	$\tau_2 = 1,06$
			11,0	11,0	12,0	7,8	0,392	0,497	2,8	12	$\tau_2 = 1,06$
			22,6	22,6	7,0	12,8	0,645	1,036	2,8	12	$\tau_2 = 1,06$
			39,4	39,4	3,0	16,8	0,848	1,884	2,8	12	$\tau_2 = 1,06$
3	25/X 1934 г.	$\frac{31\ 420}{78,5} = 400$	14,20	0	35	0	0	0	2,4	19	$\tau_3 = 1,27$
			14,29	540	9	26	0,74	1,347	2,4	19	$\tau_3 = 1,27$
			14,38	1 080	3	32	0,914	2,455	2,4	19	$\tau_3 = 1,27$
			14,47	1 620	1	34	0,971	3,548	2,4	19	$\tau_3 = 1,27$

¹ В первых двух опытах время отсчитывалось по секундомеру, в третьем — по часам.

Болота вида III, расстояние от оси: ось канала — вправо (+) или влево (—) пк 32/8+0, глубина 2 м.

Торф с нарушенной или ненарушенной структурой (подчеркнуть).

Степень разложения — 80%. Ботанический состав — древесно-осоковый. Зольность 9%. Удельный вес — 1,60. Влажность в начале опыта 550%, в конце опыта 300%.

Диаметр водомерной трубки 0,6 см. Вес рычага $Q = 6,37$. Отношение плеч рычага — 10 : 1. Диаметр D кольца 10 см; площадь кольца $\omega = 78,5 \text{ см}^2$.

Вычислив коэффициент фильтрации для каждого отсчета времени и падения уровня, находили среднеарифметическое значение его. Чтобы избежать влияния ошибочных наблюдений на вывод среднего коэффициента

фильтрации, составлялся график зависимости функции $\varphi\left(\frac{s}{h_0}\right)$ от времени фильтрации (фиг. 22).¹ График строился в прямоугольных координатах; по оси абсцисс откладывалось время в секундах, по оси ординат — соответствующие значения функции $\varphi\left(\frac{s}{h_0}\right)$.

Полученные опытные точки должны лежать на одной прямой линии, так как в формуле

$$K = \frac{l}{T} \ln\left(1 - \frac{s}{h_0}\right) \frac{d^2}{D^2}$$

зависимость функции $\ln\left(1 - \frac{s}{h_0}\right)$ от времени (при постоянных l и $\frac{d^2}{D^2}$) прямолинейная. Значительно удаленные от прямой линии опытные точки исключались как ошибочные. Для определения среднего коэффициента по графику находился тангенс угла наклона экспериментальной прямой линии к оси абсцисс, представляющий отношение:

$$\frac{\varphi_2\left(\frac{s}{h_0}\right) - \varphi_1\left(\frac{s}{h_0}\right)}{T_2 - T_1} = \text{tg } \alpha,$$

откуда

$$K = \text{tg } \alpha \frac{d^2}{D^2} l;$$

затем, вводя температурный коэффициент, получаем окончательно¹:

$$K_{10^\circ} = \frac{K}{\tau} = \frac{\text{tg } \alpha \frac{d^2}{D^2} l}{\tau}. \quad (25)$$

По полученным средним значениям коэффициентов фильтрации и соответствующих им удельных нагрузок составлялась кривая водопроницаемости, представляющая криволинейную зависимость коэффициента фильтрации от удельной нагрузки. Расчет рычажной системы, передающей усилие на торф в приборе, производился таким же способом, как и при расчете усилий на приборе Терцаги для получения компрессионных кривых.

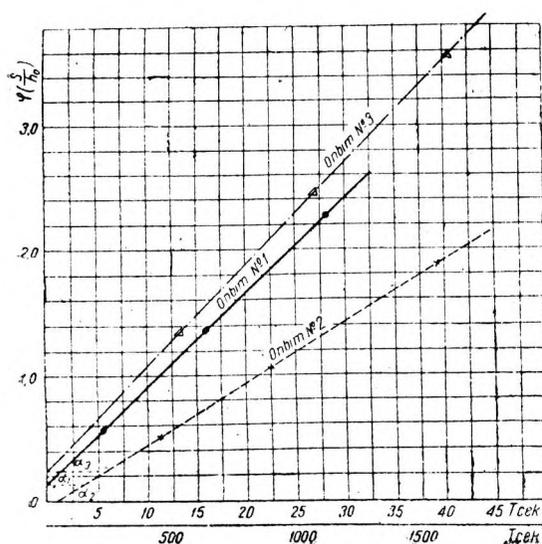
Определение и подсчет коэффициента фильтрации без нагрузки производился на том же приборе Терцаги и по тем же формулам, которые применялись для определения коэффициента фильтрации под нагрузкой.

При массовых определениях коэффициента фильтрации торфа без нагрузки на торфяных контрольных пунктах, где громоздкий прибор Терцаги оказался малопригодным, определение коэффициента фильтрации торфа производилось по методу проф. Каменского, заключающемуся

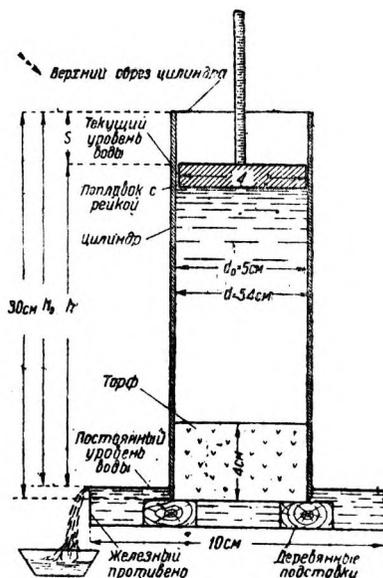
¹ На графике фиг. 22 прямой № 3 соответствует масштаб для T в 40 раз меньший, чем для первых двух прямых. *Ред.*

в следующем. В металлический цилиндр с обрезанными под острым углом нижними краями (фиг. 23), имеющий высоту 30 см, внутренний диаметр 5 см и толщину стенок 2 мм, набирался торф на высоту около 5—6 см. Цилиндр ставился на деревянную подставку, помещенную в железном противне, имеющем ширину 10 см и длину около 5 см (длина противня зависит от количества одновременно устанавливаемых в него цилиндров). Цилиндр изготовлялся из железной трубы с внутренней и внешней обточкой или бронзовый с отшлифовкой внутри и снаружи. Противень сделан из листового железа.

Цилиндры в противне ставились строго вертикально. В противень наливалась вода вровень с краями; цилиндр с торфом также заполнялся водой для промачивания торфа. После того как вода в цилиндре установится примерно на $\frac{1}{3}$ высоты, начинают опыт фильтрации.



Фиг. 22. График для определения среднего коэффициента фильтрации.



Фиг. 23. Схема прибора для определения коэффициента фильтрации по методу проф. Каменского.

Для этого наливали в цилиндр воду вровень с верхними краями и замечали по часам время с точностью до 0,5 мин. После этого, замерив начальную высоту воды в цилиндре от верхних краев цилиндра до уровня воды в противне, начинали периодические измерения величины опускания уровня воды в цилиндре через промежутки времени в 15 мин., 30 мин. или 1 час и более в зависимости от скорости фильтрации воды. Падение уровня воды замерялось с точностью до 0,1 см с помощью мерной линейки или особой шкалы, прикрепленной к поплавку на поверхности воды в цилиндре. Поплавок с рейкой изготовлялся из дерева и пропитывался парафином.

В период опыта делалось не менее четырех замеров опускания уровня. Во время производства замеров записывалась температура воды в противне в градусах Цельсия.

Результаты опыта заносились в особый журнал или таблицу по форме, приведенной в табл. 14.

Для каждого наблюдения производился подсчет коэффициента фильтрации по формуле Каменского:

$$K = -\frac{l}{T} \ln \left(1 - \frac{s}{h_0} \right), \quad (26)$$

где l — толщина испытуемого образца торфа в см;
 T — длительность опыта в сек.;
 \ln — знак натурального логарифма;
 s — величина падения напора в см;
 h_0 — первоначальный напор в см.

Т а б л и ц а 14
(форма)

Таблица записи данных по определению коэффициента фильтрации на приборе Каменского

№ опыта	Дата				Время отсчета			Продолжительность опыта в сек.	h в см	S в см	S	$\varphi\left(\frac{s}{h_0}\right)$	l в см	Примечание
					часы	минуты	секунды							
1	21/VI	1935	г.	15	36	30	0	25	0	0	0	5	$t_1^\circ = 14^\circ; t_2^\circ = 11^\circ$ $t_3^\circ = 13^\circ; t_4^\circ = 10^\circ$ $t_{cp}^\circ = 12^\circ$ $\tau = 0,7 + 0,037 \cdot 12 = 1,06$	
	21 /VII	1935	г.	17	0	0	5 010	25	5	0,20	0,223	5		
	21/VII	1935	г.	18	23	30	10 020	25	9	0,36	0,446	5		
	21 /VII	1935	г.	18	44	30	11280	25	10	0,40	0,510	5		

Величина $\ln\left(1 - \frac{s}{h_0}\right) = \varphi\left(\frac{s}{h_0}\right)$ отыскивалась по таблице (приложение 6). Как и при подсчете коэффициента фильтрации под нагрузкой, иногда оказывалось удобным пользоваться графиком зависимости $\varphi\left(\frac{s}{h_0}\right)$ от времени T (фиг. 22).

При определении коэффициента фильтрации под высоким напором пользовались прибором типа Тима - Каменского (фиг. 24). Этот прибор состоит из следующих частей.

Два бронзовых цилиндра C и D , имеющих одинаковые внутренние диаметры 150 мм и толщину стенок 7,8 мм, соединены между собой фланцами F при помощи болтов диаметром 9 мм. Высота верхнего цилиндра — 660 мм, нижнего—132 мм. Внутренние поверхности обоих цилиндров совпадают. Между фланцами имеется резиновая прокладка, чтобы воспрепятствовать прониканию воды в зазоры между ними.

Верхний цилиндр накрыт бронзовой крышкой K , укрепленной на фланцах цилиндра при помощи болтов; между крышкой и фланцем помещается резиновая прокладка. Нижний цилиндр имеет у основания патрубок T , соединенный резиновой трубкой с водомерным стеклом на миллиметровой шкале. На 7,5 см выше входа патрубку T_1 в цилиндр с противоположной стороны цилиндра имеется другой патрубок S меньшего диаметра, служащий для стока фильтрующейся воды и собирания ее в мерном цилиндре для определения ее количества. По боковой поверхности верхнего цилиндра размещено также несколько патрубков (T_2-T_4 и S_2-S_{10}). В крышке цилиндра имеется патрубок S_1 . При определении коэффициента фильтрации торфа под напором снизу вверх патрубки у верха цилиндра и в крышке служат как для стока фильтрующейся воды, так и для измерения потери напора в фильтре.

Патрубок в крышке верхнего цилиндра S_1 соединяется резиновой трубкой с железным баком для воды Q , расположенным на верхнем этаже здания на высоте около 12,5 м. Выше этого бака располагался резервуар с запасом воды R , равным объему бака (около 60 л). Вода из резервуара переливалась в бак, в котором при помощи поплавка поддерживался постоянный уровень.

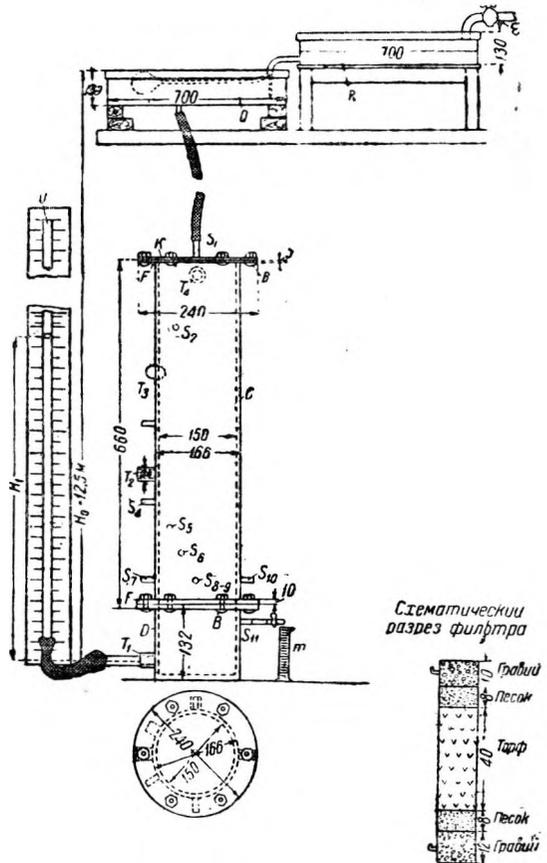
Определение коэффициента фильтрации торфа производилось следующим образом. Нижний цилиндр отвинчивался от верхнего и заполнялся на всю высоту (12 см) гравием с диаметром зерен от 3 до 7 мм, после чего оба цилиндра свинчивались с прокладкой между фланцами резиновой пластины толщиной 2 мм.

Сверх гравия насыпался на высоту 8—10 см средnezернистый песок с диаметром частиц от 0,25 до 1 мм; песок слегка трамбовался. Между песком и гравием обычно ничего не подстилалось, и непосредственно на песок накладывался исследуемый на фильтрацию торф нарушенной структуры (размельченный руками) с удалением остатков древесины, корней и других включений. Торф в цилиндре утрамбовывался до желаемого уплотнения отдельными слоями высотой до 0,5 см; общая толщина уплотненного торфа достигала 40 см. Сверх торфа на тщательно выровненную поверхность укладывался снова средnezернистый песок с легким уплотнением слоем около 8—10 см. На выровненную поверхность песка укладывался до верхних краев цилиндра гравий. Сверху цилиндр плотно прикрывался крышкой *K* с прокладкой резины и свинчивался болтами.

Приготовленный таким образом фильтр в разрезе состоял из двух слоев гравия по 8—12 см, расположенных по концам цилиндра, двух слоев песка по 8—10 см, расположенных между торфом и гравием и одного слоя торфа высотой 40 см, расположенного в середине фильтра.

После заполнения фильтра происходило промачивание его, продолжавшееся в зависимости от свойств торфа и степени его уплотнения от 3 до 20 дней; оно производилось следующим образом. Из бака *Q* вода по стеклянным трубкам, соединенным резиновыми трубками, подводилась в нижний патрубок *T* нижнего цилиндра и направлялась снизу вверх через весь фильтр, пока не достигала верхнего патрубка в крышке цилиндра. При этом вода увлекала за собой и вытесняла воздух из всего фильтра. Для ускорения промачивания пользовались вакуумнасосом, которым выкачивали воздух из пор фильтра, что способствовало более скорому заполнению пор торфа водой. Как только появлялась вода в верхнем патрубке, промачивание считалось законченным.

Самый процесс фильтрации начинался с соединения нижнего патрубка фильтрационного прибора при помощи резиновой трубки с пьезометром (водомерным стеклом) и подведения напорной воды из бака к патрубку в крышке верхнего цилиндра. Измерив высоту напорной воды — H_0 от центра нижнего патрубка до уровня воды в баке и высоту стояния воды в пьезометре — H_1 производили измерение количества воды — q в $см^3$, вытекающей из второго патрубка цилиндра. С этой целью к патрубку подставлялся мерный цилиндр или сосуд, в котором количество воды



Фиг. 24. Схема прибора Тима-Каменского для определения коэффициента фильтрации при высоких напорах.

определялось взвешиванием. Далее производили отсчет времени по часам или секундомеру в зависимости от скорости фильтрации. Одновременно с замером количества вытекающей воды определяют ее температуру в градусах Цельсия.

Расчет коэффициента фильтрации производился по формуле Дарси:

$$K = \frac{Ql}{\omega h}, \quad (27)$$

где Q — расход воды, проходящей через фильтрационный сосуд в $см^3/сек$;

l — толщина образца торфа в $см$;

ω — площадь поперечного сечения образца, равная внутренней площади сечения цилиндра в $см^2$;

h — потеря напора воды, равная разности высоты стояния воды в баке и пьезометре ($H_0 - H_1$) в $см$.

Для пересчета полученного коэффициента фильтрации K на коэффициент фильтрации K_{10° при 10° вводился поправочный температурный коэффициент по формуле Газена (23).

Данные опыта и соответствующие подсчеты заносились в следующий журнал (см. форму и табл. 15).

Журнал записи данных опыта по определению коэффициента фильтрации на приборе Тима-Каменского

АНАЛИЗ № 16

Торф с болота вида IV пк 4 + 20.

Расстояние от оси канала ±, ось канала; глубина 1,1 м. Характер торфа — осоковый. Степень разложения 75%. Зольность 9,93%. Влажность до опыта 85,94%. Влажность после опыта 85,67%. Удельный вес 1,516.

Толщина образца $l = 40$ см; площадь сечения $\omega = 17,663$ $см^2$; температура воды 15° .

Таблица 15

(форма)

Таблица записи данных по определению коэффициента фильтрации на приборе Тима-Каменского

№ опытов	Дата	№ образцов	Потеря напора в см			Время (T) в сек.	Кол-во воды q в см ³	Расход Q в см ³ /сек	Коэффициент фильтрации K_{10° в см/сек
			H_0	H_1	h				
1	12/VII 1934 г.	4	1 250	67.8	1 182.2	3 600	126	0.035	0.00000587
1	12/VII 1934 г.	4	1 250	67.8	1 182.2	7 200	249	0.0345	0.00000575
1	12/VII 1934 г.	4	1 250	67.8	1 182.2	9 000	324	0.036	0.00000599
Среднее									$K_{10^\circ} = 0.00000587$

11. ОПИСАНИЕ ПРИБОРА ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОСАДКИ И КОЭФИЦИЕНТА ФИЛЬТРАЦИИ

На строительстве применялся прибор конструкции Вихляева И. И. и Жарова Ф. Ф., позволяющий определять осадку и коэффициент фильтрации торфа на одном и том же образце как с нарушенной, так и с ненарушенной структурой (фиг. 25 и 26). Прибор состоит из металлического стакана 1 высотой 100 и 60 мм, с острыми краями сверху и с наружной резьбой внизу. Этой резьбой стакан ввинчивается в кольцо 5, внутрь которого вставляется перфорированный диск 8 для отвода воды, отжимаемой из торфа, подвергающегося давлению в стакане. Отжатая вода через выводную трубку 3/1 собирается в подставленный снизу сосуд. Площадь сечения стакана равна 50 $см^2$.

На металлический стакан надевается муфта 2, плотно охватывающая верхнюю часть его и служащая направляющей для штампа 3. Последний входит в муфту открытым концом с полукруглыми вырезами по периферии, а верхней частью своей прикрепляется к деревянной платформе 18 посредством опорного диска 7. На платформу в зависимости от нужного удельного давления при опыте кладут нагрузочные чугунные диски 19 и 20.

Для замера осадки торфа имеются три микрометренных измерителя¹ состоящих из вертикальных градуированных реек 10, скользящих под давлением платформы в обоймах 7 с нониусами 12. Микрометренные измерители осадки помощью хомута 9 и стяжного болта 15 (сечение по АВ) крепились на муфте 2. Наличие микрометренных винтов 13 у нониусов делало последние подвижными и давало возможность при закладке испытуемого грунта всегда точно устанавливать нониусы на нуль.

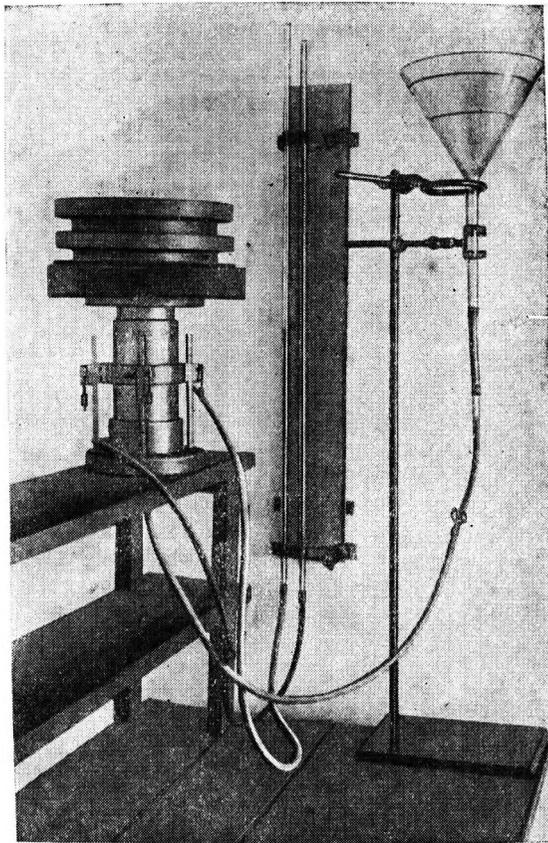
Точность отсчета по нониусу — 0,1 мм.

Работа с прибором производилась следующим образом. В металлический стакан 7 бралась проба торфа с ненарушенной структурой путем вдавливания острого края стакана непосредственно в стенку залежи, монолит или блок. Для торфа с нарушенной структурой имелся другой стакан 24, представляющий одно целое с муфтой и имеющий в нижней своей части резьбу для ввинчивания в кольцо 5.

Первый или второй стакан с торфом ввинчивался в кольцо 5 прибора. Отверстия перфорированного диска 8 покрывались густой металлической сеткой и сверху насыпался слой песка (15 мм), через который и происходила фильтрация воды из испытуемой массы торфа. Нижняя трубка 16 кольца закрывалась плотно длинной, до самого песка, пробкой 22.

На стакан надевалась муфта 2, плотно прилегающая к нему ввиду наличия байонетного соединения с затяжкой, обеспечивающая герметичность соприкасающихся поверхностей стакана и муфты. На поверхность торфа укладывалась сетчатая или полотняная прокладка, а затем насыпался слой песка толщиной в 15 мм. Поверх песка накладывалась вторая прокладка для того, чтобы поток отжатой воды не уносил частиц песка через отверстия диска 4, накладываемого на вторую прокладку.

Рейка 10 микрометренного измерителя вытягивалась вверх, причем помощью винта 77 регулировалась степень прилегания ее к гнезду обоймы 77, так чтобы она могла без излишнего трения достаточно свободно сколь-



Фиг. 25. Общий вид прибора Вихляева И. И. и Жарова Ф. Ф. для исследования компрессионных свойств и фильтрационной способности торфа на одном и том же образце.

¹ На фиг. 26 показаны только два измерителя, но фактически прибор имел три измерителя.

дают другие приборы, так как исследование на них фильтрации и осадки производится на различных образцах.

б) Диаметр стакана для набора проб велик; для торфяных образцов высота стакана может быть различной: для торфа с малой степенью разложения до 10 см, средней степенью разложения—6,0 см и для гумифицированного торфа — 4—3 см, при одном и том же диаметре стаканов — 8 см.

в) Заливка замазкой соединений отдельных частей прибора (наверху между стаканом и муфтой и внизу между кольцом 5 и стаканом) происходит скорее при пропуске между резьбой соответственной толщины хлопчатобумажной нитки.

г) Между стенкой стакана и штампом имеется достаточный прозор, который исключает возможность трения между цилиндрическим штампом и муфтой при возможной значительной неравномерности осадки в образцах толщиной 4—6 см.

д) При работе с большими удельными давлениями в целях избежания перекосов предусмотрено центрирование кругов нагрузки 79 и 20 и увеличение их диаметра, что дает возможность иметь относительно пониженный центр тяжести нагрузочной системы.

По заключению экспертов прибор имеет следующие преимущества и недостатки. Конструкция предусматривает соединение в одном приборе прибора для определения компрессионных свойств торфов и прибора для определения коэффициента фильтрации под нагрузками. Кроме того конструкция предусматривает также замену отдельных частей при исследовании образцов с нарушенной и с ненарушенной структурой, позволяя таким образом пользоваться одним прибором для исследования и монолитов, и образцов с нарушенной структурой. Площадь, занимаемая прибором, по сравнению с приборами типа Терцаги для определения компрессионных свойств и для определения водопроницаемости, значительно меньше, что позволяет сократить в несколько раз размеры помещения, необходимого для установки приборов; это в особенности важно при необходимости массовых определений изучаемых свойств. Приспособление (линейки с нониусами) для замера осадки образца под нагрузкой разрешает отказаться от применения дорогостоящих мессур; точность измерения (0,1 мм) является достаточной при работе с торфом, дающим весьма большие осадки. По сравнению с обычными приборами Терцаги для определения компрессионных свойств (кольца) и для определения водопроницаемости данная конструкция имеет то преимущество, что позволяет, не разгружая образцов, измерять осадку под нагрузками.

К недостаткам прибора следует отнести:

а) Несоответствие отношения площади к высоте образца требованиям, установленным работами Терцаги. Это отношение составляет 60 :80, что уже приближается к требованиям Терцаги; однако и эта высота (60 см) является слишком большой, так как весьма малый коэффициент фильтрации торфа под нагрузкой требует возможно большего уменьшения толщины образца для сокращения времени опыта.

б) Необходимость заливки замазкой соединения отдельных частей прибора (в частности нижнего кольца со стаканом), соединяющихся друг с другом резьбой, отнимает обычно много времени, пока не удастся добиться полной водонепроницаемости.

в) В случае неравномерной осадки (в различных частях сечения образца) возможен перекосяк и как следствие возникновение трения между цилиндрическим штампом и муфтой; при этом давление не будет полностью передаваться образцу.

г) При работе с большими удельными давлениями при неравномерной осадке и перекосяке штампа платформа с лежащими на ней грузами может опрокинуться, во избежание чего должны быть предусмотрены ограждающие устройства.

ПОЛЕВЫЕ ИЗЫСКАНИЯ И ИССЛЕДОВАНИЯ ТОРФЯНЫХ БОЛОТ
ДЛЯ СТРОИТЕЛЬНЫХ ЦЕЛЕЙ

1. ТИНЫ ТОРФЯНЫХ БОЛОТ

В учебных руководствах и в практике торфяные болота делятся на три основных типа: луговые (низинные), моховые (верховые) и переходные болота. Это деление основано на особенностях минерального питания отдельных типов, топографии дна и поверхности залежи, растительности и водонепроницаемости подстилающих торфяную залежь грунтов.

Луговые, или низинные, болота произошли в результате зарастания и нарастания водоемов, прудов, озер, староречий, заболоченных пространств у выхода ключей, в заливаемых поймах, где вследствие непроницаемости грунта скопляется верховая (атмосферная) или грунтовая вода с концентрированным солевым режимом, питающая и торфяную залежь.

Поверхность луговых болот или плоская или плоскокотловинная, вследствие чего эти болота являются вековыми аккумуляторами приносимых водой взвешенных или растворенных минеральных элементов, иногда сильно повышающих зольность лугового торфа. Таким образом в луговых торфах различают зольность конституционную, освобождающуюся при сжигании органического вещества (8—12%), и золу наносную, принесенную с окружающего рельефа, которая достигает 20—30% и выше¹. Эти минеральные включения иногда имеют характер прослоек, обладающих большой пластичностью, малым углом внутреннего трения, вследствие чего значительно ослабляется несущая способность торфяного основания, особенно при больших удельных нагрузках. Лучшими в смысле устойчивости торфяного основания являются такие болота, в которых наносные минеральные элементы равномерно распределяются по всей толще торфяной залежи.

Моховые, или верховые, болота развиваются на обедненных минеральных грунтах или путем нарастания мохового сфагнового волокна на луговых или переходных болотах, имеют выпуклую форму поверхности и питаются только атмосферной водой. Моховой торф имеет по сравнению с луговым типом болот меньший процент золы (2,0—6,0%) и, как правило, не содержит наносных зольных элементов, так как не заливается водой с окружающего водосбора. Масса торфа верховых болот состоит преимущественно из находящихся в различной степени разложения остатков сфагнового мха. Торфяная масса верховых болот прослаивается одним или несколькими ярусами пней.

Болота переходного типа представляют собой смешанный тип болота, занимающий промежуточное положение между низинными и верховыми болотами. К этому типу относятся торфяные залежи, сложенные в нижних горизонтах низинными видами торфа, которые переходят к промежуточным переходным видам, а также такие залежи, которые подверглись уже процессу замещения (с поверхности) низинными видами сфагновой растительности. По основной своей массе переходный тип болот приближается к болотам лугового типа.

Все три типа болот имеют по стратиграфическому профилю неоднородный состав и степень разложения, что обуславливается сменой растительных формаций, климатическими колебаниями, сменой сухих и влажных вековых периодов, имевших место в период роста торфяного болота (Блит-Сернандер).

¹ См. выше, гл. II, п. 4, а.

Торфяные болота трассы канала, за исключением болота вида V — мохового (сфагнового), относятся к типу луговых, происшедших путем заболачивания пресноводных водоемов, пойм, русел древних рек, притеррасных долин. Кроме открытых торфяных болот на трассе канала в долине рек Яхромы и Икши залегают погребенные торфяники под значительным слоем аллювиальных отложений, минерального грунта — песка или суглинка. Минеральный покров погребенных болот достигает 1—3 м, а в отдельных случаях и больше.

Вследствие различия в топографических условиях залегания, а также в солевом и водном режиме питания торфяные залежи трассы канала весьма разнообразны по мощности, составу и свойствам, степени разложения и обводненности отдельных горизонтов толщи. Торфяная масса даже отдельных участков болота отличается различными строительными свойствами.

На многих участках трассы торфяные залежи подстилаются различными мягкими минеральными грунтами — илами, мергелями, а в некоторых случаях сапропелями¹, залегающими в пониженных частях донного рельефа болот (заиленные старые русла рек — старицы, пониженное дно бывших водоемов и озер, бывшие окнища). Эти неустойчивые минеральные отложения, часто в сильной степени обводненные и находящиеся у верхнего предела пластичности, значительно понижают несущую способность торфяного основания, а при мощных слоях создают условия или рискованные для возведения сооружений, или вовсе недопустимые.

Поэтому изысканиями и исследованиями торфяных болот на строительстве канала Москва — Волга предусматривались исследования собственной торфяной залежи и исследования подстилающих торфяную залежь неустойчивых мягких минеральных грунтов.

Чистые виды торфа, образованные остатками одного какого-либо растения — торфообразователя, встречались на трассе канала значительно реже, нежели виды, образованные смесью из двух или более растений торфообразователей. Из чистых видов торфа на болотах трассы канала встречались: древесный, осоковый, тростниковый, гипновый, сфагновый и пушицевый торф.

Древесный торф состоит из остатков древесины и коры различных древесных пород (главным образом ольхи, березы, сосны и ели). Древесина их хорошо различается простым глазом, так как сохраняет достаточное сходство со свежей древесиной за исключением окраски, которая может сильно изменяться. Береза отлично узнается по хорошо сохранившимся листоватым остаткам белой коры (бетулин). Кора ольхи — блестящая, серовато-коричневого цвета с поперечными рубцами тоже хорошо различается глазом. В чистом виде древесный торф мало связный, рассыпчатый; он часто входит как составная часть в образование торфа вместе с остатками других растений — торфообразователей, давая торф смешанного названия, например: «древесно-осоковый», «гипново-древесный» и др. На строительстве канала древесный торф со степенью разложения 50% и выше с успехом применялся для отсыпки приканальных дамб на торфяном болоте вида VII.

Осоковый торф состоит из остатков осок и представляет собой плотную мелковолоконистую массу, образованную по преимуществу корневищами и корешками осок, имеющими вид войлокообразного сплетения отдельных тонких нежных волосков беловато-желтого и рыжеватого цвета, которые легко узнаются по внешнему виду на свежем изломе массы. В свежем состоянии этот торф в зависимости от степени гумификации

¹ Сапропель представляет собой желеобразную однородную вязкую массу от эластичной до жидкой консистенции и образуется в результате гниения растительных и животных остатков в застаивающихся водоемах при отсутствии или малом доступе кислорода. Слои сапропеля иногда достигают мощности в несколько метров.

имеет окраску от светлорыжих тонов при слабом разложении до темно-коричневых и буроватых при сильном разложении массы. Быстро окисляясь на воздухе, он темнеет и становится почти черным, теряя при этом видимую раньше на-глаз структуру и превращаясь в сплошную однородную массу. Характерным признаком осокового торфа служит также часто попадающиеся в нем и легко узнаваемые мешочки и семена осок, трудно поддающиеся разложению.

Осоковый торф встречается часто в смеси с другими остатками растений— торфообразователей, особенно с остатками гипнума, тростника, и древесными остатками лиственных пород (ольхи, березы, осины). На строительстве канала осоковые виды торфа при достаточной степени разложения применялись преимущественно в качестве строительного материала при отсыпке дамб.

Тростниковый торф состоит из остатков корневищ, корней и нижних частей стеблей тростника. Он легко узнается по длинным и широким (1—3 *с/м*) сплюснутым корневищам, на которых в свежем состоянии хорошо заметны узлы с остатками отходящих корней, и по нижним частям стеблей светложелтого цвета с глянцевитым блеском на внешней стороне. Корешки тростника образуют войлокообразные сплетения подобно корешкам осок в осоковом торфе, но структура их более груба. Только что вынутый на дневную поверхность этот вид торфа имеет желтоватую окраску, быстро темнеющую на воздухе. В свежем состоянии часто отличается сильным запахом сероводорода (H_2S), вследствие большого содержания в нем сернистого железа.

Остатки тростника встречаются в торфе чаще в смеси с остатками других торфообразователей, главным образом осок и гипнумов, и в большинстве случаев в количественном отношении в подчиненном состоянии, образуя «тростниково-гипновый» и «тростниково-осоковый» торф.

Хорошо разложившийся тростниковый торф (от 30 до 50% и выше) применялся на строительстве как материал при экранировании.

Гипновый торф состоит из листьев и стеблей зеленых мхов. В большинстве случаев гипновый торф бывает слабо разложившимся и представляет собой грубо волокнистую массу, где хорошо видны стебельки и веточки растений. Нередко в таком торфе в сухом состоянии сохраняется шелковистый блеск, свойственный живым растениям. Слабо разложившийся гипновый торф в свежем состоянии имеет светлую или коричневую окраску; разложившийся — темно- или черную.

На трассе строительства канала чистые гипновые виды торфа встречались редко; обычно к гипновым остаткам примешивались остатки других растений и чаще всего осок, тростника. В зависимости от количества остатков другого торфообразователя встречались различные модификации торфов: «осоково-гипновые», «гипново-осоковые» и др. При хорошей степени разложения массы гипновый торф в смеси с другими торфами может служить строительным материалом.

Сфагновый торф состоит главным образом из остатков листьев и стеблей белых сфагновых мхов. Обычно в виде постоянной примеси в нем встречаются остатки пушицы, легко отличимые на вид по своим корешкам, представляющим характерного вида темные ленточки шириной 1—1,5 *мм*, и листовым влагищам, сохраняющимся в виде больших пучков длинных крепких волокон коричневого цвета, которые с трудом рвутся лопатой, челноком бура Гиллера часто не перезаются, а только разрываются, захватываются и вырываются отдельными волокнистыми пучками. При высыхании такие пучки легко распадаются на тонкие шелковистые нити. Слаборазложившийся сфагновый торф на вид грубо волокнистый; иногда сфагнум настолько хорошо сохраняется, что простым глазом можно различить целые растения. Торф в свежем состоянии бледножелтого или рыжеватого цвета; этот цвет сохраняется и при высыхании.

Разложившийся сфагновый торф представляет собой более или менее гумифицированную массу темнокоричневых или бурых оттенков, в которой трудно отличить на-глаз остатки сфагнома. Можно отличить только сохранившиеся иногда прямые стебельки его темнокоричневого или красновато-бурого цвета. Признаком, по которому можно на-глаз определить такой сфагновый торф, служат остатки пушицы, постоянно сопровождающей сфагнум и трудно поддающейся разложению. Таким же признаком служит и древесина сосны, сопутствующая сфагнуму; она хорошо сохраняется в торфе и узнается по желтым оттенкам окраски и по значительной прочности.

Моховой малоразложившийся волокнистый торф (степень разложения до 15,0%) может применяться в качестве постели вместо гравия при креплении откосов. Моховой торф со степенью разложения выше 30% может применяться для отсыпки малонапорных дамб при условии экранирования последних торфом со степенью разложения массы 50% и выше.

Пушицевый торф состоит из остатков пушицы; в чистом виде такой торф встречается очень редко. В огромном же большинстве случаев пушица встречается вместе со сфагновым торфом, образуя «пушицево-сфагновый» или «сфагнуво-пушицевый» торф. Остатки пушицы определяются в полевом анализе по тем же признакам, как и сфагновый торф.

По трассе канала чистый пушицевый торф в виде небольших прослоек и линз был встречен на болоте вида V. Он обладал значительной степенью разложения и по внешнему виду представлял собой сильно гумифицированную однородную массу желтовато-темного цвета, пронизанную плоскими лентовидными корешками и крепкими пучками волокон листовых влагалищ пушицы.

Преобладающие виды строительного торфа приведены на фиг. 27.

ОБЪЕМ И СОДЕРЖАНИЕ ПОЛЕВЫХ ИЗЫСКАНИЙ ТОРФЯНЫХ БОЛОТ

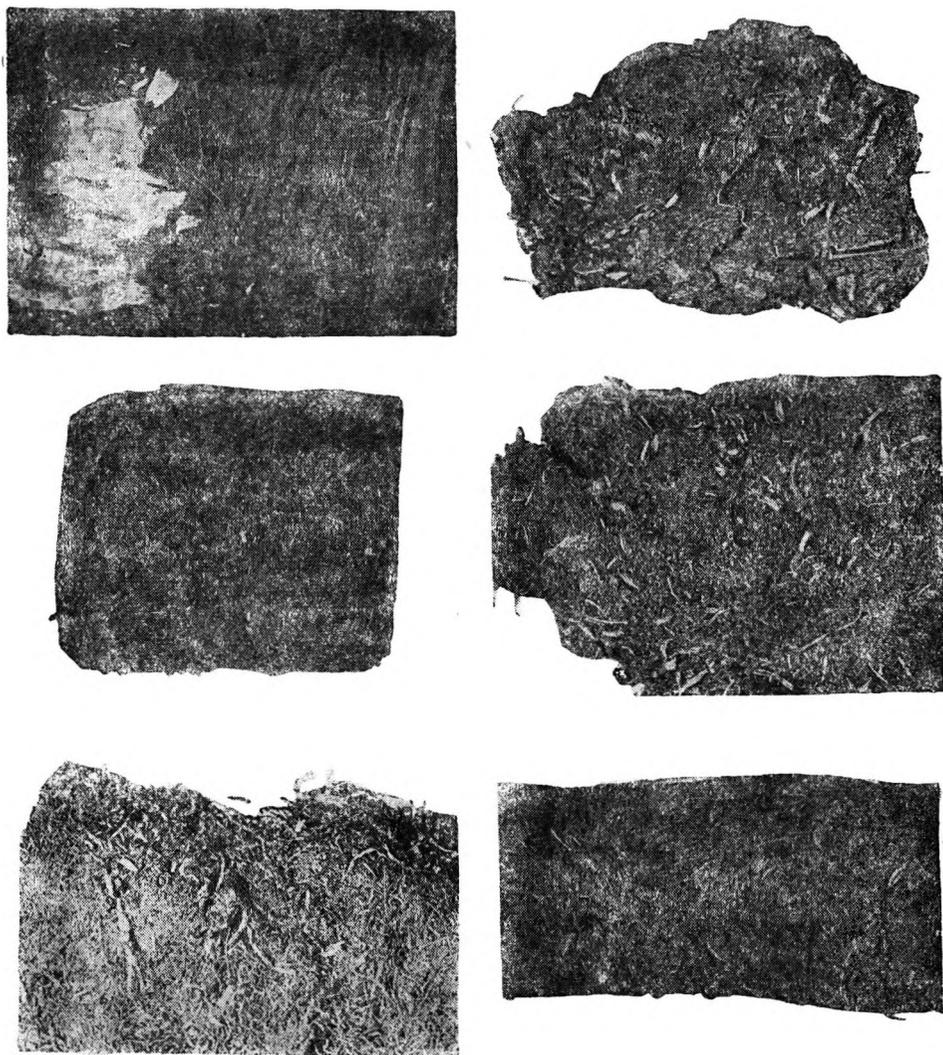
Изучение торфяных залежей в районе канала сводилось к а) исследованию торфяных болот для целей трассировки канала, бечевников, приканальных дамб, плотин, шоссейных дорог; б) исследованию торфяных резервов с целью определения пригодности торфа как строительного и противofiltrационного материала; в) исследованию строительных площадок под сооружения и сосредоточенные нагрузки и г) исследованию волокнистого торфа и очеса для устройства антифилтра при креплении откосов каменной наброской на торфяной постели вместо гравийной.

Полевые изыскания и исследования торфяных болот производились по глубине залежи в трех зонах, а именно в зоне: а) верхнего растительного покрова (очеса) и нижележащего слоя малоразложившегося торфа; б) нижележащей толщи строительного торфа до минерального дна и в) подстилающих торфяную залежь мягких минеральных грунтов.

Рассматривая вертикальный разрез толщи залежи девственного торфяного болота (фиг. 28), можно выделить верхнюю зону совсем неразложившегося очесного слоя, завершающегося растительным покровом. Эти малоразложившиеся волокнистые слои со степенью разложения 10—15%¹ обладают чрезвычайно большими коэффициентами фильтрации и уплотнения и дают большую и неравномерную осадку; масса не поддается равномерному смешиванию и в неосушенных болотах обычно имеет максимальный предел насыщения до 91—92% (по весу к сырой навеске). Для строительных целей эти слои мало пригодны, и поэтому в процессе исследований устанавливается только их мощность для определения объема, подлежащего съему под основание сооружений.

Степень разложения торфяной массы в полевых условиях определялась макроскопически, в лабораторных условиях микроскопическим методом и методом отмучивания (см. выше гл. II, п. 2).

Вторым, более мощным слоем является вся остальная толща торфяной залежи. Мощность этой толщи в различных болотах трассы колеблется от 2 до 6 м, а в отдельных пунктах достигает 12,5 м (болото вида IV). Эта часть торфяной залежи и должна рассматриваться как торфяной грунт, предназначенный или для экскавации из выемки канала или



27. Преобладающие виды строительного торфа.

- № 1. Торф осоково-древесный с остатками древесины ольхи (темные полосы) и березы (серые корки). Степень разложения — А.
- № 2. Древесно-камышевый торф. Состав: камыш (*Scirpus lacustris*)—50%, осока (*Carex caespitosa*)—10%. Древесные остатки ольхи (*Alnus incana*)—50%. Степень разложения—АВ.
- № 3. Тростниково-осоково-гиновый торф. Состав: гипнум (*Hypnum*)—60%, осока (*C. Goodenoughii*)—20%, тростник (*F. Communis*)—15%, травяные остатки—5%. Степень разложения—АВ.
- № 4. Тростниково-осоковый торф. Состав: осока (*C. Goodenoughii*)—65%, гипнум (*H. Meesea*)—10%, тростник (*F. Communis*)—20%, травяные остатки—5%. Степень разложения—В.
- № 5. Гипновый торф. Состав: гипнум (*Hypnum*)—80%, осока (*Carex*)—10%, тростник (*F. Communis*)—10%. Степень разложения — В.
- № 6. Мохово-сфагновый торф. Состав: мох (*Sphagnum*)—85%, пушица (*Eriophorum vaginatum*)—5%. Степень разложения — ВС.

как несущее основание под сооружения, а в более разложившихся горизонтах залежи — как строительный и противофильтрационный материал.

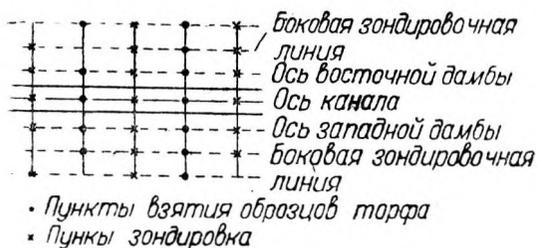
Для строительных целей весьма важное значение имеет изучение стратиграфии торфяной залежи, дающее возможность расчленить всю толщу залежи на отдельные, в большинстве случаев неоднородные горизонты.

Только конкретное представление о расположении торфяной залежи и строительных свойствах торфа позволяет правильно решать вопрос о целесообразности тех или других работ, проектируемых на торфяных болотах.

При исследовании торфяных болот для строительных целей необходимо также производить исследование минерального грунта, подстилающего торфяную залежь. Этот грунт иногда представлен синей болотной глиной или песком и является прочным основанием. Во многих случаях торфяная залежь пойменных луговых болот подстилается слоями значительной мощности (3—6 м) разжиженного ила, мергеля, а в отдельных участках — сапропеля (болота вида IV, VII, VIII и др.) Неустойчивость подстилающих мягких минеральных грунтов значительно понижает несущую способность даже надежной торфяной залежи и во многих случаях, при допущении высокой удельной нагрузки, может повести к авариям.

На строительстве канала определение мощности торфяной залежи производилось по намеченной сетке зондировочных ходов. Ходовые линии назначались по оси канала, по осям дамб и по боковым линиям, параллельным осям дамб (фиг. 29). Зондировка производилась через 100 м; пробы отбирались через 200 м по ходовым линиям и через 0,5 м по глубине.

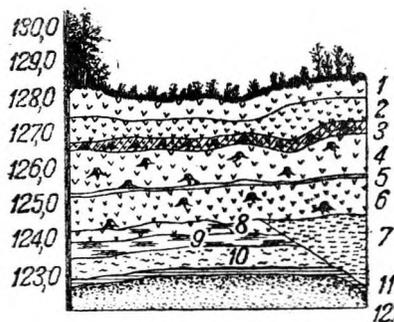
На участках торфяных болот, подстилаемых ненадежными мягкими минеральными грунтами, такая сетка оказалась недостаточной. Эти участки пришлось исследовать более подробно, через 40 м по ходовым линиям, а на участках с неровным рельефом твердого минерального дна производить и более частую зондировку через 20 и 10 м (болото вида VII). При этом торфяная залежь проходила буром Гиллера (см. приложение 2) на всю толщу до твердого подстилающего



Фиг. 29. Расположение зондировочных линий на трассе канала.

грунта. Для исследования технических свойств илистых и мергелистых отложений брались пробы буром Гиллера.

Практика работы на строительстве канала показала, что при исследовании торфяных залежей кроме бура Гиллера, которым возможно проходить торфяную залежь и разжиженные илистые и мергелистые грунты, необходимо еще соответствующий бур для бурения более плотных минеральных слоев, подстилающих торфяную залежь, а также минеральных слоев, покрывающих погребенные торфяники. Весьма важно, чтобы тем же буром можно было производить выемку торфяного и минерального грунта с различных глубин с ненарушенной структурой для лабораторного исследования.



Фиг. 28. Профиль строения торфяной залежи:

1—осоковый торф; 2—глиново-осоковый торф; 3—пограничный горизонт; 4—древесный торф; 5—второй пограничный горизонт; 6—древесный торф; 7—сапропель; 8—замергелванный торф; 9—чистый мергель; 10—ил; 11—синяя болотная глина; 12—водоносный песок.

минерального дна — песка, глины. Нижняя граница залежи определялась с помощью отбора проб с таким расчетом, чтобы челноком бура были захвачены нижний слой торфа и верхний минеральный грунт, непосредственно лежащий под торфяной залежью. Мощность пласта чистой торфяной залежи определялась по длине опущенных в торфяную залежь штанг и той верхней части челнока бура, которой была захвачена торфяная залежь до границы минерального

Во многих случаях торфом из выемки канала сооружение полностью не обеспечивалось, и приходилось прибегать к закладыванию карьеров в торфе за пределами трассы на ближайшем болоте. Граница таких карьеров располагалась не ближе 150—200 м от оси канала, чтобы избежать фильтрации из оставшихся открытых карьерных водоемов. Топографическая съемка участка, зондировка, отбор проб, камеральная обработка материалов производились аналогично тому, как это делалось при исследовании торфа для строительных целей, с той лишь разницей, что подстилающий торф минеральный грунт в данном случае не подвергался исследованию.

На площадках под сосредоточенные нагрузки — здания, гидротехнические сооружения, бетонные площадки и т. д. — производились специальные исследования торфяных залежей. Зондировка залежи в данном случае производилась по квадратной сетке с расстояниями между точками от 5 до 10 м в зависимости от величины площадки и характера сооружения. Зондировка и отбор проб производились на всю глубину залежи и подстилающего торф мягкого вязкого грунта — мергель, илы, сапрпель — до твердого основания. Образцы минеральных грунтов брались и из нижележащего горизонта твердого минерального грунта. При этом образцы торфа в мягких грунтах брались с помощью бура Гиллера с нарушенной структурой и с помощью грунтоносов геологическим буром — с ненарушенной структурой.

Данные лабораторного исследования и анализы образцов с нарушенной структурой характеризовали торф как строительный материал; образцы с ненарушенной структурой давали ориентировочную характеристику торфяной залежи как несущего основания. Основными константами в данном случае являлись коэффициент фильтрации и величина осадки при различном удельном давлении во времени как при отсыпке, так и при полной стабилизации осадки. Кроме того для расчета устойчивости торфяного грунта на выпирание и устойчивости торфяных откосов на скольжение и оползание определялись пределы пластичности, углы внутреннего трения и силы сцепления.

4. ОТБОР ПРОБ И ВЗЯТИЕ МОНОЛИТОВ И БЛОКОВ ТОРФА НА БОЛОТЕ¹

Зондирование болот без взятия образцов торфа применялось в тех случаях, когда перед исследователем ставилась задача только определить мощность торфяной залежи и выявить рельеф дна болота; когда же зондирование производилось с целью изучения стратиграфического строения торфяной залежи, а также состава и свойств слагающих торфяную залежь отдельных слоев торфа и подстилающего залежь минерального грунта, то оно сопровождалось отбором образцов.

Образцы брались с различных глубин в зависимости от задания. Наиболее часто практиковалось взятие образцов через каждые 0,5 м по глубине, но в наиболее ответственных случаях производился отбор образцов сплошной скважиной, т. е. бур опускался каждый раз только на глубину, равную длине челнока (27 см).

Пробы отбирались или только для производства полевого анализа торфяной массы, после чего они выбрасывались, или также и для лабораторного анализа. В последнем случае пробы после производства полевых исследований упаковывались соответствующим образом для отправки в лабораторию.

Отбор проб производился следующим образом. Челнок бура в закрытом виде доводился до определенной глубины. Чтобы сохранить закрытое состояние челнока при опускании бура, он при помощи ручки, надававшейся на верхний конец, медленно и равномерно поворачивался по часовой стрелке; для открытия челнока и набирания в него торфа ручку

¹ См. также приложение 1 — Инструкция по исследованию очеса.

бура поворачивали против часовой стрелки. При набирании образца во всех случаях производилось одно и то же количество оборотов челнока, именно пять полных оборотов челнока; этим достигалось всегда одинаковое наполнение его. После наполнения двукратным поворотом бура в обратную сторону челнок закрывался, и бур вынимался на поверхность. Если требовалось лабораторное исследование, образец упаковывался в пергаментную бумагу с написанным тушью номером; в середину укладывалась этикетка, на которой простым карандашом обозначались: название болота, номер пикета, номер образца и глубина его взятия. Образцы, взятые на одном пикете, упаковывались в отдельный сверток. При взятии образцов для определения естественной влажности лабораторным путем они по доставке с болота в тот же день взвешивались.

Когда требовалось изучение торфяной залежи на образцах с ненарушенной структурой, кроме отбора проб буром Гиллера, производилось еще взятие торфяных монолитов и блоков, вынимаемых с различных глубин из шурфов, которые закладывались в типичных местах исследуемого торфяника. Так, для установления мощности подлежащего удалению слоя в основании сооружений обычно пользовались монолитами, на которых отлично видны распространение поверхностного растительного горизонта, а также характер, чередование и мощность отдельных напластований. Из монолитов же вырезались образцы с ненарушенной структурой для изучения основных физико-механических констант, характеризующих торфяную залежь как несущее основание.

Для расчета устойчивости грунта на выпирание и устойчивости откосов на скольжение и оползание пользовались преимущественно блоками. Они отличаются от монолитов соотношением сторон и являются более удобными при отборе и перевозке. Наиболее употребительными размерами были: для монолитов — 100 X 20 X 20 см, а для блоков — 20 X 20 X 20 см, 30 X 30 X 30 см и 40 X 40 X 40 см. Монолиты удобнее вырезать с вертикальных стенок, а блоки — со дна шурфа. Монолиты и блоки брались в деревянные ящики соответственных размеров. Ящики изготовлялись из досок толщиной в 2,5—3,0 см; внутренние стенки их для более удобного и плотного надевания на монолит выстругивались.

Размеры шурфов зависели от глубины, с которой требовалось получить образец и на которую удавалось вырыть шурф в условиях водного режима торфяника. При размерах шурфа 1 X 1,5 или 1 X 2 м монолиты и блоки брались на глубине до 2,5 м. С увеличением глубины шурфа увеличивались и его размеры в плане.

Процесс отбора монолитов и блоков заключался в следующем. Когда шурф был доведен до необходимой глубины, на узкой стенке его вырезался монолит. Сначала, примерно в середине стенки шурфа, устраивался выступ, несколько больший по размерам, чем ящик. Затем точно по размерам ящика остро отточенным ножом отрезался торфяной выступ сначала с боков, а потом подравнивался сверху, и обрезалась передняя стенка для придания ей строго вертикального положения; после этого монолит обрезали снизу. Когда монолит был подготовлен, на него осторожно надевали ящик, следя за тем, чтобы передняя стенка выступа дошла до дна ящика. Поддерживая ящик с монолитом, чтобы он не оторвался, монолит подрезался и сзади с оставлением некоторого запаса торфа над стенками ящика. Подрезав монолит, его осторожно отделяли от стенки шурфа, начиная сверху, постепенно поворачивая, пока дно ящика не окажется внизу. Далее ящик с монолитом вынимался из шурфа, излишек торфа сверху (на бывшей задней стороне монолита) срезался вровень со стенками ящика, в ящик вкладывалась этикетка с указанием номера шурфа, номера монолита, пункта, глубины и даты взятия монолита, наконец ящик забивался и на нем делалась такая же надпись, как на этикетке, вложенной внутрь; кроме того отмечались верх и низ монолита (по положению его в залежи) и, если требовалось, ориентировка его относительно стран света.

После взятия первого монолита шурф углублялся, и подобным же образом брались последующие монолиты до той глубины, какой представлялось возможным достигнуть до затопления шурфа водой.

Работа по отбору блоков носила в общем тот же характер, с той лишь разницей, что монолиты, как указывалось выше, вырезались из стенки шурфа, а блоки из дна. Если было необходимо взять блок определенного размера с той или иной глубины, то шурф выкапывался на несколько сантиметров глубже на площади, примерно от двух третей до половины площади дна. На остальной части шурфа оставлялся выступ на высоте, несколько большей, чем высота блока. Выступ с трех сторон по краям окапывался лопатой, а в середине оставлялась нетронутая площадка несколько большая по размерам, чем площадь ящика. После этого на ней точно по ящику намечался размер блока, и острым ножом обрезаля по сторонам излишек торфа на всю глубину выступа. Затем выступ подрезался сверху настолько, чтобы он пришелся точно к требуемой глубине, сверху осторожно надевался ящик, блок подрезался снизу, ящик с блоком переворачивался и вынимался из шурфа.

Около 40% всего времени, затраченного на полевые исследования торфяных болот на строительстве канала Москва — Волга, приходилось на зимний период. При одинаковом характере и методике работ в зимний период исследовательский отряд должен был иметь при себе дополнительное оборудование, без которого зимой невозможно производить работу. При наличии снежного покрова для разгребания снега в местах бурения пользовались железными лопатами. Для пробивания поверхностного промерзшего слоя торфа, преодолеть который буром Гиллера невозможно, употреблялись лом и топор. Для отогревания замерзшего челнока и муфт на штангах бура применялась переносная железная печь, представлявшая открытый сверху цилиндр из листового железа высотой 35 см и с диаметром 30 см, установленный на трех ножках высотой 12—15 см; в дне печи имелись мелкие отверстия для удаления золы, а в нижней части боковых стенок более крупные отверстия в два-три ряда, являвшиеся поддувалом; отапливалась печь дровами и торфом.

5. ПОЛЕВЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ТОРФЯНОЙ МАССЫ

Во время исследования торфяных болот для строительных целей помимо отбора проб торфа для лабораторного анализа одновременно производилось и полевое исследование торфяной массы. Исследования эти заключались в определении полевыми макроскопическими методами по образцам, непосредственно после их выемки на болоте, состава и технических свойств торфа.

Для этого в поле производились определения ботанического состава торфа и степени его разложения и влажности. Кроме того выявлялись различные включения растительного и минерального происхождения.

а) Ботанический состав торфа определялся обычным макроскопическим методом; описание его см. выше, главу II, п. 1.

б) Определение степени разложения торфа полевым процентным методом основан на принципе глазомерной оценки объемного количества растительного волокна в торфе; оно производилось следующим образом.

Вынув из залежи челнок бура Гиллера, наполненный торфом, его очищали от приставшего снаружи торфа. Затем его открывали и быстро проводили пальцем по поверхности торфяной массы, заключающейся в челноке, чтобы освежить поверхность и очистить ее от так называемого «кажущегося волокна». После этого определяли на-глаз, какой процент видимой площади занят сохранившимися структуру растительными остатками, считая остальную часть занятой разложившимся веществом. Эту операцию необходимо было проделать быстро, пока торф не успевал потемнеть вследствие окисления на воздухе, так как потемнение могло повести к искажению результатов определения.

Для проверки правильности сделанного первоначального определения торф вынимался из челнока, еще раз тщательно просматривался в руках и испытывался на размазывание между пальцами, на разлом и сжимание, и уже тогда устанавливался окончательный процент степени разложения.

Если в челноке встречались два или несколько слоев торфа, неодинаковых по степени разложения, то степень разложения определялась тем же способом, но отдельно для каждого слоя. Затруднение при пользовании таким методом заключалось в том, что необходимо было уметь отличать глазом растительные остатки и фиксировать их объем. При известном навыке удавалось безошибочно отсчитывать до $\frac{1}{20}$ доли объема.

На строительстве была применена следующая таблица полевой характеристики разложения торфа для целей гидротехнического строительства (табл. 16).

1) К группе А со степенью разложения в 60—95% отнесен торф, состоящий почти исключительно из разложившейся вполне гумифицированной массы. При сдавливании в руке вода из торфяной массы совсем не вытекает, масса проходит

между пальцами, как студень, рука остается коричневой с самым небольшим количеством оформленных неразложившихся остатков.

Масса пригодна как строительный материал для отсыпки дамб и как противофильтрационный материал для устройства экранов и понуров.

2) К группе АВ со степенью разложения в 40—60% относится торф, в котором имеется большое количество неразложившихся остатков растений— торфообразователей. При сжатии такой массы в руке вода выжимается в малом количестве, окрашенная в бурый и темный цвет; сквозь пальцы проходит большое количество аморфной массы, в руке остается волокнистая масса до половинного количества.

Такой торф пригоден для отсыпки дамб, устройства понуров. Массу необходимо перемешивать, чтобы в среднем она имела степень разложения не менее 50%.

3) К группе В со степенью разложения 25—40% относится торф с ясно различимыми на-глаз остатками растений — торфообразователей. При сдавливании такой массы в руке выжимается некоторое количество более или менее окрашенной в коричневый цвет воды, а в руке остается до $\frac{2}{3}$ неразложившихся растительных остатков.

Такой торф пригоден только для отсыпки безнапорных дамб; при условии экранирования откоса торфом со степенью разложения не ниже 50% он пригоден также и для напорных дамб.

4) К группе ВС со степенью разложения в 10—25% относится торф с большим количеством неразложившихся растительных остатков. При сжатии такой массы в руке вытекает вода желтого цвета и между пальцами выдавливается незначительное количество аморфной массы.

Такой торф для строительства не пригоден. Масса с такой степенью разложения подлежит удалению из основания сооружения.

5) К группе С со степенью разложения в 0,1—10,0% относится неразложившийся или почти неразложившийся торф; при сжатии такой массы в руке выделяется прозрачная, почти бесцветная вода. Торфяная масса между пальцами совсем не выжимается при сдавливании.

Такой торф как строительный материал применяться не должен и

Т а б л и ц а 1 6

Полевая характеристика разложения торфа

№ п/п	Степень разложения массы	Шкала по Вальгрену	
		буквен- ные символы	степень разло- жения в %
1	Очень хорошо раз- ложившийся торф	А	60-95
2	Хорошо разложив- шийся торф	АВ	40 -60
3	Довольно хорошо разложившийся торф	В	25—40
4	Мало разложившийся торф	ВС	10-25
5	Почти неразложив- шийся торф	С	0,1—10,0

подлежит удалению из основания сооружения. Моховой торф с указанной степенью разложения можно применять лишь в качестве постели вместо гравия под каменную наброску для крепления откосов.

в) Определение влажности торфа производилось также полевым глазомерным методом, основанным на способности глаза различать изменения в содержании воды в торфе, т. е. степень его увлажнения. Способ этот не может претендовать на точность в смысле количественного учета воды в торфе, но все же дает известное сравнительное представление о влажности.

Все виды торфа по содержанию в них влаги разбивались на строительстве на пять групп. В первую группу относили такой торф, из которого не выжимается ни одной капли воды при самом сильном сжатии его в руках; во вторую — торф, в котором при сильном сжатии в руке на поверхность выступает небольшое количество воды, причем при ослаблении сжатия вода вбирается торфом обратно (при больших степенях разложения вода не отжимается, но сквозь пальцы начинает продавливаться разжиженная торфяная масса); в третью группу включался торф, который при легком надавливании в руках дает воду, начинающую стекать с рук каплями, а при сильном давлении — струйкой (при большом разложении торфа вместе с водой выдавливалась жидкая торфяная масса); в четвертую группу относился торф, из которого вода выделяется без надавливания, а под действием лишь собственного его веса (при выжимании же вода льется струей); наконец к пятой группе относился торф, пересыщенный водой; при выемке такого торфа из челнока он течет вместе с водой.

Если образец торфа по состоянию влажности не мог быть отнесен ни в одну, ни в другую группу, так как занимал промежуточное положение, то это обозначалось двумя соседними цифрами, например 2—3.

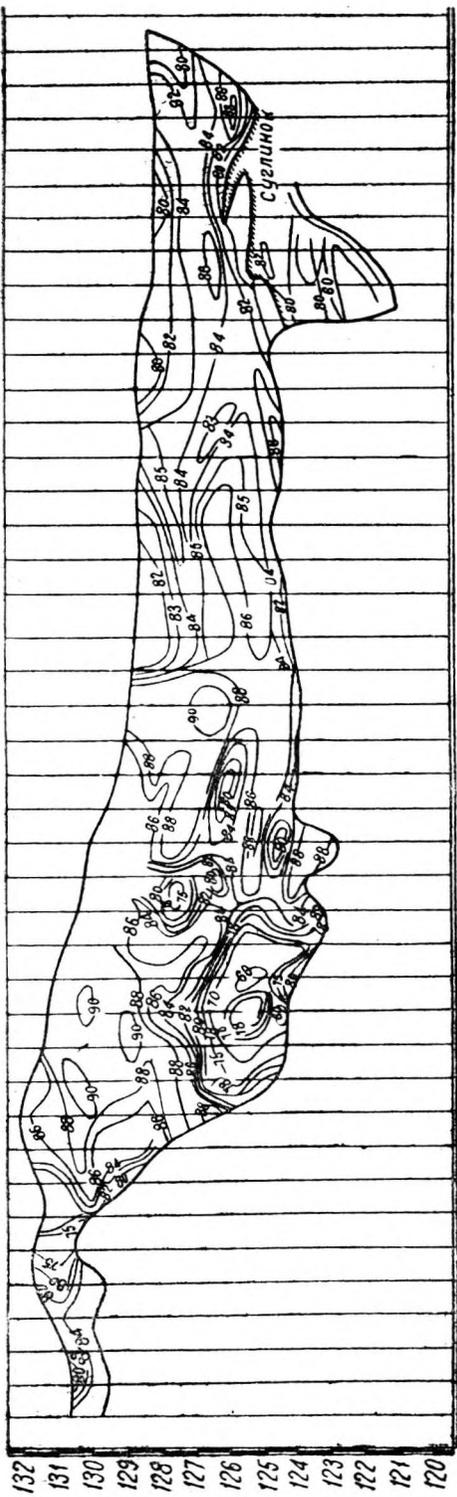
6. ОБРАБОТКА МАТЕРИАЛОВ ПОЛЕВЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

После определения полевыми методами ботанического состава торфа, степени его разложения и влажности, цвета, различного рода включений, минеральных прослоек, глубины и мощности их залегания и пр. все данные полностью записывались в полевой журнал (см. приложения 3 и 4).

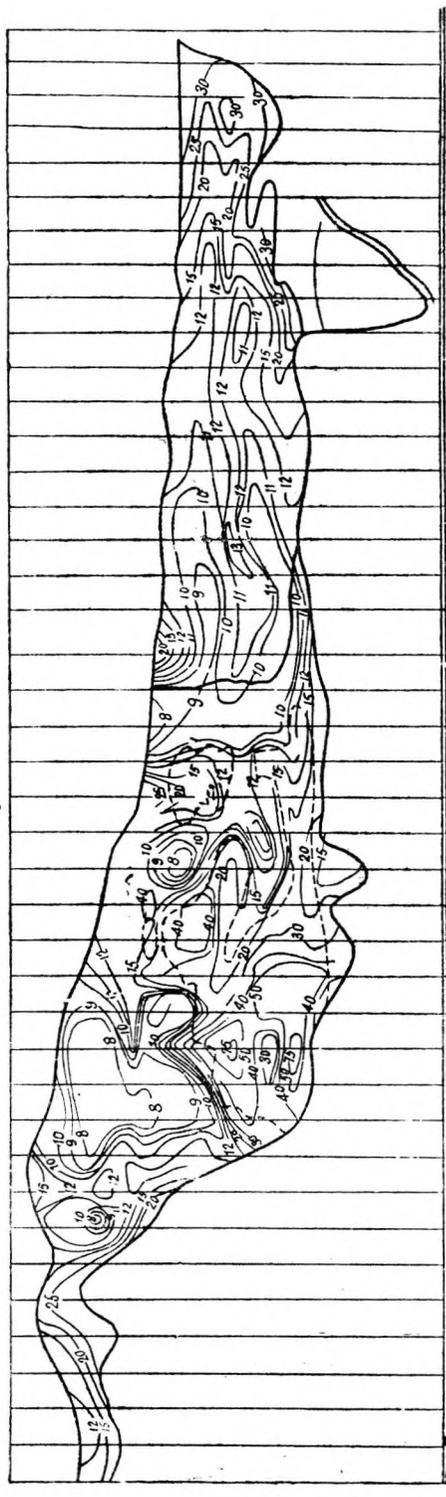
На основании материалов полевых исследований торфяных залежей и торфа, журналов, ведомостей и пр., а также и топографических данных на строительстве составлялись продольные и поперечные профили строения торфяной залежи и степени разложения массы слоев в масштабе — вертикальном — 1 : 50 или 1 : 100 и горизонтальном — 1 : 1 000. После определения влажности и зольности полученные результаты наносились на профили в виде изолиний, проводимых через определенный градиент с колебанием в 5—10% (фиг. 30 и 31).

В итоге соответственно обработанные материалы полевых и лабораторных исследований позволяли: 1) выяснить мощность залегания торфа в отдельных участках каждого исследованного болота, а также мощность верхнего малоразложившегося нестроительного торфа, подлежащего удалению из основания сооружений; 2) определить рельеф дна и поверхности торфяной залежи; 3) установить строение толщи торфяной залежи по стратиграфическому профилю до минерального грунта и расчленение толщи залежи на более обводненные, менее разложившиеся горизонты и более разложившиеся, более плотные слои торфа и 4) определить распределение влажности и зольности в отдельных горизонтах торфяной залежи.

В целях уменьшения фильтрационной способности торфа и более равномерной осадки сооружения принималось, что торфяная масса должна в производственных условиях хорошо перемешиваться и уплотняться, так как коэффициент фильтрации торфа с нарушенной структурой



Фиг. 30. Распределение влажности по оси канала на болоте вида VII.



Фиг. 31. Распределение зольности по оси канала на болоте вида VII.

меньше, чем того же торфа с ненарушенной или малонарушенной структурой. При этом строительные свойства чистого торфа во многих случаях приходилось рассматривать совместно со свойствами подстилающих торф мягких минеральных грунтов. При положительной геотехнической характеристике торфа, подстилаемого ненадежными илистыми и мергелистыми грунтами, проектирование сооружений на таком торфяном основании должно было учитывать также и строительные свойства подстилающих торф ненадежных грунтов.

Геотехническая характеристика торфа может рассматриваться самостоятельно только для тех торфяников, основанием которых служат твердые минеральные грунты.

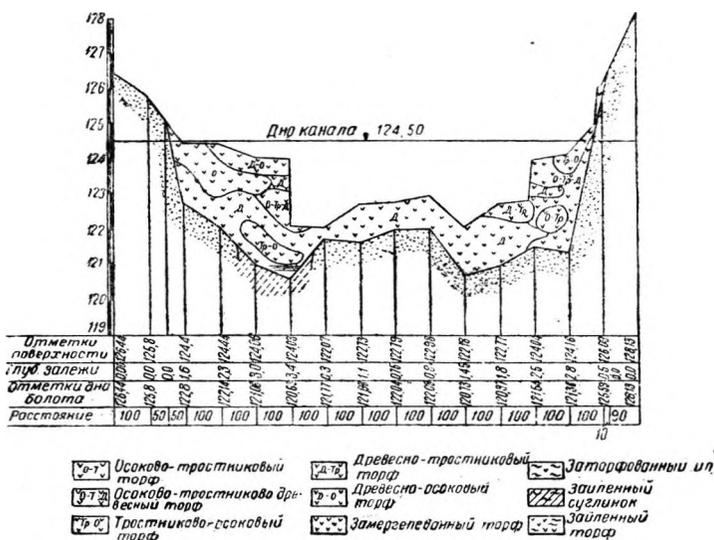
ГЛАВА IV

СТРОИТЕЛЬНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ТОРФЯНЫХ ЗАЛЕЖЕЙ, ПЕРЕСЕКАЕМЫХ КАНАЛОМ МОСКВА —ВОЛГА

1. БОЛОТО ВИДА I

а) Расположение и тип болота. Болото лежит по обеим сторонам речки и пересекается трассой канала поперек.

Центральный участок, лежащий к югу от речки, занят старыми торфяными карьерами. Трасса проходит по болоту на протяжении 1,3 км.



Фиг. 32. Профиль строения торфяной залежи по оси канала на болоте вида I.

во-осоковыми. Последние развиты лишь в верхнем слое залежи (до 1,5 м) и кроме того встречаются в виде линз и прослоек среди древесной торфяной массы. Волокнистые торфы более развиты в южной части болота, к югу от старых карьеров; эта часть болота отличается несколько пониженной степенью разложения массы (фиг. 32).

Неблагоприятной особенностью болота является его высокая кислотность, составляющая 2,05% от объема залежи. Пограничный горизонт выражен в виде слоя обильных пней. Торфяная залежь подстилается мелко- и среднезернистыми песками; сапропелей нет. Только в северной части болота, у самой речки, на дне встречена незначительная прослойка мергеля.

в) Строительная характеристика торфа. Торф болота вида I довольно однороден, с мелкими древесными остатками, хорошо перемешивается лопатой или граблями.

Общая площадь болота, выходящего за пределы трассы, составляет 1 236 га при средней глубине залежи 2,86 м. Болото представляет типичный низинный торфяник, резче выраженный в северной части. Зольность в северной части—12%, в южной—9,64%. Степень разложения высокая—60—80%, влажность пониженная—83%.

б) залежь. Древесные и осоково-древесные виды торфа решительно преобладают над волокнисто-осоковыми и тростниково-

По своим строительным свойствам торф болота вида I близко напоминает торф болота вида VII на хорошо изученном участке опытных дамб (см. ниже). Коэффициент фильтрации его в естественном состоянии без нарушения структуры на приборе Каменского оказался равным 0,0005 см/сек. После покрытия торфа песком, нарушения структуры и уплотнения массы коэффициент фильтрации снизился.

Характеристика технических свойств торфа с различных глубин до подстилающего минерального грунта дана в табл. 17.

Характеристика технических свойств торфа с болота вида I					
Номер участка	Глубина взятия образца в м	Влажность в %	Зольность в %	Степень разложения в %	Вид торфа
1	0,5	81,8	9,19	91,1	Древесно-тростниково-травянистый
	1,0	81,5	8,11	84,0	Древесно-тростниково-травянистый (ель, ольха)
	1,45	66,7	72,6	93,7	Тростниково-древесный (ольха)
	2,0	81,4	16,83	95,9	Тростниково-древесный (ольха)
	3,0	31,6	24,82	94,7	„ (ель, ольха)
	3,35	73,0	45,21	90,67	Древесный (ольха, ель) с песком
2	1,75	84,6	9,31	92,3	Древесный (ольха, ель)
	2,0	84,8	9,8	89,1	„ (ольха, береза, ель)
	2,5	77,5	10,19	97,3	„ (береза, ольха)
	3,0	86,0	9,34	92,4	(береза, ольха, ель)
	3,45	83,8	16,5	88,0	„ (сосна, ель, ольха)

Вследствие высокой пнистости торфяная залежь была признана мало пригодной для отсыпки на ней высоких минеральных дамб.

Торф мог быть использован лишь для устройства понуров по дну канала и для экранов на песчаных дамбах.

Для использования в понур был признан годным только торф со степенью разложения от 30 до 50% при условии переработки его в торфяном прессе. Торф же замороженный и пересоший, с сильно уменьшенными противифльтрационными свойствами был признан непригодным в отсыпку.

Залежи торфа, расположенные в полосе выемки канала, могли быть использованы в качестве естественного понура при глубине залежи ниже красной отметки не менее 1 м и при условии насыпки полуметрового уплотненного слоя торфа сверх естественного слоя в виде уплотненной искусственной части понура с пригрузкой слоем песка 0,6 м. Толщина искусственного торфяного понура в таком случае должна была быть не менее 1,2 м после полной осадки. Для естественного понура толщина торфяного слоя увеличивалась до 1,5 м.

На основании полученных компрессионных кривых для торфа с болота вида VII весьма близкого по ботаническому составу и степени разложения к болоту вида I осадка понура была принята в 35%.

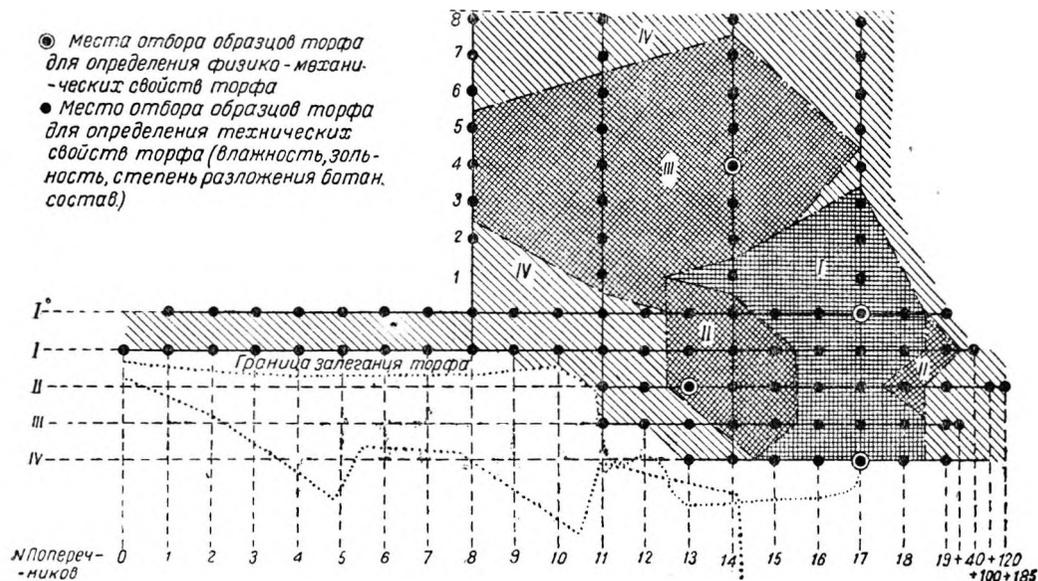
2. БОЛОТО ВИДА II

а) Р а с п о л о ж е н и е . Болото вида II общей площадью 220 га расположено на левом берегу Москва-реки. От берега реки торфяная залежь отделяется мощным аллювиальным валом пестрых минеральных напластований с прослойками торфа. Ширина этого вала колеблется от 250 до 600 м. На севере и востоке залежь выклинивается в суходол. С восточной стороны торфяная залежь подходит к полотну железной дороги.

б) С т р а т и г р а ф и я т о р ф я н о й з а л е ж и . Болото представляет котловинную пойму, заполненную торфом лугового характера. Вследствие общего уклона залежи от периферии к центру болото питалось водой с водосбора с большим количеством минеральных отложений, осаждавшихся преимущественно в окраинных частях болота. Поэтому зольность

щие карьеры, идущие по направлению с севера на юг на протяжении 300 м.

в) Технические и физико-механические свойства торфа. На основании материалов полевых и лабораторных исследований вся площадь исследованной части торфяной залежи была разделена на четыре типовых участка: I, II, III и IV (фиг. 35).



Фиг. 35. Деление площади торфяной залежи болота вида II на участки.

Влажность (W_c) на отдельных участках колеблется в значительных пределах и выражается следующими величинами (см. табл. 18)

Средняя влажность торфяной залежи, общая для всего болота — 76%, — является пониженной против обычно встречающейся влажности естественной залежи даже для сильно осушенных луговых болот. Это показывает, что торфяная залежь болота вида II уже достаточно осушена и уплотнена, дав поверхностную осадку. Относительно более влажным является участок I и прилегающий к нему участок III; периферийные участки содержат менее влажный, но более зольный и более плотный торф.

Зольность (A_c) в пределах участка I с более глубокой залежью является наименьшей и колеблется в пределах 9,6—41,6%, составляя в среднем 17,8%. На участке II зольность повышена по сравнению с участком I и колеблется в пределах 10,9—50,3%, в среднем — 35,2%. Участок III отличается повышенной зольностью, особенно в верхних горизонтах, что зависит от уклона этого участка, на котором происходило отложение минеральных наносов. Зольность этого участка колеблется от 7,5 до 41,1%, в среднем — 28,4%. Участок IV содержит менее мощную, но более зазоленную торфяную залежь. Зольность этого участка колеблется от 16,6 до 61,7%, в среднем — 35,2%.

Таблица 18

Влажность на болоте вида II

Участок (зона)	Колебания влажности в % к сырой навеске		Средняя влаж- ность
	минималь- ная влажность	максималь- ная влажность	
I	53,5	87,8	80,5
II	57,8	84,4	75,5
III	60,0	88,9	78,3
IV	56,0	82,6	69,2
Средние значения	56,8	85,9	76,0

Углы внутреннего трения и силы сцепления торфа на болоте вида II

№ п/п	Участок I			Участок II			Участок III		
	Глубина залежи в м	φ°	C в кг/см ²	Глубина залежи в м	φ°	C в кг/см ²	Глубина залежи в м	φ°	C в кг/см ²
1	0,4—0,6	21°30'	0,298	0,3-0,5	28°00'	0,477	0,3—0,5	26°26'	0,340
2	0,9—1,1	30°45'	0,310	0,8-1,0	29°25'	0,307			
3	1,35-1,55	30°20'	0,239	1,8—2,0	24°35'	0,390			

коэффициента B — от 2,45 до 7,55. Величина p_c в данном случае была несколько повышенной против обычной и достигала 0,9, в остальных случаях она колебалась от 0,2 до 0,5.

Для участка II A колеблется от 5 до 5,6; B — от 1,28 до 2,28; величина P_c — от 0 до 0,4. Для участка III коэффициенты близки к таковым для образцов участка II и составляют: $A = 5,35$; $B = 2,10$; $p_c = 0,25$.

Величина осадки торфа для отдельных участков при различной вертикальной нагрузке и различной глубине взятия образцов с ненарушенной структурой дана в табл. 21.

Таблица 21

Величина осадки торфа на болоте вида II

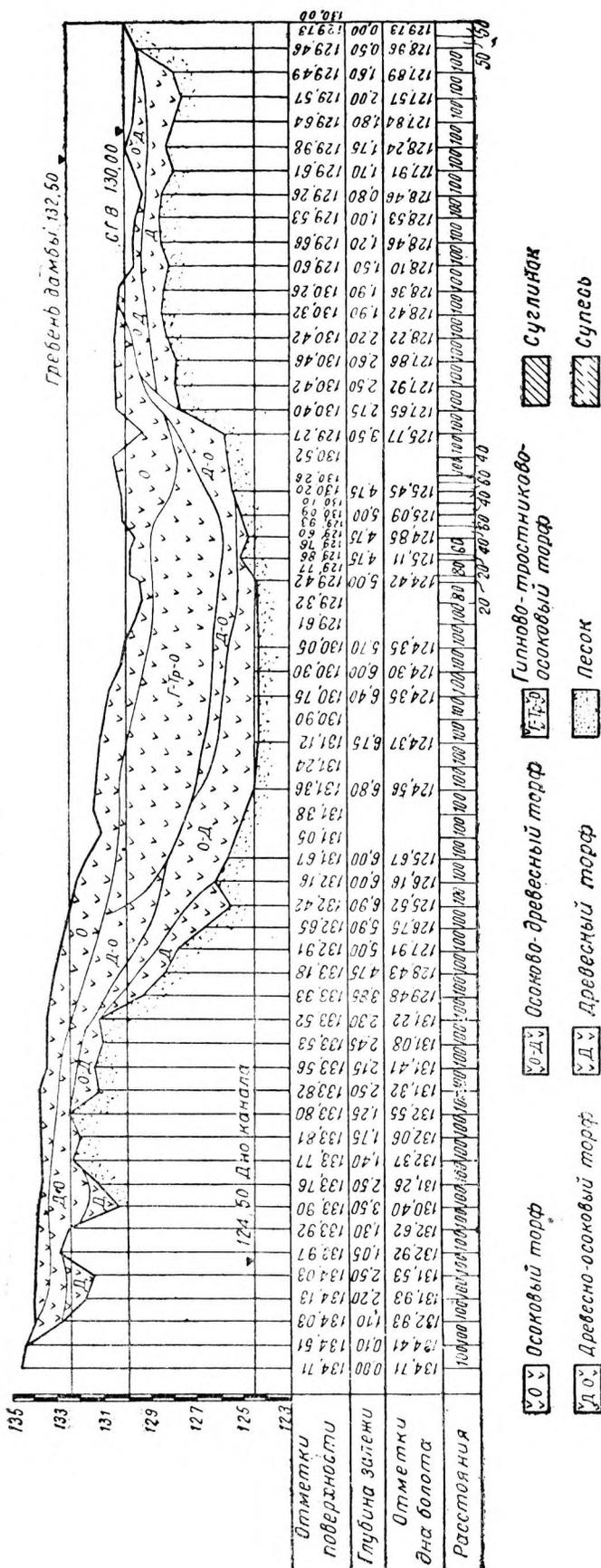
№ п/п	Участок I				Участок II				Участок III			
	Нагрузка в кг/см ²	Средняя глубина залежи в м	Осадка в см	Осадка в % от глубины залежи	Нагрузка в кг/см ²	Средняя глубина залежи в м	Осадка в см	Осадка в % от глубины залежи	Нагрузка в кг/см ²	Средняя глубина залежи в м	Осадка в см	Осадка в % от глубины залежи
1	0,5	4,1	82,6	20,1	0,5	3,0	72,4	24,1	0,5	2,5	61,0	20,4
2	1,0	4,1	133,5	32,5	1,0	3,0	97,9	32,6	1,0	2,5	78,8	31,5
3	2,0	4,1	200,1	48,8	2,0	3,0	131,2	43,7	2,0	2,5	113,0	45,2

Приведенные величины осадки относятся к сплошной нагрузке. Для сооружений с удельной нагрузкой, превышающей 2 кг/см², должны быть произведены специальные расчеты по данным лабораторного исследования образцов, непосредственно взятых со строительных площадок в местах запроектированных сосредоточенных нагрузок.

3. БОЛОТО ВИДА III

а) Расположение и тип болота. Трасса канала проходит вдоль западного края болота на протяжении 5,5 км. Общий уклон поверхности болота направлен с севера на юг. Дно болота представляет котловину некогда большого водоема. Общая площадь болота свыше 11 тыс. га, средняя глубина торфа — 4,22 м. Болото относится на большем своем протяжении к низинно-переходному типу со средней зольностью 6%. Болото делится на две части: северную — переходного типа с включениями в залежи довольно большого количества пней и южную — большей частью низинно-переходного типа. От южной части отделяется крайний южный конец типичного низинного болота со средней зольностью 9%.

б) Стратиграфия торфяной залежи. Залесь представляет пестрое чередование осокового, гипново-осокового и тростниково-осо-



Фиг. 36. Профиль строения торфяной залежи по оси канала на болоте вида III.

кового торфа, зольность которого в центральных сильно обводненных участках падает до 3,5%. Верхний пласт центральной части болота, достигающий толщины 4 м, состоит из волокнисто-войлочного торфа слабой степени разложения. Под волокнистым пластом лежит придонный 2—3-метровый слой сильно разложившегося древесного торфа; верхняя часть его до прорытия канала была сильно разжижена, нижняя (представляет сильно уплотненную, относительно менее влажную массу; на границе обоих горизонтов залегает сильно озоленная (до 13%) прослойка бореального пограничного горизонта. Мощность древесного пласта увеличивается на северном и южном концах болота (фиг. 36).

Торфяная залежь южной части болота сложена из одного древесного торфа мощностью 2—2,5 м. Северная часть залежи состоит в верхней трети по вертикальному профилю из волокнистого торфа, ниже — из сильно разложившегося древесного торфа с двумя горизонтами пней. Глубина залежи от 3 до 5 м.

Торфяная залежь подстилается минеральными грунтами, преимущественно песчаными. Илистых отложений и сапропелей нет; только в самой южной части болота обнаружено незначительное залегание мер-

геля под торфяным слоем. Мергель лежит на водоносном песчаном слое. В этой части болота в основании дамб торф и мергель должны быть вынуты до твердого грунта.

в) Строительная характеристика торфа. Древесный торф по строительным качествам представляет пригодный строительный материал с легко нарушимой структурой, что позволяет при отсыпке массы в сооружение перемешивать и уплотнять торф трамбовками. При 6—8-кратной проходке трамбовками коэффициент фильтрации понижается с 0,004 до 0,000002 *см/сек*. Объемный вес древесного торфа 1,02—1,06; степень разложения 60—70%. По своим строительным качествам этот вид торфа, залегающий в нижних пластах болота, аналогичен древесному торфу на участке опытных дамб на болоте вида VII.

Волокнистый торф, образующий верхние пласты залежи, не пригоден в естественном его состоянии для отсыпки тела дамб. При слабой степени разложения (25—40%) и войлочной структуре он имеет коэффициент фильтрации 0,002—0,003, приближающийся к коэффициенту для песков. Вследствие своей упругости и связанности он не поддается уплотнению трамбованием и может быть использован как строительный материал для дамб только после переработки его торфяной машиной; переработка и утрамбовка понижает его коэффициент фильтрации до 0,0008—0,00002. Объемный его вес в естественном состоянии — 0,75—0,95. Угол внутреннего трения торфа, пропущенного через машину, значительно меньше, примерно в 2—3 раза, чем у торфа с ненарушенной структурой; в таком же размере уменьшаются и силы сцепления.

Коэффициент фильтрации при напоре около 12,5 м и фильтрации сверху вниз составил в среднем: для осокового торфа со степенью разложения 20—30% и зольности до 3,5% от 0,0006 до 0,0004 *см/сек*; для гипново-осокового торфа со степенью разложения 17—19% — от 0,000004 до 0,00001 *см/сек*.

Полученные физико-механические и технические свойства торфа по образцам в монолитах даны в табл. 22—23.

4. БОЛОТО ВИДА IV

а) Расположение и тип болота. Трасса канала проходит по восточному краю болота, образующего правобережную пойму речки; поверхность болота ровная с небольшим уклоном к речке. В местах примыкания болота к суходолу с крутым подъемом торф покрыт минеральными грунтами, нанесенными со склона весенними и дождевыми водами.

Болото типичное низинное пойменное; оно образовалось в глубокой впадине, являвшейся в далеком прошлом водоемом или руслом реки. Правый берег этого русла представляет крутой склон, переходящий в плотное минеральное дно болота (фиг. 37). Песчаное и супесчаное дно водоема постепенно покрывалось илстыми отложениями; одновременно с отложениями ила отлагался болотный мергель оба эти компонента создали большую пестроту в придонных напластованиях. Процесс торфообразования начался позднее, и торф отлагался на слоистой свите ила и мергеля. Значительная часть торфа в нижних слоях содержит различные количества извести, что указывает на продолжение процесса мергелеобразования и в более позднее время, когда отлагался торф. Мощность подстилающих торф илстых и мергелистых слоев доходит в пределах трассы до 3,5 м, а в некоторых частях до 5 м, наибольшая глубина ила и торфа — 11 м.

б) Торфяная залежь представляет собой чередование древесно-осокового, древесного и гипново-осокового торфа. Нижние пласты торфа замергелеваны и заилены. В пределах трассы канала торф в основном имеет степень разложения 50—80%. В средних горизонтах встречаются прослойки в виде линз малоразложившегося, преимущественно осокового

¹ См. ниже, гл. V, п. 2.

Таблица физико-механических и технических свойств торфа на болоте вида III

№ п/п	Наименование показателей	№ образцов				
		1	2	3	4	5
		8811	8812	8813	8814	8815
1	Абсолютная отметка, с которой взяты образцы .	132,00	130,50	127,00	128,00	126,50
2	Объемный вес:					
	ненарушенная структура	1,01	1,01	1,05	0,99	1,06
	нарушенная структура	0,95	0,95	0,99	0,98	1,04
3	Порозность:					
	ненарушенн. структ.	84,4	90,37	89,9	90,1	83,8
	нарушенная „	90,4	90,0	86,9	90,1	86,0
4	Влажность весовая в % от сырого вещества . .	84,75	83,70	81,00	82,70	76,20
5	Влажность весовая в % от сухого вещества . .	555	515	424,5	474,5	320
6	Объем воздуха в порах в %:					
	ненарушенн. структ.	7,0	5,17		6,6	4,8
7	Вес скелета грунта в единице объема		0,152			
8	Удельный вес	1,52	1,58	1,58	1,56	1,64
9	Зольность на сухое вещество в %	13,10	10,70	14,00	11,00	17,50
10	Степень разложения в %:					
	а) микроскопический метод	47,0	70,0	77,0	77,0	70,0
	б) отмучивание . . .	92,30	93,55	95,00	87,50	96,20
11	Пластичность:					
	а) верхний предел .	718	645	475		460
	б) нижний „	413	318	250		235
12	Число пластичности	305	327	225		225
13	Угол внутреннего трения и коэффициент сдвига:					
	без подготовки . . .	19° 00'	21° 50'	17° 40'	9° 55'	13° 55'
	с подготовкой . . .	19° 35'	21° 20'	15° 5'	17° 00'	16° 40'
14	Силы сцепления в кг/см ² :					
	без подготовки . . .	0,510	0,445	0,585	0,432	0,785
	с подготовкой . . .	1,025	0,920	0,400	0,770	0,664
15	Коэффициент фильтрации:					
	нарушенн. структ.	0,0000367	0,00021	0,000029	0,00009	0,00000154
	ненарушенная „	0,000062	0,00026	0,00012	0,000095	0,0000019
16	Ботанический состав . . .	Гипново-тростниково-осоковы	Тростниково-гипновый	Древесный	Гипново-тростниково-древесный	Травяно-древесный

торфа. Встречаются также горизонты древесного торфа с большим количеством сохранивших структуру древесных остатков — пней, корней и стволов — преимущественно хвойных деревьев; древесина лиственных растений значительно разложилась, хорошо смешивается.

В центральной части болота средние пласты торфа малоразложившиеся со степенью разложения 25—30%, местами 50%. Зольность торфа колеблется в широких пределах и зависит главным образом от степени засорения его минеральными частицами и в частности мергелем. Влажность торфа высокая и объясняется интенсивным питанием болота водой не только с примыкающего суходола, но и грунтовыми водами, выклинивающимися в торф с восточного суходольного склона.

в) Использование торфа. Торф болота вида IV является несущим основанием и строительным материалом для западной приканальной

Углы внутреннего трения и силы сцепления торфа на болоте вида III

№ п/п	Наименование показателей	№ блоков				
		1	2	3	4	5
1	Абсолютная отметка места отбора проб	130,0	126,5	130,5	127,5	126,0
2	Вид торфа	Гипново-осоковый с древесными остатками	Древесный лиственный	Древесный лиственный (береза, ива)	Гипново-осоковый	Древесный
3	Зольность в %	5,08	8,2	4,34	4,02	12,0
4	Степень разложения в%	50	55	40	60	95
5	Истинный удельный вес	1,55	1,60	1,48	1,49	1,55
6	Влажность весовая в % к весу сырого торфа (до среза).....	86,7	83,6	84,3	86,0	81,6
		87,3	83,4	84,5	86,0	79,0
		85,1	78,5	84,2	80,0	79,6
		84,5	89,0	84,1	79,7	79,6
7	Ненарушенная структура:					
	а) угол сдвига	33°10'	33°20'	35°00'	23°55'	22° 00'
	б) угол внутреннего трения	25°40'	26°00'	19°10'	11°17'	13°20'
	в) силы сцепления	403	500	404	615	403
8	Грубо нарушенная структура:					
	а) угол сдвига	28°10'	29°40'	29° 10'	29°10°	12°50'
	б) угол внутреннего трения	17°00'	16°35'	16°10'	18°35'	6°00'
	в) силы сцепления	319	686	830	511	219
9	Измельченный руками торф:					
	а) угол сдвига	26°50'	38°30'	29°15'	30°15'	16°45'
	б) угол внутреннего трения	11°30'	24° 20'	13°50'	17°10'	10°08'
	в) силы сцепления	526	833	407	760	174
10	Пропущенный через мясорубку торф:					
	а) угол сдвига	19°10'	17°30'	18°00'	15°30'	8°40'
	б) угол внутреннего трения	12°30'	8°00'	12°35'	6°27'	4°50'
	в) силы сцепления	153	247	146	386	174

Примечания . . . 1. Образцы торфа перед срезом не подготавливались. Угол сдвига получен при нормальном давлении в 3,0 кг/см².

2. Определение углов сдвига, углов внутреннего трения и сил сцепления находится еще в стадии методической разработки, поэтому полученные результаты могут быть приняты только для ориентировочных расчетов.

дамбы протяжением в 950 м, высотой вместе с песчаной пригрузкой до 4,5 м. Мощные пласты насыщенных водой илистых отложений и болотного мергеля, подстилающие торф, слоистость этих отложений при наклонном расположении напластований и пестроте чередования их делали торфяную залежь недостаточно надежной и вызывали необходимость в принятии соответственных мер для оставления залежи основания (уположение откосов, оставление бермы, более интенсивное осушение, более мощная пригрузка песком) в качестве основания дамбы. Для отсыпки дамбы в первую очередь был использован торф из выемки канала. Для обеспечения полной потребности в строительном торфе были исследованы и использованы прилегающие резервы.

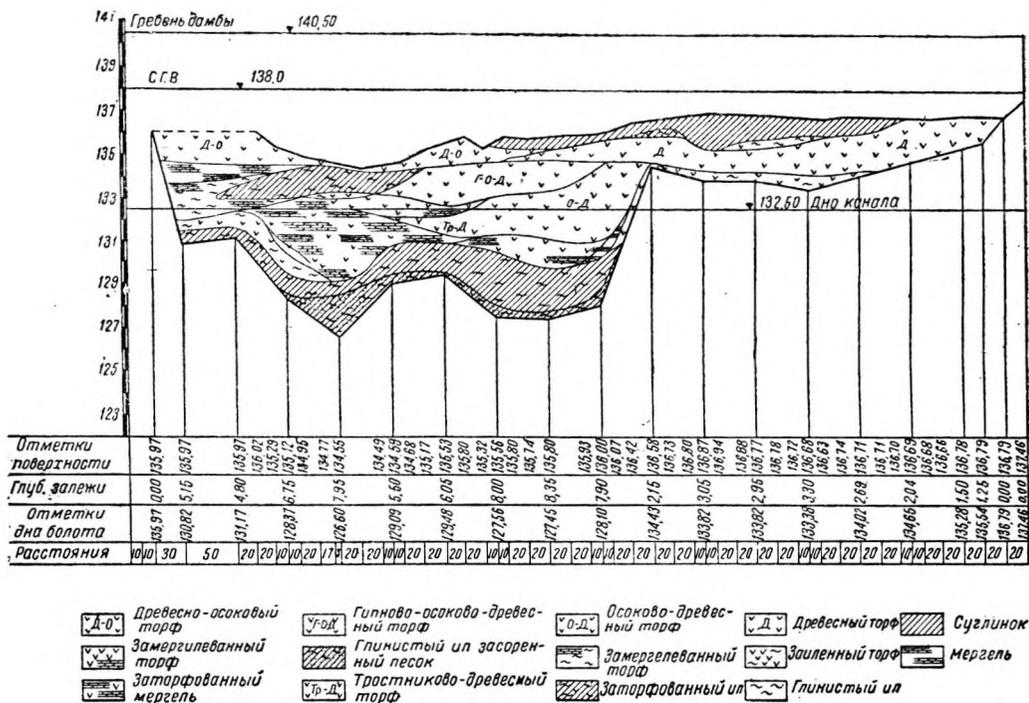
Техническая характеристика, а также данные анализа физико-механических свойств некоторых видов торфа и ила болота вида IV приводятся в табл. 24.

5. БОЛОТО ВИДА V

а) Расположение и тип болота. Трасса канала проходит вдоль восточного берега болота на протяжении 2,75 км. Площадь болота точно не установлена. Средняя глубина торфа вдоль трассы 2,75 м.

Перемычкой неглубокой залежи в центре болота торфяник делится на две части: северную и южную (фиг. 38). Северная часть произошла путем заболачивания суходольного леса, а южная часть — путем заболачивания некогда бывшего здесь водоема.

Северная часть болота относится к верховому типу и содержит сфагновый торф. Верхний 1,5-м пласт представляет чередование сильно



Фиг. 37. Профиль строения торфяной залежи по оси канала на болоте вида IV.

разложившихся прослоек, залегающих среди среднеразложившейся торфяной массы. Таких прослоек насчитывается пять, из них нижний представляет собой резко выраженный пограничный горизонт. Ниже последнего прослойка залегает 1,25-м пласт сравнительно слабо разложившего старого сфагнового торфа; еще ниже лежит небольшой (0,5—0,75 м) пласт переходных торфов: осоково-сфагнового и гипново-сфагнового средней степени разложения.

Южная часть болота образована низинными видами торфа: осоковым, сфагново-осоковым, переходящими на периферии в древесные виды; общая толщина этих торфов достигает 2,5 м. Ниже торфяных слоев лежит 1-м пласт сапропелей, который подразделяется на гитию (сверху) и нижележащие замерзеванные отложения. Это самый неблагоприятный в строительном смысле участок болота.

В центральной части протяжением 450 м по трассе, отделяющей северную часть болота от южной, торф имеет незначительную глубину; он выгорел на большом протяжении, а на тех участках, где он уцелел от пожара, он имеет большую степень разложения и уплотнения. Подстилаю-

Физико-механические свойства и ботаническая характеристика торфа болота вида IV

№ п/п	Наименование показателей	№ анализов													
		13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24		
1	Глубина <i>M</i>	2,0	2,0	0,5	1,5	0,5	1,0	1,5	2,0	2,0	2,8	1,0	1,5	Древесный	
2	Ботанический состав	Ил с растительными остатками	Древесно-осоковый	Осоковый с древесными остатками (береза, ель)	Ил с растительными остатками	Древесно-осоковый	Осоково-древесный								
3	Степень разложения в %		60	60							60	95	75		
4	Зоольность в %	82,45	21,39	24,01	90,75	90,25	87,00	90,75	82,45	21,39	28,4	27,12	18,33		
5	Удельный вес			1,64							1,86				
6	Структура образца в момент среза	Ненаруш.	Ненаруш.	Ненаруш.	Ненаруш.	Ненаруш.	Ненаруш.	Наруш.	Ненаруш.	Ненаруш.	Наруш.	Наруш.	Наруш.		
7	Нормальное давление $P=0$ з/см z а) влажность в % к весу сырого торфа: до среза после среза б) Объемный вес насыщенного образца	58,1 57,1	58,1 83,9 0,936	79,5 79,2 1,014	36,7	37,2 36,1 1,537	43,7	39,4 34,9 1,490	77,9	80,0	82,0	81,1 79,7 0,970	82,7 80,0 1,046		
8	$P=100$ з/см z а) Влажность в % к весу сырого торфа: до среза после среза б) Объемный вес насыщенного образца в) Коэффициент свлига г) Угол свлига	56,7	84,5 84,1	78,1 77,9	37,0 37,4	87,1 36,8	42,0	43,3	83,0 80,0	83,0	81,5	79,4 75,5	81,6 80,4		
9	$P=300$ з/см z а) Влажность в % к весу сырого торфа: до среза после среза б) Объемный вес насыщенного образца в) Коэффициент свлига г) Угол свлига	54,4	83,0 80,0	80,1 78,4	37,8 37,2	37,1 36,4	43,6	44,4 43,4	73,6 72,4	83,0	83,4 81,8	80,0 73,4	81,4 80,0		
		1,17 49°30'	0,951 1,40 54°30'	1,049 1,85 61°20'	1,520 1,79 60°10'	1,630 1,12 48°40'	1,462 1,60 69°00'	1,506 53°50'	1,161 1,35 61°20'	1,70 59°20'	1,052 1,23 52°00'	1,070 1,36 53°20'	1,001 1,36 63°10'		

10	<p>$P=500 \text{ з/см. 2}$</p> <p>а) Влажность в % к весу сырого торфа: до среза после среза</p> <p>б) Объемный вес насыщенного образца</p> <p>в) Коэффициент сдвига</p> <p>г) Угол сдвига</p>	54,1 1,189	83,5 88,0 1,018 1,07 46°0'	1,13 48°30'	36,7 36,0 1,331 1,21 50°30'	0,84 40°10'	36,4 36,0 1,611	46,6 43,2 1,442 1,09 47°30'	45,6 43,4 1,496 1,10 47°10'	65,1 1,199 1,22 50°20'	82,5 0,874 0,95 43°40'	84,6 83,1 1,049 0,98 44°30'	79,5 79,6 1,021 0,88 41°30'	79,8 1,070 0,88 41°30'	
И	<p>$P=1000 \text{ з/см. 2}$</p> <p>а) Влажность в % к весу ного торфа: до среза после среза</p> <p>б) Объемный вес насыщенного образца</p> <p>в) Коэффициент сдвига</p> <p>г) Угол сдвига</p>	47,6 42,0	82,0 81,7 1,061	79,0 76,9 1,071	37,8 37,6 1,651	0,676 34°00'	35,2 1,640	45,2 43,9 1,521	45,1 1,451	51,4 1,291	83,1 82,0 0,877	81,4 78,8 1,063	77,7 74,7 1,095	80,9 78,6 1,053	
12	<p>$P=3\ 000 \text{ з/см. 2}$</p> <p>а) Влажность в % к весу сырого торфа: до среза после среза</p> <p>б) Объемный вес насыщенного образца</p> <p>в) Коэффициент сдвига</p> <p>г) Угол сдвига</p>	45,0	83,0 80,0 1,050	79,0 74,3 1,089	37,0 1,620	0,973 44°30'	35,2 1,662	41,4 41,3 1,589	43,6 40,3 1,452	71,6 58,1 1,298	88,8	80,8 78,4 1,078	81,0 74,9 1,102	83,1 77,7 1,054	
13	<p>$P=5\ 000 \text{ з/см. 2}$</p> <p>а) Влажность в % к весу сырого торфа: до среза после среза</p> <p>б) Объемный вес насыщенного образца</p> <p>в) Коэффициент сдвига</p> <p>г) Угол сдвига</p> <p>д) Угол внутреннего трения</p> <p>е) Сила сцепления в з/см. 2</p>	46,0 45,6 1,151	82,5 78,5 1,080	79,7 73,5 1,098	37,2 1,612	0,465 25°00'	38,0 34,8 1,620	44,5 40,0 1,448	42,5 35,8 1,559	44,6	84,4 81,5	79,0 76,6 1,099	81,1 73,4 1,100	80,0 70,0 1,181	0,420 23°00' 22°00' 2,50

Примечание. Торф срезался на приборе Пузырьского без подготовки.

щий торфяную залежь грунт в северной части представлен песками, а в южной — суглинком, переходящим в глинистые грунты.

б) Пнистость торфяника. Бурением обнаружено в толще торфяной залежи несколько горизонтально расположенных ярусов пней, свидетельствующих о погребенном лесе. Верхний пнистый горизонт на глубине около 1,25—1,50 м проходит вдоль всего болота от северной до южной границы. Местами горизонты пней встречаются также на глубине 2—3,5 м от поверхности болота. Встречающиеся крепкие ветвистые пни являются остатками хвойных пород, преимущественно сосны.

Выемка залежи с большим количеством пней может быть произведена вручную или гидравлическим способом.

в) Степень разложения и строительные качества торфа. Верхние слои залежи в северной части болота мощностью 0,3—0,4 м имеют небольшую степень разложения торфа, волокнистое строение и светлую окраску. Для строительных целей он не пригоден и может быть использован только в качестве постели вместо гравия при каменном креплении откосов. Нижележащий пласт старого сфагнового торфа имеет степень разложения 40—50%.

С увеличением глубины залежи степень разложения торфа повышается и достигает 60—70% на глубине 1,25—1,50 м. Хорошо разложившийся торф совпадает с горизонтом пней, масса имеет темную окраску. Пнистые горизонты торфяной залежи дают неравномерную осадку и опасны в смысле усиленной фильтрации. В самых нижних слоях торфяная залежь имеет небольшую степень разложения — 35—40%. Распределение степени разложения торфа и пнистость залежи по вертикальному профилю весьма пестры, поэтому осадка торфяного грунта под нагрузкой будет неравномерной.

Степень разложения торфа, расположенного в южной части болота, колеблется от 25 до 90%. Верхний слой залежи толщиной 0,25 м в районе северной половины южной части болота состоит из неразложившегося мхового торфа. Следующая за ним 2,5-м толща торфа имеет в нижних слоях степень разложения 40%.

г) Зольность и влажность торфа. Основная толща северной части торфяника имеет зольность от 2,3 до 6%. Сплошных минеральных прослоек в залежи торфа не встречается; таким образом опасности скольжения сооружения по тонким минеральным прослойкам при больших удельных давлениях на торфяное основание не имеется. Зольность южной части болота колеблется от 15 до 30%; зольность подстилающего торфсапропеля — 35—65%.

В неосушенном состоянии болото вида V очень влажное; малоразложившийся торф достигает предела насыщения (влажность 92%). Пониженная влажность соответствует более разложившимся горизонтам торфа, залегающим местами на глубине 2,5—3 м от поверхности.

Торф с большой влажностью, расположенный в основании дамб, даст большую и длительную осадку по сравнению с хорошо разложившимся торфом при одинаковой удельной нагрузке.

До начала работ массив был хорошо осушен до минерального дна, что в значительной степени облегчило условия выемки торфа, а также снизило не менее чем, на 25% вес вынимаемой кубатуры.

д) Запасы строительного торфа в пределах выемки канала составляли 426,8 тыс. м³; из этого количества 160 тыс. м³ было со степенью разложения свыше 50%, 62,8 тыс. м³ — со степенью разложения от 47 до 50%, 137,9 тыс. м³ — со степенью разложения и от 40 до 45% и 66,1 тыс. да³ — со степенью разложения менее 40%.

Запасы строительного торфа, включая торф со степенью разложения от 47% и выше, при условии тщательного перемешивания и утрамбовки в процессе укладки в сооружение составляли 222,8 тыс. м³.

Ботаническая характеристика и физико-механические свойства торфа приводятся в табл. 25 и 26.

Характеристика технических и физико-механических свойств торфа на болоте вида V

Глубина взятия образца в м	Влаж- ность В %	Зольность в %	Степень разложения В %	Вид торфа
0,5	90.2	2,57	15	Пушице-сфагновый
1,0	92.0	3,14	5	» »
1.5	88.9	2,60	70	То же с сосной
2,0	90.0	2,45	25	Пушице-сфагновый
2.5	91.7	2,37	20	Пушице-сфагновый с кукушкиным льном
3.0	92.5	3,00	15	Пушице-осоково-сфагновый
3.5	87.6	7,84	50	Осоково-гипновый со сфагнумом
3,75	85.6	22,72	60	Осоково-гипновый
0,5	91.0	2,44	20	Сфагновый
1.0	89.0	2,64	30	Сфагновый с пушицей
1.5	87.9	3,44	40	Сфагновый с сосной
2,0	91.8	1,95	30	Сфагновый
2.5	89.9	1,88	30	
3.0	90.0	3,32	30	
3.4	85,8	7,03	70	Осоково-сфагновый с древесными остат- ками
0,5	78.4	4,55	95	Осоково-древесный
1.0	86.5	6,13	50	Осоковый со сфагнумом
1.5	87.0	6,32	60	» с древесными остатками
2,0	88.2	8,42	90	» » » »

6. БОЛОТО ВИДА VI

а) Расположение болот. Болота вида VI № 1, 2 и 3 расположены в пойме реки в районе минеральной плотины. Болото № 3 находится на левом берегу реки, а болото № 1 — на правом. Эти болота расположены в нижнем бьефе плотины, имеют удлиненную форму и тянутся на юг на расстояние 1 км от оси плотины. Болото № 2 находится в верхнем бьефе, на правом берегу реки, имеет также удлиненную форму, ориентированную по течению реки.

Все указанные болота по характеру и свойствам торфяной залежи, а также и по растительному покрову относятся к низинному типу приречных пойменных болот.

б) Торфяная залежь. Болото № 1 имеет ширину залежи от 20 до 120 м; поверхность болота покрыта густой зарослью ольхи. Благодаря заилению залежи болото № 1 имеет повышенную зольность. Торфяная залежь складывается преимущественно из травяно-древесных горизонтов. Степень разложения массы колеблется от 35 до 60%, зольность составляет в среднем около 22%. Наибольшая глубина торфа 3,1 м в южной части болота, средняя глубина 1,5 м.

Торфяная залежь болота № 2 подразделяется по вертикальному профилю на два основных слоя: верхний слой — осоковый и древесно-осоковый; нижний до подстилающего минерального грунта — осоково-древесный и древесный. Степень разложения торфа в большей части залежи равна 60—70% и лишь в отдельных частях болота понижается до 35—40%. Зольность торфа колеблется от 12 до 28%; средняя зольность — около 20%. Большая зольность объясняется засоренностью торфа минеральными наносами, приносимыми водой при разливах реки. Восточная часть болота, а также придонный слой торфа имеют повышенную зольность.

Торфяная залежь болота № 3 имеет ширину от 80 до 200 м. Верхний слой залежи — Травяно-осоковый с примесью древесных остатков, степень разложения 60—70% и зольностью около 15%. Следующий слой — травяно-древесный; степень разложения его падает до 40—50%, за исклю-

Ботаническая характеристика, углы сдвига и дру

№ анализов	Место взятия образца	Глубина взятия проб	Ботанический состав торфа	Степень разложения в %	Зольность в %	Удельный вес торфа	Структура образца в момент среза	Торф срезался с подготовкой или без подготовки в ванне Пузыревского
1	Ось канала	0,5	Осоково-тростниковый	—	—	1,50	Проморож. ненаруш. набухш.	Без подготовки
3	То же	1,0	Древесно-травянисто-тростниковый	83,42	8,10	1,55	Ненаруш.	То же
4	" "	1,0	То же	83,42	8,10	1,55	" "	" "
5	" "	1,5	Хвощево-тростниковый	—	8,90	1,49	Промор. ненаруш.	" "
6	" "	0,5	Пушицево-сфагновый	67,60	1,64	1,50	То же	" "
7	" "	1,0	Древесный	50,94	2,36	—	Ненаруш.	" "
8	" "	1,0	Сфагновый	63,85	2,43	1,52	Проморож. ненаруш.	" "
9	" "	1,0	Древесно-травянисто-тростниково-осоковый	83,42	8,10	—	Ненаруш.	" "

33	То же	0,5	Осоково-тростниковый	—	—	1,50	Ненаруш.	То же
34	" "	1,5	Хвощево-тростниковый	—	8,40	1,49	" "	" "
35	" "	1,0	Древесный	50,94	—	—	" "	" "
36	" "	1,0	Сфагновый	63,85	—	1,52	" "	" "
30	" "	0,5	Пушицево-сфагновый	67,60	1,64	1,50	" "	" "

№ анализов	Место взятия образца	Глубина взятия проб	Ботанический состав торфа	Нормальное давление $P=340 \text{ г/см}^2$					Нормальное $P=1000$	
				Влажность в % к весу сырого образца		Объемный вес насыщенного образца	Коэффициент сдвига	Угол сдвига	Влажность в % к весу сырого образца	
				до среза	после среза				до среза	после среза
1	Ось канала	0,5	Осоково-тростниковый	86,1	84,0	1,041	1,24	54°40'	—	85,4
3	То же	1,0	Древесно-травянисто-тростниково-осоковый	89,9	86,5	0,863	1,81	61°10'	89,6	84,4
4	" "	1,0	То же	88,8	85,5	0,944	—	—	88,0	85,6
5	" "	1,5	Хвощево-тростниковый	86,5	84,0	—	0,87	41°20'	85,5	84,6
6	" "	0,5	Пушицево-сфагновый	—	91,5	0,951	1,33	53°03'	88,2	88,9
7	" "	1,0	Древесный	90,6	89,3	0,916	0,09	34°40'	85,1	83,4
8	" "	1,0	Сфагновый	86,0	—	0,905	1,87	62°00'	86,4	—
9	" "	1,0	Древесно-травянисто-тростниково-осоковый	84,6	—	—	0,40	21°50'	84,7	—
				$P=500 \text{ г/см}^2$						
33	То же	0,5	Осоково-тростниковый	85,2	—	1,002	1,09	47°30'	88,0	85,7
34	" "	1,5	Хвощево-тростниковый	87,9	86,7	1,031	0,809	39°00'	87,4	81,5
35	" "	1,0	Древесный	82,9	79,5	1,069	0,970	44°30'	84,0	79,4
36	" "	1,0	Сфагновый	91,6	85,3	1,010	1,51	56°30'	89,6	—
30	" "	0,5	Пушицево-сфагновый	90,0	88,6	1,010	2,25	65°49'	89,4	88,4

где физико-механические свойства торфа на болоте вида V

Нормальное давление $P=0 \text{ г/см}^2$			Нормальное давление $P=100 \text{ г/см}^2$					Нормальное давление $P=295 \text{ г/см}^2$				
Влажность в % к весу сырого образца		Объемный вес насыщенного образца	Влажность в % к весу сырого образца		Объемный вес насыщенного образца	Коэффициент сдвига	Угол сдвига	Влажность в % к весу сырого образца		Объемный вес насыщенного образца	Коэффициент сдвига	Угол сдвига
до среза	после среза		до среза	после среза				до среза	после среза			
—	85,4	1,006	87,4	85,5	1,009	2,53	68°20'	85,2	83,5	1,025	1,34	53°20'
92,4	90,0	0,925	88,8	86,6	0,967	3,32	73°15'	87,9	86,2	0,860	1,85	61°40'
—	88,5	0,940	87,0	87,0	0,984	2,55	68°20'	88,5	86,5	0,991	1,10	48,10'
—	87,0	0,957	87,5	86,0	0,940	2,40	67°30'	—	86,9	—	0,89	41°50'
90,5	—	—	94,0	91,2	0,900	2,40	67°30'	—	92,2	0,850	1,36	53°10'
90,1	88,5	0,886	90,0	89,4	0,881	1,84	61°30'	92,5	90,1	0,945	1,81	39°10'
85,0	—	0,874	85,3	—	0,916	4,24	76°20'	85,8	—	0,832	1,91	62°30'
86,9	—	—	86,5	—	0,867	1,41	54°20'	87,8	87,0	0,890	0,57	29°50'
$P = 300 \text{ г/см}^2$												
85,4	—	0,958	82,6	82,4	—	3,32	73°15'	86,2	—	0,996	1,54	57°40'
87,0	86,7	0,962	87,4	86,6	1,005	2,62	69°10'	87,6	87,5	1,030	0,940	43°20'
80,0	—	1,000	82,9	80,6	1,028	3,32	73°15'	—	80,5	1,100	1,29	52°10'
90,1	90,1	0,866	—	84,5	0,956	4,04	76°10'	90,3	89,9	0,954	2,35	67°00'
89,5	89,4	0,99	91,0	90,5	0,965	6,85	81°42'	87,6	—	—	2,27	66°15'

□□□□□□□□□□

давление г/см^2			Нормальное давление $P=2\ 850 \text{ г/см}^2$					Нормальное давление $P=5\ 000 \text{ г/см}^2$					Сила сцепления в г/см^2	
Объемный вес насыщенного образца	Коэффициент сдвига	Угол сдвига	Влажность в % к весу сырого торфа		Объемный вес насыщенного образца	Коэффициент сдвига	Угол сдвига	Влажность в % к весу сырого торфа		Объемный вес насыщенного образца	Коэффициент сдвига	Угол сдвига		Угол внутреннего трения
			до среза	после среза				до среза	после среза					
1,032	0,565	29°30'	86,0	81,5	1,002	0,226	12°50'	85,3	80,4	1,045	—	—	11°30'	320
0,875	1,04	46°50'	89,1	82,0	1,009	0,54	23°33'	89,5	80,4	1,060	0,50	26°40'	25°10'	440
1,019	0,657	33°20'	—	81,1	—	0,268	15°0'	—	—	—	—	—	10°50'	226
0,944	0,501	26°40'	85,4	—	0,910	0,445	24°0'	86,5	—	0,886	0,400	21°50'	19°50'	188
0,880	0,608	31°20'	92,5	—	—	0,465	25°0'	87,5	87,0	0,874	0,44	24°10'	21°50'	200
0,834	0,42	22°50'	91,1	84,5	0,855	0,33	18°20'	90,0	88,1	0,874	0,34	18°50'	16°30'	130
0,925	0,835	40°00'	86,0	85,0	—	0,464	25°0'	86,7	86,6	0,809	0,463	24°50'	21°30'	420
0,897	0,212	11°60'	87,0	85,5	0,834	0,10	6°0'	—	—	—	—	—	—	—
$P = 1\ 000 \text{ г/см}^2$			$P = 3\ 000 \text{ г/см}^2$					$P = 5\ 000 \text{ г/см}^2$						
1,036	0,685	34°30'	85,6	83,6	1,056	0,36	19°50'	79,6	79,4	1,061	0,39	21°20'	19°45'	290
1,025	0,594	28°50'	86,1	84,4	1,010	0,416	22°55'	86,0	83,2	1,068	0,37	20°20'	18°25'	191
1,049	0,530	28°00'	81,0	77,8	1,055	0,413	22°20'	80,9	77,0	1,045	0,258	14°30'	—	—
1,028	0,82	39°30'	92,0	80,2	—	0,41	22°20'	87,8	84,1	1,050	0,31	17°13'	—	—
0,930	1,18	49°40'	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

чением нижнего придонного слоя в 0,5—0,7 м, где степень разложения и зольность снова увеличиваются.

Периферия болота имеет значительно повышенную зольность, местами доходящую до 30% и более. Это объясняется примесью наносного минерального материала, который, с одной стороны, приносится паводковыми водами реки, протекающей с западной стороны болота, с другой — сносятся атмосферными осадками с крутого склона приречной террасы, расположенной с восточной стороны болота. Средняя глубина торфа около 2,2 м, максимальная — 3,7 м.

Торфяная залежь всех трех болот подстилается преимущественно аллювиальными иловато-глинистыми слоями и реже водоносными песчаными грунтами.

в) Строительная характеристика торфов с болот вида VI. Пестрота строения торфяной залежи болот № 1, 2 и 3 по степени разложения и зольности вызвала большие затруднения по выборке пригодного для сооружений торфа. Разработка торфяных болот производилась сразу на всю глубину; предварительно болота были осушены системой открытых канав, отводящих воду в реку.

Влажность торфа в забое была понижена до 85—84%, так как торф с большой влажностью трудно поддается уплотнению. Как общее правило, для укладки в сооружения применялся торф со степенью разложения не менее 50% и зольностью не выше 25%. Торф со степенью разложения

Таблица 27

Запас строительного торфа на болотах вида VI

№ болот	Общий объем залежи в м ³	Объем полезной залежи		
		всего в м ³	из них со степенью разложения	
			50% и менее м ³	более 50% м ³
1	46000	23000	2 000	21000
2	128 000	64 000	Незначительный	64 000
3	369 000	180 000	100000	89 000
Итого	543 000	267 000	102 000	174 000

ниже 50% применялся лишь после его переработки в торфяном прессе, притом только в горизонтальный понур, вследствие того, что такой торф имеет малый угол внутреннего трения — около 6—8° и совершенно не имеет сил сцепления.

в) Запас строительного торфа выражается в следующих цифрах (табл. 27).

Согласно проекту потребность в профильной кубатуре торфа для прилегающих сооружений составляла 92 000 м³. Считая потерю торфа примерно равной 50% (на потери в забоях в виде неучтенной кубатуры, потерю вследствие обезвоживания торфа и производственные потери во время выемки массы) и принимая высший предел осадки торфа в сооружении равным 50% (согласно компрессионной кривой осадка торфа из болота № 1 достигает 35%), необходимо было указанное количество профильной (проектной) кубатуры удвоить. Таким образом запас торфа в указанных трех болотах при правильной осушке болот и полной выемке массы полностью обеспечивал намеченную Строительством потребность. Дополнительный запас торфа в размере 24 000 м³ в болоте № 4, расположенном в верхнем бьефе на более удаленном расстоянии от сооружений канала, рассматривался как резерв.

д) Технические и физико-механические свойства торфа болота вида VI приводятся в табл. 28, 29 и 30.

7. БОЛОТО ВИДА VII

а) Расположение и тип болота. Трасса канала проходит на протяжении 4,6 км вдоль восточного края болота. Все болото имеет площадь более 600 га и делится каналом на две части: большую западную

Углы внутреннего трения и силы сцепления торфа на болотах вида VI

Наименование показателей	№ болот						
	3			2		2	
	Ботанический состав торфа						
	Тростни- ковый	Тростни- ковый	Тростни- ково-дре- весный	Осоко- вый	Осоко- вый с древес- ными остатка- ми	Дре- весно- осоко- вый	Осоко- вый с древес- ными остат- ками
Глубина взятия образцов в м	1,0	2,6	1,6	1,0	1,0	1,0	1,0
Зольность в %	9,84	9,16	10,62	11,0	11,10	12,50	13,80
Степень разложения в %	80	40	80	80	85	90	90
Нарушенная структура:							
а) Структурное сцепление в кг/см ²	0,107	0,141		0,111	0,114		
б) Восстанавливающее сцеп- ление в кг/см ²	0,297	0,105		0,146	0,148	0,300	
в) Полное сцепление в кг/см ²	0,404	0,246		0,257	0,262	0,300	0,262
г) Угол внутреннего трения	17°40'*	15°10' *		23°43' *	17°30'	23°30'	19°50'
	16°50'	15°01'*		24°30'			
				17°30' *			
Ненарушенная структура:							
а) Полное сцепление в кг/см ²	0,403	0,503	0,332	0,251	0,290	0,386	0,299
			0,400				
б) Угол внутреннего трения	18°20°	24°40'	28°30'	28°00'	24°50'	14°50'	15°10'
			23°30'				
После переработки в мясорубке:							
а) Структурное сцепление в кг/см ²	0,127	0,042	0,0	0,030	0,028	0,070	0,0
			0,0		0,00		
			0,003		0,070		
б) Восстанавливающее сцепление в кг/см ²	0,050	0,035	0,127	0,020	0,078	0,050	0,078
			0,127		0,120		
			0,123		0,050		
в) Полное сцепление в кг/см ²	0,177	0,077	0,127	0,050	0,106	0,120	0,078
г) Угол внутреннего трения	4°30'*	12°40'	5°34'	13°20'	4°50'	11°45'	6°40'
	7°10'	10°0'	5°33'*	5°00' *	10°10'*		
			5°43'		11°45'		

Примечания. Определения производились на приборе проф. Пузыревского без предварительной подготовки грунта под давлением. Срезы производились при нормальных давлениях: 0; 100; 300; 500; 1 000 и 3 000 г/см².

В ряде определений срезывания велись для одного и того же образца повторно, в этих случаях углы внутреннего трения для первого среза приведены вверх и второго — вниз в соответствующих графах. Поданным первым срезов определялось полное сцепление.

Восстанавливающее сцепление определялось по данным вторых срезов, а структурное сцепление — путем вычитания величины восстанавливающего сцепления из величины полного сцепления. Углы внутреннего трения для первого среза и второго помечены звездочками.

Коэффициенты фильтрации торфа на болотах вида VI при высоком напоре (12,5 м)

№ опытов	№ болот	Ботаническая характеристика торфа	Зольность В %	Степень разложения в %	Влажность в %						Коэффициенты фильтрации K_{10}^0 в см/сек
					перед опытом			после опыта			
					весовая к сырому торфу	объемная к сухому торфу	содержание воздуха в объеме в %	весовая к сырому торфу	объемная к сухому торфу	содержание воздуха в объеме в %	
4	2	Тростниково-травянисто-древесный	22,5	82,5	81,10	728	3,8	80,3	690	3,8	0,00000374
6	1	Травянисто-тростниково-древесный	10,0	60,0	86,8	1 082		84,7	903		0,0000014
30	3	Хвощево-тростниково-древесный	16,0	78,0	80,99	718	8,5	79,95	672	10,1	0,0000014
32	3	Осоково-тростниково-древесный	13,5	74,0	83,51	809	5,5	82,83	771	9,0	0,0000013
3	1	Тростниково-древесный	12,6	77,0	79,0	646	8,2	81,49	712	12,8	0,0000008
	3		Травянисто-древесный	14,3	84,5	82,5	796	4,2	78,1	603	1,2

часть и меньшую—восточную. Болото принадлежит к типу низинных и на своем протяжении неоднородно по мощности, составу и свойствам. Оно произошло путем зарастания бывших озер, о чем свидетельствуют подстилающие торф донные отложения на окружающей пойме. Трассой канала пересекается круглое, еще не заросшее озеро, достигающее глубины 18,6 м.

По характеру торфа залежь болота делится на две части: северную и южную. В северной части мощность залежи достигает 6,5 м, в южной части — 4 м; средняя глубина залежи всего болота 4,5 м. В северной части залегаёт слоистый осоково-тростниковый торф волокнистого строения, подстилаемый глубокими мергелями, на некоторых участках также слоистого строения (фиг. 39). Южная часть залежи состоит из древесного торфа (остатки березы, ольхи, ивы), хорошо разложившегося — 60—70%. В самой южной части торфяная залежь уходит под минеральный нанос и затем кончается.

б) Стратиграфия торфяной залежи. Верхний малоразложившийся слой торфа обладает большой фильтрационной способностью и содержит большое количество пней. Собственно торфяная залежь состоит из отдельных горизонтов более разложившихся и более плотных, чередующихся с менее разложившимися и более обводненными слоями.

Слоистая система в участках, где нет минеральных и илистых прослоек, представляет собой как бы систему каркасных перекрытий, значительно уплотняющихся после осушения и увеличивающих несущую способность торфяной залежи. В отдельных горизонтах встречаются древесные пни, которые понижают строительные качества торфа. Влажность торфяной массы

вследствие неосушенности болота достигает 88—89%, что понижает несущую способность залежи и может вызвать деформации.

В северной части болота торфяная залежь имеет мергелистые прослойки, делающие залежь неблагоприятной в качестве основания для сооружений, так как прослойки мергеля могут образовать плоскости скольжения откосов канала и сдвига сооружений.

в) Подстилающие торфяные грунты. Несущая способность торфяной залежи сильно ослабляется неустойчивыми разжиженными подстилающими торфяными пластинами мергеля и ила. В северной части болота мощные слои мергеля, насыщенные водой (65%), находясь у верхнего предела пластичности, имеют малый угол внутреннего трения при отсутствии силы сцепления и являются поэтому неустойчивыми как в откосах выемки, так и под сооружениями. Эти разжиженные мергели являются глубокими донными отложениями.

В южной части болота дно канала частично проходит в минеральном грунте. Под залежью имеется впадина глубиной до 9 м от поверхности, заполненная весьма пестрой свитой разжиженных чередующихся пластов торфа, мергеля и илов. Впадина, имеющая крутые минеральные берега, питается, очевидно, напорными грунтовыми водами и лежит на водоносном песке; в качестве основания для сооружений она ненадежна.

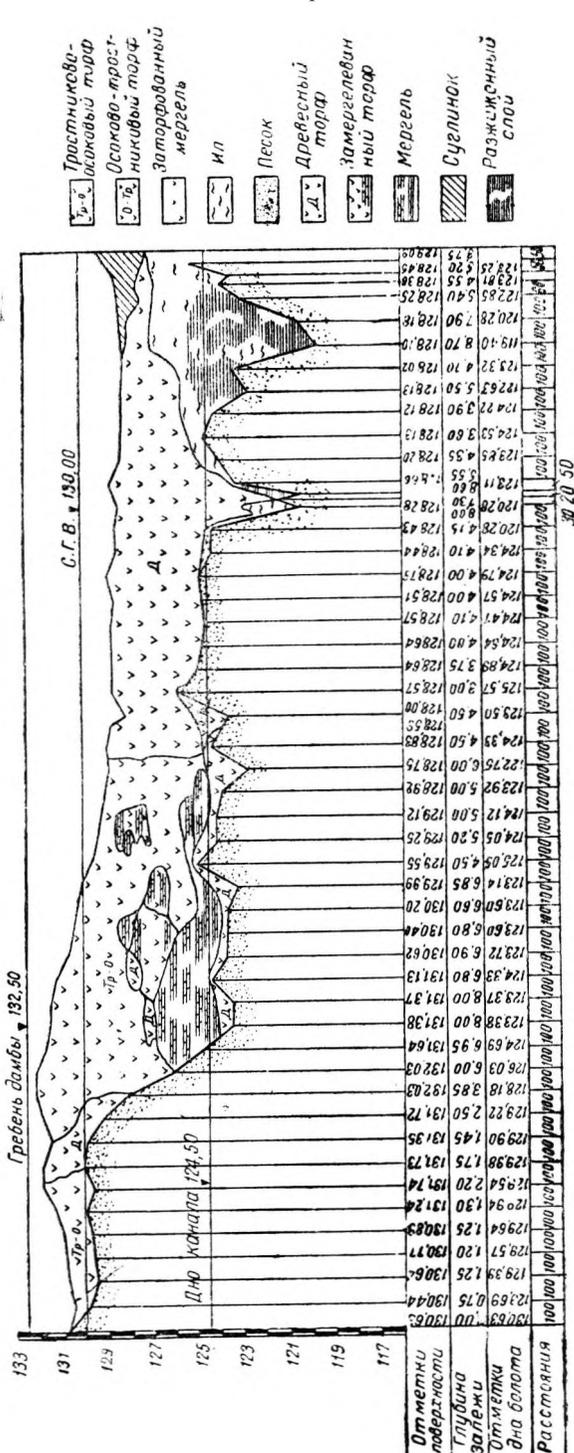
Заложенные на этом основании опытные дамбы подверглись сдвигу в направлении выемки. Это заставляет предполагать, что в южной части болота, подстилаемой также ненадежными глубокими илами, можно также ожидать оползания дамб.

Таблица 30

Коэффициент фильтрации торфа на болотах вида VI при малом напоре и направлении фильтрации сверху вниз

№ болот	№ блоков	глубина отбора проб в м	Зольность в %	Степень разложения в %	Удельный вес	Ботаническая характеристика	Ненарушенная структура		Грубонарушенная структура		Нарушенная структура		Пропущенная через мясорубку	
							влажность в %	$K_{ф}$ в см/сек	влажность в %	$K_{ф}$ в см/сек	влажность в %	$K_{ф}$ в см/сек	влажность в %	$K_{ф}$ в см/сек
1	3	1,0	9,84	80	1,547	Тростниковый	84,25 (к весу сырого торфа) 88,95	0,00250			83,80 83,80	0,000446 0,0000712		
2	3	2,6	9,26	40	1,582			0,002430			88,31 87,6	0,0000654 0,0000433		
3	3	1,6	10,62	80	1,660	Тростниково-древесный	84,52	0,002150	84,07	0,000258	82,89 84,38	0,0000375 0,0000488		0,0000087
4	3	1,6	8,53	65	1,62	Древесный с осоклой	85,37	0,006570	86,33 85,84	0,000119 0,000135	85,97	0,0000113		0,0000058
5	2	1,0	11,0	80	1,548	Осоковый	85,55	0,001400	85,95	0,0000837	86,28	0,000207		0,0000047
6	2	1,0	11,10	85	1,62	Осоковый с древесными остатками	86,20	0,000117						
7	2	1,0	12,50	90	1,537	Древесно-осоковый	86,32	0,002410	84,67	0,000379	85,82	0,000095		0,0000057
8	2	1,0	13,85	90	1,523	Осоковый с древесными остатками	84,83	0,001330			85,58	0,000203		0,0000100

В южной части болото выклинивается в илы, прослоенные торфяными линзами; сверху система илов покрыта минеральным слоем суглинка. Эти болотные илы являются непрочным основанием под сооружения.



Фиг. 39. Профиль строения торфяной залежи по оси канала на болоте вида VII.

г) Технические и механические свойства торфа. Степень разложения торфяной массы болота, за исключением верхнего слоя, в среднем выше 50%, что дает возможность при дроблении и перемешивании торфа получить однородную достаточно плотную массу; предварительно должны быть удалены твердые пни и корни. Степень разложения торфа в отдельных горизонтах залежи колеблется от 10 до 98%.

Степень влажности на многих участках находится у предела насыщения, так как болото мало осушено. Зольность залежи значительно отклоняется от норм для луговых болот, достигая 25—30% и более. Это произошло оттого, что в заливаемую весенней и дождевой водой пойму приносилось значительное количество минеральных наносов, которые и повысили процент зольности, особенно в нижних горизонтах залежи. В ряде мест встречаются минеральные отложения в виде отдельных прослоек, состоящих из тонких мергелистых и глинистых фракций. Эти прослойки могут явиться плоскостями сдвига и скопления сооружения; вследствие этого наличие указанных прослоек значительно понижает прочность несущего основания.

Фильтрационная способность. Высокая степень разложения торфа позволяет хорошо смешивать торфяную массу, отчего значительно уменьшается коэффициент фильтрации. Вследствие этого торф болота вида VII можно рассматривать не только как строительный, но и как противofильтрационный материал.

Малая водоотдача торфа служит признаком весьма длительной осадки торфяного основания под сооружениями. Фильтрационная способность торфа с нарушенной и ненарушенной структурой, определенная по способу проф. Каменского, характеризуется следующими данными (табл. 31).

Таблица 31

Коэффициенты фильтрации торфа на болоте вида VII (по способу проф. Каменского)

№ блоков	Коэффициент фильтрации K_{10^0} в см/сек		Истинный удельный вес	Глубина взятия пробы в м	Влажность к весу сырого торфа в %	Зольность в %	Степень разложения в %	Вид торфа
	ненарушенная структура	нарушенная структура						
1	0,0010 0,0010	0,00052 0,00048	1,60	0,5—0,7	86,07	7,98	51,7	Тростниково-осоковый
2	0,00125 0,00180	0,000010 0,000013	1,61	1,4-1,7	86,6	10,56	43,5	То же
3	0,00320 0,00100	0,00072 0,00093	1,64	2,2-2,5	90,7	9,17	39,8	То же
4	0,00125 0,00084	0,000330 0,000341	1,62	3,0-3,3	89,34	9,09	35,0	Травянисто-тростниково-осоковый

При напоре 12,5 м и фильтрации сверху вниз коэффициент фильтрации массы значительно уменьшается (табл 32).

Таблица 32

Коэффициенты фильтрации торфа на болоте вида VII при напоре 12,5 м

№ опытов	Характеристика торфа	Зольность в %	Степень разложения в %	Перед опытом			После опыта			Коэффициент фильтрации K_{10^0} в см/сек
				Влажность в %		Содержание воздуха в объеме в %	Влажность в %		Содержание воздуха в объеме в %	
				весовая к сырому торфу	объемная к сухому торфу		весовая к сырому торфу	объемная к сухому торфу		
17	Осоково-древесный	9,5	75	82,36	677	6,6	80,78	609	6,3	0,0000036
16	Осоковый	7,5	56	79,38	577	5,3	77,10	505	6,3	0,0000018
14	Осоковый с вахтой замерзев.	26,9	77,5	81,42	807	4,05	79,62	721		0,00000162
15	То же	26,9	77,5	80,02	733	9,6	77,60	638	6,2	0,00000158

Водопроницаемость торфа, определенная на приборе Терцаги, характеризуется следующими цифрами (табл. 33).

Пластичность торфа характеризуется цифрами, данными в табл. 34.

Данные о технических и физико-механических свойствах торфов болота вида VII см. также ниже, глава VII, п. 2, д.

Угол естественного откоса мергеля определялся в лабораторных условиях при различной степени густоты массы.

Минимальное значение получено для сильно разжиженной в воде массы, заложеной в стеклянную банку, поставленную под углом 45° ; после 20 мин. $\phi = 23^\circ 20'$.

Для получения максимального значения ϕ банку без воды наполняли разжиженным мергелем и ставили под углом 45° на 20 мин., после чего воду сливали; по истечении 10 мин. банка ставилась вертикально. Замеры показали $\phi = 39^\circ 10'$.

Коэффициенты фильтрации торфа на болоте вида VII (на приборе Терцаги)

№ опытов	Характеристика торфа	Удельное давление p в кг/см ²	Содержание твердой фазы в % по объему	Коэффициент фильтрации $K_{ф}$ в см/сек
1	Глубина 1,2 м, структура не нарушена	0	10,5	47 000•10 ⁻⁸
		0,145	10,9	2 700•10 ⁻⁸
		0,325	12,2	230•10 ⁻⁸
		0,676	14,5	25•10 ⁻⁸
		1,05	15,8	22•10 ⁻⁸
4	Образец с нарушенной структурой	1,70	18,8	23•10 ⁻⁸
		0,019	9,3	680•10 ⁻⁸
		0,050	10,3	400•10 ⁻⁸
		0,100	11,4	280•10 ⁻⁸
		0,208	12,4	100•10 ⁻⁸
		0,520	14,3	80•10 ⁻⁸
		1,00	16,0	75•10 ⁻⁸
		2,28	18,7	4•10 ⁻⁸
		4,2	21,4	17•10 ⁻⁸

Пластичность и максимальная молекулярная влагоемкость торфа на болоте вида VII

Место взятия образцов	Верхний предел пластичности в % F	Нижний предел пластичности в % A	Максимальная молекулярная влагоемкость
Южная поперечная дамба	429.1	230,9	218,0
	587,6	381.0	224.7
	604.2	301.1	214,4 217.8
Минеральное дно болота	607.0	315.0	234.0
	601.0	217.0	213.0

Данные, характеризующие физико-механические свойства мергелей и замергелеванных торфов, даны в табл. 35 и 36.

Характеристику строительных свойств илистых грунтов см. главу VIII, п. 3, табл. 66.

8. БОЛОТО ВИДА VIII

а) Расположение и тип болота, характер торфяной залежи. Болото расположено по речке, имеет удлиненную форму и тянется по трассе канала на протяжении 6 км.

Торфяная залежь представляет собой типичное луговое болото, происшедшее в результате заторфования бывшего водоема и долины речки, о чем свидетельствуют отложения пресноводного мергеля под торфяной залежью. Стратиграфический профиль торфяной залежи представлен типичными горизонтами лугового торфа с незначительным включением древесных остатков пней ели и ольхи (фиг. 40).

Минеральное дно, подстилающее торфяную залежь, имеет водораздел, которым болото делится на две части — северную и южную. В соответствии с водоразделом дна гребень торфяного водораздела имеет крутое падение на юг местами с уклоном 0,025. Наклонный рельеф дна болота способствовал оползанию торфяного откоса в выемку канала по жидким мергелям. Вследствие осушки болота с поверхности и разработки болота фрезерным способом самый поверхностный слой местами выветрился на глубину 0,25—0,30 м. Торф этого слоя обладает большой фильтрационной способностью, плохо смешивается и как строительный материал не может применяться.

Следующий горизонт торфа мощностью 1,30 м представлен гипново-осоковым торфом со степенью разложения в верхнем слое 30—40%, постепенно увеличивающейся к нижнему ярусу до 50—60%. Глубже следует 1-м слой донного отложения модификаций осоково-гипсового торфа с мергелистыми прослойками, принимающими в дна залежи характер заторфованного мергеля.

б) Подстилающий торф минеральный грунт представляет собой мергель, достигающий мощности 3 м. Разжиженный слой мергеля подстилается синим болотным суглинком различной мощности, заполнившим бывшие мульды и старые русла протоков между гребнями твер-

Физико-механические свойства мергелей и замергелеванных торфов болота вида VII

№ п/п	Наименование показателей	№ блоков					
		71		72		73	74
		Слоистый мергель с травяно-тростниковым торфом, зольность 47,8% от сухого вещества	Волокнистый мергель с осоково-тростниково-гипновым торфом, зольность 30,60%	Слабо замергелеванный тростниково-гипновый торф с зольностью 25,4 %	Слоистый замергелеванный гипново-осоково-тростниковый торф с зольностью 14,72%		
проба в вертикальном направлении	проба в горизонтальном направлении	проба в вертикальном направлении	проба в горизонтальном направлении	проба в вертикальном направлении	проба в горизонтальном направлении		
1	Свойства мергеля в забое:						
	а) Влажность весовая в % к сухому веществу	297	297	351	351	450	463
	б) Объемный вес	1,09	1,09	0,80	0,80	0,885	1,00
	в) Удельный вес	2,03	2,09	1,98	1,98	1,71	1,58
	г) Порозность (весовая влажность к сырому торфу) в %	87,25	87,25	90,70	90,70	90,59	88,57
	д) Коэффициент порозности	6,85	6,85	9,85	9,85	9,62	7,75
2	Пластичность:						
	а) Верхний предел	502	502	455	455	350	652
	б) Нижний предел	242	242	222	222	326	362
	в) Число пластичности	260	260	233	233	24	290
3	Трение и сцепление при ненарушенной структуре и с подготовкой						
	а) Угол сдвига при нормальном давлении в г/см ²						
	1 000	51°30'	49°40'	52°40'	51°00'	54°05'	53°00'
	2 000	33°30'	37°55'	46°20'	47°15'	41°00'	42°20'
	5 000	35°30'	25°30'	35°00'	45°40'	86°05'	30°36'
	б) Угол внутреннего трения	22°45'	20°35'	25°05'	41°40'	29°40'	21°10'
	в) Сила сцепления в г/см ²	800	825	1 150	300	800	1 050

дого минерального дна. Отложения суглинка обильно питаются выклинивающейся грунтовой водой.

При прорытии канала уровень напорных вод поднялся до мергелистых слоев, что делает все основание под залежью неустойчивым, так как по разжиженному слою мергеля, имеющему малый угол внутреннего трения, возможно скольжение торфа (см. ниже гл. XI, п. 9 и фиг. 90).

в) Применение торфа. Срединные слои торфа болота вида VIII со степенью разложения выше 50% оказались вполне пригодными для отсыпки дамб, а также для понуров и экранов. Однако рациональное использование этого торфа в сооружения было возможно только после интенсивного глубокого осушения.

Физико-механические свойства мергелей болота вида VII

№ блоков	Характеристика мергеля	Свойства мергеля в забое						Пластичность			Структура	с подготовкой или без подготовки	Трение и сцепление							Угол внутреннего трения	Сила сцепления в z/cm^2
		влажность в % к сухому веществу	объемный вес	удельный вес	порозность в %	коэффициент порозности	верхний предел	нижний предел	число пластичности	0 z/cm^2			250 z/cm^2	1 000 z/cm^2	2 000 z/cm^2	3 000 z/cm^2	5 000 z/cm^2	10 000 z/cm^2			
1	Мергель с ракушками То же	173-181	1.119	2.393	82.90	4.85	118,6	97.2	21.4	Нена-руш.	Без подгот. С подгот.	90°	54°20'	34° 30'				30°40'	27°30'	26°30'	220
		173—181	1.119	2.393	82.90	4.85	118,6	97.2	21.4			55°40'	88°30'				35°10'			34°20'	34°20'
9	Заторфованный мергель То же	173-181	1.119	2.393	82.90	4.85	118,6	97.2	21.4	»	С подгот.	90°	53°50'	39°50'	35° 00'			28°30'	28°15'	28°15'	332
		173-181	1.119	2.393	82.90	4.85	118,6	97.2	21.4			39° 35'	34° 45'				31°45'			29°15'	29°15'
		233	1.115	2.35	85.75	6,2	85.2	71.1	14.1	Наруш.	Без подгот. С подгот.	90°	60°30'	37°30'				34°30'	27°30'	26°30'	191
		233	1.115	2.35	85.75	6,2	85.2	71.1	14.1			55°40'	43°40'				34°40'			34°00'	34°00'
3	Мергель чистый То же	233	1.115	2.35	85.75	6,2	85.2	71,1	14,1	»	"	90°	57°00'	42°00'				35°30'	33°45'	33°45'	200
		233	1.115	2.35	85.75	6,2	85.2	71.1	14.1			46°08'	39° 10'				28°00'			22°15'	22°15'
		208	1.149	2.24	83.35	5.0	163.5	124.2	39.3	Нена-руш.	Без подгот. С подгот.	90°	60°30'	34°30'				25°50'	23° 30'	21°30'	250
		208	1.149	2.24	83.35	5.0	163.5	124.2	39.3			53°00'	43°10'				34°40'			33°55'	33°55'
208	1.149	2.24	83.35	5.0	163,5	124,2	39,3	»	"	90°	58°15'	39°20'	27°05'			23°25'		25°10'	280		
208	1.149	2.24	83.35	5.0	163.5	124.2	39.3			39°35'	33°25'							21°33'	21°33'	350	

ТОРФЯНАЯ ЗАЛЕЖЬ КАК НЕСУЩЕЕ ОСНОВАНИЕ

В широких кругах строителей распространено мнение, что торфяной грунт мало или вовсе не пригоден в качестве несущего основания под сооружениями и насыпью. В связи с этим изучению строительско-механических свойств торфа до последнего времени почти не уделялось внимания и до сих пор нет классификации типов торфяного основания, выработанной на основе геотехники.

Приведенные в книге проф. Терцаги «Инженерная геология», стр. 205, сводки работ с торфом и на торфяных болотах Burton и классификация торфяных грунтов по Дахновскому являются не только неполными, но и односторонними, так как авторы совершенно не считаются ни с ботаническим составом торфяного грунта, ни со стратиграфией торфяных залежей.

Практика строительства канала Москва — Волга показала, что нельзя ограничиваться только изучением консистенции торфа, структуры его, разжиженности и пр. При исследовании торфяных болот на канале были подробно выяснены ботанический состав торфа, степень разложения его, наличие зольных, илистых и пнистых прослоек и водоносных горизонтов, а также произведено исследование подстилающих торф мягких минеральных грунтов — илов, мергелей и сапропелей.

Следует отметить, что даже расширенные полевые и лабораторные исследования залежей торфа не давали полных данных для всесторонней геотехнической характеристики торфяных грунтов. На подобное обстоятельство указывает и проф. Терцаги в отношении минеральных грунтов, отмечая неполноту и односторонность данных только геологического исследования для строительных целей без геотехнической оценки.

1. ТИПЫ ТОРФЯНЫХ ОСНОВАНИЙ

На основании полученных исследовательских материалов можно выделить следующие три основных типа торфяных оснований на канале Москва — Волга:

- 1) погребенные торфяники под минеральными наносами;
- 2) открытый тип чистых верховых и луговых торфяных залежей и
- 3) смешанный тип торфяно-пойменных и торфяно-озерных болот с включениями мягких минеральных грунтов.

Указанные три типа, из которых каждый имеет свои подразделения, не равноценны в качестве несущего основания под сооружения.

Первый тип — погребенные торфяники, к каковому можно отнести южную часть болота вида IV, является сравнительно надежным основанием под сооружения. В этих торфяниках произошел как бы естественный обжим торфа, вследствие чего масса уплотнилась и осела; осадка этих торфяников под нагрузкой сооружения будет сравнительно небольшой и равномерной. Это обстоятельство должно навести строителя на мысль о полезности предварительных песчаных пригрузок площадок открытых торфяников, предназначенных под основание, в целях уменьшения интенсивности первоначальной осадки под сооружением, часто сопровождающейся, при быстром увеличении удельной нагрузки в период возведения сооружения, деформацией торфяного основания.

Второй тип — открытые чистые торфяные болота верхового и лугового характера — всецело состоит на всем стратиграфическом профиле из отдельных горизонтов торфа без минеральных линз и илистых и мергелистых (часто разжиженных) прослоек, характеризующих озерные отложения. Этот тип как несущее основание уступает прочности типу погребенных торфяников и может быть разделен на две группы: из них первая представляет собой достаточно однородные по ботаническому составу и степени разложения слои торфа моховых, переходных и

луговых болот; вторая же группа отличается слоистым строением как в отношении ботанического состава и степени разложения торфа, так и вследствие включения в торфе горизонтов пней, залегающих на некоторых болотах в несколько ярусов (болота вида I, III и V).

Слоистость торфяных болот обуславливается историей их образования и развития, происходившими изменениями в условиях питания залежи, сменой растительных формаций (растений — торфообразователей), сменой засушливых и влажных климатических периодов, периодическим обводнением и облесением болот и др.

Из торфяников, пересекаемых каналом, наиболее резко выраженное слоистое строение имеет верховое болото вида V, а также болото вида I.

Вторая слоистая группа болот рассматриваемого типа является менее устойчивым основанием по сравнению с первой. Как известно, меньшая устойчивость слоистых оснований по сравнению с основаниями, сложенными из однородного грунта, имеет место и в минеральных основаниях. С точки зрения устойчивости торфяного основания большую роль играет чередование пнистых горизонтов, а также сильно и слабо разложившихся пластов торфа. Сильно разложившиеся пласты торфа отдают воду под нагрузкой медленнее, нежели менее разложившиеся слои, почему и происходит неравномерное обезвоживание основания, вызывающее обычно нежелательную неравномерную осадку. Сильно разложившиеся пласты более легко поддаются выпиранию под нагрузкой, а также представляют опасность в отношении скольжения и оползания откосов выемки; горизонты древесных пней представляют угрозу в отношении увеличения фильтрации в основании.

Ботанический состав торфа отдельных пластов залежи мало влияет на устойчивость торфяного основания и в большей степени сказывается на величине и степени равномерности осадки основания, а также на фильтрационной способности торфа.

Третий тип — смешанный тип торфяно-пойменных и к торфяно-озерных болот, торфяная залежь которых прослоена или подстилается неустойчивыми пойменными или озерными отложениями. Этот тип в качестве несущего основания отличается наименьшей устойчивостью по сравнению с первыми двумя. На строительстве канала Москва — Волга из неустойчивых мягких минеральных отложений, включенных в торфяники этого типа, встречались мергелистые отложения, аллювиальные илы и в некоторых случаях сапропели. Особенно мощными слоями мергель залегают на болотах вида VII и VIII, а также в южной части болота вида III.

2. ПОДСТИЛАЮЩИЕ ТОРФЯНУЮ ЗАЛЕЖЬ МЯГКИЕ МИНЕРАЛЬНЫЕ ГРУНТЫ

На довольно большом количестве болот, пересекаемых трассой канала Москва—Волга, были встречены за мергелеваные торфы и заторфованные мергели.

Болотный мергель отличается от сухопутного малой устойчивостью и представляет рыхлую осадочную породу, отложившуюся в озерно-болотных условиях; он подстилает торфяные залежи, происшедшие в результате заторфования озер и водоемов, или прослаивает торфяные пласты. Часто встречается озерный пресноводный мергель, который залегают иногда довольно мощными слоями, достигающими 4—5 м и имеющими слоистое или однородное строение. На болоте вида VIII глубина залежи слоистого мергеля местами достигает 4—5 м (фиг. 40 и 41). Торфяная залежь болота вида VII подстилается слоем аморфного мергеля мощностью 2,0—3 м (фиг. 39 и 42).

Мергель прибрежного образования содержит в виде крупных отложений в преобладающем количестве остатки раковин моллюсков, в меньшем

числе остатки ракообразных. Мергель глубоководного отложения как и замергелеванный торф не содержит остатков раковин. Мергель содержит от 30 до 70% кальциевых солей, преимущественно карбоната кальция, которые бурно вскипают с соляной кислотой ($\text{CaCO}_3 + 2\text{HCl} \rightarrow \text{CaCl}_2 + \text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2$). Остальная часть состоит из песчаных, глинистых и илистых элементов, часто значительно гуммифицированных. В чистом виде мергель представляет собой светлосерую массу, во влажном состоянии мягкую, эластичную, слабо сцементированную. В сухом состоянии масса становится хрупкой, легко рассыпается при сдавливании в руке. Мергель, имеющий большое количество глины, при высыхании становится твердым. Вследствие своего органогенного происхождения мергель в большинстве случаев содержит некоторое количество растительных остатков, в различной степени гумификации — гипновых мхов, тростника, осок водяных растений (рдесты) и иногда древесины. При содержании гуммифицированного органического вещества мергель имеет во влажном состоянии темную окраску, светлеющую при высыхании. При содержании большого количества органического вещества мергель переходит в замергелеванный торф.



Фиг. 41. Слоистый мергель болота вида VIII.

Мергель имеет малый угол внутреннего трения и малую силу сцепления. При естественной влажности (64—65%) мергель по консистенции приближается к текучему состоянию (стр. 85).

Опыт строительства канала Москва — Волга показал, что болотный мергель как несущее основание и как строительный материал является ненадежным. Примесь мергеля значительно понижает строительные качества торфа.

Аллювиальные илы, отлагающиеся под торфяной залежью и заполняющие часто неровный рельеф твердого минерального дна болота, особенно мощными слоями залегают в южной части болота вида VII и на болоте вида IV. По своему составу и структуре илы весьма разнообразны: суглинистые в верхних слоях они переходят в нижних слоях в супесь. Вскипание с скоплением (более бурное с суглинистыми илами и менее — с супесчаными) обнаруживает в илах различную по количеству примесь мергеля. В отдельных слоях илистых отложений встречаются древесные пни частью значительных размеров (ольхи, березы, реже — хвойных), что указывает на смену климатических периодов в течение образования болота. В естественном состоянии

влажность илистых слоев превышает предел текучести по Аттербергу, вследствие чего нарушение структуры слоев нагрузкой или выемкой обращает илы в текучее состояние. Угол внутреннего трения илистых отложений в южной части болота вида VII колеблется от $8,55$ до $17,0^\circ$, тогда как для чистого торфа, лежащего в верхнем горизонте того же шурфа, угол внутреннего трения в статических условиях достигает $18,0^\circ$ — $30,0^\circ$. Поэтому на торфяных болотах, подстилаемых илистыми отложениями, откосы выемки уполаживались на канале Москва—Волга от 1 : 4 до 1 : 5 и 1 : 7.

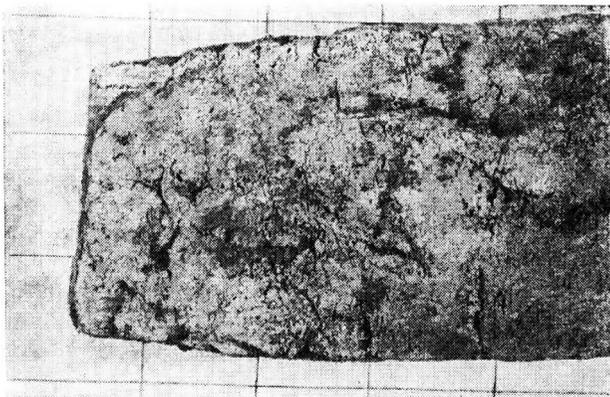
На основе проведенных исследований и производственной практики выяснилось, что далеко не все торфяные болота удовлетворяют строительным целям: торфяные залежи, подстилаемые твердыми минеральными грунтами, являются прочным основанием; торфяные же залежи, подстилаемые илистыми и мергелистыми грунтами, являются непрочным основанием.

3. ПРАКТИКА ОСТАВЛЕНИЯ ТОРФЯНЫХ ЗАЛЕЖЕЙ В КАЧЕСТВЕ НЕСУЩЕГО ОСНОВАНИЯ

Разнообразие свойств торфяных грунтов и условий их применения на строительстве канала Москва — Волга заставили тщательно продумать в каждом конкретном случае возможность оставления торфа в основании сооружения. Потребовался индивидуальный подход не только к каждому болоту, но и к каждому характерному участку одного и того же болота.

Например торфяная залежь, изобилующая крупными древесными остатками, корнями и пнями деревьев и подстилаемая прослойками замергелеванного ила, была полностью удалена из основания левобережной дамбы Иваньковского водохранилища. На болоте вида V, где толщина торфяной залежи прослаивалась четырьмя горизонтами крупных торфяных пней, торф был также удален из основания верхнего откоса приканальных дамб. Участки торфа этого болота, которые подстилались мощным слоем замергелеванных илов толщиной 1,0—1,5 м, были также полностью удалены из основания дамб до твердого грунта. Подстилаемый замергелеванными илами торф, оставленный в основании низового откоса этих дамб, был выдавлен из-под дамбы за подошву откоса вследствие значительной удельной нагрузки и быстрых темпов производства работ.

Южная часть торфяной залежи болота вида III мощностью 2,0—2,5 м, подстилаемая разжиженными мергелями и содержащая большое количество твердых древесных пней, была удалена из основания до твердого минерального грунта — синей болотной глины, подстилаемой крупным водоносным песком.



Фиг. 42. Аморфный мергель болота вида VII.

На участке минеральных дамб высотой 8,0—11,0 м торфяная залежь лугового характера болота вида I, прослоенная тремя, а в некоторой части четырьмя горизонтами крупных пней, удалена по всей ширине основания дамб до твердого минерального грунта, состоящего из водоносного песка, в верхней части переслоенного тонкими глинистыми прослойками. Основанием к удалению торфа, местами достигавшего мощности 4 м, послужило наличие в нем древесных остатков в виде пней, стволов и корней, пронизывающих торф весьма неравномерно. Это заставляло опасаться возможности выпирания торфа из-под высоких дамб вследствие большой удельной нагрузки и возможности фильтрации торфяного основания через пнистые горизонты торфяной залежи, а также возможности образования трещин в теле дамб вследствие значительных и притом неравномерных осадок торфа.

На болоте вида VII в северной части торфяная залежь включала в нижних горизонтах прослойки чистого мергеля и замергелеванные слои торфа, подстилаемые неустойчивыми, легко деформируемыми и дающими неравномерную осадку мергелистыми слоями.

Отсыпанная быстрым темпом из замергелеванного торфа и на мергелистом основании западная приканальная опытная дамба высотой 3,0—3,5 м дала продольные трещины шириной до 0,5 м и глубиной до 1,5 м. Произошло также выпирание откоса выемки русла канала, проходящего в неустойчивых мергелях (фиг. 42)¹. Вследствие этого в северной

¹ См. ниже гл. VIII "Деформации сооружений из торфа и на торфяных основаниях".

части болота вида VII торф был полностью удален гидромониторным способом и тем же способом вместо торфа были намыты песчаные дамбы.

В остальной части этого болота торф оказался осоково-древесный более однородного строения, и он был оставлен в качестве несущего основания под дамбами. Такое решение базировалось на удовлетворительных результатах, полученных при возведении сооружений на опытном участке того же болота, где торфяные дамбы на торфяном основании, отсыпанные размерным темпом, оказались вполне устойчивыми.

Весьма пестрый по своему составу торф с прослойками мергеля и ила и подстилаемый мощным слоем чистых мергелей и илов был оставлен также в основании западной приканальной дамбы, однако с проведением следующих мероприятий: 1) откос выемки торфа был уположен до 1 : 5 ; 2) ширина берм между верхней бровкой выемки и нижним напорным краем дамбы была доведена до 16 я вместо типовой ширины в 1 м; 3) откосы выемки канала, бермы и напорные откосы дамб были пригружены песком.

На участках в пойме р. Икши торфяные грунты были полностью удалены из основания минеральных дамб до твердого грунта. Эти болота только с поверхности покрыты слоем (1,5—2,5 м) чистого тростниково-осокового торфа; подстилаются же они мощными слоями (1,0—1,5 м) мягких суглинистых и супесчаных грунтов с мергелистыми отложениями, вследствие чего представлялась опасность в смысле выпирания и неравномерных осадок, могущих вызвать трещины в основании минеральных дамб.

На болоте вида VIII на одном участке торф был оставлен в основании приканальных дамб, несмотря на то, что нижние горизонты торфяной залежи замергелеваны, и торфяная залежь подстилается мергелистыми и илистыми мягкими грунтами. Оставить здесь торф оказалось возможным потому, что ко времени возведения дамб русло канала было полностью прорыто, и небольшие по высоте дамбы (2,5—3,0 м) возводились на уже осушенной и хорошо осевшей торфяной залежи. В более опасных местах были уширены бермы и откосы уположены до 1 : 5 .

4. ПОДГОТОВКА ТОРФЯНОГО ОСНОВАНИЯ ПОД СООРУЖЕНИЯ

Подготовительные мероприятия в отношении торфяных оснований можно разделить на две группы: а) мероприятия, направленные к уплотнению основания и стабилизации осадки, — осушение, минеральная пригрузка и б) мероприятия подготовительного характера на поверхности залежи — свodka леса, корчевка пней, удаление волокнистого слоя торфа с поверхности.

На стабильность торфяного основания существенное влияние помимо состава и строения торфяной залежи и подстилающих торф грунтов оказывает влажность. Торф в неосушенной естественной залежи содержит всего 9—10% твердого вещества, т. е. грунтовой скелет составляет лишь одну десятую часть.

а) Осушение залежи. Осушением торфяного основания достигается: 1) уплотнение верхнего торфяного слоя и повышение несущей способности торфяного основания; 2) более равномерная осадка торфяной залежи в основании сооружений, что особенно важно в начальный период осадки торфа под нагрузкой, когда возможно ожидать деформации при ускоренном темпе работ, превышающем ежедневную нагрузку свыше 15 г/см^2 ; 3) увеличение угла внутреннего трения и силы сцепления торфа и г) повышение прочности сооружений, отсыпаемых на осушенном торфяном основании.

Осушение торфяной залежи производится открытыми канавами. В результате осушения влажность от предела насыщения 90—91% понижается на луговом типе болот до 84—85% и на верховом типе — до 83—86%. Потеря воды при осушении обуславливает повышение порозности

торфа и вызывает осадку залежи за счет сжатия пор иногда до $1/5—1/6$ от мощности торфяного основания.

По наблюдениям на болоте вида III, на участке лугового болота с мощностью торфа 5,0 м и при глубине осушительных канав в 1,5 м, в течение одного года линейная осадка достигла 0,45 м, или 9% от глубины залежи. В данном случае площадь, на которой велись наблюдения, была уже осушена ранее, и поэтому после вторичного осушения осадка не достигла величины, обычно принимаемой для болот, осушаемых в первый раз.

На площади, к которой относятся вышеуказанные наблюдения, общая кубатура сырого торфа по замеру равнялась — 300 тыс. м³. За годичный период работы осушительных канав объем залежи на опытной площадке уменьшился вследствие осушения и линейной осадки ее на 23,5 тыс. м³, как это установлено повторной зондировкой. Выемка торфа из осушительных канав равнялась всего 3 тыс. м³. В результате кроме повышения несущей способности было достигнуто определенное улучшение условий работы на поверхности болота.

Сопrotивляемость торфяного основания вертикальной нагрузке на осушенной залежи болота вида VII при испытании с помощью нагрузочных площадок «грибов» оказалась больше, чем на неосушенной залежи.

Соотношение влажности на осушенном и неосушенном участках характеризуется следующими данными:

	Глубина взятия пробы в м	Влажность торфа в %
Неосушенный участок 0,5 92	1.0	90
Осушенный участок	0,5	86
	1.0	88

Линейная осадка торфа при удельной нагрузке в 0,30 кг/см², соответствовавшей переходу предела пропорциональности, на осушенном участке достигала 23,3 см, а на неосушенном — 39,9 см, т. е. осадка на неосушенном участке была на 45,5% больше, чем на осушенном участке. При конечной нагрузке в 0,65 кг/см² осадка на осушенном болоте достигала 109 см, а на неосушенном — 129,0 см.

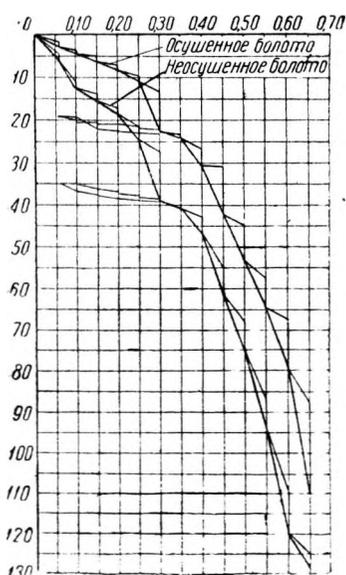
Упругая отдача на осушенном участке при удельной нагрузке в 0,30 кг/см² равнялась 3,8 см и при окончательной нагрузке (0,65 кг/см²) — 4,5 см. На неосушенном участке для тех же нагрузок упругая отдача составляла соответственно 4,6 и 7,0 см.

Падение кривой осадки на неосушенном участке происходит быстрее, нежели на осушенном, особенно в начальный период испытания. Объясняется это относительно большим отжатием воды под давлением штампа на неосушенном болоте. Кривая осадки при одинаковых нагрузках до перехода за предел пропорциональности во все время испытания выше по осушенному участку, чем по неосушенному. После периода упругой отдачи кривая осадки при аварийной нагрузке как для осушенного, так и неосушенного участка падает одинаково быстро. Это объясняется меньшей разностью в содержании влаги на обоих участках в более глубоких слоях, где уже не сказывается влияние осушительных канав (фиг. 43).

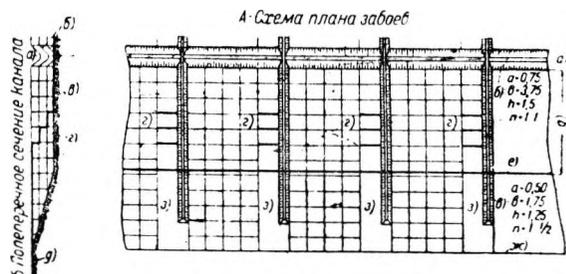
Осушение торфяного основания достигалось также путем частичного прорытия выемки канала. Так, во время отсыпки торфяных дамб на торфяном основании на болоте вида VII основание под дамбы было сдано на отм. 128,0, в то время, как выемка канала была доведена до отм. 126,27 по оси канала и до 127,4 — у напорного откоса. Таким образом отсыпка дамб производилась одновременно с выемкой канала, что следует считать целесообразным с точки зрения равновесия земляных масс и возможности достижения «двухсторонней кубатуры» вынимаемого из русла канала и отсыпаемого в ядро дамбы торфа.

Основание под торфяные дамбы осушалось боковыми канавами глубиной 1,25 м, шириной по дну 0,50 м с откосами 1 : 1 и с уклонами 0,002. Эти боковые каналы шли перпендикулярно к оси дамб и направлялись в кювет, устроенный по оси выемки канала и имевший глубину 1,5 м и ширину по дну 0,75 м (фиг. 44). На фиг. 44 означают: h — глубину канавы, a — ширину по дну и n — величину откоса 1 : 1.

Осушительными канавами достигается понижение уровня грунтовых вод на болоте, вместе с тем в соответствии с установившимся новым



Фиг. 43. Кривые осадки штампа на осушенной и неосушенной торфяной площадке болота вида VII.



Фиг. 44. Схема осушения торфяной залежи в выемке канала и схема забоев торфа.

A — схема плана забоев:

a — ось канала; $б$ — кювет; $в$ — боковые каналы; $г$ — сетка забоев; $д$ — дно канала; $е$ — нижняя бровка выемки канала; $ж$ — верхняя бровка выемки канала; $з$ — контрфорсы.

B — поперечное сечение канала:

a — ось канала; $б$ — кювет; $в$ — горизонт забоев; $г$ — ступенчатая торцевая стенки контрфорса; $д$ — подстилающий торф минеральный грунт.

уровнем грунтовой воды садится (уплотняется) и поверхность торфяной залежи. Размеры понижения уровня от осушки можно вычислить по формуле:

$$h_2 = \frac{h_1 \gamma_1 (100 - W_1)}{\gamma_2 (100 - W_2)}, \quad (28)$$

где h_1 и h_2 — глубины залежи первоначальная и после осушения; γ_1 и γ_2 — объемный вес торфа до и после осушения, W_1 и W_2 — влажность массы до и после осушения. Мощность залежи устанавливается буром Гиллера, а объемный вес и влажность — в лаборатории.

Отдельные авторы дают размеры осадок в результате осушения на различных болотах, показанные в табл. 37.

Торф слишком медленно отдает воду в осушительные каналы, особенно при степени разложения его в 50% и выше, поэтому осушение залежи должно производиться не менее чем за год до начала работ. По установленным правилам для торфяных хозяйств, добывающих торф на топливо, луговые болота осушаются за год, а моховые — за два года до начала разработки.

Содержание влаги в торфяной залежи, оставляемой в качестве несущего основания или идущей в качестве строительного материала (например в отсыпку гидротехнических сооружений), должно достигать в каждом отдельном случае своего оптимального значения в зависимости от вида торфа, степени разложения массы и типа возводимых из торфа сооружений.

Для древесно-осокового торфа болота вида VII при степени разложения торфяной массы 70—80% оптимальная влажность находится в пре-

делах 83—84%. На неосушенных участках, где естественная влажность достигала 86—87%, основание под дамбами было неустойчиво; отсыпку и уплотнение торфа на таком основании как ручным, так и механическим способами производить было затруднительно; наблюдались явления оползания насыпи и выдавливание торфа в основании насыпи.

В других случаях имели место и пересушки торфяного основания, что также приводило к понижению несущей способности торфяного грунта, главным образом вследствие образования поверхностных трещин и усиления ним фильтрации в основании.

Растрескивание основания особенно резко наблюдалось на замерзевшем участке западной торфяной дамбы болота вида VII. Трещины появились через год после осушения, когда влажность в поверхностных слоях понизилась до 65—67%. Часть трещин была направлена параллельно бровке выемки русла канала и создавала угрозу оползания верхних пересушенных слоев по подстилающему влажному слою торфа на уровне верхнего горизонта грунтовых вод. Часть трещин шла перпендикулярно к бровке выемки канала; они имели наибольшую ширину у бровки и суживались по направлению к оси основания дамбы. Между осью основания и сухим краем откоса дамбы было незначительное количество трещин поверхностного характера, ввиду того что в этой части влага понижалась в меньшей степени, чем в полосе торфяного основания, граничащей с верхней бровкой выемки канала. Пикетажные колышки и граничные столбы обычно служили причиной появления трещин в торфяной залежи, иногда довольно глубоких, радиально расходящихся от столбов; точно так же устройство заборки на столбах для поддержания каменной наброски всегда вело к растрескиванию и расслоению сплошности торфяной залежи, а поэтому пользоваться ими в торфяных грунтах не следует.

Менее подвержено пересушке чистое торфяное основание. Однако при пересушке и здесь наблюдалось растрескивание верхних пластов. Это явление имело место на том же болоте вида VII, на западной стороне. На подготовленном осенью 1935 г. торфяном основании здесь в середине лета 1936 г. появились неглубокие трещины, развитие которых было прекращено начавшимся намывом на этом основании песчаной дамбы. Влажность верхнего пласта в момент появления трещин достигала 79—80%.

Уменьшение влажности ниже оптимума и понижение ее до 70% недопустимо, так как торфяная масса теряет пластичность и не восстанавливает ее при увлажнении вследствие необратимости коллоида торфа, крошится и не поддается уплотнению; вместе с тем значительно возрастает и фильтрационная способность.

Поэтому растрескавшийся в основании торфяной слой от пересушки или от влияния мороза должен удаляться из основания перед приступом к отсыпке торфяных сооружений.

Таблица 37

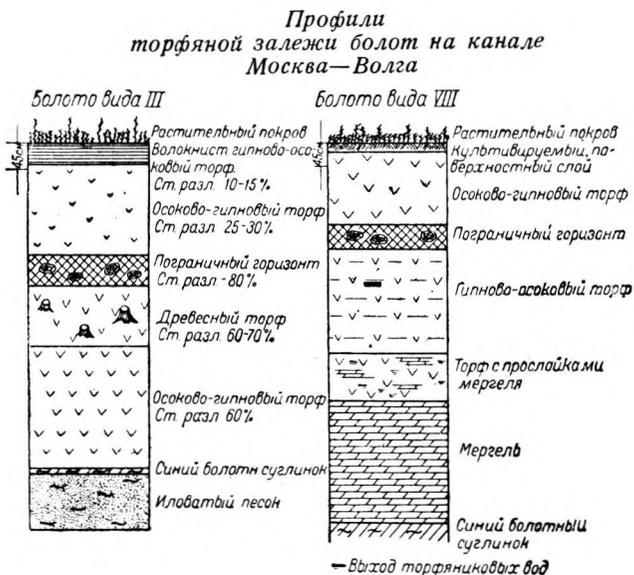
Размер осадки в результате осушения

Автор	Характер болота	Глубина залежи в м	Глубина канав в м	Срок действия канав лет	Линейная осадка поверхности в м
Инж. Крюгер (Германия)	Верховое	4,5-7,0		1,5	0,70
То же		10,0		3	1,5
То же		10,0		14	2,95
Проф. Терцаги	Луговое	8,0	1,2	2	1,00
А. Корнелла		3—10	1,20	3	0,30—0,35
Инж. Гергардт		5,0	1,0	Продолж. период	0,82
Проф. Брудас-тов А. Д.	Моховое	5,0	1,5	То же	0,45
		5,0	2,0	"	0,70
		5,0	2,5	"	1,10
Инж. Горшунов Д. М.	Луговое	5,0	1,5	1	0,45

б) Удаление верхнего торфяного слоя. Верхний слой торфяной залежи обычно представляет собой очес¹, а ниже идет слой малоразложившегося волокнистого торфа. Этот слой обычно включает большое количество древесных пней и твердые остатки кустарниковых, пронизанные корнями и корневищами болотных растений, преимущественно тростника, осоки, вахты и др. Корневища тростника глубоко уходят в торфяную толщу и, разветвляясь, образуют вертикальные и горизонтальные ходы, по которым может иметь место усиленная фильтрация. Это положение подтвердилось и в лабораторных опытах по проведению послойной фильтрации торфа с участков, образованных древесным и тростниково-древесным торфом. Значения коэффициента фильтрации для верхнего волокнистого слоя колебались от 0,0009 до 0,007 см/сек и даже поднимались до 0,5 см/сек. Однако на глубине 0,75 м того же шурфа коэффициент фильтрации уменьшался до 0,0002 см/сек. На глубине 2,5—3,0 м на болоте вида VII коэффициент фильтрации понижался до 0,00006—

0,00008 см/сек. На этой глубине залегает пограничный горизонт со степенью разложения торфа 50% и выше, отложившийся в суббореальный сухой климатический период. Ниже пограничного горизонта залегает менее разложившийся слой торфа атлантического более влажного периода, коэффициент фильтрации которого повышается до 0,0002—0,0005 см/сек.

Чтобы избежать повышенной фильтрации в верхнем горизонте торфяного основания под приканальными дамбами и другими сооружениями, первоначально был запроектирован съем слоя верхнего волокнистого торфа на всех бо-



Фиг. 45. Съем верхнего слоя торфа в основаниях дамб на болотах вида III и VIII.

лотах на глубину 1 м согласно норме, указываемой Терцагии («Инженерная геология») для моховых болот.

Однако более подробное исследование луговых болот трассы дало возможность индивидуально подойти к каждому болоту и установить различные глубины съема верхнего волокнистого слоя для отдельных болот.

На окраинах болот с глубиной до 1,2—1,5 м, имеющих обычно в неосушенном виде малую степень разложения (не превышающую 30% в верхних горизонтах) и большую пнистость в нижних горизонтах залежи, торф полностью удалялся. На более глубоких частях луговых болот трассы (болота вида III, VII и VIII) съем торфа в основании дамбы в среднем не превышал 0,5 м. На болоте вида VIII с (поверхности удален очес, принявший крупчатое строение (торф зоны распространения корней), а также пнистый горизонт с большой фильтрационной способностью — всего 0,45 м (фиг. 45).

Благодаря этому индивидуальному подходу к каждому болоту удалось избежать излишней выемки торфа на всей трассе в объеме до 300 000 м³.

¹ Очесом называется верхний волокнистый слой болота, пронизанный корнями живого растительного покрова и достигающий толщины 0,15—0,30 см, а в сырых местах — до 0,50 см (см. выше, гл. III, п. 3).

Уходившие на некоторых участках тростникового торфа на большую глубину (до 1,0—1,2 м) растительные корни тростника не представляли существенной угрозы в смысле фильтрации, так как под действием нагрузки в толще торфа происходит уплотнение, обеспечивающее принятый предел $K_{10^0} = 0,0000 \text{ А см/сек}$.

Опыт показал, что съём верхнего слоя торфа в основании сооружения должен производиться незадолго до начала строительного периода. В противном случае верхний слой основания, высыхая, теряет связность и должен быть снова зачищен не менее как на 20 см. Нельзя производить съём торфа и под зиму; промерзая зимой, торф как термический изолятор долго не оттаивает весной, и его приходится удалять скалыванием. При съеме верхнего слоя под основание дамбы поверхность торфа должна быть спланирована; оставление ям и углублений более 0,15—0,20 м не допускается.

На болотах, покрытых лесной и кустарниковой растительностью, предварительно производятся свodka леса, корчевка пней и удаление кустарника¹.

в) Обжим торфа с помощью песчаной пригрузки. Целью обжима торфа является стабилизация осадки торфяного основания под будущее сооружение. Пригрузку песком необходимо производить не менее чем за 8 месяцев до начала возведения сооружения, особенно, если проектом предусматривается покрытие торфяного грунта песчаным слоем. Этим достигается обжим верхнего слоя торфяного основания, часто связанный в начальной стадии с неравномерной осадкой и большими деформациями. Погребенные торфяники, покрытые с поверхности слоем минеральных наносов, являются во многих случаях достаточно надежным основанием: здесь как бы сама природа позаботилась об обжатии и уплотнении верхнего слоя торфяной залежи.

На подводном канале к насосной станции у шлюза № 4 была произведена предварительная пригрузка торфяного основания пойменного болота, имевшего отметку поверхности 139,6 и мощность в 7,5 м. Толщина песчаного пригрузочного слоя составляла 3,02 м, т. е. удельная нагрузка достигала 0,483 кг/см². После восьмимесячного периода осадки торфа под песчаной пригрузкой отметка поверхности торфа была определена с помощью заложенного котлована и оказалась равной 137,18. Таким образом линейная осадка достигла 32,26% от мощности торфяного основания.

Пренебрегая незначительным изменением объемного веса до и после обжатия, можно определить осадку по следующей формуле:

$$\beta = \frac{h_1 - h_2}{h_1} \cdot 100 = \frac{7,50 - 5,08}{7,50} \cdot 100 = 32,26\% \quad (29)$$

Мощность торфяной залежи до пригрузки песком (h_1) и после обжима (h_2) определялась буром Гиллера.

В труде «Инженерная геология» (стр. 211) проф. Терцаги приводит примеры попыток крепления торфяного основания различными способами. Так, в Германии под небольшие фабричные здания сперва отсыпают песчаную подушку слоем 25—30 см, а на ней укладываются деревянные решетки, служащие подошвой фундамента. В Голландии (Гронингенский округ) основание под фундамент устраивается в виде подушки из воздушно-сухих торфяных кирпичей, смешанных с песком; толщина такой подушки делается в соответствии с ожидаемой осадкой основания.

На торфяном Аугустумальском болоте («Augustumalmoor», Восточная Пруссия) торфяные строительные площадки предварительно осушались сетью дренажных канав глубиной в 1,2 м и шириной по дну в 0,4 м. В дальнейшем площадку пригружали в два приема метровыми слоями песка. Дренаж вызывал линейную осадку торфяной залежи на 1,0 м; от песчаной пригрузки получилась добавочная осадка еще на 0,8 м.

¹ См. "Инструкция по торфостроительным работам", изд. Строительства М. В. С.

С целью искусственного уплотнения торфяников в торфяной грунт ввинчивались железные трубы диаметром 0,40 и 0,74 м. После удаления труб отверстия заполнялись в первом случае песком, а во втором случае после предварительной забивки жирной глиной для остановки притока воды — камнем и бетоном. Число свай (отверстий) назначалось в зависимости от желаемой степени уплотнения торфа. После уплотнения сваями торф становился столь плотным, что в него больше уже нельзя было ввинтить железную трубу.

ГЛАВА VI

ОТСЫПКА ПРИКАНАЛЬНЫХ ТОРФЯНЫХ ДАМБ, ПОНУРОВ И ЭКРАНОВ

1. ПРОФИЛЬ КАНАЛА НА ТОРФЯНЫХ БОЛОТАХ

На строительстве канала Москва — Волга торфяной грунт применялся для отсыпки тела малонапорных приканальных дамб высотой от 1,5 до 3,0 м. Торфяная масса бралась или из забоев ближайшего участка выемки канала или из резерва, заложенного на ближайшем болоте. Предварительно делались изыскание болот и лабораторное исследование технических и физико-механических свойств торфа. Пригодным для отсыпки дамб считался торф со степенью разложения не ниже 40%, с влажностью не менее 80% и не более 84% (к весу сырой навески), с зольностью не выше 35% и с объемным весом не менее 1,0 и коэффициентом фильтрации не менее $K_{10^0} = 0,0000 A \text{ см/сек}$, где $A \leq 5$.

На своем свыше 100-км протяжении канал Москва—Волга проходит по различным грунтам, сильно различающимся по своим физико-механическим свойствам по геологическим и топографическим условиям залегания. От общего своего протяжения канал проходит:

в суглинках	36,5 % от всего протяжения
в супесях	26,30% „ „
в песках	21,20% „ „
в торфах	16,0 % „

Вследствие разнородности грунтов типовое сечение канала, запроектированное применительно к устойчивым грунтам, на отдельных участках трассы с менее устойчивыми грунтами (торф, мергель, илы, иловатые супеси) изменялось на основе статических расчетов в соответствии с особенностями грунтов.

Типовой профиль канала характеризуется следующими размерами.

Ширина канала по дну — 46,0 м; полная глубина профиля — 8,0 м; нормальная глубина воды — 5,5 м. Бечевник приканальных дамб имеет ширину 4,0 м с поперечным уклоном 0,005 для стока атмосферной воды в сторону полевой бровки.

Нижняя часть откоса выемки на высоту 4,0 м от дна имеет заложение 1 : 4; выше на высоту 2,5 м — 1 : 2,5; самая верхняя часть откоса на высоту 1,5 м, почти полностью находящаяся выше горизонта воды, имеет заложение 1 : 2.

В пределах чистых торфяных залежей, подстилаемых твердыми минеральными грунтами, был осуществлен типовой профиль выемки, как и в более устойчивых минеральных грунтах.

На участках из замергелеванного или заиленного торфа и на участках, подстилаемых неустойчивыми мягкими аллювиальными минеральными грунтами, при проектировании пришлось отступать от указанного типового профиля и применять всякий раз индивидуальный подход. Для выемок в таких грунтах вследствие малого угла сдвига уположение откосов было принято от 1 : 4 до 1 : 7. Так как на болотах канал проходил в полунасыпях и полувыемках, то на менее устойчивых участках берма уширялась от 1,0 до 15 м путем отнесения дамбы в сторону от верхней кромки выемки канала; этим уменьшалась нагрузка на край откоса.

Для предупреждения выпирания откосов выемки в слабых грунтах производилась песчаная пригрузка откоса выемки канала и бермы, а также уполаживался откос дамбы с целью увеличения пригрузки бермы в наиболее опасном в смысле выпирания месте — у подошвы откоса дамбы; такое мероприятие было применено например на болоте вида IV с уположением откоса западной дамбы с 1 : 2,5 до 1 : 3,5. На одном из участков болота вида VII верхняя часть откоса намывной дамбы была уположена до 1 : 4, так как выемка производилась в торфяном грунте мощностью 1,5—2,0 м, подстилаемом неустойчивыми илистыми грунтами. При быстром намыве дамбы и медленной водоотдаче торфяного основания началось выпирание бермы и откоса выемки. (Подробно о причинах деформации и принятых мерах см. ниже, гл. XI, п. 2.)

2. ПЕСЧАНЫЕ ПРИГРУЗКИ ТОРФЯНЫХ НАСЫПЕЙ

Все торфяные дамбы, как правило, покрывались слоем песчаной пригрузки различной толщины. Первоначально была запроектирована толщина пригрузки не менее 1,5 м, т. е. на глубину промерзания минерального грунта. Предполагалось, что при промерзании торфа под тонкой пригрузкой произойдет пучение массы, аналогичное пучению жирной глины, и торф после оттаивания изменит свои физические свойства: повысится фильтрация, уменьшится устойчивость.

Но опыт показал, что торф, замороженный под небольшим слоем песчаной пригрузки (25—30 см), медленно оттаивая, не изменяет своих физических свойств, как это и наблюдается в природе, когда торф замерзает и постепенно оттаивает под верхним слоем волокнистого очеса. Совершенно же неприкрытый торф после промораживания и быстрого оттаивания на солнце изменяет свои физические свойства: легко распадается на отдельные (особенно луговой торф), увеличивается фильтрация и понижается связность.

Положительной стороной песчаной пригрузки на торфяных дамбах является следующее:

а) Для торфяного грунта с малым объемным весом песчаная пригрузка повышает устойчивость откосов вследствие увеличения сил трения по поверхности скольжения. При введении в расчет песчаной пригрузки в 1,5 м коэффициент устойчивости торфяного откоса выемки повышался с 0,9 до 1,29.

б) Песчаная пригрузка увеличивает вес низовой части профиля выпираемого участка, вследствие чего увеличивается устойчивость откоса против скольжения по криволинейным поверхностям.

в) Под действием песчаной пригрузки увеличивается объемный вес торфа, с чем связано ускорение водоотдачи торфом и повышение сил сцепления.

г) При поверхностных деформациях песок заполняет трещины, чем достигается постоянная сплошность массы.

д) Пригрузка верхней части гребня дамбы создает прочность бечевника при движении по гребню.

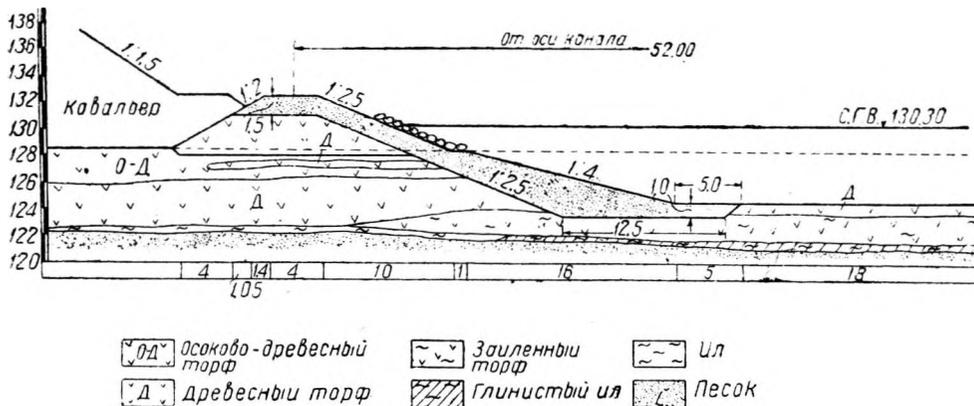
е) Пригрузка даже небольшим слоем песка предохраняет поверхность торфа от выветривания и является действительным противопожарным средством в верхней сухой части Профиля.

На отдельных участках толщина песчаной пригрузки торфяных дамб и откосов выемки назначалась в зависимости от свойств торфа; на участках с менее устойчивым торфом она повышалась; предельные значения мощности пригрузок следующие:

а) пригрузка под бечевником	0,75 — 1,50 м
б) пригрузка верхней части водного откоса (заложение 1:2,5)	0,30 — 1,50 „
в) пригрузка нижней части водного откоса (заложение 1 : 4)	0,80 — 1,50 „
г) пригрузка откосов торфяных выемок канала	0,3 — 1,50 „

В последнем случае подошва песчаной пригрузки доводилась до минерального грунта, если последний залегал на глубине до 1,0 м ниже по-

верхности дна канала. При более глубоком залегании твердого минерального грунта нижняя часть пригрузки отсыпалась горизонтально по дну канала в виде шпору шириной в 5,0 м, создавая противоупор наклонной части (фиг. 46).

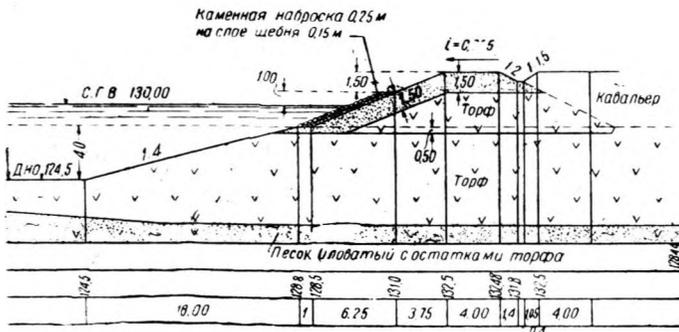


Фиг. 46. Поперечный профиль восточной дамбы.

3. ТИПЫ ТОРФЯНЫХ ПРИКАНАЛЬНЫХ ДАМБ

Приканальные торфяные дамбы отсыпались различных типов в зависимости от однородности состава торфа и степени его разложения.

К первому типу относятся наиболее ответственные дамбы, отсыпанные из одинакового по качеству и степени разложения торфа, обеспечивающего определенную механическую прочность дамб и заданный коэффициент фильтрации $K_{10^{\circ}} = 0,0000 \text{ л см/сек}$, где $A \leq 5$.



Фиг. 47. Типовое сечение приканальной торфяной дамбы на торфяном основании.

Ко второму типу относятся дамбы, элементы ядра которых отсыпались из различного по составу и степени разложения торфа.

К третьему типу относятся «ка-

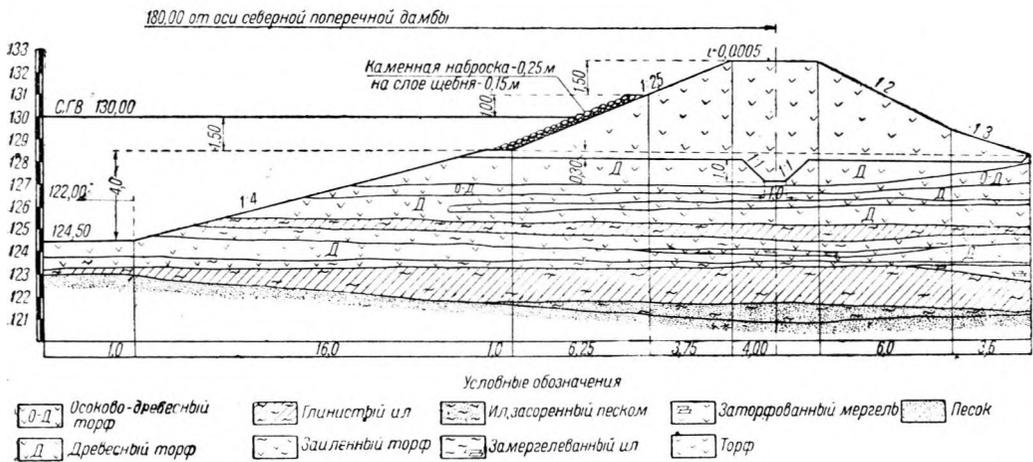
вальерные» дамбы, при сооружении которых переработка торфа и уплотнение массы играют меньшую роль, нежели в первых двух типах.

Все указанные типы приканальных дамб могли встречаться иногда на отдельных участках одного и того же болота, если торф был различного качества.

а) Первый тип дамбы с однородным ядром. Для этого типа характерен профиль, приводимый на фиг. 47. Монолитное ядро дамбы отсыпано на торфяном основании, подстилаемом иловатым песком с прослойками торфа. Верхний волокнистый горизонт торфа мощностью в 0,5 м снят под всем основанием дамбы. Выемка русла канала производилась на всем протяжении с откосом 1 : 4. На сухой откос дамбы надвинут кавальер в целях увеличения устойчивости дамбы и уменьшения коэффициента фильтрации.

В районе болота вида VII ядро дамбы отсыпано из однородного торфа со степенью разложения 50% и выше к напорному откосу, что обеспечивает принятый коэффициент фильтрации $K_{10^0} = 0,0000 \text{ А см/сек}$. Несущим основанием дамбы является торфяная залежь мощностью 4,5—5,0 м, подстилаемая прослойком илистой глины, а ниже— водоносным песком. Напорный откос дамбы 1:2,5, сухой—1:2; откос выемки канала— 1 ; 4 пригружен песком слоем 1,5 м. Так как дно канала лежит выше твердого минерального грунта, то песчаная пригрузка заглублена до минерального грунта. Напорный откос и гребень дамбы также покрыты слоем песка в 1,5 м. Сухой откос пригружен надвинутым кавальером.

В опытной торфяной дамбе на торфяном основании с торфяным зубом в районе того же болота (фиг. 48) ядро отсыпано из однородного торфа со степенью разложения от 40% и выше. По оси основания вынута траншея шириной по дну 1 м. Ядро дамбы как опытной песком не пригужалось. Крепление напорного откоса из каменной наброски на гравийной



Фиг. 48. Торфяная дамба на торфяном основании с торфяным зубом по оси дамбы без песчаной пригрузки. Южная поперечная опытная дамба.

постели уложено непосредственно на торфяной откос. Нижняя часть несущего торфяного основания подстилается сплошными илистыми прослойками глины со включениями мергеля.

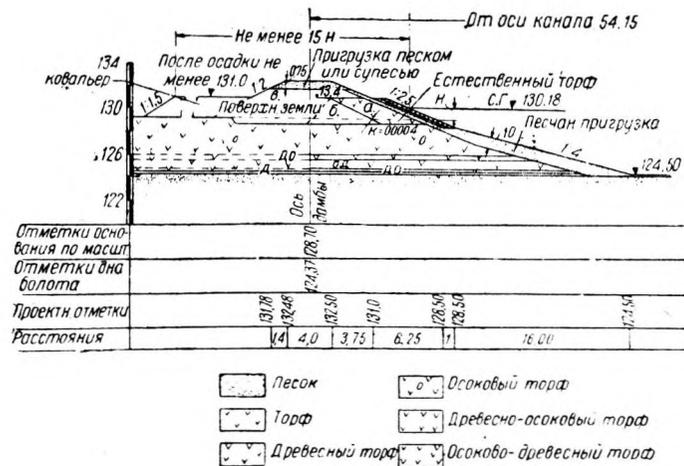
Непригруженный с поверхности песком торф в течение зимнего периода промерз, а в течение летнего периода следующего года выветрился, высох и принял пылеватое строение; торфяная пыль разносилась ветром. Открытая поверхность сухого торфа в летний период опасна и в пожарном отношении. Отсюда следует сделать заключение, что без прикрытия песком торфяное ядро оставлять нельзя.

Наблюдение за зубом также дало отрицательный результат как на описываемой дамбе, так и на опытной дамбе болота вида III. Устройством зуба имелось в виду удлинить фильтрационный путь в торфяном основании, так как коэффициент фильтрации свежей отсыпки имел повышенное значение $K_{10^0} = 0,000 \text{ Д см/сек}$ вместо установленного значения $K_{10^0} = 0,0000 \text{ А см/сек}$. Траншея была заполнена древесным торфом, весьма тщательно измельченным железными лопатами и граблями и уплотнена деревянными трамбовками.

Неоднократное последующее исследование этой дамбы до и после заполнения опытного водоема не обнаружило никакой разницы в распределении влажности в южной поперечной дамбе с зубом по сравнению с такой же северной дамбой того же водоема без зуба.

На опытном участке болота вида III также в основании южной поперечной дамбы был заложен зуб, а в северной поперечной дамбе была оставлена идущая параллельно оси канала глубокая (3-м) канава, идущая поперек основания дамбы до минерального грунта. При удалении поперечных дамб в июле 1936 г. было обнаружено, что обе оставленные в основаниях дамб канавы явились причиной растрескивания торфяного основания. Под действием тяжести дамбы в основании появились трещины; трещины могли образоваться и в результате неравномерной осадки ненарушенных стенок откоса канавы и вследствие осадки торфяной массы, заполнявшей канавы. В образовавшиеся щели и фильтровалась вода. При сопряжении стенок торфяных откосов штрабами также получались трещины вследствие неравномерной осадки массы по соединительным швам. Поэтому в дальнейшем сопряжения торфяных стенок производились не штрабами, а ровным откосом с заложением 1 : 3 и 1 : 4.

Исследования показали, что под действием нагрузки, достигающей в основании дамбы 0,6—0,7 кг/см², коэффициент фильтрации с течением времени уменьшается, доходя до 0,00000 А и даже до 0,00000 А см/сек.



Фиг. 49. Профиль торфяной дамбы с уширенным экраном.

Удлинение фильтрационного пути под дамбами происходит и вследствие осадки тела дамбы с прогибом; в торфяной грунт.

Удлинение фильтрационного пути под торфяными дамбами с помощью устройства «зуба» нецелесообразно еще и потому, что зуб и канава нарушают оплошность несущего торфяного основания и поэтому являются безусловно вредными. Такого же мнения относительно вредности разреза

сплошности торфа зубом, выемкой и др. придерживается большинство голландских инженеров.

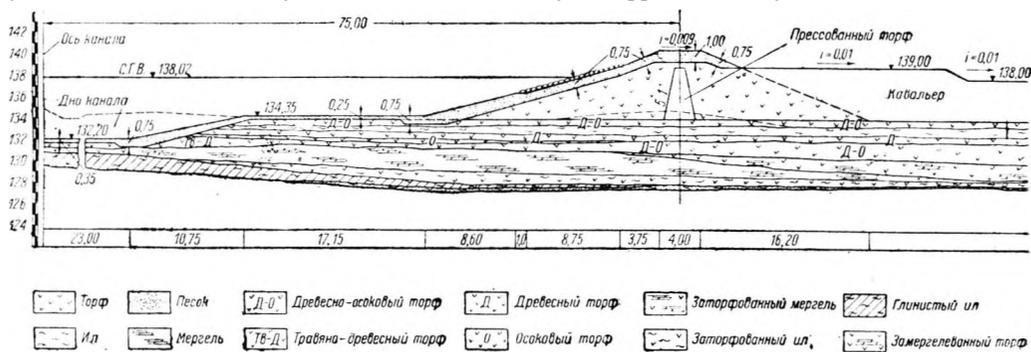
б) Второй тип — дамбы с разнородным ядром. Характерными для этого типа являются торфяные дамбы с уширенным экраном на болотах вида III и IV (фиг. 49). Там, где наличие торфа со степенью разложения 50% и выше не обеспечивало отсыпки всего ядра дамбы, приходилось отсыпать дамбу из разнородного торфа.

Со стороны мокрого откоса экранная часть отсыпалась из однородного торфа со степенью разложения не ниже 50%. Экран а из такого торфа толщиной 1,5 м обеспечивает заданный коэффициент фильтрации. Подэкранный часть дамбы б отсыпалась из торфа со степенью разложения не ниже 30—40%. В этой части допускался коэффициент фильтрации несколько больший, — 0,0005 см/сек. Остальная часть поперечного профиля дамбы в отсыпалась из торфа, имевшегося в наличии, со степенью разложения не ниже 25%, с уплотнением, но без контрольного определения коэффициента фильтрации. Отсыпка экрана а и подэкранный части тела дамбы б должны производиться одновременно слоями по 20—22 см, в рыхлом состоянии, с доведением до 15—16 см после уплотнения и трамбовки. При невозможности по производственным условиям одновременно производить отсыпку экрана а и подэкранный части сперва отсыпает подэкранный часть, а по истечении 3—4 месяцев, когда торф в подэкранный части осядет, отсыпает экранную часть. При отсыпке экрана

на неосевшую еще подэкранную часть возможны разрывы экрана, особенно в начальной стадии более интенсивной осадки.

На западной дамбе, на одном из участков канала, вследствие малой степени разложения торфа (30—35%) в середине дамбы была устроена в противодиффузионных целях диафрагма из переработанного прессмашинной торфа, обеспечивающего принятый коэффициент фильтрации (фиг. 50). В переработанной в прессмашине торфяной массе вследствие более равномерного распределения влаги между размельченными частицами торфа (84—85%) угол внутреннего трения и силы сцепления значительно понижаются. Поэтому экранировать переработанным торфом ядро дамбы со стороны мокрого откоса не представлялось возможным, и диафрагма была отнесена в середину дамбы и запроектирована в верхней части, в гребне, шириной в 1,0 м с откосом 1 : 5 (в других случаях ширина по гребню давалась и в 1,5 м).

Между диафрагмой и мокрым откосом до отм. 138,02 торф укладывался с уплотнением, обеспечивающим при отсыпке коэффициент фильтрации не более $K_{1,0} = 0,000 \text{ А см/сек}$. Недостаточно разложившаяся масса укладывалась в полевую часть дамбы между диафрагмой и сухим откосом,



Фиг. 50. Торфяная дамба с диафрагмой из переработанного машинной торфа на торфяном основании.

с уплотнением, но без контроля за коэффициентом фильтрации. Такое же уплотнение производилось и при отсыпке верхней части всей дамбы выше статического горизонта воды. Для повышения устойчивости и понижения фильтрации на сухой откос дамбы надвинут кавальер до отм. 139,0. Пригрузка песком составляла для бечевника 1,0 м, для напорного откоса выемки — 0,75 м, для бермы — 0,25 м, в шпоре — 0,75 м и по дну канала — 0,35 м.

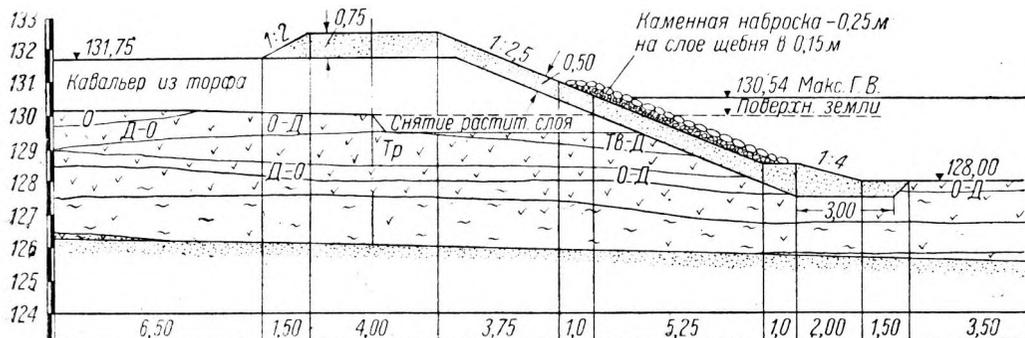
в) Третий тип — «кавалерный» — применялся в малонапорных приканальных дамбах, когда объем выемки значительно превосходил объем насыпи. Избыток массы отсыпался за дамбами в виде кавальера, превышающего часто по объему и ширине самые дамбы (фиг. 51).

Основным размером профиля кавальерных дамб принималась ширина понизу на уровне естественной поверхности земли. Эта ширина должна составлять не менее пятнадцати напоров над основанием дамбы.

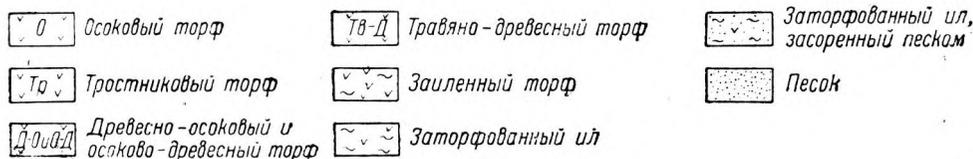
Со стороны мокрого откоса отсыпалась качественная оторочка из торфа со степенью разложения 50% и выше (на фиг. 51 оторочка не показана). Толщина верхней части оторочки закладывалась в 1,0 м. Оторочка отсыпалась примерно спустя 3—4 месяца после окончания отсыпки кавальера с целью предупреждения разрывов оторочки вследствие неравномерной осадки кавальера, особенно вскоре после отсыпки. С наружной стороны торфяной экран (качественная оторочка) пригружался до дна канала слоем песка 0,50 м. Для увеличения противоупора выпиранию торфа в основании пригрузка внизу утолщалась и выступала к середине выемки в виде шпоры. Бечевник с поверхности покрывался песком 0,75 м. При этом имелось в виду, чтобы водный откос закладывался соответ-

свенно профилю канала, тыловой же откос закладывался более крутым, с тем, чтобы на каждой глубине H толщина оторочки составляла от $1 м + 0,20 H$ до $1 м + 0,25 H$.

Другой вид оторочки (песчаной) в дамбах кавальерного типа устраивался в виде отдельно стоящей дамбы шириной по гребню $4 м$, что давало возможность при отсыпке производить уплотнение песка тракторами и



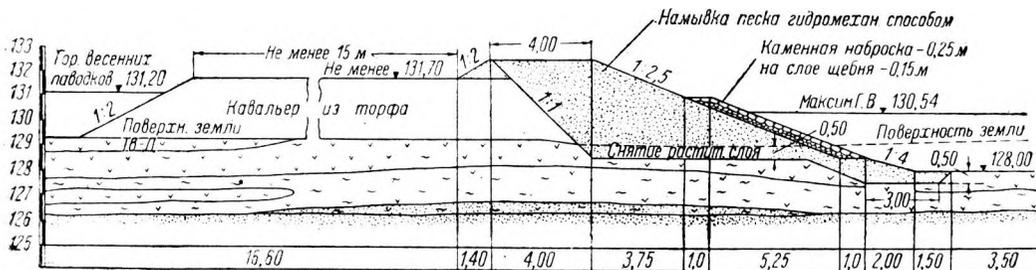
Условные обозначения:



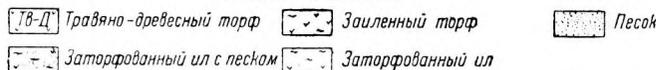
Фиг. 51. Торфяная дамба на торфяном основании с песчаной пригрузкой откоса и бечевника. Песчаная пригрузка заглублена в торфяном грунте.

катками (фиг. 52). Напорный откос закладывался в соответствии с откосом канала, тыловой откос срезался $1 : 1$.

Такой вид оторочки не зависит от периода осадки кавальера и может осуществляться совместно с кавальерной частью или даже раньше. Описанная песчаная оторочка была намыта гидромониторным способом.



Условные обозначения:



Фиг. 52. Торфяная дамба кавальерного типа с намытой песчаной призмой.

Подготовка основания под дамбы кавальерного типа производилась менее тщательно, нежели при устройстве дамб первых двух типов. Растительный слой снимался толщиной в среднем $0,5 м$ только под основание оторочки, под кавальерной же частью удалялись лишь пни деревьев и кустарник.

На участках канала с напором, не превышающим $1,0 м$, при кавальерах значительной ширины, оторочка не устраивалась. В этом случае ширина профиля кавальерной части дамбы увеличивалась до $25 H$. По бечевнику и откосам насыпи и выемки торфа производилась пригрузка песком слоем $0,75—1,0 м$ (см. фиг. 51).

4. ТОРФЯНЫЕ ЭКРАНЫ

Из минеральных грунтов для экранов обычно применяется глина, обеспечивающая коэффициент фильтрации, принятый на строительстве, $K_{10^0} = 0,0000 \text{ л см/сек}$, где $A \leq 5$.

Лабораторные опыты по исследованию торфа на фильтрацию показали, что при нарушении структуры торфа и уплотнении массы коэффициент фильтрации торфа понижается от $0,000A$ до $0,000A \text{ см/сек}$ и ниже. Это свойство было использовано при сооружении минеральной плотины для устройства торфяного экрана, который, как оказалось, не уступает глиняному и вместе с тем экономически более выгоден, так как соответствующих минеральных грунтов поблизости не было.

а) Однослойные и многослойные экраны. Торфяные экраны, сооруженные на строительстве канала Москва — Волга, можно подразделить на однослойные и многослойные.

К экранам однослойным упрощенного типа относятся качественные оторочки кавальерных дамб. Подобные экраны закладывались на отдельных участках торфяных кавальерных дамб (см. фиг. 51).

Двухслойные торфяные экраны применялись на песчаных дамбах опытного участка на болоте вида VII и трехслойные экраны сооружены на минеральной плотине.

Торфяные противофильтрационные экраны отсыпаются, как правило, из хорошо разложившегося торфа со степенью разложения 50% и выше. Такой торф хорошо уплотняется и обеспечивает принятый коэффициент фильтрации.

Лучшим для экранов является моховой торф, имеющий в составе гумифицированной массы оформленные волокна, повышающие связность массы и придающие ей большую устойчивость против сдвига по откосу, особенно, когда торф укладывается в переувлажненном состоянии, достигая $W = 86\%$ и выше. По той же причине переработанный прессмашиной торф применять в экран нельзя. Торф, содержащий в наносной минеральной части крупный песок, также в экран не годится, так как он обладает большой фильтрационной способностью; преобладание же в составе минеральной наносной части глинистых элементов при одной и той же степени разложения обеспечивает меньший коэффициент фильтрации.

б) Применение торфа в экраны. В экраны торф применялся из выемки канала (болото вида VII и др.) и из резервов, закладывавшихся на ближайших к сооружению торфяных болотах: болотах вида III, IV и болотах в районе минеральной плотины.

Предварительно торфяные участки, предназначенные к разработке, исследовались, и на стратиграфических профилях выделялись горизонты со степенью разложения 50% и выше.

Если не было торфа со степенью разложения выше 50% для отсыпки всей дамбы, то экраны устраивались и в торфяных дамбах, причем хорошо разложившийся торф употреблялся в экран, а вся остальная масса торфа со степенью разложения ниже 50% отсыпалась в подэкранную и остальную часть профиля дамбы.

Однослойный торфяной экран был устроен на высоконапорных минеральных дамбах на болоте вида I (см. фиг. 49). Торфяные экраны восточной и западной приканальных дамб сопряжены с понуром, и таким образом противофильтрационный слой торфа залегает под всем смоченным периметром канала (фиг. 53).

Двухслойный торфяной экран был отсыпан на восточной песчаной дамбе опытного участка на болоте вида VII (фиг. 54). В нижней части экран был заглублен в торфяное основание в виде зуба. В теле дамбы двойной торфяной экран отсыпался с песчаным промежуточным прослойком (торф 0,5 м + песок 0,5 м + торф 0,5 м). Верхняя часть экрана отсыпана выше уровня статического горизонта воды и доведена до отметки каменного крепления напорного откоса.

Трехслойный торфяной экран был применен при возведении одной из плотин высотой по оси 24,10 м, шириной по гребню 10 м и длиной 1 850 м. Грунт тела плотины состоит в основном (69,2%) из песчаных фракций с диаметром зерна от 0,10 до 1,0 мм и с коэффициентом фильтрации 0,0118 см/сек.

Отсутствие вблизи плотины соответствующего минерального противофильтрационного грунта заставило прибегнуть к использованию для понура и экрана торфа из торфяных болот в пойме реки.

Экран состоит из трех слоев толщиной по 0,5 м и с двумя промежуточными слоями песка средней крупности толщиной также по 0,5 м; общая толщина слоистого экрана составляет 2,50 м (фиг. 55). Поддерживающим противоупором экрана является песчано-гравелистая пригрузка, толщина которой в основании 6 м и кверху уменьшается. В нижней части под экраном до линии сопряжения его с понуром отсыпан слой глины, под которой забит двойной шпунтовый зуб, затампованный водонепроницаемой глиной с плотной трамбовкой. Для удлинения пути фильтрации устроен двухслойный торфяной понур длиной, равной десятикратному напору воды. В месте сопряжения с экраном понур заглублен и состоит, как и экран, из трех слоев.

Характеристика показателей применявшегося для экрана торфа и сопоставление их с таковыми для песчаной пригрузки экрана дается в табл. 38.

Таблица 38

Сравнительная характеристика торфа и песчаной пригрузки в экранах

Константы	Характеристика торфа	Характеристика песчаной пригрузки
Коэффициент фильтрации для нарушенной структуры K_{10^0} см/сек	0,000024	0,1239
Объемный вес (то же) γ_0	1,024	1,6
а) Порозность (то же) n	85,8	41,1
б) Коэффициент порозности ϵ	6,3; 7,25; 6,0	
Угол естественного откоса под водой ϕ_1		33°
Угол естественного откоса в воздушно-сухом состоянии ϕ_2		34°
Истинный удельный вес Δ	1,59	2,72
Естественная влажность W_c в %.....	83,54	
•Средняя объемная влажность W_0	86,07	
Средний объем твердой фазы в %.....	10,475	
Средний объем содержания воздуха в %.....	3,455	
	15,7	
а) верхний предел F	530	
б) нижний „ A	375	
в) число пластичности Φ	55	
Сила сцепления для нарушенной структуры C_n в кг/см ²	0,92	

Отсыпка экрана производилась следующим образом:

Откос плотины покрывался слоем в 5 см крупнозернистого песка без специального уплотнения, но при смачивании водой. На песчаный слой укладывался слой торфяного экрана. Отсыпка каждого слоя торфяного экрана производилась отдельными горизонтальными слоями толщиной в рыхлом состоянии 23—24 см. Первый слой экрана укладывался на хорошо спланированном основании.

Торфяная масса из резервов доставлялась на рабочую площадку конными габарками.

Большие комья размельчались, твердые остатки и волокна выбрасывались. Последующим трамбованием деревянными трамбовками торфяной слой доводился до 14—16 см за счет уменьшения порозности (удаления

незащемленного воздуха), отжатия и испарения воды. Пределом уплотнения являлось достижение принятого коэффициента фильтрации, который определялся лабораторией контрольного торфяного пункта.

Между торфяными слоями экрана отсыпались прослойки песка средней крупности — 0,25—1,0 мм, толщиной 0,5 м без уплотнения, но с поливкой водой. Необходимо все слои экрана отсыпать одновременно, возводя экран уступами с тем, чтобы отсыпкой одного слоя не задерживать работу на другом. Пригрузка наружного песчаного слоя, также с определенным отставанием, делается одновременно (см. ниже, гл. XI, п. 11).

в) Теоретические основы устройства торфяного экрана. Слоистые торфяные экраны впервые были предложены на строительстве Беломорско-Балтийского канала проф. Лебедевым А. Ф. В результате проведенных на этом строительстве опытов выявилось, что в слоистых экранах, как в разноплотной среде, депрессионная кривая и фильтрационный путь короче, нежели в однослойном экране, в связи с чем возможно уменьшение поперечных размеров сооружения.

Кроме того было установлено следующее:

а) при многослойном экране в случае разрыва одного слоя путь фильтрационному потоку будет прегражден следующим слоем экрана.

б) Коэффициент фильтрации однослойного экрана не уменьшается с увеличением толщины. По данным исследования НИГИ коэффициент фильтрации целых дамб оказался того же порядка (0,00000 А см/сек), что и в лаборатории при фильтрации через слои в 15 см. Поэтому при одной и той же затрате торфа в слоистом экране можно достигнуть большего снижения коэффициента фильтрации, чем в однослойном экране. Укладывать однослойный более толстый экран невыгодно.

в) С точки зрения устойчивости экрана на скольжение действие Креевской кривой может проявляться на большем протяжении при однослойном более толстом экране, нежели при слоистом экране. Поэтому толщину метрового экрана целесообразно делить на два равных слоя с промежутком песка.

г) Устройство слоистого экрана никаких затруднений не представляет и вместе с тем гарантирует более тщательное выполнение работы.

В подтверждение теоретических предпосылок преимущества многослойных торфяных экранов на строительстве Беломорско-Балтийского канала были проведены опыты с фильтрацией чистого

Таблица 39

Коэффициенты фильтрации в чистых грунтах и слоистом экране

Название грунта	Коэффициент фильтрации в см/сек	Время производства опыта
Песок.....	0,00320	24—25/VI 1932 г.
Торф.....	0,000050	24—25/VI 1932 г.
Слоистый экран .	0,0000046	24—25/VI 1932 г.
Песок.....	0,0027	25/VI 1932 г.
Торф.....	0,000065	25/VI 1932 г.
Слоистый экран .	0,0000048	25/VI 1932 г.
Песок.....	0,0079	26/VI 1932 г.
Торф.....	0,00014	26/VI 1932 г.
Слоистый экран .	0,0000048	26/VI 1932 г.

песка, торфа и слоистого грунта, моделирующего слоистый экран. Слои брались толщиной в 30 см и располагались в приборе Тима в следующем порядке снизу вверх: песок + торф + песок + торф. Фильтрация производилась током воды снизу вверх под постоянным напором водяного столба в 220 см с разностью отметок от верхней поверхности торфа до уровня напорного горизонта в 85 см.

Результаты опыта характеризовались следующими данными (табл. 39).

Как видно, коэффициент фильтрации слоистого экрана оказался меньше, нежели отдельно песка и торфа. Кроме того нужно отметить, что в данном опыте в среднем коэффициент фильтрации песка (0,0053) оказался в 52 раза больше такового для чистого торфа (0,000102). С другой стороны, пере-

слойка торфа с песком уменьшила коэффициент фильтрации более чем в 10 раз даже в том случае, когда мощность слоя чистого торфа в слоевом грунте составляла только половину его мощности в опыте с чистым грунтом.

Другой опыт был поставлен при напоре воды в 4 м. Опыт велся в приборах Тима-Каменского, приспособленных к опытам под высоким давлением. Толщина грунта была 60 см; фильтрация производилась сверху вниз; предварительно воздух вытеснялся из грунтов фильтрацией снизу вверх.

Испытанию подвергались грунты: 1) песок, 2) торф, хорошо разложившийся, 3) смесь торфа с песком: 50% (по объему) торфа и 50% песка и 4) слоистый грунт, состоящий из четырех слоев: песок — торф — песок — торф, при мощности каждого слоя в 15 см.

Из опыта следует (табл. 40), что слоистый торфяно-песчаный экран фильтрует меньше, чем экран той же мощности из смеси торфа с песком. Слоистый экран не требует дорогой работы по смешиванию торфа с песком — работы очень важно и трудной по выполнению при производстве экранов из торфяно-песчаной смеси, так как небрежное перемешивание ведет к усилению фильтрации через такой экран.

Отдельные слои экрана могут иметь минимальную толщину 10—15 см. Но уложить такие тонкие слои тщательно в производственных условиях почти невозможно, поэтому необходимо брать толщину слоев 25—50 см, а с учетом запаса на осадку принимать слой торфа в момент отсыпки и уплотнения в 75 см и песка в 50 см. Угол наклона экрана не должен быть больше, чем угол естественного откоса употребленного в экран песка.

Среди основных вопросов применения торфа в торфяной лаборатории Строительства были поставлены исследования различных типов экранов с целью выявления наиболее рационального типа. Исследования касались процесса фильтрации в системах, моделирующих простой и слоистый торфо-песчаный экран. Фильтрация производилась в аппаратах типа Тима при напоре воды 12 м. Фильтрационный поток направлялся соответственно тому, как это может иметь место в природе. При моделировании простого экрана грунт располагался в последовательности: песок 10 см+торф 40 см + песок 10 см, в слоистом экране: песок 10 см + торф 20 см + песок 10 см + торф 20 см + песок 10 см.

В условиях опыта порядок величины потери напора соответствовал условиям для минеральной плотины с трехслойным торфяным экраном.

Результаты опытов приводятся в табл. 41.

Как видно из таблицы, при установившейся фильтрации значения коэффициента фильтрации в простом и слоистом экранах практически почти одинаковы. Введение промежуточного слоя песка не вносит изменений. Так, из девяти опытов четыре имеют практически равные величины коэффициента фильтрации, три показывают увеличение для простого экрана и два — для слоистого. Следовательно слоистый экран не вносит существенных изменений в величины коэффициента фильтрации; а между тем возводить однослойный экран проще.

Параллельные же опыты по изучению работы простых и слоистых

Таблица 40

Коэффициенты фильтрации чистых грунтов, смеси грунтов и слоистого экрана

Название грунта	Коэффициент фильтрации (K_{10} см/сек)		
	максимальный	минимальный	средний
Песок.....	0,0037	0,0037	0,0037
Торф.....	0,000053	0,000017	0,0000233
Смесь из 50% торфа и 50% песка.....	0,0002	0,00007	0,00011977
Слоистый грунт песок—торф—песок—торф.....	0,000031	0,000019	0,0000127

Лабораторные данные о коэффициентах фильтрации торфяного и слоистого торфо-песчаного экранов

№ исследования	Зольность в % от сухого вещества	Степень разложения в %	Торфяной экран				Слоистый торфяно-песчаный экран					
			перед опытом		после опыта	K_{10}° <i>см/сек</i>	перед опытом		после опыта		<i>см/сек</i>	
			объемн. влажность в % от сухого вещества	содержание воздуха в %			объемн. влажность в % от сухого вещества	содержание воздуха в %	объемн. влажность в % от сухого вещества	содержание воздуха в %		
1	22.5	82.5	728	3,8	690	3,8	0,0000037	843	4.0	573	6.0	0,0000025
2	10	60	1082	9,6	903	5.3	0,0000014	1 032	5.4	902	5.8	0,0000017
3	16.3	78	718	8.5	672	10,8	0,0000014	775	7.6	768		0,0000028
4	13.5	74	809	5.6	771	9,0	0,0000013	730	7.7	685		0,0000018
5	12.6	77	646	8,2	712	12,8	0,0000008	642	7.1	617		0,0000026
6	14.3	84.5	796		602		0,00000053	672		520		0,0000(063
7			750	3,90	606	6.8	0,0000016	905	5.1	752	7,2	0,0000029
8	23,8	95	836	5.7	646		0,0000017					
9	16,0	85	750	13,4	674	4.5	0,0000013	766	6,9	694	12,5	0,0000006
10	8		833	5,5	717	3.6	0,00000079	724	3,3	630	4.8	0,00000074

экранов в натуральных дамбах поставить не удалось. Таким образом вопрос о всестороннем выяснении преимущества слоистых и простых экранов подлежит еще дальнейшему исследованию.

5. ТОРФЯНЫЕ ПОНУРЫ

На канале Москва — Волга торфяные понуры устраивались в зависимости от мощности и месторасположения торфяной залежи в виде естественных, искусственных и смешанных торфяных понуров. По конструкции торфяные понуры устраивались однослойными и двухслойными.

Толщина однослойных естественных понуров, обеспечивающая заданный коэффициент фильтрации, была принята в 1,5 м и искусственных понуров — в 1,2 м с поверхностной песчаной пригрузкой в 0,60 м в обоих случаях.

Двухслойный понур минеральной плотины имел толщину каждого слоя в 0,5 м с прослойкой песка в 0,5 м и с поверхностной песчано-гравелистой пригрузкой в 1,2 м.

а) Естественный понур. Такой понур был устроен на болоте вида I (фиг. 56), где был оставлен придонный слой торфяной залежи толщиной от 1,5 до 2,25 м, состоящий из тростниково-осоково-древесного торфа со средней степенью разложения 60% (по методу отмучивания), с зольностью 15% (к сырой навеске) и коэффициентом фильтрации в естественном состоянии 0,0005—0,0007 см/сек.

Верхний волокнистый слой залежи был снят до пригодного горизонта. Оставленная естественная торфяная залежь была с поверхности вскопана на глубину 0,5 ж. При перекопке верхний штык поднимался на поверхность, масса хорошо перемешивалась и уплотнялась ручными трамбовками. При перемешивании тщательно выбирались и удалялись твердые древесные и волокнистые остатки торфа. Для предупреждения разжижения, размыва и выпучивания торфяного слоя понура с поверхности делалась пригрузка крупным песком слоем в 0,60 м.

б) Смешанный понур. В тех местах, где слой естественного торфа имел недостаточную толщину, последняя наращивалась торфом какого же качества из ближайшего резерва. Доставленный на понур торф отсыпался слоем в 15—16 см и уплотнялся ручными трамбовками с таким расчетом, чтобы общая толщина смешанного понура была не менее 1,5 м, а при полной осадке — не менее 1,2 м. Смешанный понур также покрывался песчаной пригрузкой слоем в 0,60 м.

в) Искусственный понур устраивался на минеральном основании, предварительно хорошо очищенном от растительности и спланированном; торф отсыпался слоями с уплотнением. На понуре в районе болота вида I отсыпанный рыхлый слой из тростниково-осоково-древесного торфа со степенью разложения 72% толщиной 20—22 см при 8—12 проходках трамбовками доводился до 15 см. При таком уплотнении коэффициент фильтрации отсыпанной массы составлял $K_{10^0} = 0,0000 A \text{ см/сек}$. Ежедневно отсыпался один слой торфа.

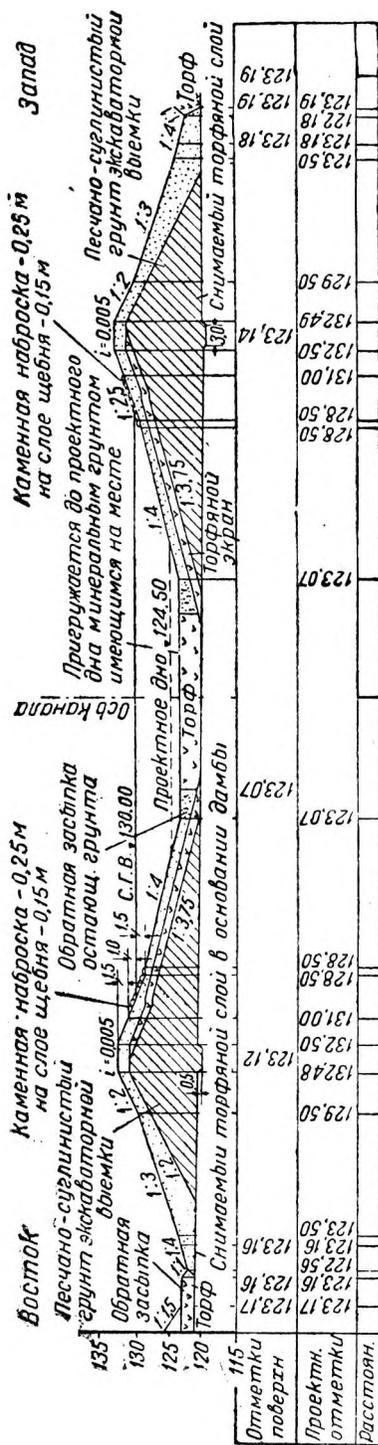
Учитывая последующую осадку под песчаной пригрузкой, слой торфа отсыпался мощностью в 1,5 м. Сверху понур пригружался песком слоем в 0,60 м. Промороженный и высохший торф, обладающий большой фильтрационной способностью, ни в понур, ни в экран не допускался.

Толщина искусственного торфяного понура устанавливалась в зависимости от напора воды в сооружении и коэффициента фильтрации торфяной массы, но не менее чем в 1,2 м после осадки.

На болоте вида I естественный и искусственный понур соединялись через переходную часть смешанного понура. Соединение стенок понура производилось по откосу с заложением 1 : 1—1 : 2 без трамбования (фиг. 57).

Через 10—12 месяцев после отсыпки была сделана контрольная проверка коэффициента фильтрации образцов торфа, отобранных из различных горизонтов искусственного и естественного слоев понура, причем канал с момента отсыпки оставался в сухом состоянии.

Оказалось, что нижняя часть искусственного понура вполне обеспечивала принятый коэффициент фильтрации $0,0000 A \text{ см/сек}$. В верхней части этого слоя коэффициент фильтрации был несколько выше лимитного, доходя до 0,00011 и 0,00027 см/сек. Это явление возможно объяснить меньшей уплотненностью верхних слоев искусственного понура и фильтрацией воды в пригрузочный слой песка. Коэффициент фильтрации в естественном понуре, наоборот, достигал лимита и опу-



Фиг. 56. Понур на болоте вида I.

скался ниже в верхнем слое, что объясняется большим уплотнением торфа с нарушенной структурой, нежели торфа с естественной структурой.

Таким образом оставление понура после окончания отсыпки в сухом состоянии в течение годичного срока не только не увеличило фильтрационных свойств понура, но во многих местах привело к дальнейшему

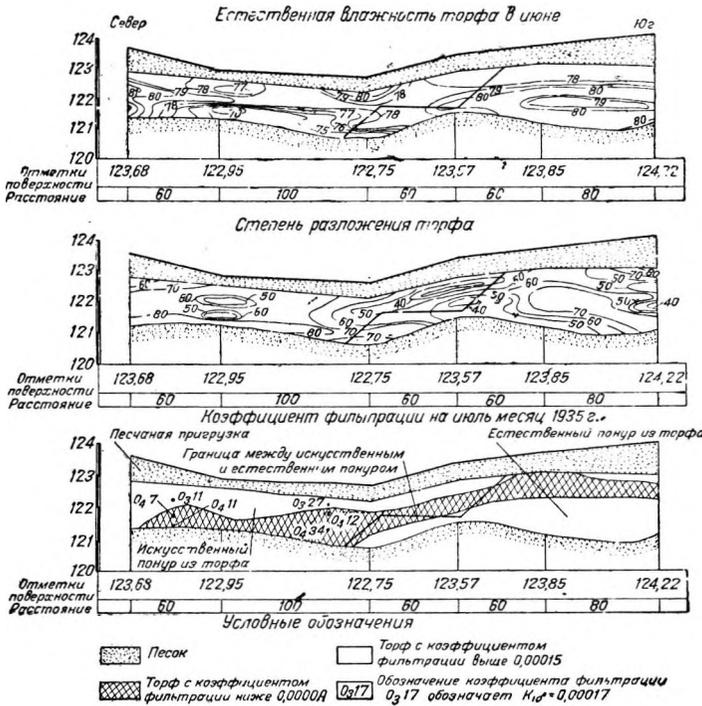
уменьшению коэффициента фильтрации, снизившегося, в некоторых пунктах до 0,000000 А см/сек. Понур в смысле фильтрации оказался надежным.

Осадки понура выразились в следующих цифрах (табл. 42).

Таким образом осадка искусственного понура в 3 раза превысила: осадку понура естественного, вследствие чего можно считать, что при наполнении канала водой противофильтрационные качества торфяного понура улучшаются.

в) Слоистый понур. Двухслойный торфяной понур был сооружен на минеральной плетине.

Нижний слой торфа отсыпался на спланированную поверхность с



Фиг. 57. Понур на болоте вида I: естественный, искусственный и смешанный.

учетом осадки слоем в 0,75 м и уплотнялся; сверху отсыпанный торфяной слой покрывался песком 0,5 м. Затем на песчаный слой отсыпался второй слой торфа также толщиной 0,75 м. Вся система понура пригружалась песчаным слоем 1,2 м.

В наиболее пониженной части понура непосредственно у плотины толщина понура увеличивалась при отсыпке на $\frac{1}{20}$ максимального напора плотины.

При отсыпке торфяных слоев критерием достаточного уплотнения являлся принятый коэффициент фильтрации. Параллельно определялся объемный вес отсыпанного в понур торфа, зольность и влажность массы.

С целью последующего наблюдения за осадкой и фильтрационной способностью уложенного в понур торфа через месяц после окончания отсыпки понура и пригрузки песком в него были заложены через песчано-гравелистую пригрузку три шурфа до поверхности торфа. Осадку торфа определялась с помощью заложённых реперов. Обнаруженные изменения физико-меха-

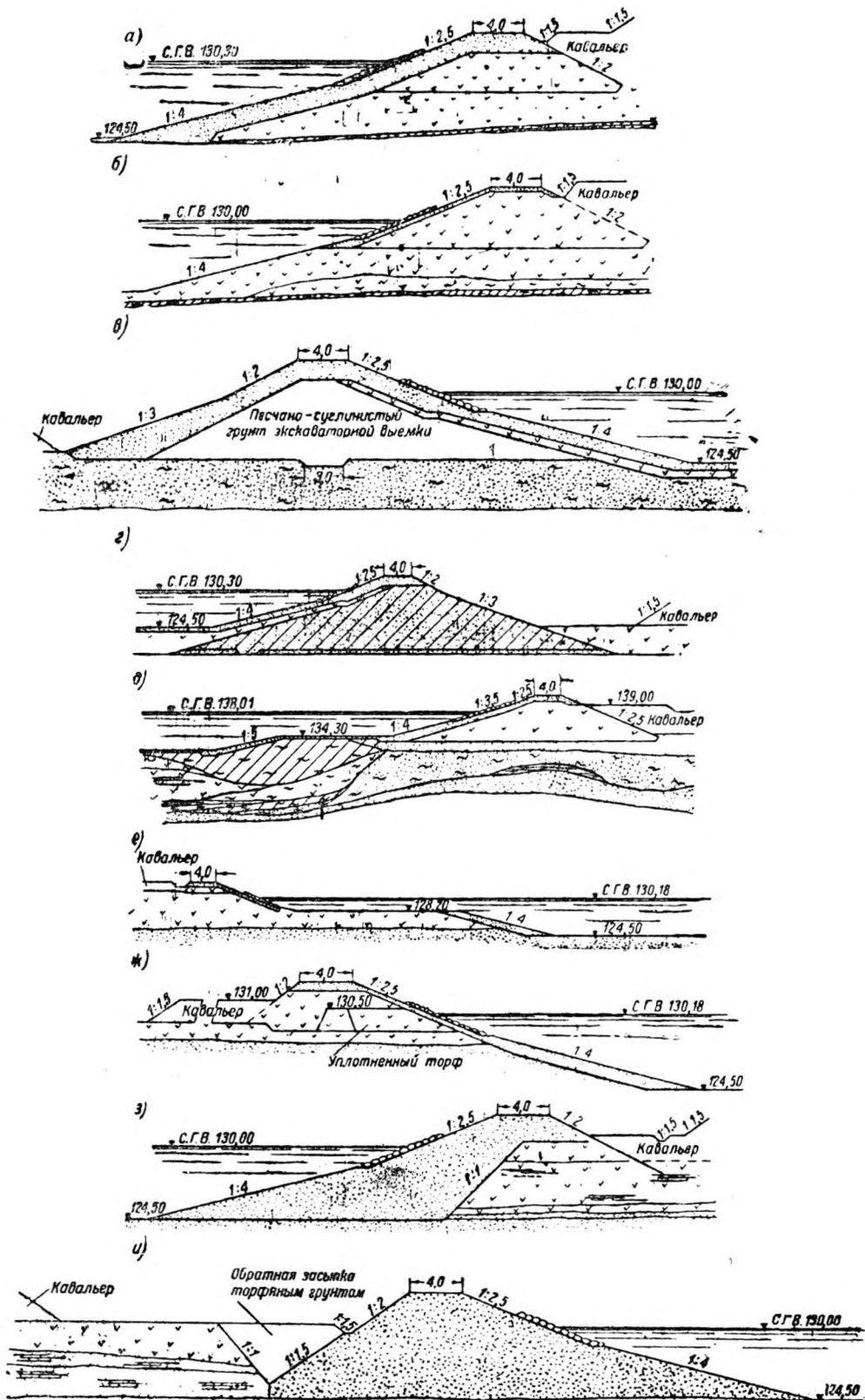
Таблица 42

Осадка понура

Тип понура	Точки	Отметка после отсыпки	Отметка на 1/VI 1935 г.	Осадка в % к снимаемому слою
Искусственный понур	1	123,16	122,95	14,8
	2	122,87	122,75	7,4
Естественный	3	123,64	123,57	4,75
	4	123,90	123,85	2,5

№ фигур	№ типов	Название сооружения	Основание		Ядро		Пок			
			грунт	толщина в м	грунт	высота по оси в м	гребень		мокрый	
							грунт	толщина в м	грунт	толщина в м
58,а	1	Западная дамба	Торф	2,75	Торф	3,00	Песок	1,50	Песок	1,50
49	2	Восточная дамба	"	4,38	"	3,00	"	0,75	"	0,30
58,б	3	Западная дамба	"	3,76	"	4,20	"	0,30	"	0,30
58,в	4	Восточная дамба	Иловатый песок	С зубом 3,70 без зуба 3,20	Песчано-суглинистый грунт	Без зуба 6,25, с зубом 6,75	"	1,5	"	1,5
58,г	5	Западная дамба	Песок	—	Песчано-суглинистый грунт	10,00	"	1,5	"	1,00
58,д	6	Западная дамба	"	—	Торф	6,00	"	1,00	"	0,8
52	7	Восточная дамба	Торф	3,00	Торфяная дамба кавальерного типа	2,40	Намыта песчаная призма гидромеханическим способом высотой 4,00 м			
51	8	Восточная дамба	"	4,00	То же	1,70	Песок	0,75	Песок	0,5
50	9	Западная дамба	"	6,55	Торф	5,45	"	1,0	"	0,75
58,е	10	Восточная дамба	"	5,00	"	1,00	"	0,75	"	0,30
58,ж	11	Восточная дамба	"	0,85	"	3,00	"	0,75	"	0,30
54	12	Восточная дамба	"	3,85	Песок, двойной торфяной экран	4,42	—	—	—	—
58,з	13	Западная дамба	Замергелеванный торф	6,00	Торф	1,60	Песок	2,00	Песок	—
58,и	14	Восточная дамба	Песок	—	Песок	8,00	—	—	—	—

ров		Откосы дамбы				Ширина основания в м	Напор от статич. горизонта воды до дна канала в м	Ширина бермы в м	Примечание
откос	сухой откос	мокрый		сухой					
пригрузка в м		ядро	выемки	верх	низ				
Камень 0,25 м на слое щебня 0,15 м	Надвинутый торфяной кавальер	1:2,5	1:4	1:2	—	19,55	5,80	1,00	
То же	То же	1:2,5	1:4	1:2	Кавальер 1:1,5	19,00	5,63	1,00	
"	"	1:2,5	1:4	1:2	—	22,85	5,50	1,00	
"	Песок 1,5 м	1:2,5	1:4	1:2	1:3	40,24	5,50	1,00	Со стороны мокрого откоса под песчаной пригрузкой отсыпан торфяной экран в 0,5 м, сопряженный с понуром в 0,6 м. Понур пригружен песком в 0,6 м
"	Уплотненный минеральный грунт	1:2,5	1:4	1:2	1:3	69,00	5,80	1,00	Со стороны напора под песчаной пригрузкой отсыпан торфяной экран, переходящий в понур мощностью в 3,40 м, в котором верхний слой в 0,5 м представляет уплотненный переработанный торф
"	Надвинутый торфяной кавальер	1:2,5	1:4	1:2,5	Кавальер 1:1,5	42,00	5,81	17,20	В нижней части мокрого откоса песчаная пригрузка заглублена в виде зуба. Берма пригружена слоем песка 0,3 м. Дно канала пригружается слоем песка в 0,15 м
"	Торфяной кавальер	1:2,5	1:4	1:2	Кавальер 1:2	—	2,54	1,00	
"	"	1:2,5	1:4	1:2	—	—	2,54	1,00	
"	Надвинутый торфяной кавальер	1:2,5 1:3,5 1:4,0 Ширина бермы — 1,5 м	1:4	1:2,5	—	38,50	5,82	16,0	
"	Торфяной кавальер	1:2,5	1:4,0	1:2	Кавальер 1:1,5	—	5,68	25,00	Ширина основания дамбы не указана, так как откосы канала почти целиком проходят в выемке и только небольшая часть по оси под пригрузкой досыпана торфом
"	Надвинутый торфяной кавальер	1:2,5	1:4	1:2	Кавальер 1:1,5	19,20	5,68	—	
"	Надвинутый кавальер	1:2,5	1:4	1:2	Кавальер 1:1,5	25,50	5,50	1,00	
"	Надвинутый торфяной кавальер	1:2,5	1:4	1:2	Кавальер 1:1,5	—	5,50	1,00	После образования трещин и сползания торфа по мокрому откосу ядро дамбы было срезано до минерального грунта и намыта гидромонитором песчаная призма. Нижняя торфяная часть дамбы идет в выемке
"	Обратная торфяная засыпка	1:2,5	1:4	1:2	1:1,5	41,50	5,50	1,00	



Фиг. 58. Поперечные профили приканальных дамб.

В связи с этим потребная для строительных целей понура и экрана торфяная масса в неосушенных забоях должна исчисляться в:

$$X_2 = \frac{115 \cdot 138\,000}{100} = 158\,700 \text{ м}^3.$$

Помимо того нужно иметь в виду производственные потери торфа в забое (недобор, бровки, перемычки) и потери вследствие дальнейшего обезвоживания, а также при транспорте торфа к месту отсыпки. На основе опытных данных Строительства эти потери составляют кругло 40%. Таким образом в рассматриваемом случае для обеспечения понура и экрана строительным торфом со степенью разложения массы более 50% потребуется следующий объем торфа в резервах:

$$X_3 = \frac{140 \cdot 158\,700}{100} = 222\,180 \text{ м}^3.$$

Так как в резервах болот, прилегающих к данной плотине, указанного количества торфа со степенью разложения 50% и выше не оказалось, то для сведения баланса строительного торфа решено было прибегнуть, к переработке прессмашинами торфа со степенью разложения ниже 50%, после чего, как показали предварительные лабораторные опыты, коэффициент фильтрации понизился до лимитного предела 0,0000 А см/сек.

Однако нужно заметить, что в переработанном прессмашиной торфе сильно понизились угол внутреннего трения и силы сцепления, а потому такой торф можно применять только в горизонтальный понур. В наклонные слои экрана такой торф допускать нельзя во избежание оползания и разрыва торфяных слоев.

б) Транспорт торфа в сооружение. Из выемки канала торф транспортировался для отсыпки приканальных дамб тачками, конными грабарками, мехкрючниками и в незначительных размерах при отсыпке западной дамбы на болоте вида IV — монорельсовой дорогой и на болоте вида III — по узкоколейной дороге.

При ручной возке по катальным доскам, уложенным на поверхности грунта, на выемку торфа из русла канала составлялся план, которым предусматривалось расположение забоев с таким расчетом, чтобы не требовалось устраивать особые помосты через уже выбранные карьеры.

Катальные доски укладывались на расстоянии от 60 до 140 м. Каждому рабочему отводился участок длиной 5—6 м при высоте забоя 1,0—1,2 м. Рабочий оставлял тачку сверху забоя, набрасывал торф и отвозил его на место отсыпки в дамбу. Объем тачки равнялся 0,145 м³, вес наполненной тачки—около 150 кг при влажности торфа 85% и объемном весе 1,0—1,05.

При экскавации глубина забоя определялась в 1,0 м, при более глубоком забое нижние «штыки» требовали больших усилий на выкидку массы и снижали интенсивность работы. Делать промежуточный уступ для двойной переброски массы торфа из забоя оказалось невыгодным. При опытных забоях глубиной более 1 м грунтовая вода вследствие высокого уровня ее на болотах выклинивалась на дно забоя, значительно осложняла работу и понижала ее производительность. Рабочая площадь забоя должна иметь общий уклон к кювету ($i = 0,002$), принимающему дождевую и отдаваемую торфом воду непосредственно и через боковые канавки (стрелки).

При удаленности резерва от места отсыпки торф подавался на рабочую площадку конными грабарками, для чего на отсыпанной части дамбы устраивался переносный настил из толстых досок в виде лежневой дороги. Из грабарки торф сваливался на край дощатого настила и затем разбивался и разравнивался в дамбе, как и при ручном способе доставки. После отсыпки одной полосы деревянный настил передвигался параллельно прежней укладке вперед, и таким образом отсыпался следующий ряд по ширине дамбы. Преимуществом этого способа транспорта являлось

использование динамической нагрузки от веса грабарки с торфом, вследствие чего деревянный настил к концу поездок вдавливался в торф.

При доставке торфа транспортером тачки с торфом поднимались канатным транспортером из русла канала на деревянную площадку, расположенную на краю выемки. С этой площадки по деревянному настилу торф в тех же тачках отвозился на рабочие площадки.

При применении железнодорожного узкоколейного транспорта торф нагружался в опрокидные вагонетки типа Коппеля или в вагонетки с решетчатым кузовом, из которых он выгружался путем отцепа откидной стенки.

в) Уплотнение торфа в теле дамб. Уплотнение отсыпаемого в сооружение торфа (уменьшающее порозность массы и гарантирующее равномерную осадку сооружения) достигалось на строительстве тщательным измельчением и перемешиванием торфа, а также ручным или механическим трамбованием.

В результате работ с уплотнением выяснилось, что отдельные виды торфа и даже один и тот же вид торфа с различной степенью разложения требуют на уплотнение различную затрату силы и дают различную осадку.

Учет работы, затрачиваемой на уплотнение торфа, может производиться по следующей формуле:

$$T = \frac{Phn}{\omega}, \quad (30)$$

где T —работа в $кгм/см^2$;

P — вес трамбовки, равный 6 кг;

h — высота падения трамбовки, равная 0,5 м;

ω — площадь сечения трамбовки, равная 500 $см^2$;

n — количество ударов — 4.

Подставляя в формулу (30) числовые значения, можно вычислить, затраченную работу:

$$T = \frac{6 \cdot 0,5 \cdot 4}{500} = 0,02 \text{ кгм/см}^2.$$

Торф очень влажный, приближающийся к пределу грунтовой массы ¹ не уплотняется, и его нужно или подсушить в карьере или укладывать в дамбу с большими промежутками. Торф пересушенный с влажностью ниже 76% (к сырой навеске) теряет связность и не поддается уплотнению даже при большой затрате механической силы.

В силу сказанного торфяное основание и предназначенный для отсыпки торф в выемке канала или в резерве должны приниматься по акту как в отношении пригодности по составу и степени разложения, так и по содержанию влаги в забое.

Перед отсыпкой торфа в дамбы необходимо лабораторным путем определить оптимальный процент влаги, при котором торфяная масса при минимальной затрате силы на уплотнение обеспечивает принятый коэффициент фильтрации. Дальнейшая затрата силы на уплотнение нецелесообразна, так как в результате осадки массы в ядре дамбы происходит дальнейшее уплотнение массы и понижение коэффициента фильтрации.

Изменение объемного веса торфа и коэффициента фильтрации в зависимости от числа ударов трамбовкой для осоково-древесного торфа со степенью разложения 50—60% характеризуется цифрами, показанными в табл. 45.

В практике строительства канала Москва — Волга уплотнение торфа при отсыпке в дамбы производилось ручным способом, катком с конной тягой и гусеничным трактором.

¹ Грунтовой массой называется такой грунт, в котором все промежутки между частицами заполнены водой, т. е. влажность соответствует полной влагоемкости грунта; совокупность частиц самого грунта называется грунтовым скелетом. *Ред.*

Изменения объемного веса и коэффициенты фильтрации торфа при трамбовании

Число ударов трамбовкой	Объемный вес	Коэффициент фильтрации в см/сек
4	0,995	0,0006
8	1,030	0,00008
12	1,04	0,00901

При ручном трамбовании привезенная на рабочую площадку масса торфа в виде комьев сперва разбивалась железной лопатой или граблями с железными зубьями; при этом рабочий выбирал из торфа крупные твердые древесные остатки, неразложившиеся волокна, высохший торф. Затем масса разравнивалась, укладывалась слоем в 22—24 см и утрамбовывалась, при этом насыпь делалась на участки, и на каждый из них ставился один рабочий.

Выработка по разравниванию торфа с трамбованием за 8-часовой рабочий день составляла в среднем при толщине слоя в 0,35 м — 100 м² или 35 м³ и при толщине слоя в 0,20 м — 156 м² или 34 м³. Соотношение рабочих — тачечников и равняльщиков устанавливалось в соответствии с расстоянием подвозки торфа к рабочим площадкам. На одного равняльщика (он же трамбовщик) приходилось тачечников: при подвозке на 60 м — 6, при подвозке на 100 м — 1 и при подвозке на 140 м — 8.

При больших рабочих площадях для уплотнения торфа применялись обычно деревянные или бетонные катки. Практика выявила желательность устройства полых катков, чтобы во время работы можно было увеличивать вес катка, наполняя полость его водой или песком. Недостатком работы гладкого катка является то, что масса не перемешивается, а только происходит раздавливание и приглаживание ее сверху. Поэтому лучше делать рубчатый или кольчатый каток, которым можно производить и перемешивание отсыпанного торфа. При прокатке сырого торфа со степенью влажности 85—86% (от сырой навески) хорошо разложившийся торф со степенью разложения 50—60% сильно прилипает к катку и затрудняет работу.

Отсыпанный влажный торф слоем в 20—22 см является весьма рыхлым и не выдерживает большой нагрузки. При хождении человека по хорошо разложившемуся слою торфа последний продавливается до основания. Поэтому при применении для уплотнения трактора ЧТЗ гусеницы для уменьшения удельного давления были поставлены на деревянные уширители в виде полотна с поперечными шпалами. Даже и в этом случае трактор нельзя было применять при отсыпке торфа с влажностью более 86—87%, так как происходили местные провалы трактора с деформацией отсыпанных слоев. В данном случае более удобен гусеничный трактор с меньшей, чем у ЧТЗ, удельной нагрузкой на опорную площадь гусеницы.

При отсыпке подсушенного торфа облегченный тип трактора или ЧТЗ, поставленный на большую площадь уширителя, может быть с успехом применен для уплотнения торфа.

г) Контроль за уплотнением торфа. В отличие от минеральных грунтов критерием достаточного уплотнения торфа в сооружениях на строительстве канала Москва — Волга был принят не удельный вес, как это имеет место при отсыпке минерального грунта, а коэффициент фильтрации равный 0,00005 см/сек. Последний служил не только показателем степени фильтрации торфа, но и косвенным указателем достаточной степени уплотнения отсыпанного слоя. Многие виды торфа имели различное содержание минеральных включений, и часто при хорошем объемном весе уплотненной массы коэффициент фильтрации был выше принятого. Такое явление наблюдалось, когда минеральный нанос торфа включал большое количество песка крупных фракций.

Контроль за уплотнением торфа в дамбах производился торфяными контрольными лабораториями, которые были организованы на каждом строительном торфяном объекте. На утрамбованных слоях торфа выбирались площадки, с которых и брались образцы торфа в металлические ци-

линдры, имевшие высоту $h = 25$ см и диаметр $d = 5$ см, для определения коэффициента фильтрации по способу проф. Каменского. Площадки, образцы с которых не обнаруживали принятого коэффициента фильтрации, подвергались дальнейшему уплотнению до достижения нормы фильтрации. Работа по контролю за уплотнением торфа производилась согласно особой инструкции¹.

д) Отсыпка песчаной пригрузки. Пригрузка песком откосов выемки должна производиться снизу вверх горизонтальными слоями после того, как откос осядет в результате подсушки и будет зачищен по шаблону до проектных отметок. Практика показала, что нельзя делать песчаные запасы на откосах выемки, тем более на откосах и гребне насыпей, так как это может повести к деформации и обрушению откосов. Торфяные откосы в выемке канала должны пригружаться песком до начала отсыпки приканальных дамб, что значительно повышает устойчивость несущего торфяного основания.

При отсыпке тела торфяных дамб песчаная пригрузка должна следовать за отсыпкой торфа.

Пригрузка песком гребня торфяных дамб должна производиться равномерно и постепенно слоями не более 10—15 см в сутки. Эта предосторожность необходима для обеспечения равномерного отжима воды из торфа и удаления ее из тела дамбы. Достаточный срок необходим потому, что торф, обладая большой всасывающей способностью, с трудом отдает воду даже при уплотнении под действием нагрузки. При размеренной пригрузке песком гребня дамб обеспечивается более равномерная осадка торфяного ядра, что служит гарантией от опасных деформаций. Вот почему при отсыпке торфа в ядро и пригрузке ядра нельзя развивать столь быстрых темпов, как это возможно на минеральных грунтах.

ГЛАВА VII

ОСАДКА ТОРФЯНОГО ГРУНТА

1. ФАКТОРЫ, ВЛИЯЮЩИЕ НА ОСАДКУ

Одним из наиболее важных вопросов при возведении сооружений из минерального и торфяного грунта на торфяном основании является осадка торфа, которая для отдельных видов колеблется в значительных пределах и по абсолютным размерам значительно превышает пределы осадок минеральных грунтов. Осадку торфяного грунта начинается от момента осушения болота и продолжается известный период и после возведения сооружений до полной стабилизации осадок сооружения и основания. Характер осадки в разные периоды работы иллюстрируется фиг. 59.

Первая осадка торфа происходит вследствие удаления через осушительную сеть канав избыточной влаги из торфяной залежи. Эта осадка увеличивает несущую способность торфяного грунта на болотах и уменьшает объем земляных работ. После прорытия канала начинается осушение более глубоких слоев торфа. Однако в последнем случае углубление забоев должно производиться в такой последовательности по времени, чтобы осадка торфа не вызвала деформации откосов.

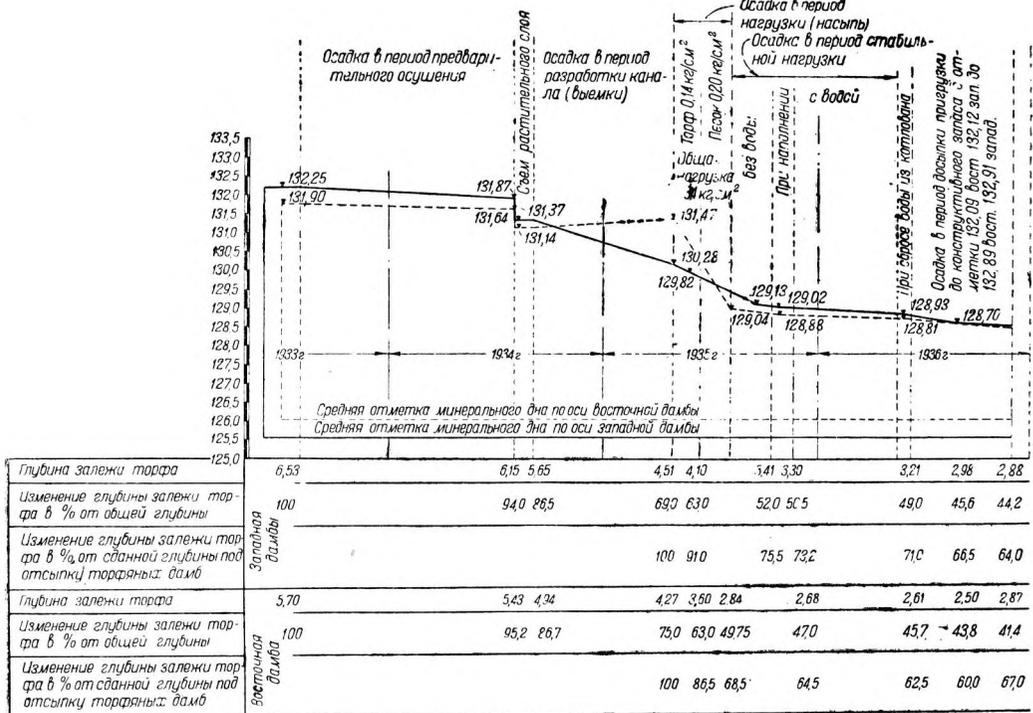
На осадку и уплотнение торфяных откосов и примыкающих торфяных оснований влияют также отсыпанные при прорытии канала кавальеры и отсыпанный в сооружение грунт. Вследствие обезвоживания грунт в насыпи уплотняется и дает в свою очередь осадку.

Точное представление о величинах осадки торфа дало бы возможность наиболее целесообразно запроктировать баланс потребных грунтов, установить конструктивные запасы и запланировать организацию ра-

¹ «Инструкция по наблюдению за отсыпкой торфа в сооружения и контролю за его уплотнением», изд. МВС, Дмитров 1936.

бот. Однако в настоящее время еще нет точных норм для вычисления осадки торфяных грунтов в основании сооружения, и в этом отношении еще должны быть проведены исчерпывающие опыты и наблюдения.

В связи с этим на строительстве канала Москва — Волга были поставлены соответствующие наблюдения на опытных участках торфяных дамб, отсыпанных в натуральную величину на луговых болотах вида III и VII. Перенесение этого исследования непосредственно на трассу ускорило ра-



Фиг. 59. Профиль осадки торфяной залежи в результате осушки и нагрузки на болоте вида III.

боты и приблизило опыт к практической действительности. Изучение физико-механических свойств строительного торфа производилось в лабораторных условиях.

2. ИССЛЕДОВАНИЕ ОСАДОК

а) Методика исследования на опытных дамбах. При производстве работ по отсыпке торфяных дамб на торфяном основании весьма важно знать полную осадку несущего торфяного основания и динамику ее во времени для того, чтобы правильно, с учетом осадки, запроектировать профиль дамбы.

Осадки торфяных дамб и торфяного основания можно разделить на три вида:

- 1) осадка тела дамб и несущего основания в период отсыпки;
- 2) осадка тела дамб к моменту окончания пригрузки их песком;
- 3) полная осадка тела дамб и торфяного основания под дамбами.

Исследования осадок производились путем наблюдения над ними на опытных торфяных дамбах и сопоставления их с теоретическими расчетами, произведенными на основе исследования физико-механических свойств торфяного грунта.

В соответствии с поставленной задачей на опытном участке на болоте вида VII были сооружены 6 различных типов дамб, охарактеризованных¹ в табл. 46 и фиг. 60.

¹ Приведенная здесь нумерация типов сохранена во всем дальнейшем изложении.

Характеристика опытных дамб на болоте вида VII

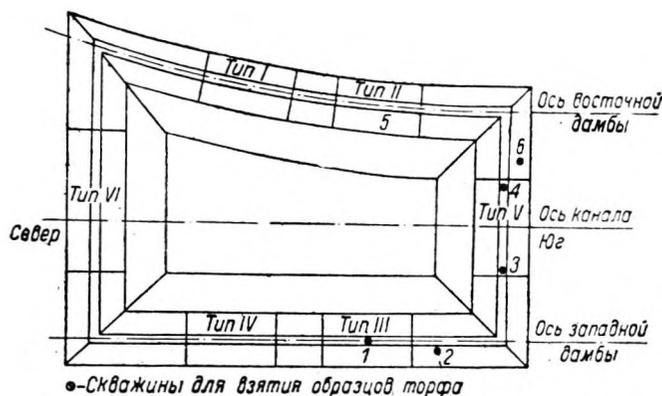
№ типов опытных дамб	Наименование дамб и отсыпaeмый грунт	Период отсыпки 1934 г.	
		начало	конец
I	Восточная дамба из песка с двойным торфяным экраном	12/X	24/XI
II	Восточная торфяная дамба с песчаной пригрузкой по мокрому откосу	19/X	30/XI
III	Западная торфяная дамба с песчаной пригрузкой 1,5 м тела дамбы	21/VII	13/IX
IV	Западная торфяная дамба с песчаной пригрузкой 0,3 м тела дамбы	21/VII	13/IX
V	Южная поперечная торфяная дамба с зубом и каменным креплением напорного откоса	9/IX	18/XI
VI	Северная поперечная торфяная дамба без пригрузки песком	6/VIII	12/X

На фиг. 61 нанесены профили опытных дамб с указанием отметок, до которых была произведена первоначальная отсыпка опытных дамб. Все дамбы были отсыпаны на торфяном основании.

Дамбы отсыпались во второй половине 1934 г., но не были доведены до проектных размеров в этом строительном сезоне кроме дамбы VI, которая была полностью отсыпана в 1934 г. В течение 1935 г. на дамбе I

была произведена досыпка песка 0,5 м.

В ночь на 30/IX 1934 г. на дамбе III произошло оползание откоса в сторону выемки канала на протяжении 35 м вследствие быстрой пригрузки гребня торфяного ядра слоем песка в 0,6 м и укладки сверх этого слоя временного запаса песка высотой в 1,5 м. Отсыпка песка началась 26/IX и производилась с интенсивностью примерно 48 г/см^2 в сутки, т. е. в 3—5 раз больше, чем при отсыпке торфяного ядра. Это и вызвало оползень на участке торфа, подстилаемого мощным слоем илистых отложений. В течение месяца проектный профиль дамбы был полностью восстановлен (см. гл. XI, п. 1).



Фиг. 60. План расположения опытных торфяных дамб на болоте вида VII.

- Тип I. Восточная песчаная дамба с торфяным экраном.
 Тип II. Восточная торфяная дамба с песчаной пригрузкой мокрого откоса.
 Тип III. Западная торфяная дамба с песчаной пригрузкой слоем в 1,5-4 м.
 Тип IV. Западная торфяная дамба с песчаной пригрузкой слоем в 0,3 м.
 Тип V. Южная торфяная дамба с зубом.
 Тип VI. Северная торфяная дамба без песчаной пригрузки.

Для наблюдения над осадкой торфяного основания были установлены перед отсыпкой ядра дамбы деревянные реперы на поверхности торфяного основания дамб в шести точках на каждом срединном створе всех опытных дамб (фиг. 62) за исключением дамбы V, в которой были установлены только 4 репера.

Осадка основания определялась периодической нивелировкой реперов через каждые шесть дней. В ответственные моменты (в случае ава-

рий, при наполнении водоема водой) производились дополнительные наблюдения. Велись также наблюдения и за уровнем грунтовых вод в дамбах с помощью устройств по средним створам смотровых колодцев.

Для создания напора водоем опытного участка был наполнен водой до отм. 129,00 м при минимальной отметке гребня дамб 129,59 м. Наполнение водоема производилось непрерывно в течение 25 суток насосами из озера по деревянному лотку через восточную дамбу, а также насосом и сифоном — через южную поперечную дамбу из котлована для дюкера.

Темп наполнения характеризуется цифрами, приведенными в табл. 47.

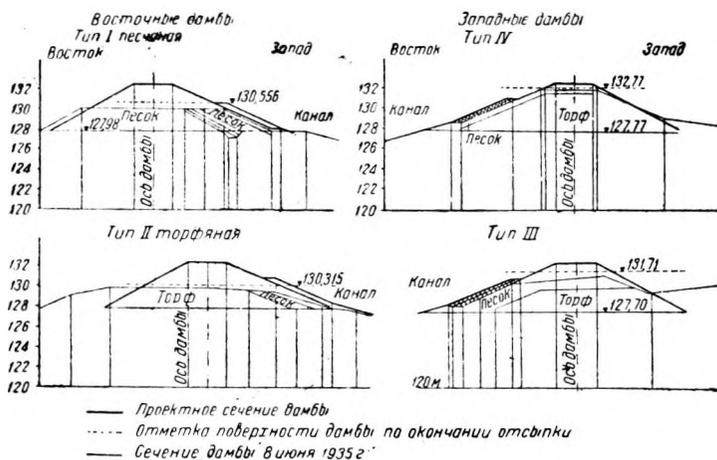
Полная глубина наполнения была равна 4,5 ж. Наполнение прошло без аварий, не считая неопасных трещин на северной поперечной дамбе. Для поддержания горизонта воды на постоянном уровне производилась периодическая подкачка воды при понижении уровня ее на 0,05 ж.

Помимо наблюдения над осадкой дамб определялись: деформация дамб и поперечного профиля канала, испарение воды с поверхности и фильтрация воды через дамбы.

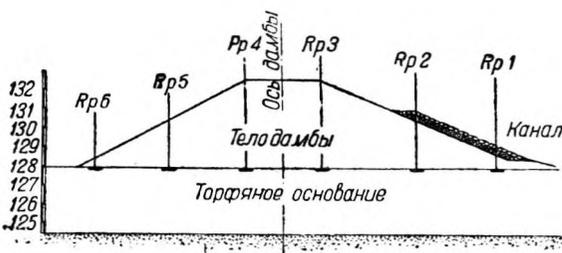
б) денения над осадкой дамб. Осадка торфяного основания и

тела дамбы зависит от величины удельного давления на единицу площади, от толщины сжимаемого основания, от естественной влажности несущего основания, от величины зольности торфа и степени разложения массы, имеющих также непосредственное влияние на фильтрационные свойства торфа, и от времени действия нагрузки на основание.

Совокупностью перечисленных и других факторов обуславливается степень сжатия и уплотнения торфа в вертикальном направлении, происходящих за счет уменьшения порозности массы без бокового ее смещения вследствие выпирания и оползания. Сжимаемость торфа с нарушенной или ненарушенной



Фиг. 61. Профили торфяных дамб с показанием пределов отсыпки и осадки.



Фиг. 62. Схема расположения реперов для наблюдения над осадкой торфяного основания.

Таблица 47
Темпы наполнения водой опытного водоема на болоте вида VII

Порядковые метры снизу	Суточная толщина слоя воды в м	Число суток
1-й метр	0,20	5
2-й "	0,25	4
3-й "	0,20	5
4-й "	0,15	6
4,5-й "	0,10	5
		25

Осадки опытных дамб

№ репера	Глубина торфяной залежи от подошвы дамбы до минерального грунта в м	Толщина слоя торфа, отсыпанн. в дамбу без песчаной пригрузки в м	Количество суток от начала до окончания отсыпки	Осадка торфяного основания за время отсыпки дамбы			Осадка торфяного основания от начала отсыпки до момента резкого уменьшения величины осадки				Осадка торфяного основания от начала отсыпки до момента окончания заметных осадок				Осадка тела дамбы за время от окончания отсыпки до окончания осадки основания в % от первоначальной высоты
				абсолютная в см	в % к глубине торфа в залежи	в % от максимальной осадки	количество суток от начала отсыпки	осадка в см	в % к глубине торфа в залежи	в % от максимальной осадки	количество суток от начала отсыпки	осадка в см	осадка в % к глубине торфа в залежи	осадка в % от максимальной осадки	
Дамба I															
1															
2	3,02	1,129	56	38,5	12,74										
3	3,08	1,656	56	73,3	23,8		123	90,5	29,4						
4	3,19	1,566	56	73,3	23,0	78,8	123	89,0	27,9	95,9	266	92,9	29,1	100	—
5	3,24	1,635	56	66,8	20,6	80,5	123				266	82,9	25,6	100	
6	3,32	1,69	56	37,0	11,15	23,0	123				266	48,3	13,1	100	
Дамба II															
1	3,75	1,78	15	20,6	5,5	46,1	63	36,8	9,8	82,5	171	44,6	11,9	100	12,2
2	3,75	1,46	25	5,1	1,4	9,75	110	49,8	13,3	95,2	201	52,3	13,9	100	19,9
3	3,65	2,67	19	19,4	5,3	46,8	93	40,0	11,0	96,6	207	41,4	11,3	100	8,8
4	3,70	2,66	19	19,3	5,2	47,6	80	38,9	10,5	96,0	207	40,5	10,9	100	9,2
5	3,75	2,37	13	8,9	2,4	31,6	87	27,8	7,4	98,5	201	28,2	7,5	100	6,2
6	3,88	1,30	38	6,8	1,8	32,4	74	18,8	4,8	89,5	201	21,0	5,4	100	8,3
Дамба III															
1	4,25	1,222	15	0,8	0,2										
2	4,00	1,763	23	7,9	2,0										
3	3,75	3,994	54	52,5	14,0	44,1	182	101,5	27,1	85,3	336	119	31,7	100	8,6
4	3,75	4,013	54	43,2	11,5	45,0	207	83,5	22,3	87,0	336	95,9	25,6	100	4,4
5	3,90	3,101	41	25,3	6,5	37,3	182	56,1	14,4	82,6	336	67,9	17,4	100	16,5
6	4,05	1,665	23	+3,3	+0,8		182	25,7	6,3	68,0	336	37,8	9,3	100	23,6
Дамба IV															
1	3,35	1,79	23	9,2	2,7	14,7	212	53,8	16,1	86,0	362	62,6	18,7	100	
2	3,28	2,87	35	24,2	7,4	25,4	260	86,5	26,4	90,6	362	95,4	29,1	100	3,4
3	3,13	4,60	48	49,4	15,8	36,3	260	126,2	40,3	92,6	362	136,1	43,5	100	5,7
4	3,11	4,54	48	43,4	14,0	41,5	255	96,0	30,9	91,4	362	105,0	33,8	100	7,8
5	3,07	3,18	35	20,7	6,7	31,1	195	54,4	17,7	81,7	362	66,6	21,7	100	0,6
6	3,04	1,83	23	7,4	2,4	19,4	195	28,6	9,4	75,0	S62	38,2	12,6	100	
Дамба V															
1	7,05	2,106	118	58,1	8,2	67,8	194	69,1	9,8	80,6	285	85,6	12,1	100	40,4
2	7,65	3,071	61	52,6	6,9	52,8	141	83,4	10,9	83,6	285	99,7	13,0	100	2,2
3	7,85	3,108	74	51,0	6,5	53,5	129	68,8	8,5	72,2	285	95,3	12,1	100	4,1
4	7,90	0,860	13	3,4	0,4	9,25	135	26,2	3,3	71,4	285	36,7	4,6	100	0,07
5															
6															
Дамба VI															
1	2,70	1,86	68				146	36,5	13,5	97,5	334	37,4	13,85	100	+2,75
2	2,65	4,251	68				146	70,6	26,7	94,5	334	74,6	28,10	100	0,63
3	2,65	5,305	68	56,7	21,4	65,2	146	79,5	30,0	91,4	334	86,9	32,8	100	10,5
4	2,70	5,245	68	55,5	20,6	66,1	146	77,0	28,8	91,6	334	83,9	31,1	100	11,3
5	2,75	2,922	68				146	47,3	17,2	96,0	334	49,3	18,0	100	11,3
6	2,75		68				146				334			100	

структурой обычно определяется компрессионной кривой, характеризующей изменение влажности массы от удельного давления.

Подсчеты осадок основания по данным нивелировки реперов были приурочены к следующим трем периодам.

1. Осадку в период отсыпки дамб. Этот период включает: а) осадку от начала отсыпки торфа в тело дамбы до момента окончания ее и б) осадку от начала отсыпки торфа в дамбы до окончания пригрузки песком.

2. Осадку от начала отсыпки до момента резкого снижения величины осадки.

3. Осадку от начала отсыпки до момента наступления стабилизации осадки, когда повторные нивелировки не обнаруживают дальнейшей осадки или отмечают ее в пределах точности нивелировки.

За действующую удельную нагрузку на торфяное основание был принят вес отсыпанного в тело дамбы торфа, а также вес песка пригрузки; высота насыпи считалась от осевшего основания до поверхности гребня (срединные реперы) или откоса (боковые реперы).

Подсчет осадки тела дамб был приурочен к следующим двум периодам:

1) от момента окончания отсыпки тела дамбы до момента резкого уменьшения величины осадки основания; для дамб, отсыпанных только из торфа, подсчет велся от момента окончания его отсыпки; для дамб с пригрузкой тела песком — от момента окончания этой пригрузки;

2) от момента окончания отсыпки тела (с тем же примечанием) до момента наступления стабилизации осадки основания дамбы.

Подсчет веса дамб производился по следующим двум вариантам:

1) вес единицы объема торфа, а также песка и камня, где они имелись, принимался без учета взвешивания водой;

2) вес единицы объема в зоне насыщения грунтовыми водами принимался с учетом взвешивания водой, а в зоне выше уровня грунтовых вод — полный: для торфа — 1,033, песка — 1,7, гравия и камня — 2,1; взвешенного торфа — 0,065. Уровень грунтовых вод был принят средний по состоянию его к моменту наполнения опытного бассейна водой.

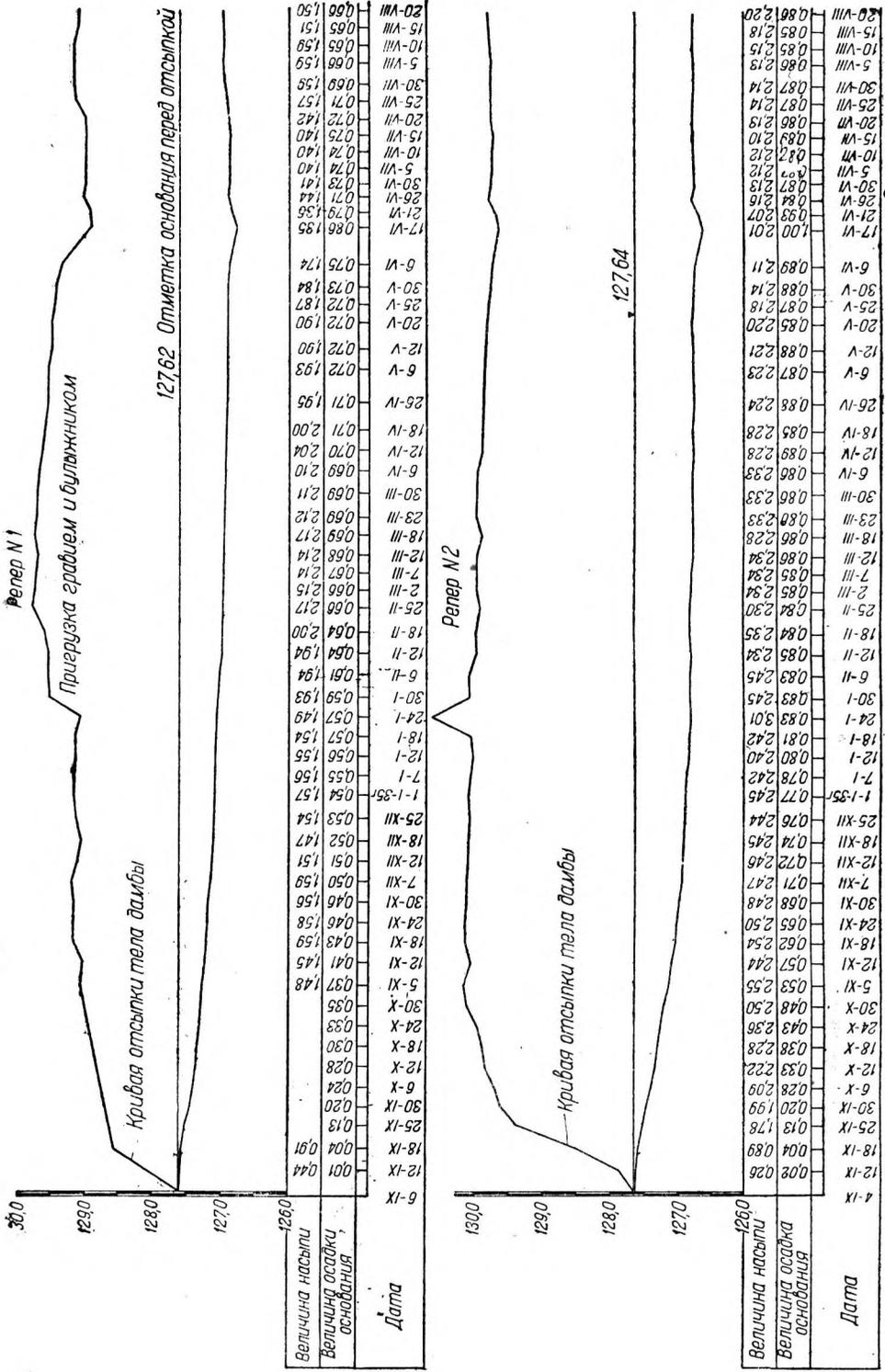
Результаты подсчета осадок приводятся в таблице осадок (табл. 48).

Сопоставление величин полных осадок торфяных оснований под гребнем дамб на реперах № 3 и 4 показывает, что наибольшей абсолютной величины достигли полные осадки под западными дамбами, отсыпанными на подпорной стороне. Для удобства обозрения сравнительные данные полных осадок повторены в табл. 49.

Сопоставление данных полных осадок

Т а б л и ц а 49

№ типов дамб	Наименование дамб (по фиг. 60)	Глубина торфяного основания в м	Осадка			
			на репере № 3		на репере № 4	
			абсолютная в см	в % от глубины основа. ния	абсолютная в см	в % от глубины основания
I	Восточная песчаная со слоистым торфяным экраном	3,13			92,9	29,1
II	Восточная торфяная с песчаной пригрузкой мокрого откоса	3,67	41,4	11,3	40,5	10,9
III	Западная торфяная с песчаной пригрузкой 1,5 м	3,75	119,0	31,7	95,9	25,6
IV	Западная торфяная с песчаной пригрузкой 0,3 м	3,12	136,1	43,5	105,0	33,8
V	Южная торфяная с каменной наброской мокрого откоса	7,87	95,3	12,1	36,7	4,6
VI	Северная торфяная	2,67	86,9	32,8	83,9	31,1

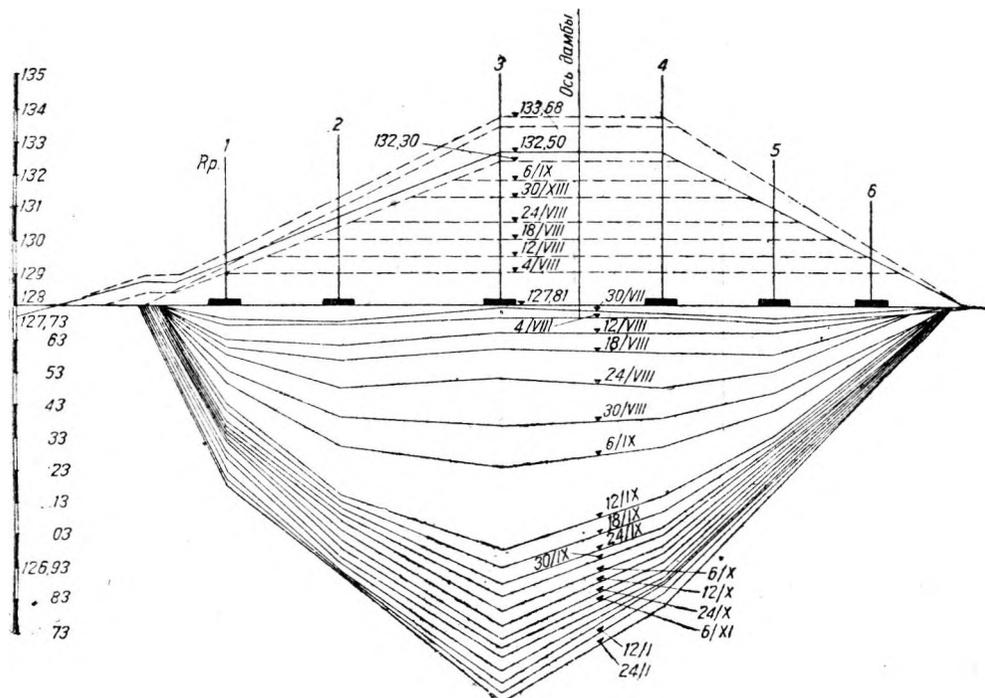


Фиг. 63. Диаграмма осадок насыпи и основания южной опытной дамбы (тип V).

Отсыпка дамб производилась в различное время. Так, дамба IV начата отсыпкой вскоре после начала работ на участке, когда основание еще не было в значительной степени осушено и не могло поэтому дать значительную осадку. Поэтому суммарная осадка под западными дамбами получилась сравнительно большой. Западные дамбы дали большую осадку также и в процентах от общей мощности сжимаемого основания, имеющей сравнительно незначительную величину (3,70 м).

Восточные дамбы отсыпались примерно на 3,5 месяца позднее западных, и за указанный период уже произошла значительная осадка основания за счет осушения.

Сравнительно большая величина линейной осадки южной торфяной дамбы при высоте тела в 3 м обуславливается большой глубиной (7,87 м)



Фиг. 64. Осадки торфяного основания во время отсыпки приканальной опытной дамбы на болоте вида VII.

основания, подстилаемого мягкими минеральными грунтами; этим же обуславливается и относительно малый процент осадки той же южной дамбы.

Таким образом неравномерные осадки основания под дамбами объясняются в первую очередь неравномерной влажностью торфяного основания до начала отсыпки дамб.

Осушение опытного участка фактически началось одновременно с началом работ на нем. Интенсивность осушения была примерно одинаковой для всех опытных дамб и определялась главным образом выемкой торфа из русла канала, куда стекала отжатая из торфяного основания вода. Из образовавшихся после забоев котлованов вода удалялась с помощью насосов.

Динамика осадки основания характеризуется лучше всего диаграммами, на которых указывается весь ход работ по отсыпке тела дамб и дается осадка для каждого репера. Для характеристики приводим диаграммы, показывающие ход осадки насыпи и основания для дамбы V (фиг. 63) и для западной опытной приканальной дамбы (фиг. 64).

В табл. 50 приводится сопоставление динамики и интенсивности осадки основания за первые два периода, именно за период отсыпки (1) и за пе-

Динамика и интенсивность осадки основания под опытными дамбами

№ типа опытных дамб	Периоды осадки	№ реперов											
		1		2		3		4		5		6	
		число дней	осадка в %										
I {	1							56	78,7	56	80,5	56	23
	2							123	95,9				
II {	1	15	46,0	25	9,75	19	48,8	19	47,6	13	31,6	38	32,4
	2	63	82,5	110	95,2	93	96,6	80	96,0	87	98,5	74	89,5
III {	1					54	44,1		45,0	41	37,3		
	2					182	85,3	207	87,0	182	82,6	182	68,0
IV {	1	23	14,7	35	25,4	48	36,3	48	41,5	35	31,1	23	19,4
	2	212	86,0	260	90,6	260	92,6	255	91,4	195	81,7	195	75,0
V {	1	118	67,8	61	52,8	74	53,5	13	9,25				
	2	194	80,6	141	83,6	129	72,2	135	71,4				
VI {	1					68	65,2	68	66,1				
	2	146	97,5	146	94,5	146	91,4	146	91,6	146	96,0		

Наиболее интенсивная осадка торфяного основания происходила под песчаной дамбой I, где через 56 дней от начала отсыпки осадка уже достигла 80% и через 123 дня — 96% от полной осадки. На торфяных дамбах за первые два месяца наблюдалась осадка лишь около 50%; резкое увеличение осадки происходило только через 150—200 дней. Более ускоренная осадка торфяного основания под дамбой I объясняется дренирующими свойствами песка.

Для всех типов дамб осадки основания под телом дамбы со стороны мокрого откоса оказались значительно большими, чем со стороны сухого откоса. Большую осадку основания, прилегающего к выемке канала, можно объяснить более быстрой отдачей воды в выемку вследствие меньшего пути фильтрации и более интенсивным осушающим действием самой выемки. Особенно резкая разница в размерах осадки со стороны мокрого и сухого откосов наблюдается для дамбы V.

Осадку торфяного основания наблюдается и под откосами дамб в соответствии с удельной нагрузкой. Вследствие осадки откосы делаются более пологими, что нужно иметь в виду при проектировании. Наибольшая осадка откосов и бровки подошвы дамб со стороны мокрого откоса получается от пригрузки их песком и крепления каменной наброской, что можно заметить из сопоставления осадок для пригруженных дамб с осадками для дамбы VI, не пригруженной.

в) Расчет осадки торфяного основания под опытными дамбами. Для расчета осадок торфяного грунта под насыпью кроме мощности сжимаемого основания и высоты насыпи необходимы данные, характеризующие стратиграфический профиль залежи и физико-механические свойства торфа: влажность, водопроницаемость, компрессионные свойства, степень разложения и др.

На строительстве канала Москва — Волга расчет осадок торфяного основания под опытными дамбами производился по методу, изложенному в книге Цытовича.

Величина осадки основания выражается формулой ¹.

$$S = h_1 \frac{(\epsilon_n - \epsilon_k)}{1 + \epsilon_n}, \quad (31)$$

где S — величина осадки сжимаемого основания в см;

h_1 — начальная высота слоя грунта в см;

ϵ_n — коэффициент порозности торфяного грунта перед нагрузкой;

ϵ_k — коэффициент порозности грунта по окончании затухания осадки под сооружением.

Первоначальная высота h_1 слоя грунта измерялась нивелировкой по реперам в различные периоды отсыпки дамб.

Первоначальный коэффициент порозности ϵ грунта основания перед отсыпкой дамбы вычислялся по влажности его и удельному весу. Конечный коэффициент порозности ϵ_k определялся или непосредственно по компрессионным кривым (фиг. 65) для торфов основания или по формуле компрессионной кривой для соответствующего давления [см. гл. II, п. 9, формулу (15)].

Коэффициент пористости определялся по формуле²:

$$\epsilon_n = \frac{100 \Delta}{\gamma (100 - W_c)} - 1, \quad (32)$$

где Δ — удельный вес торфа;

γ — объемный вес сырого торфа;

W_c — весовая влажность по отношению к сырому торфу.

Перед началом отсыпки объемный вес торфа в залежи не определялся, а потому для приближенной его оценки руководствовались данными истинного удельного веса сухого вещества. Удельный вес воды принимался за 1,0 и содержание воздуха в торфе принималось в 5% от объема, как это получалось в среднем при исследовании торфа болота вида VII.

Подсчет объемного веса производился по формуле:

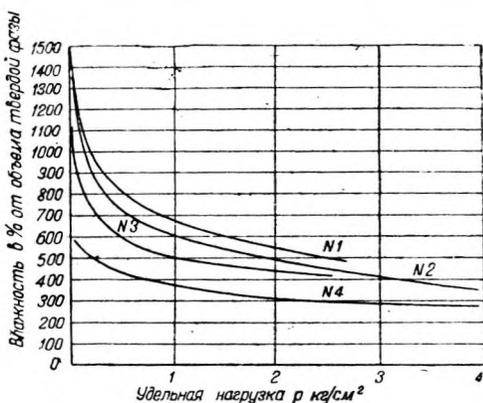
$$\gamma = \frac{100 - V_3}{W_c + \frac{100 - W_c}{\Delta}}, \quad (33)$$

где V_3 — объем воздуха в процентах от всего объема грунта; остальные обозначения прежние.

Предварительно были получены компрессионные кривые и их уравнения для торфяных грунтов из основания и тела дамб на опытном участке. Эти данные приводятся в табл. 51.

Вычисление и построение компрессионных кривых производилось по способу, изложенному в главе II, п. 9.

В некоторых случаях наблюдаемые величины коэффициента порозности торфа в залежи не укладывались на компрессионной кривой. Для этих случаев подбирались осредненные компрессионные кривые (фиг. 66), вычисленные и построенные как средние из величин, получаемых по экспериментальным компрессионным кривым для торфов с различным содержанием минеральной составной части (золы).



Фиг. 65. Компрессионные кривые для торфа болот вида III (№ 1), вида VIII (№ 2), вида VII (№ 3) и вида VI (№ 4).

График № 3 для торфа с нарушенной структурой, остальные для торфа с ненарушенной структурой.

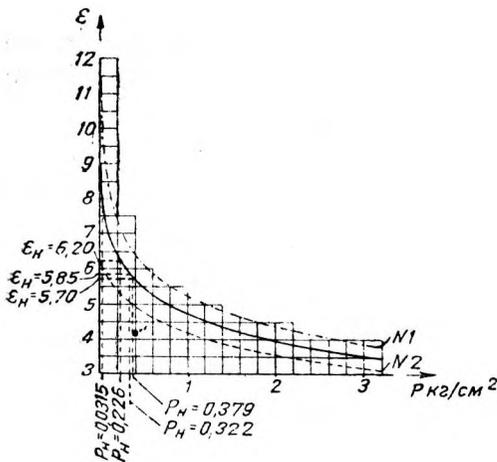
¹ Н. А. Цыгович, Основы механики грунта, стр. 139, ОНТИ, 1934.

² Выше, в гл. II, п. 9 применялась более простая формула (20), так как там торф полностью насыщался водой до состояния грунтовой массы. *Ред.*

Характеристика грунтов основания опытных торфяных дамб

№ п/п	№ образцов	Зольность	Удельный вес	Пластичность			Характеристика грунта	Уравнение компрессионной кривой
				Верхний предел F	Нижний предел A	Число пластичности Φ		
1	8825	14,6	1,73	490	473	17	Тростниково-древесный торф со степенью разложения 70%	$\epsilon = 5,5 - 1,3 \ln p$
2	8823	39,2	1,87	(316)	(164)	(152)	Древесный заиленный торф	$\epsilon = 4,35 - 1,045 \ln (p + 0,185)$
3	5660	1,68	1,68				Древесный торф	$\epsilon = 3,8 - 1,35 \ln (p + 0,18)$
4	18010	2,60	2,60	57,7	48,5	9,2	Мелкозернистая, иловато-пылеватая супесь с неразложившимися остатками растений, грунт карбонатный	$\epsilon = 2,28 - 0,4 \ln p$
5	18014	2,64	2,64	52,3	41,1	11,2	Мелкозернистая супесь с примесью органического вещества, грунт карбонатный	$\epsilon = 1,13 - 0,12 \ln P$
6	18012	2,64	2,64	21,62	19,82	1,79	Разнозернистая тощая супесь со следами органического вещества, грунт карбонатный	$\epsilon = 0,58 - 0,045 \ln p$

Подсчет напряжений для всех дамб кроме дамбы V, расположенной на глубоком торфяном основании (7,87 м), производился в предположении, что вес дамбы передается на всю глубину сжимаемых торфяных и



Фиг. 66. Компрессионные кривые для торфа опытного участка.

Характеристика торфа.

№ 1. Торф древесный, степень разложения 80 %, истинный удельный вес 1,62; $\epsilon = 5,23 - 2,96 \ln p$; влажность в естественном состоянии $W_c = 83\%$; зольность $A_c = 12\%$.

№ 2* Заиленный, хорошо разложившийся тростниково-древесный торф. Зольность $A_c = 38\%$;

$$\epsilon = 4,35 - 2,41 \ln (p + 0,125).$$

иловатых слоев до твердого минерального грунта. Для основания дамбы V были построены эпюры напряжений. Для первых двух слоев основания глубиной 3,3 м принималось, что нагрузка воспринимается полностью, и подсчет потери напряжений производился только для слоев, расположенных глубже 3,3 м. Для тех дамб, на которых производилась дополнительная досыпка, производился подсчет дополнительной осадки, происходящей от досыпки. Бели второй подсчет давал значительную величину осадки, то делался еще третий подсчет, и этим подсчетом, дающим уже незначительные величины осадок, ограничивались. Таким путем производился подсчет интегральной осадки, происходящей при постепенной досыпке дамб до требуемых отметок.

Сравнительные данные расчетных и наблюдаемых осадок основания под дамбами в местах расположения реперов приводятся в табл. 52.

Характеристика торфа в основании под приканальной дамбой в районе болота вида I

Расстояние от оси дамбы	Отметка верха и низа слоев	Состав и строение залежи	Средняя влажность $W_{ср}$ в %	Средний удельный вес Δ	Зольность в %	Степень разложения в %	Пластичность			Угол трения φ	Сила сцепления C в кг/см ²	Формула компрессионной кривой
							F	A	Φ			
— 10,5 (восток)	127, 72	Осоково-древесный торф	83,2	1,63	16,80	61,5	507	372	135	31°30'	0,510	$\epsilon = 5,50 - 3 \lg p$
	127, 26											
	127, 26	Древесный торф	83,5	1,63	17,04	56,1	522	368	155	30°40'	0,254	$\epsilon = 4,35 - 2,4 \lg (p + 0,185)$
	125, 80											
125, 80	Заиленный древесный торф	78	1,87	—	62,7	154	112	42	18°15'	0,615		
124, 12												
Дно—серый песок												
0,0 ось	127, 72	Древесно-осоковый и осоково-древесный торф	83,25	1,63	16,80	65	507	372	135	31°30'	0,510	$\epsilon = 5,50 - 3 \lg p$
	127, 22											
	127, 22	Древесный торф	84,35	1,63	17,04	59,8	522	368	155	30°40'	0,254	
	125, 72											
	125, 72	Заиленный древесный торф	72,1	1,87	—	62,7	202	157	45	—	—	$\epsilon = 4,35 - 2,4 \lg (p + 0,185)$
125, 16												
125, 16	Глинистый ил	63,5	2,595	—	—	106	67	39	18°15'	0,615	$\epsilon = 2,28 - 0,92 \lg p$	
124, 60												
Дно—серый песок												
+ 9,0 (запад)	127, 72	Осоково-древесный торф	84,5	1,63	16,80	61,5	507	372	135	31°30'	0,510	$\epsilon = 5,50 - 3 \lg p$
	127, 10											
	127, 10	Древесный торф	84,5	1,63	17,04	56,1	522	368	155	30°40'	0,254	
	125, 60											
	125, 60	Заиленный древесный торф	70,6	1,87	—	62,7	202	157	45	—	—	$\epsilon = 4,35 - 2,4 \lg (p + 0,185)$
125, 27												
125, 27	Глинистый ил	54,2	2,595	—	—	106	67	39	18°15'	0,615	$\epsilon = 2,28 - 0,92 \lg p$	
124, 29												
Дно—серый песок												

Для расчета осадки в основании под дамбой берутся на каждой вертикали 4 точки, кроме вертикали —10,5, на которой взяты 3 точки. Эти

Таблица 54

Координаты z центров тяжести слоев основания

№ сжимаемых слоев	Для вертикали —10,5		Для вертикали 0,0		Для вертикали +9,0	
	m	в долях b	m	в долях b	m	в долях b
1	0,23	0,057	0,25	0,062	0,31	0,077
2	1,19	0,298	1,25	0,312	1,37	0,342
3	2,76	0,69	2,28	0,57	2,28	0,570
4			2,84	0,709	2,94	0,735

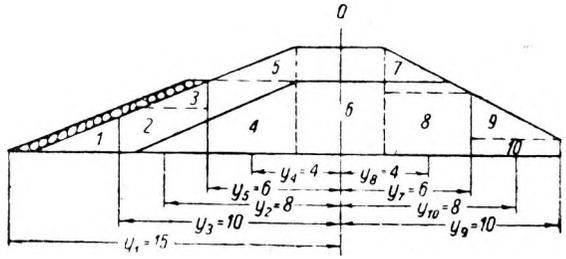
точки берутся в середине каждого однородного слоя (центр тяжести слоя). Расстояния точек основания дамбы обозначены

через z (фиг. 68). Значения координат z в l в долях $b = 4$ м для каждой вертикали приведены в табл. 54.

Ввиду того что интенсивность нагрузки от дамбы на основание меняется по ширине дамбы, то для подсчета удельного давления в указанных выше точках грунта основания поперечное сечение дамбы разделено верти-

кальными и горизонтальными линиями на ряд треугольных и прямоугольных элементов. На фиг. 68 эти элементы обозначены порядковыми номерами, начиная от мокрого откоса.

Для каждой из трех вертикалей подсчитаны горизонтальные расстояния y от оси до каждого из этих элементов, причем для треугольного элемента y считается до вершины острого угла, а для прямоугольного элемента — до его центра тяжести. На фиг. 69 показаны положение и абсолютная величина y для вертикали 0. Значения координат y для всех трех вертикалей в л и долях b даны в табл. 55.



Фиг. 69. Положение и абсолютная величина координат y для вертикали 0.

Имея координаты y и z , выраженные в долях b ширины элемента, можно рассчитать вер-

Т а б л и ц а 5 5

Координаты y

№ вертикалей		№ элементов									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Вертикаль —10,5	В долях b	0,90	0,625	-0,125	1,625	-1,125	2,625	4,125	3,625	5,125	4,625
	в м	4,5	2,5	-0,5	6,5	-4,5	10,5	16,5	14,5	20,5	18,5
Вертикаль 0,0	В долях b	3,0	2,0	2,5	1,0	1,5	0	1,5	1,0	2,5	2,0
	в м	15,0	8,0	10,0	4,0	6,0	0	6,0	4,0	10,0	8,0
Вертикаль +9	В долях b	4,8	4,25	4,75	3,25	3,75	2,25	-0,75	1,25	0,25	0,25
	в м	24	17	19	13	15	9	-3,0	5,0	1,0	1,0

тикальное напряжение σ_z в центрах тяжести каждого сжимаемого слоя на каждой вертикали. Для этого находится по таблицам для каждого элемента вызываемое им напряжение в долях от интенсивности нагрузки P кг/см² и удельное давление p_0 ¹.

При подсчете величин нагрузки P , приведенных в табл. 56, приняты следующие объемные веса: для отсыпанного торфа — 1,033, для песка — 1,70 и для каменной наброски — 2,1.

Размеры высоты насыпи h взяты по типовому профилю дамбы (фиг. 67). Средняя нагрузка от прямоугольного элемента сечения бралась, как среднее арифметическое от нагрузки по левой и правой сторонам элемента.

Пользуясь вычисленными величинами нагрузки P , беря промежуточные величины и умножая их на удельное давление, можно получить расчетные напряжения для центра тяжести каждого сжимаемого слоя основания дамбы по каждой вертикали. В табл. 57 приводится расчет напряжений для первого сжимаемого слоя основания.

Расчетные напряжения для других слоев основания подсчитываются аналогично. Итоговые величины напряжения выражаются следующими цифрами (табл. 57а).

Расчет осадки производился по приведенной выше формуле (31) (см. расчет осадки торфяного основания под опытными дамбами).

¹ Ц и т о в и ч Н. А., Основы механики грунтов, стр. 97 и 100, ОНТИ, 1934.

Нагрузка от дамбы на основание

№ элементов	h в м	Объемный вес γ	P кг/см ²	Σ P кг/см ²	№ элементов	h в м	Объемный вес γ	P кг/см ²	Σ P кг/см ²
1	0,4	2,1	0,084	0,326	5	1,6	1,7	0,272	0,272
1	1,54	1,7	0,242		6	1,5	1,7	0,255	
2	лев. 0,4	2,1	0,084	0,326	6	3,28	1,033	0,339	0,594
2	1,54	1,7	0,242	0,290	7	1,5	1,7	0,255	
2	прав. 0,60	1,7	0,102	0,258	7	0,4	1,033	0,041	0,296
2	1,46	1,033	0,156	0,290	8	2,86	1,033	0,296	
3	0,4	2,1	0,084	0,271	9	1,9	1,033	0,196	0,196
3	1,10	1,7	0,187		10	0,97	1,033	0,100	
4	лев. 1,7	1,7	0,289	0,440	—	—	—	—	—
4	" 1,46	1,033	0,151	0,387	—	—	—	—	—
4	прав. 3,28	1,033	0,334	0,387	—	—	—	—	—

Таблица 57

Напряжения для первого сжимаемого слоя

№ элементов	Напряжения по вертикали —10,5					Напряжения по вертикали 0,0					Напряжения по вертикали 9,0				
	У	z	p ₀	P	σ	У	z	p ₀	P	σ	у	z	p ₀	P	σ
1	0,90	0,057	0,58	0,326	0,189	3,0	0,062	0	0,326	0	4,8	0,077	0	0,326	0
2	0,625	0,057	0,37	0,290	0,107	2,0	0,062	0	0,290	0	4,25	0,077	0	0,290	0
3	-0,125	0,057	0,011	0,271	0,003	2,5	0,062	0	0,271	0	4,75	0,077	0	0,271	0
4	1,625	0,057	0	0,378	0	1,0	0,062	0	0,378	0	3,25	0,077	0	0,378	0
5	-1,125	0,057	0	0,272	0	1,5	0,062	0,004	0,272	0,001	3,75	0,077	0	0,272	0
6	2,625	0,057	0	0,594	0	0	0,062	0,99	0,594	0,588	2,25	0,077	0	0,594	0
7	4,125	0,057	0	0,294	0	1,5	0,062	0,004	0,294	0,001	0,75	0,077	0,047	0,294	0,0138
8	3,625	0,057	0	0,296	0	1,0	0,062	0	0,296	0	1,25	0,077	0	0,296	0
9	5,125	0,057	0	0,196	0	2,5	0,062	0	0,196	0	0,25	0,077	0,254	0,196	0,05
10	4,625	0,057	0	0,100	0	2,0	0,062	0	0,100	0	0,25	0,077	0,96	0,100	0,096

Итого 0,299 кг/см²

Итого 0,590 кг/см²

Итого 0,160 кг/см²

Таблица 57а

Напряжения для всех сжимаемых слоев

№ слоев основания	Напряжения σ кг/см ² по вертикалям расчетных точек основания		
	-10,5	0,0	+ 9,0
1	0,299	0,590	0,160
2	0,298	0,575	0,145
3	0,264	0,572	0,144
4		0,567	0,144

Для отдельного слоя основания формула будет иметь вид:

$$\Delta H = \frac{(\epsilon_n - \epsilon_k) H}{1 + \epsilon_n}, \quad (34)$$

где H — толщина сжимаемого слоя в см;

ΔH—величина осадки слоя в см.

Остальные обозначения—по предыдущему.

Величина H берется по масштабу на поперечном профиле

дамбы или по табл. 53, где даны отметки горизонтов, вверху и внизу каждого слоя.

Величина ϵ_n подсчитывается, пользуясь формулами (32) и (33).

Величина ϵ_k подсчитывалась по формуле компрессионной кривой для данного сжимаемого слоя по конечной сжимающей силе P_k в центре тяжести слоя.

Конечная нагрузка P_k состоит из начальной нагрузки P_n и напряжения σ в центре тяжести слоя под влиянием вышележащей нагрузки:

$$P_k = P_n + \sigma. \quad (35)$$

Общая осадка всего основания получается суммированием осадок отдельных слоев ΔH .

Расчет осадки для первого слоя основания приводится в табл. 58.

Таблица 58

Расчет осадки для первого слоя основания

№ вертикали	W%	P_n	σ	P_k	ϵ_n	ϵ_k	$\Delta \epsilon = \epsilon_k - \epsilon_n$	H см	ΔH см	Расчет
-10,5	83,2	0,097	0,299	0,396	8,55	6,71	1,84	46	8,86	$\Delta H = \frac{1,84 \cdot 46}{1 + 8,55} = 8,86 \text{ см}$
0,0	83,25	0,097	0,590	0,687	8,55	5,99	2,56	50	13,4	$\Delta H = \frac{2,56 \cdot 50}{1 + 8,55} = 13,4 \text{ „}$
+9,0	84,5	0,040	0,160	0,200	9,40	7,60	1,80	62	10,8	$\Delta H = \frac{1,80 \cdot 62}{1 + 9,40} = 10,8 \text{ „}$

В расчете принято: $\epsilon_k = 5,50 - 3 \ln P_k$; $\Delta = 1,63$ и $V_3 = 5\%$.

Для учета дополнительной осадки в результате досыпки дамб производится расчет осадок со вторым и третьим приближением до окончательной стабилизации осадки. Величина дополнительной осадки при втором приближении рассчитывается исходя из осадки первого подсчета.

Дополнительная нагрузка вызывает в сжимаемых слоях дополнительное напряжение, которое принимается прямо пропорциональным дополнительной нагрузке.

Подсчет напряжения для расчета конечных осадок второго приближения производится по приближенной формуле:

$$\sigma_2 = \sigma_1 + \frac{\sigma_1 \cdot \Delta P}{P}, \quad (36)$$

где σ_2 — искомое напряжение для расчета конечной осадки второго приближения;

σ_1 — рассчитанное напряжение для первого подсчета осадок;

P — удельное давление по вертикали при первом подсчете осадок;

ΔP — дополнительная нагрузка при досыпке до проектных габаритов.

Подсчет напряжений для второго приближения приводится в табл. 59.

Расчет конечной осадки первого слоя при втором приближении приводится в табл. 60.

Аналогичные расчеты производятся и для остальных слоев.

Расчетные осадки первого и второго подсчета для всех слоев основания приводятся в табл. 61.

Так как расхождения в осадках при первом и втором подсчетах незначительны, то дальнейших уточнений можно не делать.

Напряжения для второго приближения

№ слоев	Напряжения по вертикали — 10,5						Напряжения по вертикали 0,0						Напряжения по вертикали + 9,0										
	ΔH	γ	$\frac{\Delta P}{(\Delta H \gamma)}$	P	σ_1	$\frac{\sigma_1 \Delta P}{P}$	σ_2	№ сжимаемых слоев	ΔH	γ	$\frac{\Delta P}{(\Delta H \gamma)}$	P	σ_1	$\frac{\sigma_1 \Delta P}{P}$	σ_2	№ сжимаемых слоев	ΔH	γ	$\frac{\Delta P}{(\Delta H \gamma)}$	P	σ_1	$\frac{\sigma_1 \Delta P}{P}$	σ_2
1	8,9	1,7	0,015	0,326	0,299	0,012	0,311	1	13,4	1,7	0,023	0,594	0,590	0,023	0,613	1	10,8	1,7	0,018	0,160	0,160	0,018	0,178
2	29,1	1,7	0,050	0,326	0,298	0,046	0,344	2	45,9	1,7	0,078	0,594	0,575	0,075	0,650	2	24,5	1,7	0,042	0,160	0,145	0,038	0,183
3	41,3	1,7	0,070	0,326	0,264	0,060	0,324	3	9,1	1,7	0,013	0,594	0,572	0,013	0,585	3	2,3	1,7	0,002	0,160	0,144	0,002	0,146
4	—	1,7	—	0,326	—	—	—	4	22,1	1,7	0,038	0,594	0,567	0,036	0,603	4	9,4	1,7	0,016	0,160	0,144	0,012	0,156

Таблица 60

Конечная осадка первого слоя при втором приближении

№ вертикалей	$W_{ср}$	P_n	σ	P_k	ϵ_n^*	ϵ_k	$\Delta \epsilon$	$H_{с.м}$	$\Delta H_{с.м}$	Расчет
-10,5	83,2	0,097	0,311	0,408	8,55	6,66	1,90	46	9,0	$\Delta H = \frac{1,90 \cdot 46}{1 + 8,55} = 9,0 \text{ см}$
0,0	83,25	0,097	0,613	0,710	8,55	5,95	2,60	50	13,6	$\Delta H = \frac{2,60 \cdot 50}{1 + 8,55} = 13,6 \text{ см}$
+9,0	84,5	0,040	0,178	0,218	9,40	7,47	1,93	62	11,4	$\Delta H = \frac{1,93 \cdot 62}{1 + 9,40} = 11,4 \text{ см}$

Таблица 61

Осадки первого и второго приближений

№ слоев	Величина осадки для расчетных точек основания в см					
	Расчет первый			Расчет второй		
основания	-10,5	0,0	+9,0	-10,5	0,0	+9,0
1	8,86	13,4	10,8	9,0	13,6	11,4
2	29,1	45,9	24,5	31,7	48,7	28,8
3	41,3	9,14	2,32	43,3	9,3	2,3
4	—	22,1	9,4	—	22,4	9,4

В табл. 62 сопоставлены расчетные осадки во втором приближении с фактическими осадками, наблюдаемыми по реперам.

Таблица 62

Сравнение расчетных и наблюдаемых величин осадки основания под приканальной дамбой в районе болота вида I

№ вертикалей	Толщина сжимаемого основания в м	Нагрузка по вертикали в кг/см ²	Расчетная осадка в см						Наблюдаемая осадка	
			Слой				Общая осадка		см	% сжатия основания
			1-й	2-й	3-й	4-й	м	% сжатия основания		
—10,5	3,60	0,326	9,0	31,7	43,3		84,0	23,3	Сломан репер	
0,0	3,12	0,594	13,6	48,7	9,3	22,4	94,0	30,1	96,0	30,7
+9,0	3,43	0,160	11,4	28,8	2,3	9,4	52,0	15,0	26,0	7,8

д) Обработка массовых наблюдений над осадкой основания.

Результаты наблюдений над осадкой торфяного основания при переменной высоте насыпи (от верха насыпи до первоначальной отметки основания) на болотах вида III, IV и VII в осушенном и неосушенном состояниях были обработаны в зависимости от удельной нагрузки в виде табл. 63.

Таблица 63

Таблица осадки торфяного основания на болотах вида III, IV и VII

Удельная нагрузка <i>P</i> в кг/см ²	Осадка ΔH в % к глубине основания					
	Дамбы на болоте вида III		Дамбы на болоте вида IV		Дамбы на болоте вида VII	
	неосушенная залежь	осушенная залежь	неосушенная залежь	осушенная залежь	неосушенная залежь	осушенная залежь
0,100	12,34	7,28	8,91	6,20	5,84	3,67
0,200	24,68	14,56	17,82	12,40	11,68	7,34
0,300	37,02	21,84	26,73	18,60	17,52	11,01
0,400	49,36	29,12	35,64	24,80	23,36	14,68
0,500	61,70	36,40	44,55	31,0	29,20	18,34
0,600	74,04	43,68	53,46	37,20	35,04	22,02
0,700	86,38	50,96	62,37	43,40	40,88	25,68
0,800		58,24	71,28	49,60	46,72	29,36
0,900		65,52	80,19	55,80	52,56	33,03
1,000		72,80	89,10	62,0	58,40	36,67
Формула зависимости	$\Delta H = 123,4P$	$\Delta H = 72,8 P$	$\Delta H = 89,1 P$	$\Delta H = 62,0 P$	$\Delta H = 58,4 P$	$\Delta H = 36,67 P$

Материалом для составления таблицы послужили данные нивелировки на специально поставленных реперах на первоначальное основание дамб (до отсыпки ядра).

Таблица составлена для осушенной и неосушенной торфяной залежи основания и представляет прямолинейные зависимости процента осадки основания от удельной нагрузки, условно учитываемой по весу насыпи, считая от первоначальной отметки основания до верха насыпи. Как видно из таблицы, между удельной нагрузкой и осадкой оказалась прямолинейная зависимость. Эта зависимость выражается уравнением вида:

$$\Delta H = aP, \quad (37)$$

где ΔH —процент осадки дамб по отношению к глубине сжимаемого основания;

P — удельная нагрузка в $\text{кг}/\text{см}^2$;

a —коэффициент, зависящий от характера торфа на данном болоте и степени осушения торфяного основания. При обработке данных наблюдений влажность торфяной залежи была принята: неосушенной — в пределах от 88—90%, осушенной — 82—84%.

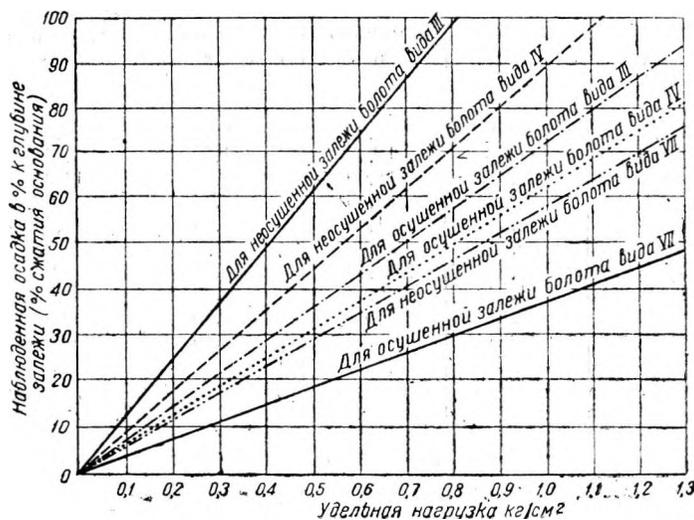
Для удобства пользования данные предыдущей таблицы нанесены на графики (фиг. 70), дающие зависимость наблюдаемых осадок основания дамб от величины удельной нагрузки.

Тангенс угла наклона прямой к оси абсциссы равен коэффициенту a в формуле (37)

Технические и физико-механические свойства торфов болота вида VII характеризуются следующими средними данными:

естественная влажность (весовая).....	85%
зольность.....	11—13%
ботанический состав (неразложившаяся часть)	
а) остатки ольхи, березы и сосны.....	55%
б) „ осоки.....	25%
в) „ тростника.....	10%
г) „ гипновых мхов.....	10%
..... 100%	
степень разложения торфа.....	65%
объемный вес.....	1,03 — 1,05
коэффициент фильтрации в неосушенном состоянии с ненарушенной структурой.....	$K_{100} = 0,0003 \text{ см/сек}$ (0,00018 — 0,000006)
угол внутреннего трения	$\varphi = 22^\circ 40'$
сила сцепления	$C = 85,2 \text{ кг}/\text{см}^2$
глубина залежи	3,5 — 7,0 м

Нужно иметь в виду, что торф не является абсолютно упругим телом, а потому зависимость между удельной нагрузкой и величиной сжатия (осадки) несущего основания (табл. 63) может наблюдаться только в пре-



Фиг. 70. График средней зависимости процента осадки торфяного основания от удельной нагрузки на болотах вида III, IV и VII.

интегрированной. Все эти условия относятся к торфяной залежи, подстилаемой твердыми минеральными грунтами.

Торфяные залежи, подстилаемые мягкими минеральными грунтами, должны быть выделены в особую группу, так как в данном случае осадка

определенных значений нагрузок до 0,6—0,7 $\text{кг}/\text{см}^2$ и три предельной мощности основания до 3,5—4,0 м. Дальнейшее увеличение сжимающих нагрузок будет вызывать пропорционально меньшее сжатие по затухающей линии. При более мощном основании торфяной залежи снятие по графику величины осадок будут преувеличенными. Очевидно, при большей мощности залежи нижние слои торфа будут воспринимать не полную нагрузку, а по затухающим эпюрам, и величина осадки будет

может происходить не только за счет уменьшения пористости, но и за счет смещения и выжимания неустойчивого подстилающего грунта основания.

В особую группу нужно также отнести болота, залежь которых произошла путем нарастания и лежит еще на водяной подушке. В таких болотах осадка может происходить в больших размерах по сравнению с болотами сплошного типа, а при переходе нагрузки за известный предел последняя обращается в критическую с разрывом торфяного слоя, что имело место на болоте вида IV.

Наблюденная осадка для нагрузок, превышающих $0,35 \text{ кг/см}^2$, несколько выше расчетной осадки по компрессионной кривой. Это объясняется тем, что компрессионной кривой учитывается осадка только за счет изменения пористости вследствие отжатия воды, тогда как показания репера включают не только изменение пористости, но и боковое смещение массы.

При небольших удельных нагрузках наблюдаемые осадки меньше расчетных, так как боковое смещение массы в этих случаях весьма незначительно.

При малых нагрузках процент обезвоживания основания довольно хорошо совпадает с процентом осадки залежи, так как осадка всецело обусловливается обезвоживанием массы; при больших нагрузках такого совпадения не замечается, так как на наблюдаемую осадку оказывает влияние и фактор смещения и выжимания массы.

В табл. 64 сопоставлены величины осадки основания под гребнем и откосами дамб, наблюдаемые по 27 реперам, и расчетные по компрессионной кривой для тех же точек.

Т а б л и ц а 6 4

Сопоставление расчетных и наблюдаемых величин осадки основания под откосами и гребнем дамбы

Данные	Положение реперов									
	Откосы дамбы					Гребень дамбы				
Высота насыпи над репером в м ...	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0	5,5	6,0
Удельное давление, соответствующее высоте насыпи, в кг/см^2 . . .	0,158	0,210	0,262	0,315	0,370	0,420	0,470	0,525	0,580	0,630
Осадка сжимаемого основания в % к глубине последнего:										
а) наблюдаемая по реперам	3,5	7,5	11,5	15,3	19,5	23,25	27,0	31,0	35,25	39,0
б) расчетная по компрессионным кривым	11,5	13,75	16,3	18,5	20,5	22,25	24,0	25,6	27,25	28,5
Разность между наблюдаемой и расчетной осадками (\pm)	-8	-6,25	-4,8	-3,2	-1,0	+1,0	+3,0	+5,4	+8,0	-10,5

е) Осадка торфяного ядра дамбы. На основании наблюдений (табл. 48) линейная осадка торфяного ядра дамб для всех случаев принята в среднем в размере 10% от высоты дамбы. Период, в течение которого происходит интенсивная осадка (до 95% от общей осадки), по наблюдениям составляет в среднем шесть месяцев. По истечении шести месяцев осадку можно считать только для вновь отсыпанной части дамбы, принимая отсыпанную часть за осушенное основание.

3. СРАВНЕНИЕ ПОЛУЧЕННЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ О ВЕЛИЧИНЕ ОСАДКИ С ЛИТЕРАТУРНЫМИ ДАННЫМИ

Нормами Бертона, приведенными в виде графика для американской практики осадка несущего торфяного основания под нагрузкой выражаются большими величинами, нежели это имело место в практике строительства канала. Бертон делит нагрузки на три группы: 1) $h = 0,9$ м, 2) $h = 0,9—1,2$ м и 3) $h = 1,2—1,5$ м. Соответственно трем группам нагрузки им даны кривые осадки основания². По этим кривым осадка основания равномерно увеличивается до глубины залежи 6 м; от 6 до 8 м она увеличивается быстрее, а при глубине торфа выше 8 м насыпь независимо от высоты ее погружается до твердого минерального грунта. Таким образом на болотах с глубиной больше 8 м сравнительно небольшая нагрузка превращается в аварийную, так как насыпь погружается на дно. В практике строительства канала указанного Бертоном явления не наблюдалось.

Известно, что торф своеобразно реагирует на внешнюю нагрузку. Главная реакция сводится к выжиманию воды, в результате чего повышается несущая способность торфа. Отдельные горизонты стратиграфического профиля торфяной залежи, представляющей чередование более разложившихся с менее разложившимися слоями, проявляют при отдаче воды последовательность и закономерность в изменении компрессионных свойств. Так сильно разложившиеся слои отдают воду в большей степени, нежели слабо разложившиеся слои, лежащие между ними. Между величинами осадки торфяного основания и объемом воды, отжатой при определенной удельной нагрузке, замечается известное соответствие. Кавальеры, отсыпанные на торфяном основании на болоте вида VII, погрузились в торфяное основание на 0,8 ж, причем объем вытесненной торфяной массы равнялся 5 000 м³. Средняя влажность торфа до отсыпки кавальера была 87,1%; после отсыпки в результате отжима влажность понизилась до 82,5%, объем выжатой воды составлял 5 450 м³ — цифра, близкая к объему вытесненного торфа. Следовательно для данной удельной нагрузки осадка торфа достигает своего предела, вода отжимается, и в торфяной массе при новом водном режиме наступает гидростатическое равновесие.

Повышение удельной нагрузки на то же основание вызывает дальнейший процесс осадки торфа. При условии медленного темпа работы (не более 8—10 г на 1 см²/сутки) и недопущения местных перегрузок даже на мощных торфяниках, глубина залежи которых превышает 8 м, аварийного разрыва сплошности массы не наблюдается.

Явление, подобное указанному Бертоном, наблюдалось на болоте вида IV в той части его, где торф подстился мощной свитой неустойчивых илистых разжиженных отложений, на месте бывшего заторфованного водоема. При удельной нагрузке на поверхность торфа в виде минеральной насыпи, превышающей 1 кг/см², произошел разрыв сплошности торфа. Однако это явление исключительное, находящее себе объяснение в особенностях строения лишь данного торфяника без возможности какого-либо обобщения. Мы полагаем, что работа Бертона происходила также в специфичных условиях, которые не были предпосланы автором в пояснительном тексте к графику.

Данные по осадкам торфа Кузнецовой Н. П., много работавшей по торфам в дорожном деле, также не подтверждают выводов Бертона. Осадки торфа до твердого минерального грунта происходили только на заросших с поверхности торфяниках, подстилаемых жидким основанием; на плотных торфяниках независимо от мощности залежи осадка основания давала меньшие размеры по сравнению с американскими.

Для определения объема торфа, потребного для сооружения насыпи на торфяном основании, Бертон пользовался следующей формулой:

$$Q = (W + 3F) \cdot (F + H), \quad (38)$$

¹ Терцаги А., Инженерная геология, стр. 204, 1935.

² Там же, стр. 202.

где W —ширина гребня насыпи;

F — высота насыпи над поверхностью болота;

H — предполагаемая глубина погружения насыпи.

Бертон исходил из предположения, что поперечное сечение погружившейся части торфяной насыпи представляет собой также трапецию, обращенную меньшим основанием вниз и имеющую верхнее основание общее с первоначальным основанием насыпи.

Исследование прогиба основания приканальных дамб не подтвердили такого представления. Объясняется это, невидимому, тем, что приканальные дамбы отсыпались на неодинаковое по содержанию влажности основание: со стороны выемки канала основание было более осушенным, так как отжимаемая вода находила более короткий путь в русло канала, а потому со стороны канала прогиб основания насыпи получался больший, нежели со стороны сухого откоса. Это явление отмечалось и наблюдением по осадочным реперам. По опыту в рыбных хозяйствах (инж. Лундин К. П.) и в дорожной практике (Кузнецова Н. П.) погруженное в торф основание дамбы также не принимало формы трапеции. Поэтому предложение Бертона нужно считать условным.

ГЛАВА VIII

УСТОЙЧИВОСТЬ ТОРФЯНЫХ ОТКОСОВ

1. МЕТОДИКА РАСЧЕТА

В практике строительства канала установлено, что чистый торф, подстилаемый твердым минеральным грунтом, допускает такое же заложение откосов, как это принято для минеральных грунтов: нормальные откосы выемки канала — 1:4 и откос насыпи приканальных торфяных дамб напорный — 1 :2,5 и сухой — 1:2. Однако на торфяных болотах, подстилаемых мягкими неустойчивыми грунтами — илами, мергелями, нормальный откос выемки (1 :4) требовал уположения до 1 :5, а при повышенных удельных нагрузках — до 1 :6 и 1:7; откосы торфяных насыпей, при нормальной влажности отсыпаемого торфа 82—86%, были устойчивы при заложении 1:2 — 1 :2,5, при повышенной же влажности торфа и высокой степени разложения массы — 60% и выше — заложение увеличивалось до 1:3.

Комплекс напластования торфяного грунта, состоящий из насыпи и основания, представляет собой весьма неоднородную массу. У них различны углы внутреннего трения и силы сцепления; насыпь торфа имеет нарушенную структуру, более монолитна в сечении, нежели основание естественного сложения, отличающееся слоистостью и по ботаническому составу торфа и по степени разложения массы.

Чистая торфяная залежь во многих случаях подстилается различной мощности мягкими минеральными грунтами, находящимися у предела текучести и лишенными сцепления; влажность торфа насыпи и основания различна, что связано с изменением объемного веса и сил сцепления в пределах массы обрушения.

Неоднородность строения торфяной насыпи и торфяного основания и наличие кроме трения еще и сил сцепления исключают применение для расчета устойчивости откосов способа Крея.

Для нахождения наименьшего значения коэффициента устойчивости для торфяных грунтов возможно с некоторой приближенностью принять способ расчета Феллиниуса-Герцаги с учетом не только коэффициента трения, но и сил сцепления, а также особенностей каждого отдельного случая.

В расчетах устойчивости откосов торфяных грунтов мы, очевидно, находимся еще далеко от разрешения этого вопроса в общем виде, для любого случая.

Весьма условным будет допущение скольжения разнородных торфяных грунтов по круглоцилиндрической поверхности. Такое скольжение мо-

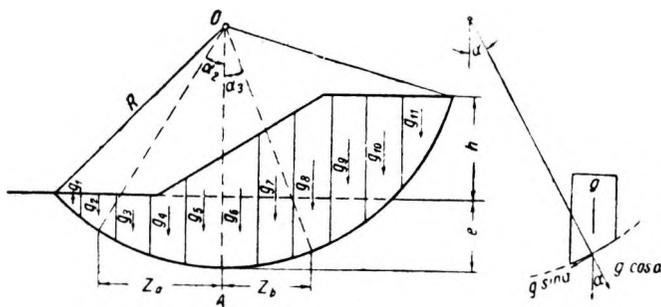
жет происходить в торфяных грунтах скорее по штрабованной кривой, что можно было наблюдать в натуре. Наблюдения проф. Феллениуса и проф. Терцаги, показывающие, что обрушения достаточно близки к круглоцилиндрическим поверхностям, относятся к минеральным грунтам. Оползание же откосов в мягких минеральных грунтах основания — илах и мергелях, находящихся в естественных условиях у предела текучести, — происходит по другим законам — законам пластической деформации без образования плоскостей скольжения. Отсыпка такого грунта с каким-либо углом заложения практически невозможна.

В столь разнородных грунтах, как торфяные грунты, очевидно, центр скольжения будет претерпевать в процессе обрушения смещения, с изменением функции центра — радиуса плоскости скольжения. Такой центр графически можно найти только в виде осредненного.

В расчетах применительно к методам Феллениуса-Терцаги для торфа необходимо выделить следующие случаи скольжения откосов: а) в пределах более или менее однородной торфяной насыпи с нарушенной структурной массы; б) по разнородным торфяным насыпи и основанию с разнородными константами, обуславливающими коэффициент устойчивости;

в) торфяной насыпи, подстилаемой мягкими минеральными грунтами, не имеющими сцепления.

Для торфа, как для связного грунта, при расчете устойчивости учитывалось совместное действие трения и сил сцепления, являющихся противодействием сдвигу по круглоцилиндрической поверхности.



Фиг. 71. Схематическая кривая скольжения по круглоцилиндрической поверхности.

Расчеты производились следующим образом. На имеющемся или предположенном оползне проводится кривая скольжения с таким расчетом, чтобы она проходила через конечные точки обрушения и захватывала массу по линии действительного оползания; центр скольжения должен лежать на перпендикуляре к середине хорды, соединяющей концы дуги, по которой произошло обрушение (фиг. 71).

Часть откоса, ограниченная кривой скольжения, делится на отсеки равной ширины, имеющие форму трапеции, кроме крайних, которые имеют форму треугольников с шириной, равной ширине остальных отсеков.

Вертикаль из центра O вся призма обрушения делится на две части с моментами: отрицательными относительно центра O — в левой части с силами g_1, g_2, \dots, g_5 и положительными — в первой части с силами g_6, g_7, \dots, g_{11} .

Оползающая масса грунта принимается за твердое тело, что дает возможность рассматривать отдельные отсеки, не принимая во внимание сил, действующих по плоскостям раздела со стороны соседних элементов. По мнению проф. Терцаги эти силы являются внутренними по отношению ко всему массиву оползня и не могут оказывать влияния на устойчивость массы в целом. Это условие справедливо для случая, когда происходит одновременно оползание всей массы грунта, и все частицы сохраняют свое расположение относительно друг друга. В торфяных грунтах этих условий нет.

Расчет устойчивости откосов производится по следующим формулам:

$$\left. \begin{aligned} M_{сдв} &= \sum rg; & M_{yд} &= RN \operatorname{tg} \varphi + RLC, \\ N &= \sum g \cos \alpha; & K &= \frac{M_{yд}}{M_{сдв}}, \end{aligned} \right\} \quad (39)$$

где $M_{сов}$ — сдвигающий момент относительно центра вращения O *тм*;
 r — плечо элементарной силы g относительно центра вращения
равно $R \sin a$;
 g — элементарная вертикальная сила в *т*;
 $M_{уд}$ — удерживающий момент относительно центра вращения O *тм*;
 N — сумма нормальных сил в *т*;
 R — радиус кривой скольжения в *м*;
 $\operatorname{tg} \varphi$ — тангенс угла внутреннего трения;
 L — полная длина кривой скольжения в *м*;
 C — сила сцепления в г/м^2 ;
 $\cos a$ — косинус центрального угла a ;
 K — коэффициент устойчивости.

ПРИМЕР РАСЧЕТА

В качестве примера приводим расчет устойчивости торфяных откосов на участке опытных дамб на болоте вида VII, причем расчеты сведены в таблицу с обозначениями по п. 1 настоящей главы (табл. 65).

Таблица 65

Сводка расчетных данных по устойчивости откоса

№п/п	S	r	gr	a	$\sin a$	$\cos a$	$g \cos a$	Примечание
1	2,78	— 5,0	—14,40	20°0'	0,469	0,883	2,45	По торфу $\varphi_1 = 31^\circ 30'$ $\operatorname{tg} \varphi_1 = 0,613$ $C_1 = 0,510$ $L_1 = 7,8$
7	5,56	+ 7,11	+ 39,55	40°0'	0,643	0,766	4,26	
8	1,58	+ 8,8	+ 13,9	58°0'	0,799	0,602	0,95	
$N_1 = 7,66$								
2	6,25	— 3,0	— 19,35	16°0'	0,276	0,961	6,00	По супеси $\varphi_2 = 23^\circ 25'$ $\operatorname{tg} \varphi_2 = 0,430$ $C_2 = 0,270$ $L_2 = 11,5$ $R = 110$
3	9,71	— 1,0	— 9,71	5°30'	0,096	0,995	9,66	
4	9,95	+ 1,0	— 9,95	5° 30'	0,096	0,995	9,90	
5	9,71	+ 3,0	+ 29,13	16°30'	0,284	0,959	9,31	
6	8,04	+ 5,0	+ 40,2	28°0'	0,469	0,883	9,09	
$N_2 = 41,96$								

$$-43,55 \\ \pm 132,75 \\ M_{сов} = 89,20$$

$$N_2 = 41,96$$

а) Расчет устойчивости торфяного откоса выемки

$$M_{уд} = N_1 \operatorname{tg} \varphi_1 R + N_2 \operatorname{tg} \varphi_2 R + C_1 L_1 R + C_2 L_2 R = \\ = 7,66 \cdot 0,613 \cdot 11 + 41,96 \cdot 0,43 \cdot 11 + 0,51 \cdot 7,8 \cdot 11 + 0,27 \cdot 11,5 \cdot 11 = \\ = 51,59 + 19,84 + 43,78 + 34,1 = 149,31.$$

Коэффициент устойчивости

$$K = \frac{M_{уд}}{M_{сов}} = \frac{149,31}{89,18} = 1,67.$$

б) Расчет устойчивости откоса торфяной насыпи, пригруженной песком на торфяном основании, производился аналогично с предыдущим расчетом. Значения констант приняты следующие.

Для торфа с ненарушенной структурой: $\varphi_1 = 31^\circ 30'$, $\operatorname{tg} \varphi_1 = 0,613$, $C_1 = 0,510$.

Для торфа с нарушенной структурой, уложенного в ядро дамбы,
 $\varphi_2 = 23^\circ 40'$, $\text{tg } \varphi_2 = 0,440$, $C_2 = 0,450$, $L = 4,6$.

$$K = \frac{M_{y\partial}}{M_{сдв}} = \frac{454,12}{179,33} = 2,53.$$

в) Расчет устойчивости откоса торфяной насыпи и торфяной выемки. Значения констант:

Торф с ненарушенной структурой (несущее основание) $N_1 = 20,5$;
 $\varphi_1 = 31^\circ 30'$; $\text{tg } \varphi_1 = 0,613$; $C_1 = 0,510$; $L_1 = 7,9$.

Торф с нарушенной структурой (торфяная насыпь) $N_2 = 4,10$; $\varphi_2 =$
 $= 23^\circ 40'$; $\text{tg } \varphi_2 = 0,440$; $C_2 = 0,450$; $L_2 = 4,8$.

Минеральный грунт (супесь) $N_3 = 192,38$; $\varphi_3 = 23^\circ 25'$; $\text{tg } \varphi_3 = 0,43$;
 $C_3 = 0,270$; $L_3 = 25,4$.

$$K = \frac{M_{y\partial}}{M_{сдв}} = \frac{2\,510,49}{1\,362,41} = 1,84.$$

3. КРИВОЛИНЕЙНОЕ СКОЛЬЖЕНИЕ В МЯГКИХ ИЛИСТЫХ И ТОРФЯНИСТЫХ ГРУНТАХ

В тех пунктах трассы канала, где по геологическим условиям возникла опасность оползания откосов насыпи и выемки, производился поворочный расчет устойчивости откосов. К числу наиболее тяжелых в этом отношении участков относятся места с разнообразным напластованием слабых неоднородных и переувлажненных грунтов — торфов, илов, мергелей,— создающих угрозу оползания откосов, а также выпирания основания под дамбами.

Расчеты производились для нормального профиля откосов 1 :4 и усиленного путем уположения до 1 :5—1 :6 с пригрузкой их песком, а также для случая отнесения приканальной дамбы в полевую сторону с устройством в откосе разделительной бермы.

Приводимые ниже расчеты относятся к участку болота вида VII, где трасса проходила по древнему водоему, заполненному илистыми отложениями, покрытыми сверху торфом и подстилаемыми аллювиальными песками.

Особое опасение в отношении устойчивости вызывали илистые грунты чрезвычайно рыхлого строения и переувлажненного состояния с малыми углами внутреннего трения.

Геотехническая характеристика их приводится в табл. 66.

Таблица 66

Характеристика строительных свойств илстых грунтов на билоте вида VII

№ образцов	Ненарушенная структура (монолит)								Нарушенная структура				
	угол сдвига	угол внутреннего трения ψ φ	влажность В % W	верхний предел пластичности F	нижний предел пластичности A	число пластичности Φ	удельный вес Δ	объемный вес γ	порочность в % n	угол сдвига ψ	угол внутреннего трения ψ	объемный вес γ	порочность n
1	20°40'	20°00'	47,6	83,0	59,2	27,7	2,60	1,50	68,3	21°55'	17°00'	1,49	67,3
2	24°00'	12° 00'	84,6	83,0	62,3	20,7	2,71	1,59		20°55'	8°55'	1,66	61,6
3	20°55'	13°55'	52,0	40,2	30,7	9,5	2,69			15°55'	12°50'		
4	17°30'	12°55'	90,6	73,6	36,4	37,2	2,68			15°35'	10°00'		
5	22°45'	13°55'	58,0	65,3	46,8	18,5	2,42	1,33	73,1	18°05'	12°50'	1,41	68,6
6	27°55'	14°00'	83,0	95,6	38,2	57,4	2,50			19°30'	15°55'		
Средние расчетные величины-			74,0	—	—	28,5	2,60	-	-	—	—	1,52	66,0

Углы сдвига были определены при нагрузке $1,0 \text{ кг/см}^2$, которая соответствует расчетным условиям, дающим максимальное давление на криволинейных поверхностях скольжения $P = 0,73 \text{ кг/см}^2$.

Учитывая чрезвычайно рыхлое строение грунтов и их высокую естественную влажность, можно было полагать, что в процессе производства работ при увеличении нагрузки от приканальных дамб и пригрузок эти грунты способны в значительной степени нарушать свою естественную структуру. Поэтому необходимые для расчетов значения статических углов внутреннего сопротивления скольжению $\psi_{ст}$ были определены по лабораторным данным для нарушенной структуры.

Кроме того учитывалось влияние на величину этих углов естественной влажности по формуле, предложенной Геотехническим отделом Строительства:

$$\psi_{ст} = \frac{(\psi - \varphi) \cdot (F - W)^2}{A^2} + \varphi. \quad (40)$$

Величина статического угла сдвига получена как средняя из результатов анализа отобранных образцов для илистых грунтов: $\psi_{ст} = 17^\circ 30'$.

Остальные необходимые для расчета характеристики илистых грунтов также взяты как средние для шести исследованных образцов.

Для торфа и песка приняты для расчетов следующие физико-механические характеристики (табл. 67).

Таблица 67

Физико-механические характеристики грунтов для расчета устойчивости откосов на болоте вида VII

Наименование грунта	Статический угол сдвига	Объемный вес			Удельный вес	Число пластичности в %	Порозность в %
		в естественном состоянии	в насыщенном состоянии	во взвешенном состоянии			
	$\psi_{ст}$	$\gamma_{ест}$	$\gamma_{нас}$	$\gamma_{взв}$	Δ	Φ	n
Ил.....	$17^\circ 30'$	1,52		0,54	2,60	28,5	66,0
Торф.....	$27^\circ 00'$	1,07		0,07			
Песок.....	$25^\circ 00'$	1,70	2,0	1,0			

Допускаемый коэффициент устойчивости был определен по формуле:

$$K = 1 + 1,6 \Phi^2, \quad (41)$$

что для рассматриваемого случая при числе пластичности $\Phi = 0,285$ дает $K = 1 + 1,6 \cdot 0,285^2 = 1,13$.

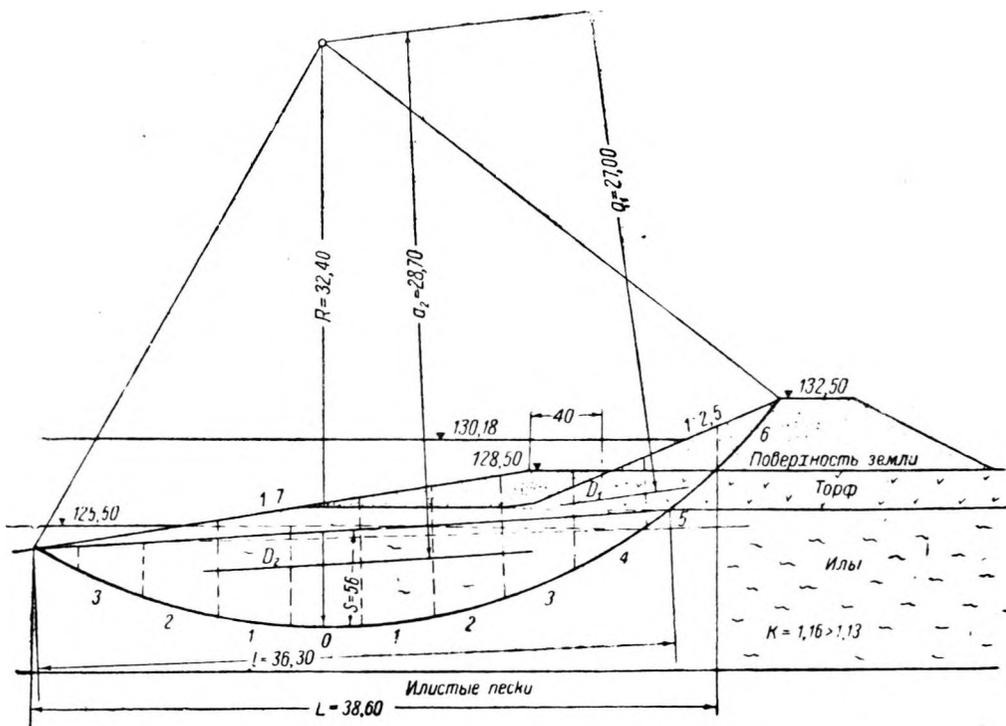
Расчеты были произведены для наиболее невыгодного случая — быстрого опорожнения канала. Глубина воды в канале после понижения горизонта принималась равной $1,0 \text{ м}$, так как промежуточные расчеты показали, что этой глубине соответствуют наименьшие коэффициенты устойчивости.

Положение опасной кривой скольжения определялось подбором при разных радиусах и положениях центра.

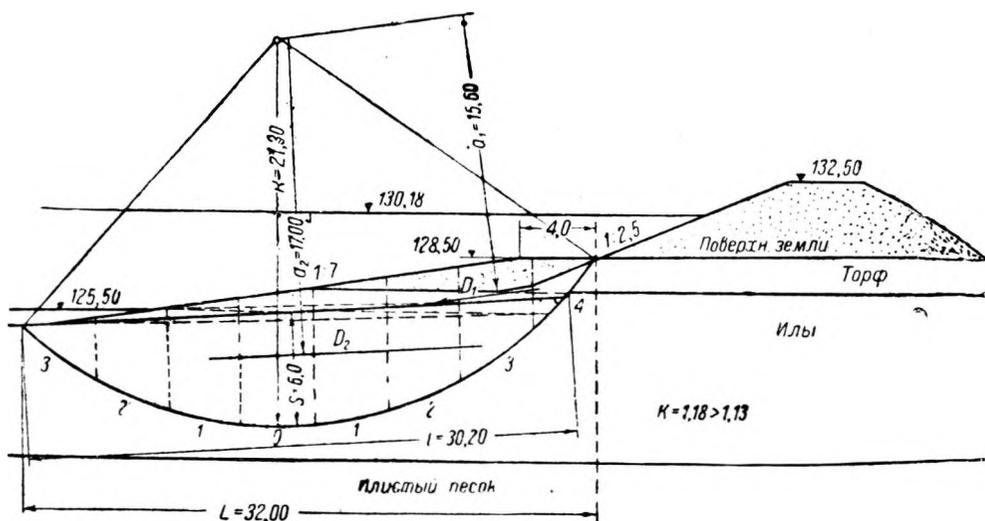
а) Проверочный расчет песчаной дамбы на торфяно-илистом грунте при типовых откосах (фиг. 72). Кривая скольжения пересекает торф и илы. Откос выемки не имеет песчаной пригрузки. Канал опорожнен до отм. 125,50, т. е. глубина воды равна $1,0 \text{ м}$. Кривая разбита на ряд элементов с шириной каждого $4,0 \text{ м}$.

и коэффициент устойчивости:

$$K = \frac{\sum \frac{P}{\cos \alpha \cdot \operatorname{ctg} \varphi + \sin \alpha}}{\sum \frac{m}{n} P + \frac{D_1 a_1 + D_2 a_2}{R}} = \frac{38,93}{25,96 + \frac{2,36 \cdot 15,6 + 6,51 \cdot 17,0}{21,0}} = 1,18 > 1,13.$$



Фиг. 74. График скольжения для насыпи и нижней части откоса.



Фиг. 75. График скольжения для поверочного расчета нижней части откоса.

Для всего откоса в целом:

$$\sum \frac{P}{\cos \alpha \cdot \operatorname{ctg} \varphi + \sin \alpha} = 52,78 \text{ м}; \quad \sum \frac{m}{n} P = 38,44 \text{ м}; \quad D_1 = 3,88 \text{ м}; \\ D_2 = 4,36 \text{ м}; \quad a_1 = 27,0 \text{ м}; \quad a_2 = 28,70 \text{ м}; \quad R = 32,40 \text{ м}$$

и коэффициент устойчивости:

$$K = \frac{\sum \frac{P}{\cos \alpha \cdot \operatorname{ctg} \varphi + \sin \alpha}}{\sum \frac{m}{n} P + \frac{D_1 a_1 + D_2 a_2}{R}} = \frac{52,78}{38,44 + \frac{3,88 \cdot 27,0 + 4,38 \cdot 28,7}{32,40}} = 1,16 > 1,13.$$

Последние два расчета показывают, что уположение откосов как общий метод увеличения их устойчивости дает положительный эффект.

Проверенный расчетом профиль с уположением нижней части откоса до 1 : 7 применялся также с введением песчаной пригрузки откоса. В других случаях усиление откоса достигалось устройством горизонтальной бермы шириной около 15 м, что равноценно уположению откоса до 1 : 7 —

1 : 8. Откос 1 : 4, идущий от бермы до дна канала, равно как и поверхность бермы на отрезках с наиболее слабыми грунтами дополнительно усилились песчаными пригрузками толщиной 1,0—1,5 м.

ГЛАВА IX

КРЕПЛЕНИЕ ТОРФЯНЫХ ОТКОСОВ

Необходимость крепления торфяных откосов выемки и насыпи вызывается следующими соображениями.

Колебания уровня воды при наполнении и опорожнении канала изменяют физико-механические свойства торфяного грунта, что может привести к деформации откосов; выжимание воды из тела и основания дамб расслаивает и ослабляет песчаную пригрузку вследствие смачивания плоскости сопряжения торфяных откосов и песчаной пригрузки и ведет к выносу частиц в сторону откоса. Кроме того торфяные откосы, как и откосы минеральных грунтов, разрушаются под влиянием атмосферных факторов, от действия ветровой и судовой волны, от неблагоприятных ледовых условий при продолжительной и суровой зиме и перемещения льда при колебаниях уровня воды в канале, а также в связи с периодическим колебанием горизонта воды в навигационный период.

На минеральных грунтах с успехом применяется устройство в нижней части каменной наброски и деревянного упора, состоящего из часто забитых в грунт свай с деревянной заборкой. Для торфяных грунтов такой тип крепления не может применяться, так как сваями и давлением каменной пригрузки на заборку нарушается сплошность торфяной массы; впереди свай, обыкновенно принимающих в торфяном грунте наклонное положение, параллельно заборке образуются трещины, которые заполняются грунтовой поверхностной водой, ослабляющей прочность откосов.

1. КРЕПЛЕНИЕ НАБРОСКОЙ ИЗ КАМНЯ

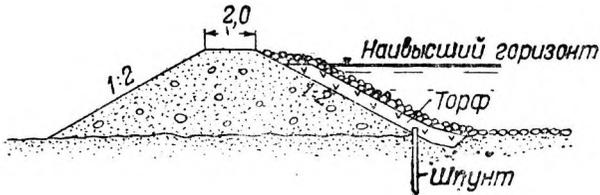
На строительстве канала в качестве типового было принято крепление откосов каменной наброской на гравийной постели. Вследствие затруднения в доставке гравия для постели на некоторых участках в виде опыта гравий был заменен волокнистым торфом и очесом.

Крепление сухих откосов каменной одеждой на волокнистой торфяной постели дело не новое и давно практикуется при постройке насыпей под полотно железных дорог, при мощении откосов, насыпей шоссейных дорог и откосов каналов и водопроводов. Моховая постель взамен гравийной и щебеночной применялась в СССР и за границей при креплении каменной наброской напорных и сухих откосов дамб и плотин. Применение мохового волокнистого торфа в качестве постели под каменное крепление плотин имело место также в Норвегии на плотине Порьюс¹, где тор-

¹ Проф. Л ю д и н А., Гидроэлектростроительство Скандинавии, перев. с нем, 1934.

фная постель успешно работает уже значительное время от самого начала действия плотины (фиг. 76).

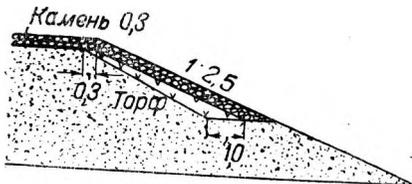
Имеется также опыт такого крепления откоса на одном участке Беломорского-Балтийского канала им. Сталина, где торфяной очес был уложен взамен гравия после того, как произошло оползание гравийной постели по мокрому откосу канала, покрытому иольдиевой глиной (фиг. 77). Вследствие промерзания зимой и последующего оттаивания весной произошло вспучивание слоя глины и оползание каменной наброски по слою глины. Здесь вместо глиняной постели была применена для крепления торфяная постель. Последующее обследование не обнаружило никаких дефектов в работе торфяной постели: не наблюдалось ни оползания, ни деформации крепления, не было обнаружено также увеличения степени разложения торфа в постели. Разложению волокнистого мохового торфа, очевидно, препятствует кислая среда массы (4,5—5,6 рН) и фенольный характер сфагновых кислот. Помимо того торфяная постель находится под водой при малом доступе кислорода воздуха,



Фиг. 76. Крепление откоса каменной наброской на торфяной постели. Дамба Порьюс в Норвегии.

что замедляет интенсивность окислительного процесса. В нижней части каменного крепления под тяжестью вышележащих слоев каменной наброски торфяная постель сильно уплотнилась.

Описанный опыт показывает, что глинистые и суглинистые откосы необходимо до укладки торфяной постели покрывать слоем песка 10—15 см с целью предупреждения вспучивания и оползания глиняного откоса, лучшего сопряжения песчаного откоса с торфяной постелью, а также улучшения обратной фильтрации воды.



Фиг. 77. Крепление откоса каменной наброской на торфяной постели. Беломорско-Балтийский канал.



Фиг. 78. Крепление откоса каменной наброской на торфяной постели. Канал Москва—Волга.

На канале Москва — Волга крепление откоса выемки канала на торфяной постели производилось на дамбе Волжского водохранилища и на приканальной торфяной дамбе на болоте вида VIII (фиг. 78). Непосредственно по торфяному откосу было произведено крепление каменной наброской на гравийной постели южной поперечной торфяной дамбы опытного участка на болоте вида VII, не погруженной песком.

2. ПРЕИМУЩЕСТВА ВОЛОКНИСТОЙ ТОРФЯНОЙ ПОСТЕЛИ

Крепление откосов каменной Наброской на торфяной постели имеет ряд положительных свойств.

а) **Водопроницаемость.** Очес и торф со степенью разложения не более 15% являются весьма проницаемыми для воды. Поэтому прямая и обратная фильтрация воды происходит беспрепятственно. Коэффициенты: фильтрации волокнистого торфа и гравия примерно равны и значительно больше, чем для песка. Лабораторным исследованием сравнительной фильтрации для волокнистого сфагнового очеса торфа с болота вида V,

песка и гравия под удельным давлением $0,10 \text{ кг/см}^2$, равным примерно давлению от каменной наброски толщиной 25 см с объемным весом $2,1$, были получены следующие значения коэффициентов фильтрации:

мох и моховой очес.....	$K_{10^5} = 0,02 - 0,04 \text{ см/сек}$
гравий.....	$K_{10^5} = 0,04 - 0,06 \text{ ,,}$
песок мелкозернистый без трамбовки.....	$K_{10^5} = 0,002 - 0,003 \text{ ,,}$

Последующие опыты в гидротехническом лотке с моделированными откосами примерно подтвердили приведенные соотношения коэффициентов фильтрации ¹.

б) Волокнистый торф как фильтр. Вымывание минерального грунта с откоса и вынос его через слой волокнистого торфа совершенно исключаются. Волокнистый торф и чистый мох часто применяются в качестве фильтров для очистки воды от механических примесей и даже для очистки отработанного машинного масла (Файлитцен). Те же свойства волокнистого торфа позволили применить его в качестве фильтрационного слоя, кольматирующего минеральный вынос на поверхности пьезометров. В поглощающем колодце на Масловском болоте (под Москвой) при прохождении воды через оградительный торфяной фильтр в скважину не происходило выноса частиц ни минеральной, ни органического происхождения за исключением минеральных суспендированных взвесей фракций $< 0,005$; без оградительного же торфяного фильтра скважина колодца быстро засорялась выносом. Анализом торфа на зольность после фильтрации также подтверждается, что вынос мелких частиц грунта задерживается на поверхности волокнистого торфа. После опытов с наполнением и опорожнением лотка и вскрытием песчаного откоса под торфяным слоем не было обнаружено никаких выносов минеральных частиц даже при быстром наполнении и опорожнении лотка. Атмосферная вода, просачиваясь через торфяной слой, также не выносила минеральных частиц в нижние слои.

в) Промерзание. При промерзании торфяной постели и последующем ее оттаивании никаких деформаций на песчаном откосе не замечается. Торф является хорошим изолятором и при медленном оттаивании не изменяет своих свойств, сохраняя достаточный коэффициент запаса на трение. В этом отношении торф отличается от минеральных грунтов, особенно жирных глин и суглинков, которые от действия морозов вспучиваются и оползают.

г) Прочность. В постели под каменной наброской необходимо различать три зоны: подводную, зону капиллярного поднятия воды и зону сухого крепления. Поступление кислорода воздуха в подводную часть откоса затруднено, а потому разложение органического вещества идет весьма медленно. Над подводной зоной устанавливается так называемая зона капиллярного поднятия воды. Волокнистый торф обладает в воде большой поглощательной способностью, достигающей $15-18$ вес. ч. от веса навески. Всасывающая способность торфа подчитывается по следующей формуле:

$$M = \frac{K \cdot 100}{A \cdot \frac{(100 - W)}{10J}}, \quad (45)$$

где M — максимальная влагоемкость торфа;
 K — вес поглощенной и гигроскопической воды;
 A — вес взятой навески;
 W — процент гигроскопической влаги.

Процент поглощенной торфом влаги можно определить по бременскому способу ² в сетчатых металлических четырехугольных сосудах, куда

¹Инж. А. К. Лемзиков, Лабораторный опыт по применению торфоочесов, журнал „Москвалогострой“ № 1—2, 1937.

² „Германское торфяное хозяйство“, стр. 145, Сельколхозгиз, 1931.

торф поступает из вакуума, где вода заполняет поры торфа после разрежения воздуха насосом.

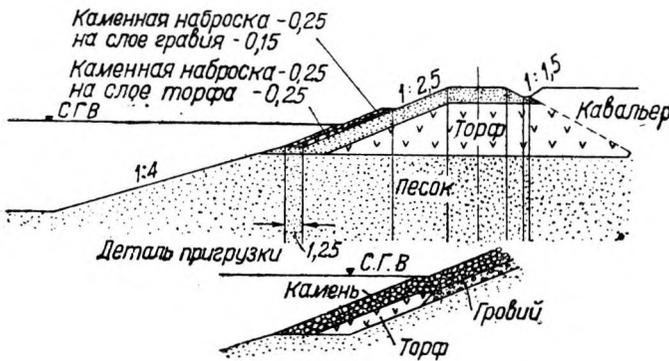
Высота капиллярного поднятия воды в волокнистом торфе незначительна и под удельной нагрузкой каменного крепления достигает 0,40—0,50 м. Третья зона крепления откоса, лежащая выше зоны капиллярного поднятия воды, периодически смачивается атмосферной водой или волной. Доступ кислорода воздуха в этот слой значителен, и процессы разложения торфа здесь происходят интенсивно. Поэтому эту зону крепить каменной наброской на торфяной постели не следует, предпочитая в данном случае гравийную постель. На фиг. 79 показано сопряжение торфяной и гравийной постели.

д) Влияние удара волны. Торфяная постель является упругим материалом, вследствие чего откосом принимается не жесткий, а поглощенный удар волны.

е) Влияние ледовых условий. Давление льда на каменную наброску и откос уменьшается вследствие работы торфяной постели как

упругого компенсатора. Поэтому при колебаниях горизонта воды в зимних условиях давление льда сказывается в меньшей степени на деформации откосов, крепленных каменной наброской на торфяной постели.

ж) Волокнистый торф как легкий строительный материал (объемный вес менее единицы) является весьма подходящим



Фиг. 79. Сопряжение торфяной и гравийной постели.

гам, где торф подстилается мягкими минеральными грунтами (мергелем, илами, замергелеванным торфом) и где требуется для сохранения равновесия грунтов особо облегченная конструкция дамб.

3. СПОСОБ ЗАГОТОВКИ ВОЛОКНИСТОГО ТОРФА

Добыча и заготовка волокнистого мохового торфа производилась строительством канала на ближайших болотах. Для этого торфяное болото предварительно рекогносцировочно обследовалось с целью выявления наличия и качества материала, а также условий заготовки и возможности транспорта.

По продольной оси болота прокладывалась магистраль с поперечниками через 50—100 м до границ болота. По поперечникам подсчитывалась площадь болота. Толщина мохового очеса и волокнистого торфа определялась путем закладки шурфов по всем ходовым линиям в расстоянии 50—100 м. Запас пригодного торфа определялся по средней замеренной в шурфах толщине очеса. Из шурфов отбирались образцы для исследования на влажность, зольность, ботанический состав, степень разложения, объемный вес, фильтрацию.

Участки с подходящим очесом осушались путем устройства сети осушительных канав. Карьеры ориентировались преимущественно по осушительным канавам. Мох с поверхности сдирался в виде волокна особыми крючьями, насаженными на деревянные длинные ручки. Малоразложившийся торф верхних горизонтов вырезывался железными лопатами в виде плиток. При этом влажность добываемого торфа в карьере не должна быть больше 80%. Добывание волокнистого торфа следует производить летом и в осенний период до дождей.

Добытое торфяное волокно или плитки предварительно разделялись; корни, ветки, сучья удалялись; твердые комья разбивались на волокна. Тщательная разделка необходима для создания ровной постели.

Если волокнистый торф не сразу употребляется в дело, то его необходимо сложить под навес или в штабели. При зимней работе предварительная укладка в штабели нужна для предупреждения смерзания. В Икшинском районе на строительстве делались штабели следующих размеров: длина — 8—10 м, ширина — 3—4 м и высота—1,5—2 м. Для предохранения штабелей от промерзания, доступа воздуха и влаги их утепляли с боков и сверху сперва слоем ветвей березы и ели (5—7 см), а затем слоем более разложившегося торфа в 50—60 см. Зимой штабели покрывались снегом. Если штабели складывались на малоосушенных участках болота, то в основание штабеля закладывался сухой очес и настил из ветвей и жердей слоем 40—60 см. В штабелях под нагрузкой от верхних слоев и вследствие отжатия воды торф садится, уменьшаясь в объеме иногда вдвое.

Зимой 1936 г. в штабелях было обнаружено повышение температуры при влажности 89—90% и температуре воздуха —16°. Но самонагревание массы происходило не во всех штабелях. Постепенно поднимающаяся температура штабеля доходила до определенного предела, после которого опускалась. У каждого штабеля был свой максимум повышения температуры. Разогревание наблюдалось примерно у 10% от общего количества листовных растений (осоки, пушицы, листьев деревьев и кустарников), а также зеленого мха (кукушкин лен — *Polytrichum Commune*).

После окончания процесса разогревания сфагновый мох принимал бледный цвет. Остатки листовных растений принимали темный цвет; их сопротивляемость разрыву сильно уменьшалась. Возможно, что остатки листовных растений и являются своеобразным катализатором, обуславливающим повышение температуры внутри штабеля.

4. УКЛАДКА ТОРФЯНОЙ ПОСТЕЛИ НА ОТКОСАХ

Крепление откосов каменной наброской производилось на строительстве канала как в теплое время, так и зимой.

Зимой доставленный к месту работ очес немедленно расстилался по откосу, чтобы не допустить его промерзания. Настилка очеса производилась железными вилами малыми порциями с целью достижения более равномерной укладки и большей сплошности постели. Оставшиеся в массе твердые древесные остатки удалялись во время настилки. Уложенный очес подвергался небольшому уплотнению трамбованием в 3—4 прохода.

Толщина моховой постели колебалась от 30 до 40 см. Неровно спланированные откосы требовали более толстого слоя постели. Настилка по откосу производилась снизу вверх, причем наброска камня отставала от настилки постели не более как на 2 м. Каменная наброска должна ложиться ровно и прочно на постель.

5. СРАВНИТЕЛЬНАЯ СТОИМОСТЬ КРЕПЛЕНИЯ НА ГРАВИЙНОЙ И МОХОВОЙ ПОСТЕЛИ

В условиях Икшинского района по данным оперативной отчетности заготовка очеса обходилась 3 р. 78 к. за 1 м³; транспорт — 4 р. 99 к., а всего общая стоимость заготовки и подвоза торфа выражалась в 8 р. 77 к. за 1 м³. Стоимость 1 м³ гравия здесь же в аналогичных условиях обходилась 213 р. 50 к.

Заготовка и подвозка очеса к месту работ в Волжском районе обошлись на 1 м³ примерно в такую же сумму, как и в Икшинском районе, а именно 8 р. 80 к. Стоимость же гравия в Волжском районе на месте работ оценивалась в 32 р. 50 к. за 1 м³.

ГЛАВА X ВСПЛЫВАНИЕ ТОРФА

Всплытие торфа на канале и в водохранилищах по характеру явления и по мерам борьбы с ним возможно разделить:

1) на всплытие отдельных кусков и сплавин и 2) на всплытие больших торфяных островов, мешающих судоходству и ухудшающих санитарные условия воды и условия рыбного хозяйства.

1. ВСПЛЫВАНИЕ ТОРФЯНЫХ КУСКОВ И СПЛАВИН

Свежевынутая на дневную поверхность торфяная масса со степенью разложения от 30% и выше имеет объемный вес в зависимости от содержания наносной минеральной части от 1,01 до 1,04 и в воде не всплывает. Замергелеванные и заиленные виды торфа имеют еще больший объемный вес, колеблющийся между 1,10—1,20. Волокнистый же торф из верхних горизонтов со степенью разложения ниже 30% имеет объемный вес меньше 1,0; не пригруженный более тяжелым минеральным грунтом он всплывает в воде.

Куски более разложившегося торфа, не всплывающие в сыром виде, при высыхании в кавальере или на поверхности откоса теряют часть воды; при этом часть пор заполняется воздухом. Объемный вес такого подсохшего торфа в связи с этим опускается ниже единицы; такой торф также всплывает. Наконец торф с ненарушенной структурой, высохший до воздушно-сухого состояния (30—40% влаги), имеет объемный вес 0,45—0,55 и обладает большой всплывающей способностью. Таким образом высохшие куски торфа с поверхности кавальера или подсохшие слои и отдельные куски и корки на откосах и на дне канала всплывают.

Чтобы не допустить всплытия подсохшего торфа, его нужно пригрузить соответствующим слоем минерального грунта, пользуясь расчетом, приведенным в Инструкции по исследованию болот на всплытие (см. приложение 1).

В практике строительства канала для пригрузки 20 га кускового торфа на кавальерах болота вида VIII, отходящих под водохранилище, намечено было подвезти около 40 000 м³ песка, что вызвало расход в 500 000 руб. В целях экономии пригрузка однако не была произведена; всплывший после наполнения водохранилища торф был приближен к берегу с лодок, а также волной и затем удален за пределы водохранилища.

Торфяные откосы, остающиеся непригруженными песком и без воды, промерзают с поверхности. Промерзший торф имеет пониженный на 9% объемный вес против первоначального, вследствие чего по поверхности соприкосновения промерзшего торфа с непромерзшим может произойти разрыв. Такое явление было отмечено например на непригруженном песком торфяном откосе участка канала на болоте вида III. Зимой торфяной откос здесь промерз; при быстром наполнении канала водой в апреле месяце в откосе по поверхности соприкосновения травяно-древесного хорошо разложившегося нижнего слоя (степень разложения 50—60%) с осоково-гипновым торфом (степень разложения 25—30%) появилась трещина, и промерзший торф всплыл (фиг. 80).

По мере поднятия уровня воды разрыв значительно углубился; верхняя часть откоса, имевшая неоттаявший прослой торфа мощностью 0,25—0,40 м, всплыла на поверхность, приподнявшись по краю на 1,5—2,0 м. Зона отрыва верхнего слоя торфа от оставшегося на месте нижнего слоя простиралась в глубину откоса на 7,5 м, не доходя до свай деревянного упора крепления откоса на 5,0 м. При дальнейшем повышении горизонта воды была угроза дальнейшего отрыва верхних слоев от нижних, поэтому всплывшая часть была пригружена слоем песка в 0,15 м. После пригрузки откос принял первоначальный вид, и разрушение его прекратилось.

При наполнении канала водой местами происходило всплытие промерзшего и отслоившегося торфа в виде тонких сплавин толщиной 0,15—

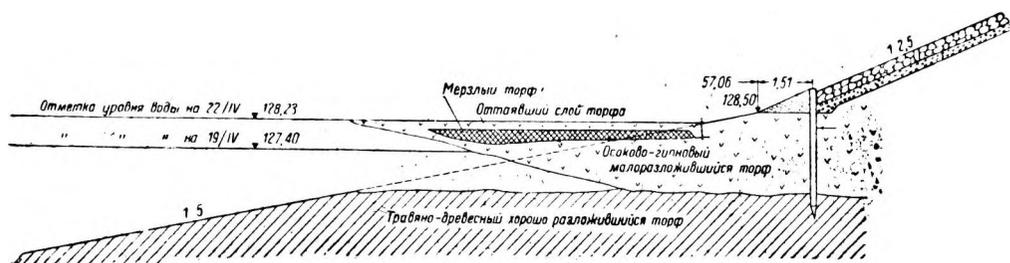
0,25 м. Но большинство их после оттаивания опускалось на дно; остальные были удалены.

Наконец в местах выхода грунтовых вод зимой образовались слои наледи, смерзшейся с верхним торфяным слоем. При наполнении канала водой наледь всплывала, отрываясь вместе со слоем промерзшего торфа. Сплавины наледи быстро таяли на воде, и поднятая масса торфа снова опускалась на дно. Для судоходства сплавины не представляли никаких затруднений.

2. ВСПЛЫВАНИЕ "ТОРФЯНЫХ ОСТРОВОВ"

Под водохранилища канала Москва — Волга отошло много приречных пойм, содержащих открытые и бывшие водоемы, заторфованные или представляющие сплошные торфяные массивы; значительная часть их находилась в стадии зарастания с поверхности. При заполнении водохранилища всплывали свободно плавающие на воде нарастающие рыхлые сплавины (ковры) различной мощности и верхний горизонт малоразложившегося торфа плотных торфяных массивов.

Такие свободно плавающие ковры образуются путем разрастания на водной поверхности корневищных растений — *Menyanthes trifoliata* (вахта), *Comarum palustre* (сабельник), *Calla palustris* (белокрыльник) и др. На



Фиг. 80. Профиль откоса с всплывающим мерзлым грунтом.

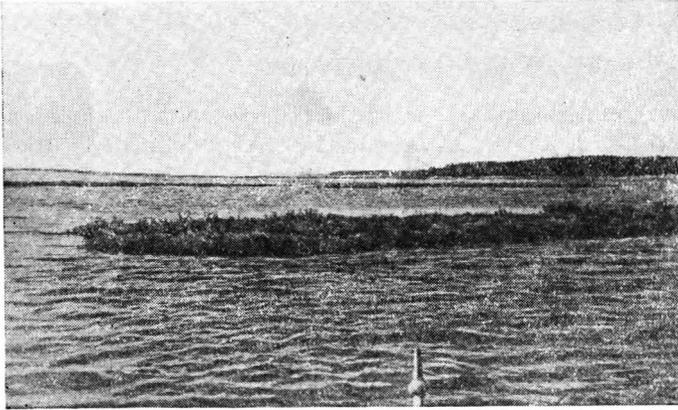
этом растительном покрове поселяются другие растения, и таким образом происходит зарастание водоема сплавиной. С повышением горизонта воды сплавины также поднимаются, отрываясь от берега или оставаясь одним краем прикрепленными к минеральному берегу, и колеблются волной. Оторвавшиеся сплавины уносятся волной и могут образовать затор, мешающий проходу судов.

Развитые торфяные болота обычно с поверхности покрыты растительным покровом, который подстилается волокнистым малоразложившимся слоем молодого торфа. Объемный вес этих слоев меньше единицы, а потому они всплывают в воде слоем в 0,6—1,0 м, вынося с собой весь растительный покров с кустарником, а иногда и с небольшими деревьями. На поверхности воды верхний растительный покров их продолжает расти, почему такие плавающие слои получили название пловучих зеленых островов (фиг. 81). Попадая в фарватер, такие пловучие острова мешали движению судов.

На Пестовском водохранилище таких островов было обнаружено 36 общей площадью 17,300 м². Толщина их колебалась от 40 до 70 см; всплывшая масса островов была насыщена влагой, и отдельные слои сплавины имели объемный вес от 0,815 на глубине 10 см до 0,998 на глубине 60 см. Степень разложения торфяной массы постепенно повышалась к нижней части сплавины.

Верхний малоразложившийся слой торфа многих болот позднейшего образования (субатлантического периода) имеет малый объемный вес и лежит на более старом торфе, так называемом пограничном горизонте (суб-бореального происхождения), отложившемся в сухой и теплый пе-

риод и хорошо разложившемся (с объемным весом больше единицы); верхний волокнистый слой по контакту с пограничным горизонтом и всплывает. Иногда верхний волокнистый торф подстилается горизонтом древесных пней или резко выраженным слоем кустарникового торфа; по этим слоям и происходит отрыв всплывающей массы. На некоторых болотах после пожара остается зольный слой, на котором нарастает слой



Фиг. 81. Всплывшие зеленые острова торфа.

волокнистого торфа различной мощности; по этому контакту и происходит всплывание верхнего торфяного слоя.

Отслаивание и всплывание зеленых островов торфа ускоряется в водохранилищах вследствие усиления дестилляционного (бескислородного) процесса разложения клетчатки и целлюлозы торфа, в связи с чем усиливается газообразование: выделение метана (CH_4), во-

дорода (H_2), аммиака (NH_3) и сероводорода (H_2S); газы эти в свою очередь способствуют отслаиванию верхних малоразложившихся слоев торфяника и их всплыванию.

3. ВЛИЯНИЕ ТОРФЯНЫХ ОСТРОВОВ НА КАЧЕСТВО ВОДЫ

Под покровом зеленых островов вследствие малого доступа кислорода воздуха в толщу воды, отсутствия инсоляции и развития процесса газообразования вода понижает свои качества. Поэтому бассейны, покрытые торфяными островами, не могут быть использованы в частности под рыбное хозяйство.

Образцы воды на Пестовском водохранилище, взятые с глубины 2,5 м у края зеленого острова, оказались значительно лучшими, нежели образцы, взятые из скважин с той же глубины, но посреди острова. В первом случае вода содержала свободного кислорода на 4 мг больше и обнаруживала меньшую биохимическую потребность. Содержание кислорода в пробе воды посреди острова с глубиной резко понижается; на глубине 4 м вода почти не имеет кислорода, происходит анаэробное и в некоторых случаях сероводородное брожение, весьма ухудшающее качество воды.

Анализы проб воды, взятых из различных глубин у края зеленого острова и из скважин в шурфе посреди зеленого острова, дали следующую сравнительную характеристику (табл. 68).

Удаление зеленых торфяных островов из водохранилища диктовалось не только транспортными соображениями, но и необходимостью улучшить санитарные условия водной артерии, питающей столичный город, и требованиями рыбного хозяйства.

4. БОРЬКА СО ВСПЛЫВШИМИ ТОРФЯНЫМИ ОСТРОВАМИ

Всплывшие торфяные острова небольших размеров обычно относятся ветром к берегам или прибуksировываются к ним, и оттуда Форф убирается за пределы водохранилища. Небольшие острова, прикрепленные к торфяной толще, подрезаются в местах прикрепления подводным ножом, имеющим загнутое острое полотно, или ножом в виде струга с острым железным полотном, загнутые концы которого насаживаются на

Анализы проб воды у торфяного острова

№ п/п	Элементы анализа	№ 885 у края зеленого острова с глубины 2,5 м	№ 886 у края зеленого острова с глубины 0,25 м	№ 887 из сква- жины на острове с глубины 4,0 м	№ 888 из сква- жины на острове с глубины 0,25 м
1	Реакция воды.....	Щелоч- ная	Щелоч- ная	Щелоч- ная	Щелоч- ная
2	Вес сухого остатка после выпаривания в мг/л	104,6	124,6	108,2	105,8
3	Вес сухого остатка после прокаливания в мг/л	44,0	53,6	44,8	48,0
4	Потеря при прокаливании в мг/л.....	60,6	71,0	63,4	57,8
5		31,9	91,0	45,2	39,0
6	Общая жесткость в нем. градусах.....	3°2	9°1	4°5	3°9
7	Щелочность в градусах.....	1°6	1°5	1°5	1°5
8	Устранимая жесткость в нем. градусах . . .	0°84	0°87	0°8	0°8
9	Устранимая жесткость в мг/л.....	8,4	8,7	8,4	8,4
10	Углекислота связанная в мг/л.....	41,8	57,4	39,6	39,6
11	Углекислота свободная в мг/л.....	Нет	Нет	Нет	Нет
12	Кремнекислота SiO ₂ в мг/л.....	10,2	9,2	6,2	12,0
13	Окись железа Fe ₂ O ₃ и алюминия Al ₂ O ₃ в мг/л.....	4,6	7,4	4,4	3,4
14		10,1	6,5	10,0	3,6
15		17,8	27,0	31,1	34,0
16	Азот — аммиака NH ₃ „.....	1,0	Нет	0,8	Следы
17	Азот — азотистой кислоты HNO ₂ в мг/л . . .	Нет	»	Нет	Нет
18	Азот — азотной кислоты HNO ₃ в мг/л	0,24	»	»	»
19	Сероводород H ₂ S в мг/л.....				
20	Хлор Cl в мг/л.....	5,9	3,9	5,9	3,9
21	Окисляемость кислорода в мг.....	14,5	14,5	14,2	15,3
22	Наличный кислород в мг/л.....	4,62	7,26	0,45	4,37
23	Биохимическая потребность кислорода за 5 дней.....	8,2	15,7	15,7	
24	Серная кислота SO ₃ в мг/л.....	5,2	5,2	4,8	4,5

две деревянные ручки. Такой струг употребляется для подрезания сплави́н в белорусских рыбных хозяйствах ¹.

Большие зеленые острова, буксировка которых к берегу в целом виде невозможна, предварительно разделяются на части взрывным способом и затем каждая часть буксируется отдельно. При взрывании очень больших зеленых островов на Белморстрое закладывались патроны весом в 8—10 кг. На Пестовском водохранилище всплывшие торфяные острова взрывались следующим образом. Взрывные патроны укладывались в шахматном порядке на глубине 0,75—1,2 м примерно в количестве одного на 4 м² и взрывались одновременно. Раздробленные куски подгонялись ветром к берегу и отсюда удалялись за пределы водохранилища.

В качестве временной меры допускается подтянутые к берегу торфяные острова закреплять сваями у берега.

ГЛАВА XI

ДЕФОРМАЦИЯ СООРУЖЕНИЙ ИЗ ТОРФА И НА ТОРФЯНОМ ОСНОВАНИИ

На строительстве канала Москва — Волга при возведении сооружений на торфяных болотах и прорытии русла канала в торфяном грунте происходила иногда некоторая деформация откосов выемки в торфу и торфяных насыпей, а также случилось несколько более крупных аварий.

¹ Инж. М. Д. Данович, Методы борьбы со сплави́нами на рыбхозах БССР, 1934 (рукопись).

Большое количество деформаций в начале строительства объясняется тем, что работы были начаты на неосушенных болотах с недостаточно плотным торфом, а также на болотах, торфяная залежь которых подстилалась неустойчивыми минеральными грунтами — мощными илами, мергелями и частично сапропелями. При обнажении верхних слоев эти грунты приходили в текучее состояние, что приводило к деформациям. Такими болотами являлись: болото вида VIII, подстилаемое в центральной части мощной свитой слоистых мергелей (2,0—2,75 м), находящихся у предела текучести (по Аттербергу) и болото вида VII, торфяная залежь которого в южной части подстилается мощными илами, а в северной части — мощными слоями мергеля.

Причиной аварий в первый период работы являлись также несоответствующие торфяным грунтам порядок и темпы работ, перенесенные из практики с минеральными грунтами. Часто деформации и аварии являлись следствием отсыпки на торфу резервов грунта, которые создавали большие местные нагрузки и способствовали усиленному отжиму воды, не находящей свободного выхода вследствие малой фильтрационной способности торфа. Образовывались гидравлические мешки или гидродинамические плоскости, по которым и происходило скольжение откосов торфяных выемок и насыпей. По мере развития опытно-исследовательских, а затем и строительных работ на строительстве канала количество аварий стало значительно сокращаться.

Ввиду практического интереса вопроса для других строек и проектирующих организаций ниже приводится описание ряда деформаций и аварий, происшедших на строительстве канала.

1. АВАРИЯ ЗАПАДНОЙ ОПЫТНОЙ ТОРФЯНОЙ ДАМБЫ НА БОЛОТЕ ВИДА VII

Западная опытная дамба состоит из двух опытных участков: типа III и типа IV длиной по 40 м и переходного участка между ними в 20 м (см. выше, фиг. 60). Оба типа представляют собой торфяное ядро шириной по гребню 4 м с мокрым откосом 2,5:1 и сухим—2,0:1; тип IV имеет проектную высоту по оси дамбы 4,2 м над первоначальной поверхностью болота с песчаной пригрузкой слоем 0,3 м; тип III—высоту 3,0 м с песчаной пригрузкой гребня и мокрого откоса толщиной 1,5 м (профили дамб см. фиг. 61). Опытный участок в северной его половине имеет ровное минеральное дно; южная половина лежит на северном склоне глубокой впадины минерального дна глубиной до 9 м, заполненной неустойчивыми илистыми грунтами.

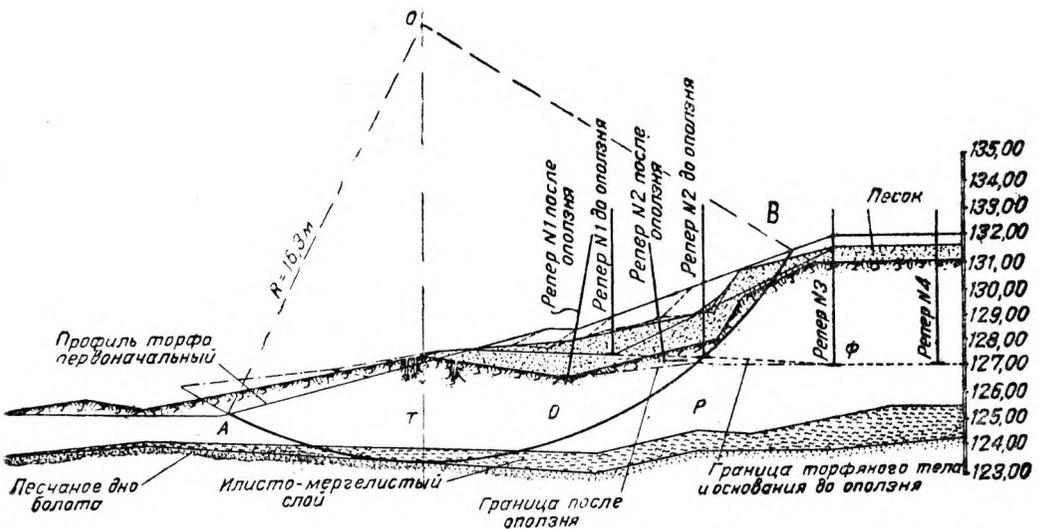
Основанием для дамбы являлась хорошо осушенная торфяная залежь мощностью 3,5—4,25 м (см. выше, табл. 48). Перед отсыпкой ядра дамбы в основании ее с торфяной залежи был снят верхний волокнистый слой и очес толщиной 1,5 м. Торфяная залежь подстилается неустойчивым илисто-мергелистым слоем толщиной 0,75—1,0 м, который постепенно увеличивается к югу, входя в глубокую донную впадину, и в пределах оползня достигает 4—5 м; в центре впадины он достигает 9 м. Впадина заполнена свитой разжиженных чередующихся друг с другом слоев торфа, илистого суглинка, мергеля, сапропеля и тонкого суглинистого серого ила. В середине воронки илистые грунты находятся у предела текучести, а при увлажнении приходят в разжиженное состояние.

Несущее торфяное основание состоит в верхней части из осоково-древесного торфа, а в нижележащих горизонтах — из древесного торфа, состоящего на 36—40% из древесных остатков березы, ольхи, ивы и в небольшом количестве ели. Нижние слои основания слагаются из тростниково-древесного торфа со степенью разложения 60—70%, средней зольностью — 8,0%, весовой влажностью в отношении к сырому веществу— 82—85%, коэффициентом фильтрации $K_{10}^{\circ} = 0,00002—0,00009$ см/сек, объемным весом $\gamma = 1,03—1,08$ т/м³.

Опытные дамбы отсыпаны из этого древесного торфа, который брали из забоев выемки канала, производившейся одновременно с отсыпкой дамб. Отсыпаемая в дамбы строительная масса характеризуется в забое следующими средними данными:

влажность естественная.....	(W_n) 85,12%
степень разложения.....	(z) 65%
зольность.....	(A_s) 13,0%
удельный вес абсолютно-сухого торфа.....	(A) 1,62
объемный вес.....	(γ) 1,03 — 1,05
коэффициент фильтрации.....	(K_{10}) 0,0003 см/сек
угол внутреннего трения.....	(ϕ) 22°40'
сила сцепления	(C) 500 г/см ²

Торф укладывался в рыхлом состоянии слоями в 0,22—0,24 м и уплотнялся преимущественно ручными трамбовками до толщины слоя в 0,15 м. В среднем за рабочий день отсыпался один слой, что дает повышение удельного давления на 0,015 кг/см² за сутки или в среднем 0,008 кг/см² за один календарный день в течение 52 дней, за которые и было отсыпано ядро дамбы.



Фиг. 82. Схематический профиль скольжения опытной торфяной дамбы на болоте вида VII.

После перерыва в 13 дней была начата пригрузка ядра и напорного откоса песком, продолжавшаяся 4 дня. Песок отсыпался сначала на откос и гребень дамбы, а затем перебрасывался вниз на откос выемки канала. Слой песка на гребне составлял 0,5—0,6 м и на откосе (по вертикали) — 1,2—1,3 м, что и дало повышение удельного давления на откосе до 0,048 кг/см² за сутки, т. е. в 3—5 раз больше, нежели это происходило во время отсыпки торфяного ядра.

С целью наблюдения за осадкой тела и основания под дамбой были установлены по створу шесть реперов, из них два приходились на оползший откос.

Оползень произошел через 2 дня после окончания отсыпки пригрузки, причем соседний участок остался совершенно незахваченным оползнем. Движение земляных масс захватило торфяное основание и насыпь, сместив их в горизонтальном направлении на 1—2 м и в вертикальном — на 2 м (фиг. 82).

К моменту оползня осадка торфяного основания под дамбой составляла в среднем 0,6 при высоте торфяного ядра по оси 3,8 м над верхней бровкой откоса выемки канала (первоначальной поверхности болота).

После происшедшего оползня работы были приостановлены, с наиболее деформированного участка была снята песчаная пригрузка и прорыта траншея с откоса выемки в направлении оси канала с целью определения глубины сдвига массы. Весь деформированный участок был заснят, и было начато производство периодических замеров состояния оползня.

Определение сил сцепления и трения, действующих на поверхности скольжения в момент оползня было произведено по створу, проходящему через наиболее деформированную часть, где были установлены реперы. Положение их было точно фиксировано до оползня и после смещения масс.

До начала отсыпки песчаной пригрузки нагрузка на илистый слой от веса тела дамбы и основания составляла в точке В (фиг. 82) при среднем объемном весе массы $1,05 \text{ т/м}^3$:

$$4,75 \cdot 1,05 = 5,0 \text{ т/м}^2 = 0,5 \text{ кг/см}^2.$$

После сравнительно быстрой отсыпки песчаной пригрузки слоем, в 1,0 м при объемном весе песка 1,7 давление увеличилось до:

$$5 + 1,7 = 6,7 \text{ т/м}^2 = 0,67 \text{ кг/см}^2,$$

или в 1,34 раза.

Быстрое увеличение удельной нагрузки при сравнительно малой водопроницаемости торфа ($K_{10} = 0,00005 \text{ см/сек}$) привело к переувлажнению нижележащих слоев и вызвало временное уменьшение коэффициента

трения с $0,185$ ($\varphi = 10^\circ 30'$) до $\frac{0,185}{1,34} = 0,138$ ($\varphi = 7^\circ 50'$) и разности фаз-

между увеличением давления и соответственным увеличением трения (Терцаги). Это уменьшение коэффициента трения и явилось одной из причин начала скольжения торфяного основания по подстилающему илисто-мергелистому слою, имеющему к тому же уклон в направлении выемки канала. Соседний же с оползнем участок, на котором торф подстилается твердым песчаным грунтом, при всех прочих равных условиях, как уже указывалось выше, оказался нетронутым.

Оползание массы приостановилось, когда угол наклона илистого слоя достиг величины, близкой к углу трения (около 8°). Скольжение произошло по поверхности с радиусом $R = 16,6 \text{ м}$ путем смещения всей массы грунта вокруг центра (О) на угол $7^\circ 20'$.

Для ликвидации оползня оползневая площадь была спланирована отдельными площадками сверху донизу; на время работы песчаная пригрузка с рабочей площадки была переложена на обе боковые площадки; торфяной грунт на рабочей площадке был вскопан и торф уложен слоями с уплотнением трамбованием и с последующей пригрузкой откоса и дамбы песком слоем 1,5 м; пригрузка откоса и дамбы велась снизу вверх.

На восстановленных таким образом дамбах в дальнейшем как при наполнении, так и при опоржнении бассейна, а также при наполнении канала до проектных отметок явлений деформации не замечалось.

2. ДЕФОРМАЦИЯ ОСНОВАНИЯ ВОСТОЧНОЙ НАМЫВНОЙ ПЕСЧАНОЙ ДАМБЫ

Эта деформация может считаться местной, однако симптоматичной, так как прилегающие участки находились в таких же грунтовых условиях (фиг. 83).

Основание под дамбой в месте деформации состоит из слоя торфа, подстилаемого неустойчивыми мягкими минеральными грунтами, илами и мергелями. Исследования, произведенные после аварии на месте наибольшей деформации, показали, что грунтовый профиль имеет следующее строение:

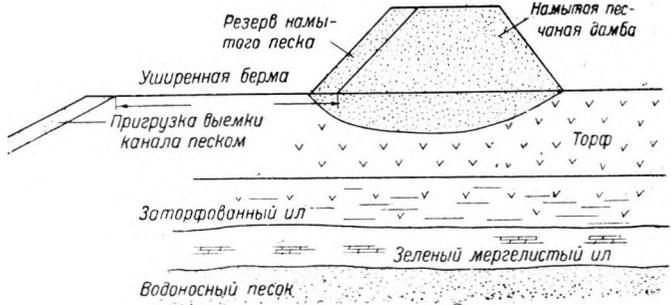
0,0—1,5 м. Верхний горизонт хорошо разложившегося, уплотненного древесного торфа.

1,5—2,0 м. Серый суглинок илистый, достаточно плотный.

- 2,0—2,5 м. Горизонты древесного торфа с прослойками торфянистого ила.
- 2,5—3,0 м. Достаточно плотный зеленого цвета суглинок.
- 3,0—4,0 м. Мягкий мергелистый суглинок яркозеленого цвета, сильно увлажненный.
- 4,0—5,0 м. Влажная илистая супесь зеленого цвета.

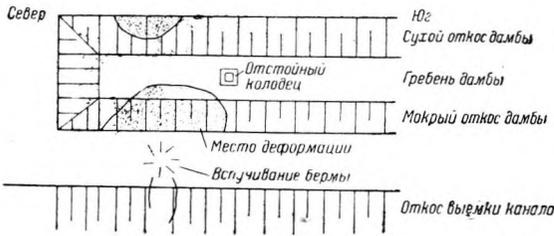
Ниже — крупный и среднезернистый песок.

Самые верхние слои торфа и подстилающего минерального грунта мощностью 2—3 м на исследованном поперечнике являются достаточно уплотненными и прочными; горизонты, лежащие ниже, напротив, переувлажнены и неустойчивы, особенно слои жидкого зеленого мергеля, обнаруженные в верхних частях образовавшихся трещин в совершенно разжиженном виде. В естественном состоянии под давлением верхних горизонтов мергелистые слои имеют структурное состояние, не текучее, но находящееся у пределов такового, и стоит только нарушить сплошность слоя, как он быстро превращается в текучую массу. Так было и при аварии, когда помещавшийся здесь зеленый мергель был выдавлен на поверхность трещин. Этот слой и явился неустойчивым при повышенной удельной нагрузке.



Фиг. 83. Деформация намывной дамбы (поперечный профиль).

Намыв дамбы производился одновременно на протяжении 380 м без перерыва в течение 17 дней до момента аварии. К этому времени высота дамбы по всему протяжению составила 3 м. В торцевой же части, недалеко от места деформации, намыв до высоты 3 м был произведен в течение 4 дней. Таким образом благодаря быстрому намыву в торцевой части произошла перегрузка непрочного торфянисто-илистого основания.



Фиг. 84. Деформация намывной песчаной дамбы (план).

При намыве профиль тела дамбы был уширен на 2 м в сторону мокрого откоса с целью образования резерва песка для пригрузки бермы и откоса выемки канала.

Авария началась с образования трещины по гребню дамбы. Трещина, дугообразно расходясь вниз по откосу, захватила 25 м. Высота вертикального сдвига трещины на гребне дамбы достигала 1 м, горизонтальное смещение краев трещины достигало 2 м (фиг. 84).

На берме против оползня образовались звездообразные трещины с выпучиванием верхнего слоя торфа на 0,6 м, распространившиеся на откос выемки канала, преимущественно в поперечном направлении. На сухом откосе также наблюдалось оползание нижней части, но в меньших размерах.

К югу по берме были видны следы распространившегося вытирания, связанного с просадкой тела дамбы. На этом участке образовались разрывы поперечных труб на стыках для водоотвода.

Причины деформации следующие.

Уширение против проекта профиля дамбы и быстрый темп намыва создали перегрузку торфяно-илистого основания и явились основной причиной деформации. Необходимо было сперва пригрузить откос выемки канала, а затем приступить к намыву дамб, что дало бы возможность избежать перегрузки основания и откоса выемки.

Прослойки и линзы неустойчивого зеленого мергеля под давлением намывтой песчаной дамбы изменили структуру и, перейдя в текучее состояние, были выжаты в образовавшиеся трещины. Это и послужило началом для перемещения и сдвигов грунта в основании и теле дамбы.

Переувлажненность слоя илистой супеси, находившейся в естественном состоянии выше предела текучести, также способствовала неравномерности осадки дамбы. Кроме того ослабить устойчивость, облегчив скольжение и сдвиги песчаных масс, могло также разжижение поверхности торфяного основания водой пульпы.

Для ликвидации происшедших деформаций были приняты следующие меры. Намыв дамбы по восточной стороне был прекращен с целью уменьшения интенсивности осадки основания и для более нормального выжимания из него воды. Доведение дамбы до проектного профиля было произведено отсыпкой слоями с уплотнением.

Была произведена горизонтальная и вертикальная съемка деформированного участка и начаты систематические наблюдения за ходом осадок грунта. С этой целью были заложены створы с расположением не реже 100 м по оси дамбы и с заложением не менее трех реперов в каждом створе. Наблюдения велись и в период намыва, и после, до полной стабилизации деформаций.

Участок канала у места аварии был осушен в целях усиления оттока воды из основания под дамбой и откоса выемки. На участке канала длиной 1 км, включающем аварийную дамбу, в основании мокрого откоса был заложен песчаный зуб с углублением его по возможности до твердого песчаного грунта, а в глубоких илистых отложениях — глубиной не менее 1 м с заложением песчаной шпоры в сторону оси канала на длине 5 м.

Откос выемки с восточной стороны канала был уположен до 1:5. После стабилизации осадки в месте деформации была отсыпана песчаная пригрузка откоса выемки канала толщиной 1,5 м, после чего уже производились дальнейшие работы на берме и дамбе.

Обнаруженные выклинивания родников у основания песчаной пригрузки откоса выемки были ликвидированы путем устройства дренажей глубиной 20 см и шириной 20 см нормально к оси канала. Дрены заполнялись крупным песком до срединного кювета, идущего по оси канала. Место выхода родников пригружалось гравием.

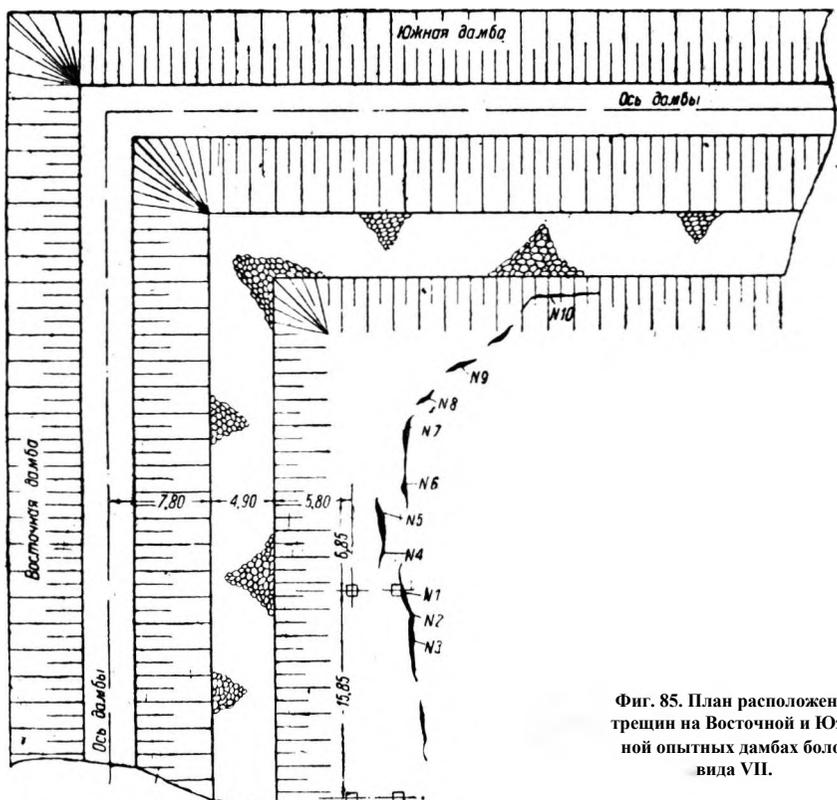
3. ДЕФОРМАЦИЯ ОТКОСА ВЫЕМКИ КАНАЛА В ЮГО-ВОСТОЧНОМ УГЛУ ОПЫТНОГО УЧАСТКА НА БОЛОТЕ ВИДА VII

Деформация произошла на четверном откосе выемки опытного участка канала, имеющего нормальную ширину по дну 46 м (фиг. 85). Выемка здесь представляла собой разрезанную торфяную залежь, сложенную из различных по ботаническому составу горизонтов торфа. На участке трещин вертикальный профиль залежи вдоль оси восточной дамбы имел в верхнем горизонте осоково-древесный (березово-ольховый) торф мощностью 2 м со степенью разложения от 55 до 60% и естественной влажностью 85,0%. Следующий горизонт содержал древесный торф, переходящий внизу в иловато-древесный мощностью 2,5—2,7 м, со степенью разложения 60—65%. Подстилающим торфяную залежь минеральным дном являлся заиленный песок, местами имеющий разжиженное состояние.

Дно торфяной залежи имело крутую впадину с глубиной до 3 м, заполненную торфянистым мергелем, тонкими подвижными илами, обра-

зовавшимися в результате заиления и заболачивания бывших водоемов и старого русла реки. Верхние слои торфяной залежи в районе деформаций были хорошо осушены прорытой выемкой канала, нижние же — весьма увлажнены.

Деформации с образованием трещин произошли в два периода. Первое образование трещин произошло вслед за отсыпкой дамб; второе — через 7 месяцев после произведенной досыпки дамб. Первая деформация произошла зимой 1934 г. и выразилась в появлении на четверном откосе восточной и южной дамб опытного участка небольших трещин длиной 2—3 м и шириной в верхнем раскрытии до 1—1,5 см. В течение месяца трещины увеличились в длину по восточной дамбе до 24 м и по южной дамбе — до 6 м, а в ширину — до 10—15 см. За это время деформация стабилизировалась.



Фиг. 85. План расположения трещин на Восточной и Южной опытных дамбах болота вида VII.

Причиной образования трещин были быстрый темп работы по прорытию канала, переувлажненность нижних горизонтов торфа, по которым произошел сдвиг верхних слоев откоса, крутое падение минерального дна торфяной залежи, по которому происходило сползание нижней части откоса выемки; подстилающие торфяную залежь илстые, мергелистые и сапропелевые отложения, выжимаясь у дна выемки канала, также способствовали смещению нижних слоев торфа.

Вторая деформация произошла через 7 месяцев после первой и сопровождалась образованием новых трещин и большим верхним раскрытием старых.

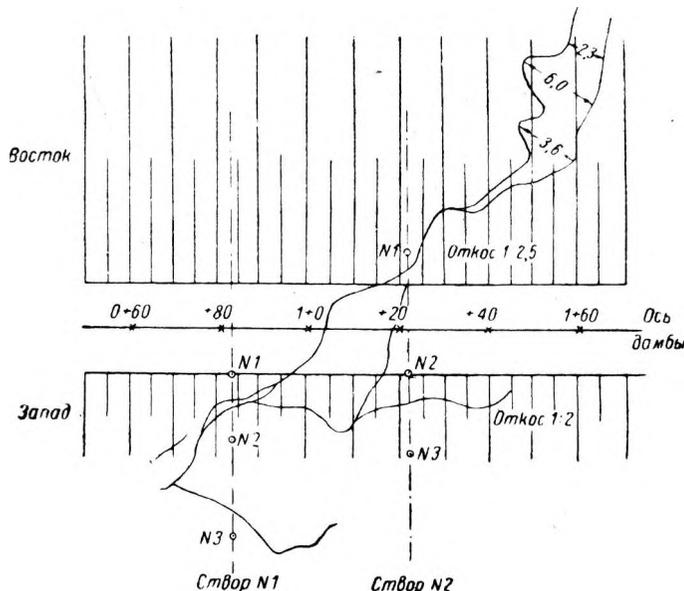
Ликвидация происшедших деформаций была произведена путем расчистки трещин с поверхности до основания и забивки образовавшихся после расчистки траншей песком в уровень с поверхностью. В таком виде трещины были залиты водой при наполнении бассейна. После опорожнения бассейна была установлена полная стабилизация затампонируемых трещин. После этого восточный откос выемки был пригружен песком слоем в 1 м; южная торфяная дамба была размита гидромонитором.

4. ДЕФОРМАЦИЯ ЗАПАДНОЙ ТОРФЯНОЙ ДАМБЫ

(См. табл. 41, тип. 1; фиг. 58, а)

Деформация была обнаружена во время намыва гребня дамбы на торфяном откосе как с мокрой, так и сухой стороны в виде трещин, проходивших через гребень дамбы, ближе к бровке сухого откоса, на протяжении 110 м (фиг. 86). На сухом откосе разветвления трещин терялись в пределах верхних слоев торфяного грунта. Южная часть основной трещины на мокром откосе разветвлялась, захватывая часть бермы. Около трещин были обнаружены явные следы размыва песчаной массы. Размеры основной трещины достигали в верхнем раскрытии 10—15 см ширины и до 1,5 м глубины; размеры боковых трещин в верхнем раскрытии — не более 1—1,5 см ширины с незначительной глубиной.

Трещины произошли в намытой гидромонитором песчаной призме и части вершины дамбы, намытой на торфяное ядро, срезанное по откосу



Фиг. 86. План расположения трещин западной намывной дамбы на болоте вида VII.

влены горизонтами древесного торфа со степенью разложения 60—70%, хорошо смешивающегося в руках в бесструктурную массу. Торфяная залежь подстилалась мелкозернистым заиленным песком.

В верхней части основной трещины на гребне дамбы произошло вертикальное смещение краев на 10—15 см; горизонтальных смещений и выпираний не наблюдалось. На торфяном кавальере, за пределами дамбы, были обнаружены две трещины, идущие вкось на северо-запад и теряющиеся в прилегающей торфяной залежи. По этим трещинам видны следы протекавшей пульпы и разлива ее по болоту.

К основным причинам образования трещин нужно отнести слишком быстрый темп работы по намыву песчаной призмы в верхней части дамбы (в течение 2 суток намыто около 3 м песчаной призмы и гребня). При быстром же темпе намыва оседающая песчаная масса обычно претерпевает смещения с образованием трещин главным образом в сторону выемки. В смытом откосе торфяного ядра перед намывом пульпы могли быть не обнаруженные на-глаз трещины, которые, расклиниваясь песчаной пульпой, могли получить уширение и дать смещение вышележащей песчаной массы. Наличие в северной части участка дороги для транспорта грунта могло также послужить причиной образования трещин, так как

1 : 1 с напорной стороны. Трещины совпадали со стыком двух дамб, отсыпанных в различное время и имевших неодинаковый коэффициент уплотнения на стыке. Торфяное ядро было отсыпано из древесно-осокового торфа со степенью разложения 50—60%; торф транспортировался из выемки канала.

Дамба отсыпалась на торфяное основание, состоящее в верхних горизонтах из тростниково-древесного торфа, с включением твердых древесных остатков. Нижележащие слои основания были предста-

образованный для нее проем между двумя смежными участками дамб, также построенными в разное время, засыпался в более поздний период и имел к моменту деформации другую плотность.

Через два дня после появления трещин намыв дамбы был прекращен, была произведена вертикальная и горизонтальная съемка аварийного участка с нанесением трещин и начаты наблюдения по двум поперечникам (створам) (фиг. 86) за состоянием откосов и трещин. Шестидневные наблюдения показали, что трещины стабилизировались.

Образовавшиеся трещины были расчищены и забиты песком с тщательной утрамбовкой; то же сделано и на месте выхода воды в конце размытой трещины у бермы мокрого откоса. Дальнейший намыв песчаной пригрузки и бечевника производился более медленным темпом слоем не более 30—40 см в сутки.

Для увеличения устойчивости западной дамбы и понижения ее фильтрационной способности был произведен намыв банкета шириной 7 м до отм. 130,50 при отметке гребня дамбы — 132,50.

5. ДЕФОРМАЦИЯ МЕРГЕЛИСТОЙ ОПЫТНОЙ ДАМБЫ

(См. табл. 44, тип 13, фиг. 58, а)

Дамба была отсыпана в виде опыта на протяжении 200 м из замергелеванного торфа и на мергелистом основании. К моменту аварии дамба имела высоту 3,7 м.

Замергелеванный торф брался из выемки канала против дамбы и представлял собой серо-коричневую мажущую массу, весьма увлажненную, в свежем виде плохо поддающуюся уплотнению. Прележав несколько часов, масса обезживалась и более легко поддавалась уплотнению. За день отсыпали по одному слою толщиной в уплотненном состоянии 15—16 см. Торфяная залежь основания под дамбой имела весьма пестрое строение. В верхнем горизонте залегал малоразложившийся (степень разложения 25—35%) осоковый торф с остатками тростника мощностью 1—1,25 м. Этот слой подстилался прерывистыми слоями заторфованного мергеля, в нижних слоях переходящего в более чистые прослойки мергеля, в котором встречались следы ракушек. Ниже мергеля залегал древесный сильно разложившийся торф (степень разложения 65—70%) мощностью 0,5 м.

Ниже залегали заторфованные и замергелеванные слои торфа (0,75—1 м), свидетельствующие о сменах более сухих периодов, когда в большем количестве отлагалась органическая масса, с периодами более влажными, когда в большем количестве отлагался мергель. Прослойка древесного торфа в нижних слоях мощностью около 1 м говорит о заболоченности когда-то произраставшего здесь леса. Торф подстилался серым илистым и мергелистым песком, лежащим на твердом водоносном среднезернистом песке.

Внезапно во время отсыпки дамбы на поверхности гребня появилась продольная трещина длиной около 90 м. Часть гребня от трещины к мокрому откосу дала вертикальное смещение, опустившись на 0,6—0,8 м. Берма получила горизонтальное смещение в сторону канала до 1,5—2 м; дно канала против трещины поднялось на 0,20 м.

Во время аварии влажность торфа тела дамбы была 80,7—84,1%. Влажность торфяно-мергелистого основания достигала 83% и, очевидно, была у предела разжижения.

Таким образом была налицо явная ненадежность замергелеванного торфа для отсыпки торфяного ядра. Реставрация такой дамбы не достигала цели. Вследствие этого она была размыта до основания и вместо нее намыта песчаная дамба.

6. ДЕФОРМАЦИЯ ТОРФЯНОГО ОСНОВАНИЯ И ОТКОСОВ ВЫЕМКИ КАНАЛА НА БОЛОТЕ ВИДА III

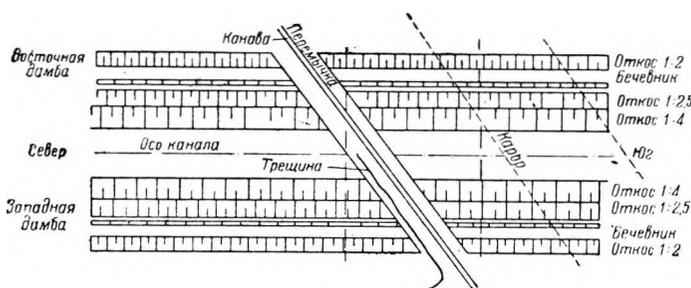
Здесь трещины в торфяном основании, в теле дамбы и в откосах выемки канала появились в различное время на различных участках во

время работ по отсыпке торфяных дамб. Наибольшая трещина была замечена в основании западной дамбы и имела направление под углом около 45° к оси дамбы (фиг. 87).

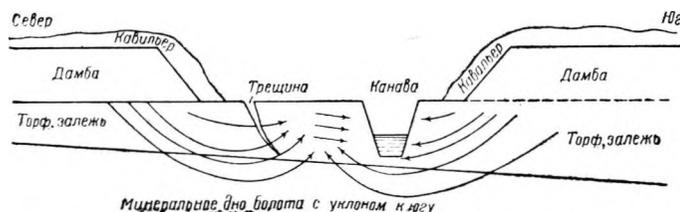
Проходящая по перемычке канава раньше служила для отвода воды с площади торфоразработок. Старый карьер от машинной разработки торфа пересекал трассу канала параллельно оставленной перемычке в 20 м к югу от нее. Торфяная залежь перемычки была достаточно хорошо осушена и осела на 0,35—0,45 м.

В пределах откоса канала и основания дамбы трещина достигала наибольшей ширины поверху 5 см и глубины 1—1,5 м (фиг. 88).

Верхний край трещины с южной стороны осел на 5—10 см. Торфяная залежь около трещины подстилалась плотным песком. Рельеф минерального дна имел уклон до 0,01 с севера на юг. К моменту образования трещины западная торфяная дамба была отсыпана до проектных отметок



Фиг. 87. Расположение трещины на болоте вида III.



Фиг. 88. Западная торфяная дамба с разрывом против перемычки.

Трещина была расчищена на всю глубину и была сделана траншея с откосом $1 : \frac{1}{2}$ и шириной по дну 0,5 м. Траншея была забита качественным торфом со степенью разложения больше 50%, с тщательной утрамбовкой.

Позже на расстоянии около 900 м от первой трещины в основании той же дамбы была обнаружена вторая трещина по перемычке. Причина ее образования была та же, что и для первой трещины.

Для ликвидации трещины торфяное основание дамбы было полностью удалено и спланировано с откосом $1 : 5$. Торфяная дамба была отсыпана непосредственно на минеральном основании. Две следующие трещины были вскрыты до основания и заделаны качественным торфом с тщательной утрамбовкой. Ввиду явной тенденции их к увеличению после вскрытия откосы торфяного основания были сняты с уклоном $1 : 4$ и пригружены слоем песка 1,5—2,0 м.

Позднее на том же болоте была обнаружена продольная трещина на берме у подошвы мокрого откоса восточной дамбы. Трещина имела вертикальный разрыв; горизонтального смещения откоса не наблюдалось. Вероятной причиной образования этой трещины явилась нагрузка на поверхность бермы с одной стороны в виде песчаной пригрузки с некоторым резервом у подошвы откоса дамбы, с другой — в виде узкоколеи-

с разрывом (против перемычки; на сухой откос был надвинут торфяной кавальер.

Вероятной причиной образования трещины является нагрузка от дамб и кавальеров, отсыпанных по обе стороны перемычки, а также переувлажнение торфа в месте деформации за счет отжатия из основания дамб воды, которая, профильтровавшись до минерального грунта, способствовала смещению откоса по направлению к канаве с разрывом его в виде трещины; этому способствовал и уклон твердого основания в сторону канавы.

ной ветки с постоянным движением по ней груженых составов вагонеток у бровки откоса выемки (фиг. 89).

Трещина была раскрыта, расчищена, затампована качественным торфом и сверху пригружена песком до проектной отметки. Узкоколейная ветка на участке трещины была перенесена к нижней бровке откоса дамбы.

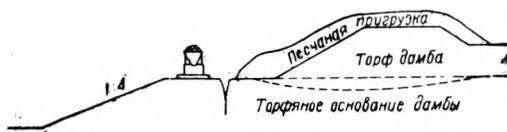
7. ДЕФОРМАЦИЯ ОТКОСОВ ЗАПАДНОЙ ТОРФЯНОЙ ДАМБЫ КАНАДА

Деформация западной торфяной дамбы канала обнаружилась в виде продольных трещин по мокрому и сухому откосам.

К моменту образования трещин дамба была отсыпана высотой по оси — 2,5—3,0 м. Торф для отсыпки брался из резерва примыкающего торфяного болота вида IV, по ботаническому составу древесно-осоковый, со степенью разложения 35—45%, с высокой зольностью от присутствия наносных минеральных элементов. Отсыпанная масса уплотнялась ручными трамбовками.

Основание под дамбой состояло из пылевой супеси и площадок песка, которым был заменен удаленный сомнительный грунт (частично — органического происхождения, частично — из заторфованного мергеля, залегающего под минеральной частью основания). Минеральное основание участка под дамбой имело уклон в обе стороны от оси дамбы.

Длина трещины на сухом откосе доходила до 80 м и на мокром откосе — до 30 м. Ширина раскрытия трещин поверху доходила до 20 см и глубина — до 50 см. Оба откоса дамбы сползали; кювет



Фиг. 89. Образование трещин на берме.

у подошвы сухого откоса был заполнен выжатой массой.

Причинами деформаций послужили разжиженное естественное и искусственное минеральное основание под дамбой вследствие выжимания воды из отсыпаемых слоев торфа, наклонное положение основания, слишком высокая влажность отсыпаемого торфа, достигавшая 85—89%, форсированная отсыпка торфа и неустойчивость мергелистой части основания, выжимаемого под влиянием вышележащей нагрузки.

Для ликвидации происшедших деформаций были приняты следующие меры. К сухому откосу в надвижку был пригружен в виде банкета торфяной грунт из кавальера. Гребень банкета во время отсыпки был ниже гребня дамбы на 0,5 м. Кювет в месте оползня был расчищен и загружен фильтром, в который входили в последовательности снизу вверх: гравий, крупный песок, волокнистый торф; выше — имевшийся в наличии грунт. Вода отводилась кюветом в сборный колодец и отсюда по мере скопления выкачивалась механически. С напорной стороны откос дамбы был пригружен крупнозернистым песком с заглублением в виде зуба в берму на 0,5 м, и дальнейшая отсыпка тела дамбы производилась одновременно с пригрузкой песком, причем бровка дамбы всегда превышала песчаную пригрузку на 0,5—1 м.

Кроме этого вдоль бермы была прорыта водоотводная канава глубиной 0,75 м для отвода выжимаемой в основании дамбы воды в выемку канала через поперечную канаву. После пригрузки мокрого откоса и надвижки банкета на сухой откос трещины были расчищены и заделаны качественным торфом с тщательным уплотнением. Ежедневно в тело дамбы отсыпалось не более одного слоя — 22—21 см в рыхлом состоянии и 16—18 см после трамбования. В экранную часть дамбы был выбран торф со степенью разложения не менее 50%. В районе усиленных оползней были заложены два шурфа для наблюдений.

После выполнения этих работ деформации стабилизировались. Но по истечении двух месяцев после возобновления отсыпки дамбы от допол-

нительной нагрузки появились трещины со стороны мокрого откоса. Сухой же откос, пригруженный банкетом, оставался ненарушенным.

Мокрый откос к этому времени был пригружен смешанным минеральным грунтом разной крупности. Толщина пригрузки на откосе дамбы была от 0,40 до 0,70 м и в упорной части откоса достигала 1,20 м.

При повторной деформации трещины образовались на гребне дамбы, параллельно оси, глубиной до 1 м и шириной от 10 до 30 см; в отдельных местах по гребню были просадки глубиной до 40 см; мокрый откос оплыл.

Вновь образовавшиеся деформации отчасти явились следствием неполного устранения причин первой деформации, поэтому для ликвидации второй деформации были приняты следующие меры. Песчаная пригрузка в местах ясно выраженных оползней откосов была снята до проектного профиля. Для предупреждения дальнейших деформаций была увеличена толщина пригрузки мокрого откоса песком. Отсыпка дамбы была прекращена впредь до производства песчаной пригрузки и уположения ее. Дальнейшая пригрузка мокрого откоса дамбы велась одновременно с отсыпкой торфяного ядра. После этих работ дамба стабилизировалась.

8. ДЕФОРМАЦИЯ ПОЛОТНА ШОССЕЙНОЙ ДОРОГИ

Песчаная насыпь шоссе на участке болота вида IV была расположена выше поверхности болота на 2,10—2,60 м. Вместе с конструктивным запасом на осадку насыпь была сделана выше поверхности болота на 2,90—3,36 м. По подсчетам запас на осадку выражался в 39,6% от глубины сжимаемого основания, увеличиваясь до 65,3% на участках залежи, подстилаемых глубокими илистыми и замергелеванными слоями; в последнем случае предусматривались также возможные смещения под нагрузкой неустойчивых илов и мергелей.

К моменту отсыпки полотна шоссе болото не было осушено, и влажность торфа находилась у предела насыщения — 88—90%. По стратиграфическому профилю торфяная залежь сверху вниз последовательно слагалась из осокового торфа, древесно-осокового, древесного, осоково-гипнового и в нижних горизонтах — из тростниково-разнотравного. Самые нижние слои торфа переходили в прослойки замергелеванного торфа, переходящего местами в чистый мергель, залегающий слоями или линзами и подстилаемый илами. Общая мощность торфа и подстилающего мергеля и илов колебалась в пределах от 5 до 9 м. Дно залежи имело некоторый уклон в направлении с востока на запад.

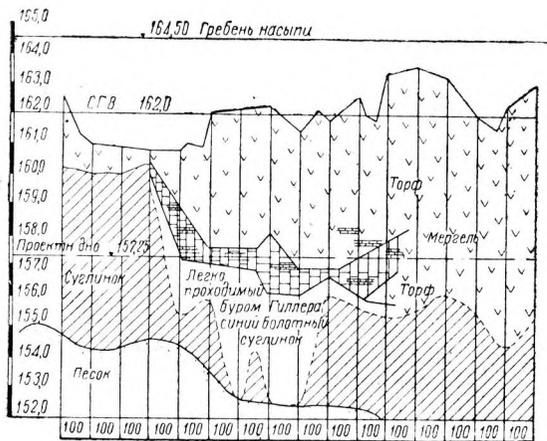
Деформация насыпи началась с продольных трещин, а затем появились просадки и оползни. Максимальные деформации получились в местах, где торф подстилался наиболее глубокой свитой мергелей и илов.

Ближайшей причиной оползней и просадок явились подстилающие торфяную залежь слабые мергелистые и илистые слои, которые в неосушенном состоянии находились у предела текучести и были под действием песчаной нагрузки выжаты в обе стороны из-под тела насыпи. Вследствие выжимания по бокам насыпи образовались выпучины, сопровождавшиеся разрывами, сдвигами торфа и трещинами, лучеобразно расходившимися от вершины выпуклости. Песчаная насыпь полотна явилась как бы твердым телом, погруженным в разжиженное основание с разрывом торфяной массы при выпучивании.

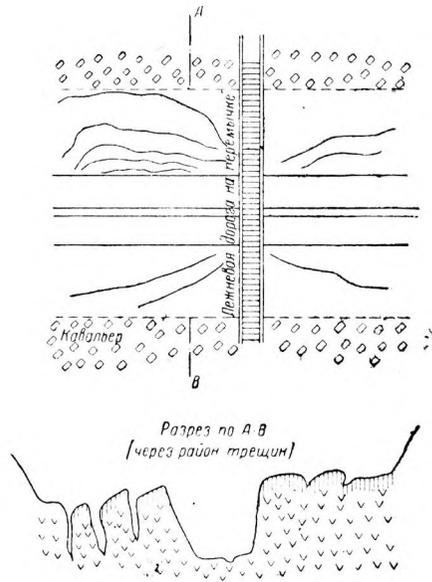
Основным мероприятием по ликвидации вышеописанной деформации сползания, трещин и просадок являлись расчистка и заделка трещин качественным торфом, а в зимние морозы — песком и досыпка образовавшихся просадок песчаной насыпью. Однако вследствие увеличения удельных нагрузок от песчаной досыпки осадка снова возобновилась с одновременным усилением местных явлений выпучивания торфа, хотя и в меньших размерах. Вероятно, досыпка потребует и в дальнейшем, пока не установится статико-динамическое равновесие.

Участок, на котором в большей мере обнаруживались деформации после выемки канала — трещины и сползания торфяных слоев, — лежит между двумя водоразделами: минеральным и несколько смещенным к северу — торфяным. Минеральное дно болота от минерального водораздела образует крутой уклон, по которому и наблюдалось интенсивное сползание откоса выемки (фиг. 90).

Подстилающие торфяную залежь мергель и нижележащий синий болотный суглинок были сильно обводнены выклинивающейся почвенной водой. Эти водоносные жилы проходили также в торфяной залежи, особенно в нижних торфяных горизонтах, имеющих связь с грунтовым питанием. При разрезе торфяника выемкой канала водоносные жилы значительный период продолжали работу с напорной стороны на восточных откосах выемки и довольно быстро спалились на западных откосах выемки с поднапорной стороны. Поверхностные слои торфа питались водой с окружающего водосбора.



Фиг. 90. Профиль строения торфяной залежи болота вида VII по оси канала в месте оползня.



Фиг. 91. План расположения трещин на болоте вида VII в месте деформации. Поперечное сечение деформированного канала.

В пределах трассы канала торфяная залежь раньше была осушена сетью открытых канав глубиной 1—1,5 м под выработку торфа машинным способом. К времени прорытия канала осушительная система заплыла и не работала. Нижележащие горизонты торфяной залежи не были затронуты осушением: в местах наибольшей деформации влажность торфа достигала 91—92%. Общая мощность торфяной залежи в месте деформации достигала 5 м.

Наибольшие деформации были обнаружены там, где выемка канала была сделана полностью; в мелкой залежи деформации не наблюдалось. У перемычки, по которой проходила лежневая дорога, деформация откосов выемки канала вправо и влево от дороги наблюдалась в виде лучисто расходящихся трещин с заметным вертикальным и горизонтальным смещением в сторону выемки (фиг. 91).

Смещения откосов выемки в сторону оси канала происходили более интенсивно непосредственно за выемкой вследствие быстрого понижения горизонта грунтовой воды в торфе, увеличения веса и давления верхних

¹ См. главу IV, п. 8.

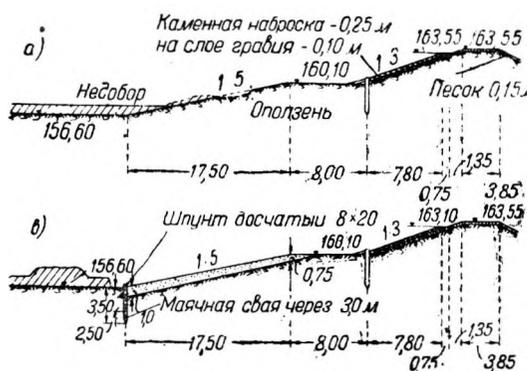
торфяных горизонтов на нижележащие слои и скольжение их по влажным слоям в сторону выемки. Там, где дно выемки углублялось в слой Мергеля, скольжение и выпирание откосов выемки происходило по мергелю, пришедшему после разреза в текучее состояние. Смещения массы в сторону выемки канала увеличивались еще и под нагрузкой кавальеров, которые были отсыпаны на расстоянии 1 м от верхней бровки выемки. С течением времени динамика сползания торфа и мергеля затухала.

Осадке и сползанию подверглись более мощные и в большей степени (60—70%) разложившиеся слои торфа. Вскрытый выемкой мергель под влиянием выжимаемой из торфяного слоя воды быстро приходил в текучее состояние. Крутой уклон подстилающего мергеля минерального грунта усиливал сползание. Эти обстоятельства и послужили главными причинами деформации откосов.

Против описанных деформаций были приняты следующие меры. Запроектированный четверной откос выемки канала был уположен до 1:5; берма была уширена до 2 м; откосы выше бермы с 1:2,5 уположены до 1:3 до высоты 2,5 м, где был устроен бечевник шириной до 4—6 м для

разгрузки откосов канала. Откосам кавальеров в сторону канала придан уклон 1:3, поверхность их спланирована с уклоном 0,01 в сторону от канала.

В целях рационализации производства выемки торфа из русла канала автором настоящего труда были предложены следующие мероприятия. Перед производством работ торфяная залежь подлежит заблаговременно интенсивной осушке. На ненадежных участках оставляется уширенная берма 10—12 м с таким расчетом, чтобы при деформации откосов их можно было бы уположить до 1:5 и 1:6. Выемка торфа в глубоких



Фиг. 92. Деформация откоса:

а — профиль деформации откоса; б — профиль крепления откоса выемки и бермы.

слоях залежи производится горизонтальными сплошными метровыми забоями. На участках, подстилаемых мягкими минеральными грунтами, остаются поперек канала перемычки для предупреждения трещин и сползания торфа в направлении выемки. Эти перемычки удаляются лишь после достаточного осушения торфяной залежи и стабилизации массы. Ширина перемычек в зависимости от степени устойчивости подстилающих грунтов должна равняться от $\frac{1}{2}$ до $\frac{1}{3}$ длины участка. При выемке торфяной массы необходимо удалять воду кюветом, прорытым по оси канала. Вода, скопляющаяся между перемычками в отводном кювете, должна отводиться через укрепленные отверстия в перемычках, а из пониженных участков — насосными установками; выемку торфяной массы необходимо производить с промежутками, достаточными для обезвоживания ее.

Выемку торфа необходимо производить, оставляя запас в 0,5—0,75 м; зачистку откосов по шаблону производить после окончательного оседания торфяного пласта и прекращения деформации.

Сделанная с указанными предосторожностями выемка канала оказалась прочной: на откосах и берме трещин больше не появлялось. На другом же неустойчивом участке после отсыпки торфяной дамбы по обеим сторонам канала оползни и сдвиги повторились.

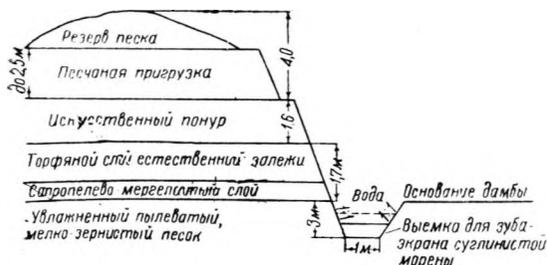
Для уменьшения удельной нагрузки на грунт под каменное крепление была запроектирована более легкая, нежели гравийная, торфяная постель с укреплением подошвы мокрого откоса дамбы сваями диаметром 16—18 см и длиной 3,5 м, забитыми на расстоянии 1,5 м. Между тем такое крепление на торфяных болотах не только не достигает цели, но часто

приводит к разрыву сплошности торфяной залежи и усилению фильтрации через образовавшиеся разрывы, что и имело место в следующем году при досыпке бечевника на обеих сторонах канала (фиг. 92,а).

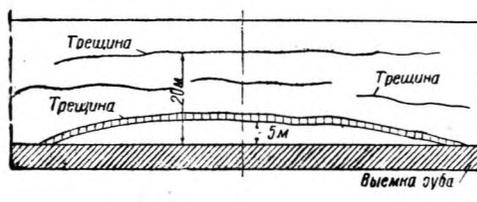
Чтобы ликвидировать деформацию, откос выемки канала был спланирован до 1:5; образовавшиеся трещины расчищены до основания и заделаны качественным торфом; в большие морозы, когда торф замерзал, трещины засыпались песком. Оставшийся на дне канала против оползня недобор первоначально был вынут до красной отметки только у бровки нижнего откоса выемки. Остальная масса недобора временно была оставлена для создания упора против сдвига откоса в сторону канала. Когда откос и берма были спланированы и пригружены песком, была произведена выемка остальной части недобора. Пригрузка откоса песком производилась от нижней бровки кверху и была завершена досыпкой бечевника дамбы песком (фиг. 92,б).

10. ДЕФОРМАЦИЯ ТОРФЯНОГО ПОНУРА У ДАМБЫ ВОДОХРАНИЛИЩА

Понур дамбы первоначально был запроектирован глиняный. Однако применение глины требовало доставки ее с значительного расстояния. Это заставило применить для понура торф одного из пересекаемых дамбой болот со степенью разложения массы 50—60% и $K_{10^0} = 0,0000A$ см/сек.



Фиг. 93. Профиль отсыпанного торфяного понура дамбы.



Фиг. 94. План расположения трещин торфяного понура дамбы.

На пересекаемых дамбой трех болотах торф был полностью удален из-под основания дамбы и уложен в кавальеры, и только из одного болота часть торфа со степенью разложения не ниже 50% и с влажностью 82—85% была использована для отсыпки понура. По ботаническому составу торф, отсыпавшийся в понур, был осоковый, гипново-осоковый и древесно-осоковый. Основанием для понура служил частично песок с большой примесью пылеватых и иловатых частиц, частью — торф. Площадь основания понура ввиду высокого стояния уровня грунтовых вод была осушена открытыми канавами и торф укладывался на полосы между осушительными канавами. По канавам вода отводилась в поперечную выемку глубиной до 3 м, вырытую для заложения песчаного зуба у подошвы дамбы со стороны напорного откоса.

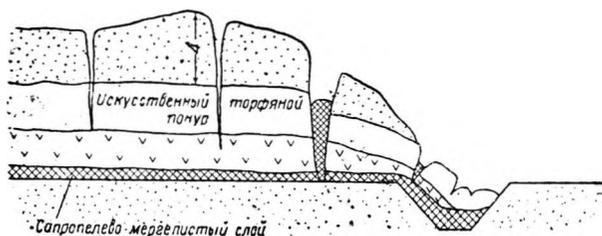
В тех местах, где в основании более разложившийся торф залегал слоями не менее 3 м, он вскапывался на месте на глубину 0,5 м и уплотнялся трамбованием, таким образом получался естественный понур. Там, где естественная залежь была меньше 2,5 м, сверху отсыпался торф из резерва до такой же толщины: получался смешанный понур. На песчаном слое отсыпался искусственный понур из привезенного торфа толщиной не менее 1,5 м. Понур пригружался слоем песка в 2,5 м. В зимний период для образования резервов на площади понура песок отсыпался слоем 4 м, картами размером 40 X 40 м.

На участке деформации толщина отсыпанного искусственного понура вместе с торфяным основанием достигала 3,2—3,7 м (фиг. 93).

Деформация началась с появления на поверхности понура трещин, параллельных краю выемки под зуб, затем крайняя часть понура шириной 6 м дала вертикальное смещение на 40—50 см и сдвиг в сторону выемки зуба на длине 100 м (фиг. 94). С наступлением зимних морозов деформация

стабилизировалась до весны. После оттаивания откосы выемки для зуба и берма дали новые трещины, и оползни увеличились. Наибольшие оползни произошли в тех местах, где был отсыпан резерв песка (фиг. 95). Трещины глубиной до 6 м образовались и в более удаленных от зуба участках. Сдвигом массы на протяжении 50 м была заполнена вся выемка для зуба с наплывом массы через нее на основание дамбы.

К причинам деформации понура нужно отнести следующее. Глубокая выемка для зуба у края понура с крутыми откосами была наполнена водой, вследствие чего откос был подмыт и местами сполз, приобретя свойства пльвуна. Слишком мощная пригрузка песком, а также динамическая нагрузка от груженых автомашин привели в совокупности к перенапряжению, которое в связи с неустойчивостью сапропелево-мергельистого слоя, по которому произошло скольжение понура, вызвало трещины и сдвиги.



Фиг. 95. Поперечный профиль оползня понура дамбы.

мированная часть понура вместе с песчаной пригрузкой была введена в эксплуатацию, при этом замороженный и пересохший торф с откоса был снят и заменен новым. Выемка для зуба была заполнена суглинком верхней морены. После произведенных исправлений никаких новых деформаций в понуре не наблюдалось.

Деформации понура были исправлены следующим образом. Для выявления степени и направления деформации в месте оползня была прорыта поперечная траншея. Деформации понура были исправлены следующим образом. Для выявления степени и направления деформации в месте оползня была прорыта поперечная траншея. Деформации понура были исправлены следующим образом. Для выявления степени и направления деформации в месте оползня была прорыта поперечная траншея.

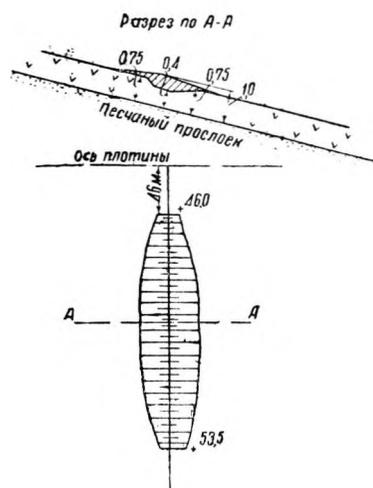
11. ДЕФОРМАЦИЯ СЛОИСТОГО ЭКРАНА

На одном из участков плотины при отсыпке песчаного прослойка по первому нижнему торфяному слою экрана были обнаружены сдвиги этого слоя по откосу (см. выше. гл. VI, п. 4, фиг. 55). Зондированием было обнаружено, что в нижней части экрана произошло утолщение слоя с 0,75 до 0,90 м вследствие оплыва; в средней части откоса толщина слоя достигла 0,85 м, а в верхней части уменьшилась до 0,63—0,70 м с образованием трещин в нижней части экрана (фиг. 96). Дальнейшему оползанию торфяного слоя экрана способствовал сильный ливень (49 мм). Внизу под слоем торфа образовались водяные мешки; вода из них была выпущена сифонными трубами, один конец которых продавливался через слой торфа.

Весовая влажность торфа при укладке его в экран в местах наибольшей деформации достигала в среднем 85%. Отсыпка песчаного прослойка производилась сверху вниз, причем песок местами наваливался кучами в виде резервов.

В месте наибольшего сдвига образовалось значительное углубление в виде складки длиной параллельно оси плотины 8 м. Разрыва торфяного слоя не произошло.

Главной причиной деформации была весьма высокая влажность торфа, отсыпанного в первый слой экрана, достигавшая 88%. Второй причиной сползания было неправильное ведение работ с отступлением от пра-



Фиг. 96. Деформация торфяного слоя экрана минеральной плотины.

вил, предусматривающих одновременное возведение всего экрана полным сечением вместе с песчано-гравелистой пригрузкой, являющейся упором для экрана. Отсыпка песчаного прослойка, перекрывающего первый торфяной слой, производилась с большой высоты сверху вниз по откосу с образованием временных запасов (резервов) на торфяном слое, что создавало дополнительную нагрузку. Прошедший сильный ливень также значительно ускорил наступление деформации. Водяные потоки, стекающие по откосу, подмывали торфяной слой снизу и увеличивали вес верхнего песчаного прослойка.

Для ликвидации деформации песчаный прослой, покрывающий сползший слой торфяного экрана, был снят. После этого экран отсыпался не отдельными слоями, а полным сечением, вместе с песчано-гравелистой призмой. Деформированный слой торфа перебирался на месте, разравнивался с уплотнением трамбованием и приданием проектной толщины с учетом осадки. Была произведена интенсивная осушка резервов в болотах, где производилась выемка торфа открытыми канавами и с механической откачкой. За состоянием торфа были усилены контроль и наблюдение. В отсыпку не допускался торф с влажностью выше 83—84%, а также пересохший торф с влажностью ниже 80—78%. После произведенных исправлений в дальнейшем никаких деформаций не наблюдалось.

12. ВЫПУЧИВАНИЕ ТОРФЯНОГО ДНА И ОТКОСОВ КАНАЛА В ЗИМНИЙ ПЕРИОД

Явление выпирания торфяного дна и откосов выемки в зимний период было обнаружено в отдельных случаях с поднятием грунта до 0,4—0,5 м.

Наблюдения, поставленные на болоте вида VII, где происходило наиболее интенсивное поднятие дна, производились в декабре 1936 г. За 9 дней наблюдений максимальное поднятие дна не превышало 27 см, а в среднем составляло на илистом участке 11 см и на чистом торфяном участке—19 см. Дальнейшие наблюдения показали значительное уменьшение поднятия дна.

Наблюдениями установлено, что выпирание илистого дна, где имеется обильный выход подземных ключей и родников, происходит в большей степени, нежели выпирание торфяного и песчаного дна, где деятельность грунтовых вод менее интенсивна. Выпирание дна в начале зимы происходит более интенсивно, чем позже, когда уровень грунтовых вод в связи с промерзанием грунта понижается; во время зимних оттепелей вспученная масса, состоящая из льда, подтаивает, и вспучины опускаются. Более интенсивное выпирание происходит в местах выклинивания грунтовых вод; отвод грунтовых вод уменьшает поднятие дна.

При вспучивании происходит столбчатое нарастание ледяных кристаллов, идущее снизу вверх. Это явление обуславливается гидростатическим давлением напорных грунтовых вод. Вода замерзает в виде столбчатой ледяной массы и гидростатическим давлением поднимается, что и создает кажущееся выпирание дна канала. Столбчатая система наледи кристаллов снизу подстилается сплошным прослойком льда, на котором происходит вертикальное нарастание (снизу вверх) столбчатых рыхлокристаллических отдельностей (фиг. 97). При раздавливании под нагрузкой наледь распадается, принимая вид фирнового конгломерата.

При нарастании ледяной массы между слоистыми отдельностями поднимаются и частицы торфа или грунта и смерзаются со льдом. Иногда растущая система кристаллов поднимает частицы торфа сплошным слоем, что и создает иллюзию поднятия дна.

Исследования ледяных монолитов показали, что рыхло вмёрзший грунт занимает $\frac{1}{5}$ — $\frac{1}{6}$ всего объема. На торфяном и песчаном дне вынос частиц с ростом кристаллов происходит еще в меньшей степени.

На торфяных болотах и прилегающих поймах уровень грунтовых вод часто лежит выше отметок дна и нижней части откосов канала. Вслед-

ствии этого происходит выклинивание воды в виде ключей и родников в нижней части откосов и на дне канала.

На некоторых участках приканальной полосы на болоте вида VII поверхность восточной полосы за дамбой была покрыта водой, что еще больше усиливало фильтрацию воды в сторону выемки канала. Поэтому, чтобы не ослаблять прочности дамб и откосов выемки, было необходимо в полосе за дамбой отвести воду системой дрен в водоприемник, а торфяные кавальеры спланировать, обеспечив сток воды в нагорную канаву. Вода с прилегающего водосбора также должна была перехватываться нагорными канавами.

В местах выхода грунтовых вод имели место выносы частиц грунта и разжижение минерального грунта, и таким образом происходило вспучивание вокруг выходов подземных вод. При наполнении канала водой вспучивание прекращалось.



Фиг. 97. Столбчатое нарастание ледяных кристаллов.

Чтобы уменьшить поверхностный размыв, разжижение и вспучивание грунта до наполнения канала, было необходимо выклинивающуюся почвенную воду в отдельных очагах ее выхода направлять в водоприемник, которым мог служить кювет, идущий по дну канала к насосной установке. Непосредственные очаги выхода воды засыпались слоем гравия в 15—20 см. Отвод воды от очагов выхода в водоприемник производился по системе дрен размером 20 X 20 см, которые засыпались крупным песком. Это позволило уменьшить вспучивание песка и ледяных образований.

13. ОСНОВНЫЕ ПРИЧИНЫ ДЕФОРМАЦИЙ

Анализируя имевшие место при строительстве канала Москва—Волга деформации торфяных сооружений и сооружений на торфяном основании, нужно признать, что каждая деформация вызывалась определенным комплексом причин, из которых однако некоторые имели явно преобладающее значение.

Наиболее частой причиной деформаций служила местная перегрузка основания торфяного грунта вследствие быстрого темпа работ и — как результат этого — неравномерная осадка, особенно в первый период работ. Неустойчивость торфяного основания, подстилаемого мягкими минеральными грунтами — илами, мергелями и сапропелем, — также приводила к оползням, которые обычно не распространяются на те участки, где торфяное основание подстилается более твердым минеральным грунтом.

Частой причиной деформаций являлась повышенная влажность строительного торфа, ослабляющая прочность торфяного основания, так как с увеличением влажности уменьшается угол внутреннего трения и сила сцепления торфа, обеспечивающие прочность грунта. При увеличивающихся нагрузках происходит более усиленный выжим воды в основании под дамбой, особенно при быстрых темпах работ. Местные скопления воды вызывают временные значительные ослабления несущей способности торфяного грунта, снижая угол внутреннего трения и силы сцепления и производя взвешивание частиц в свободной воде.

Торф реагирует на нагрузку значительно быстрее, чем минеральные грунты, вследствие большой влажности; отжатием большого количества воды поэтому и вызывались весьма большие осадки, достигавшие в отдельных случаях половины толщины сжимаемого основания. Особенно неравномерны были начальные осадки, сопровождавшиеся часто сдвигами и оползнями. Поэтому до возведения сооружения на торфяном основании следует применять компрессионный обжим торфяного основания, особенно на площадках сосредоточенных нагрузок.

Недостаточный откос заложения выемки на торфяных залежах, подстилаемых мягкими минеральными грунтами, также является частой причиной деформации. Поэтому при проектировании откоса рекомендуется оставлять уширенную берму с целью обеспечения, в случае необходимости, уположения откоса до 1 :5—1 : 7. Имевшие место разрывы сплошности торфяного грунта в виде траншей под зуб, шпунтов, свай, деревянной заборки и т. п. приводили к деформациям и усиленной фильтрации, связанным с ослаблением торфяного основания. Наконец при намыве песчаной пригрузки торфяных дамб пульпа, проникая в незаметные на-глаз щели, производит увеличение трещин, в результате чего происходит деформация сооружения.

ГЛАВА XII

ВЫВОДЫ

1. ОБЩИЕ СООБРАЖЕНИЯ

Опыт строительства канала Москва — Волга по применению торфа показал, что отдельные виды торфа могут с успехом применяться как строительный материал (дамбы, плотины), как противofильтрационный материал (понуры, экраны), как материал для устройства постели (вместо гравийной) под каменное крепление откосов выемки и насыпи, а также могут служить несущим основанием под торфяные и минеральные сооружения.

Имеющиеся в специальной литературе отрицательные указания о торфе как строительном материале и как несущем основании (проф. Мушкетов, проф. Бернацкий, проф. Елеонский и др.) в большей своей части должны быть отнесены к подстилающим торф мягким непрочным минеральным грунтам (илы, мергель, сапрпель), а также объясняются малой изученностью торфа в этом отношении.

В быстро развивающемся гидротехническом и дорожном строительстве, особенно в центральной и северной полосах СССР, изобилующих торфяными болотами, торф будет играть значительную роль как строительный материал и как несущее основание, так как в настоящих гигантских стройках далеко не всегда возможно и целесообразно обходить по техническим и экономическим соображениям встречающиеся болота, как это можно было делать раньше на стройках малых масштабов. Поэтому с государственной точки зрения весьма важно и своевременно изучение торфа как строительного материала, а также исследование и изучение работы уже возведенных торфяных сооружений и в первую очередь сооружений канала Москва — Волга.

В результате исследования торфяных грунтов может быть дана качественная и количественная характеристика грунта, и могут быть получены соответствующие коэффициенты, которые должны лечь в основание геотехнических расчетов при инженерном проектировании сооружений с применением торфа и на торфяном основании. Использование числовых значений анализов является весьма важным моментом проектирования, требующим инженерно-геотехнической интерпретации этих значений в связи с другими данными и коэффициентами инженерно-строительного характера; подобная инженерно-геотехническая интерпретация для торфяных грунтов находится еще в зачаточном состоянии. Нам еще неизвестны функциональные зависимости отдельных констант, обобщением которых возможно было бы подойти к обобщенным выводам, характеризующим основные геотехнические свойства торфяного грунта.

Для исследования строительно-технических и физико-механических свойств торфа необходима другая методика и другая аппаратура, чем та, которая применяется для исследования минеральных грунтов. Эта аппаратура должна быть специально сконструирована с использованием в первую очередь опыта строительства канала Москва — Волга.

Изучению торфяных болот и торфа должно быть уделено большое внимание не только по линии научно-исследовательской, но и по линии учебной, для чего в программы курсов соответствующих учебных заведений, и в первую очередь торфяных и гидротехнических, необходимо ввести специальный раздел: «Торф в гидротехническом и дорожном строительстве».

2. ПРОЕКТИРОВАНИЕ И ВОЗВЕДЕНИЕ ТОРФЯНЫХ СООРУЖЕНИЙ И СООРУЖЕНИИ НА ТОРФЯНОМ ОСНОВАНИИ

а) Типы торфяных оснований. Однородная торфяная залежь, подстилаемая твердыми минеральными грунтами, для небольших удельных нагрузок ($0,5—1,0 \text{ кг/см}^2$) является достаточно прочным несущим основанием. Торфяная залежь, имеющая разнородный стратиграфический профиль (горизонты пней, чередование слоев торфа с неодинаковой степенью разложения, неодинаковую обводненность отдельных горизонтов), является менее надежным несущим основанием.

Торфяная залежь, подстилаемая мягкими минеральными грунтами (мергель, илы, сапрпель), является ненадежным несущим основанием, так как мягкие, неустойчивые грунты имеют малый коэффициент устойчивости и под нагрузкой претерпевают смещение в стороны. Такие грунты должны удаляться до твердого минерального грунта.

Наиболее прочным несущим основанием можно считать погребенные торфяные залежи, подстилаемые твердыми минеральными грунтами. Эти торфяники являются как бы обжатыми и уплотненными в природных условиях.

б) Подготовка торфяных болот для строительных целей. Вследствие того, что торфяная залежь в естественном состоянии содержит большое количество влаги (90—92%), то для понижения ее влажности (с чем связано уплотнение и осадка залежи) торфяные болота должны быть предварительно не менее чем за год до начала строительства осушены.

Осушенное болото вследствие понижения грунтовых вод уплотняется (садится) под тяжестью верхнего невзвешенного слоя, что стабилизирует дальнейшую осадку торфа под нагрузкой. В результате осушения луговые болота дают осадку 10—15% от мощности торфяного слоя, а моховые — 15—30%.

Предварительный обжим на строительных площадках торфяной залежи, предназначенной служить несущим основанием, весьма полезно производить пригрузкой песком слоем 2—3 м примерно за шесть месяцев до начала строительства. В этом случае в подражание природе получаем погребенную площадку торфяной залежи, на которой первоначаль-

ная интенсивная осадка, связанная часто с деформацией, происходит до возведения сооружения.

На осушенном торфяном болоте значительно улучшаются физико-механические свойства торфа: увеличиваются угол внутреннего трения и силы сцепления, понижается фильтрационная способность.

Со строительных торфяных площадок необходимо удалять очес и верхний волокнистый слой торфа, так как этот горизонт обладает большой фильтрационной способностью и дает большую осадку, связанную с деформацией.

Во избежание разведения бетонных труб действием торфяниковых вод, содержащих гумусовые кислоты, закладка таких труб должна производиться на минеральное основание, а торф по обе стороны должен быть удален до минерального грунта на ширину до 20 м с забивкой и затрамбовкой образующихся пазух глиной.

в) Отсыпка торфяных сооружений на торфяном основании. Разрез торфяного слоя и разрыв сплошности торфа всегда сопровождаются усилением фильтрации через образовавшиеся щели. Поэтому нельзя допускать в торфяных грунтах устройства зуба, забивки свай, шпунтов, а также производить сопряжение торфяных откосов с торфяным или минеральным грунтом штрабами. Сопряжение торфяных стенок рационально производить не вертикально, а откосом 1:2 или 1:3 в зависимости от степени разложения торфа.

Рациональным типом крепления неустойчивых торфяных откосов является песчаная пригрузка; сваи, шпунты, деревянная заборка для крепления торфяных откосов допустимы только в тех случаях, когда они углубляются в твердый минеральный грунт.

На торфяных грунтах, подстилаемых ненадежными мягкими минеральными грунтами с пониженным коэффициентом устойчивости, необходимо оставлять уширенные бермы, отделяющие верхнюю часть откоса канала от нижнего мокрого откоса дамбы. В случае местных оползневых явлений берма позволяет произвести уположение откоса до 1:5 — 1:6.

На недостаточно устойчивых торфяных грунтах необходимо отсыпку сооружений производить малыми порциями, допуская в сутки нагрузку не более 8—10 г/см² и делая интервалы во времени. Усиленные темпы возведения насыпей на торфяном основании часто сопровождаются авариями.

При отсыпке сооружения следует укладывать торфяной слой в рыхлом состоянии высотой в 22—24 см; в результате последующего уплотнения высота слоя уменьшается до 14—16 см, т. е. уплотнение происходит на 30—35%.

Основным критерием для суждения о степени уплотнения торфа в сооружениях является коэффициент фильтрации, а не объемный вес, как при уплотнении минеральных грунтов. В торфах, минерализованных крупными наносами, объемный вес торфа может быть больше единицы при неудовлетворительном значении коэффициента фильтрации. При этом показатель предельного коэффициента фильтрации не только решает вопрос о фильтрационных качествах торфа в сооружении, но и является косвенным показателем стабилизации осадки.

Для отсыпаемых торфяных грунтов допустимая влажность от 82 до 84%. Торф с более повышенной влажностью требует значительных усилий на уплотнение; торф с влажностью ниже 78—76% теряет связность, не поддается уплотнению и отличается большой фильтрационной способностью. Вследствие этого не рекомендуется допускать в сооружения воздушно-сухой и замороженный торф.

Торфяные дамбы, как правило, покрываются слоем песка различной толщины. Эта пригрузка предохраняет поверхность дамб от выветрива-

ния и промерзания и является действительным противопожарным средством в верхней сухой части профиля.

Торфяные дамбы, законченные или отсыпанные неполностью в начале зимнего периода, перед наступлением морозов должны быть пригружены малоразложившимся торфом слоем 0,5—0,75 м или слоем песка 0,25—0,30 м. Это необходимо не только для предохранения торфа от промерзания и высыхания, но и для того, чтобы в следующий рабочий сезон можно было бы сразу же, убрав временную пригрузку, продолжать отсыпку дамбы, не затрачивая средств на уборку промерзшего слоя торфа, который как термический изолятор, оттаивает очень долго (до середины июня). Те же меры должны приниматься и по отношению к торфяному основанию, зачищенному под зиму и намеченному к возведению на нем насыпи в следующую весну.

Торфяное ядро и зачищенное торфяное основание под дамбы, отсыпанные летом, должны предохраняться от высыхания и образования трещин пригрузкой слоем малоразложившегося торфа или слоем песка. При летней отсыпке можно сделать некоторый запас в профиле дамбы в 0,3 м на каждом откосе ядра. Перед окончательной пригрузкой песком этот запас срезается, таким образом удаляется наружный высохший слой с образовавшимися трещинами.

Песчаная пригрузка, как показывают статические расчеты, является достаточно эффективным средством для повышения устойчивости откосов выемки и насыпи вследствие увеличения сил трения и объемного веса торфа. При поверхностных деформациях песок вследствие сыпучести заполняет щели и неровности, чем достигается постоянная сплошность массы. Поэтому, как правило, пригрузка откосов торфяной выемки и насыпи производится вслед за отсыпкой, начиная снизу вверх.

г) Устойчивость и осадка торфяного основания. Осадку торфяного основания под нагрузкой в зависимости от степени разложения и влажности торфа, а также величины удельной нагрузки достигает гораздо больших пределов, чем в минеральных грунтах. На болоте вида VII при мощности залежи осоково-древесного торфа в 3—7 м, степени разложения 60—70% и высоте дамб 3,5—7,5 м средний размер осадки составлял 37,2%; для торфа гипново-осокового на болоте вида III при глубине залежи 2—6 м, степени разложения 35—45% и высоте дамб 3,5—8 м средний размер осадки равнялся 42,7% от толщины сжимаемого основания.

Осадку как функция обезвоживания торфа достигает больших размеров на неосушенных болотах, нежели на болотах осушенных. Осадка несущего основания более интенсивно протекает в первый период после возведения сооружения и в течение шестимесячного срока достигает 95% от всей осадки сжимаемого основания. Между осадкой несущего торфяного основания на осушенных и неосушенных болотах (при определенной мощности до 3,5—4 м) и удельной нагрузкой до известного предела нагрузки (до 0,6 кг/см²) имеется прямолинейная зависимость.

д) Крепление откосов каменной наброской на торфяной волокнистой постели. Крепление откосов каменной наброской может производиться на чистом мхе и моховой постели со степенью разложения не выше 15% с целью обеспечения надлежащего коэффициента фильтрации через торфяной слой. При этом слой торфяной постели должен укладываться на откосе снизу вверх и по уплотнению легким трамбованием должен иметь толщину 25 см без разрывов и швов.

е) Всплывание «зеленых островов». При затоплении торфяных болот происходит всплытие очеса и верхнего малоразложившегося слоя торфа с объемным весом меньше единицы. Всплывшие «зеленые острова» иногда остаются связанными с материнским грунтом одним краем. К этим неподвижным островам волной пригоняются нацело оторвавшиеся болота, которые, скопляясь группами, образуют систему, начинающую разрастаться по типу нарастающих болот. Всплывшие болота

уменьшают эффективность использования водоема для рыбного хозяйства, ухудшают водный режим и мешают движению судов.

Предупредительными мерами против всплывания могут являться в зависимости от местных условий минерализация поверхностного слоя болот, выжигание болот, пригрузка их минеральным грунтом и свайное крепление.

ж) Особенности физико-механических свойств торфяных грунтов. Торф, пригруженный слоем песка толщиной от 0,15 до 1,50 м после промерзания и медленного оттаивания под пригрузкой, не изменяет своих физико-механических свойств. Поэтому для торфа не требуется более мощных пригрузок, как это необходимо для предупреждения промораживания жирных глин.

Порозность торфяного грунта, вычисленная исходя из полной влажности его, является всегда преувеличенной, так как воду, находящуюся в прочном соединении с массой торфа (коллоидную, пленочную и др.), при осушении залежи нельзя удалить канавами.

Зольность и торфяных грунтах варьирует в значительных пределах и делится на наносную и конституционную, освобождающуюся в результате сжигания органического вещества. Сплошные минеральные илистые прослойки в торфе делают основание опасным в смысле скольжения по ним откосов выемки и торфяного основания.

Понижение коэффициента фильтрации торфа с малой степенью разложения достигается переработыванием массы в прессмашине. В пропущенном через прессмашину торфе значительно снижаются угол внутреннего трения и силы сцепления, а потому переработанный торф нельзя применять для экранов, но можно с успехом применять для отсыпки понура и приканальных дамб.

ИНСТРУКЦИЯ¹ ПО ИССЛЕДОВАНИЮ ОЧЕСА И ВЕРХНЕГО ВОЛОКНИСТОГО СЛОЯ ТОРФЯНЫХ БОЛОТ И МЕРАМ БОРЬБЫ СО ВСПЛЫВАНИЕМ ТОРФА В ВОДОЕМАХ

С целью получения данных для суждения о возможности всплывания поверхностного слоя торфяных болот, расположенных в зоне затопления, производится полевое исследование верхнего волокнистого слоя и лабораторное исследование образцов торфа. В случае подтверждения на основании исследовательского материала возможности всплывания поверхностного слоя торфяной залежи принимаются предупредительные меры борьбы против всплывания торфа.

1. Полевое исследование торфяных болот. Разбивка зондировочной сети, зондировка и обход границ болота

1. До начала полевого исследования болот, расположенных в зоне затопления, необходимо ознакомиться с имеющимися топографическими материалами, по которым выясняются положение болота и рельеф поверхности торфяной залежи и окружающих суходолов, после чего устанавливается порядок исследования данного болота.

2. При исследовании болота намечается магистраль, проходящая примерно посредине болота и ориентированная по большему протяжению залежи. От магистрали по обе стороны ее разбиваются равномерно, под прямым углом к ней, параллельные поперечники, проходящие до нулевой границы торфяной залежи.

3. Поперечники разбиваются:

при площади болота в 50 га через 100 м
 100 „ , 200 „
 200 „ , 250 „
 500 „ , 300 „

4. По каждому поперечнику отточки на магистрали производится разбивка пикетажа с расстояниями:

при длине поперечника 200 м через 50 м
 50 „ , 100 „
 1 000 „ , 200 „

5. По разбитой сетке поперечников на пикетах производится зондирование залежи буром Гиллера. Определение глубины залежи производится до ее технических границ, в пределах которых торфяная залежь может разрабатываться на топливо. Границы залежей остолбляются. Техническая граница залежи для осушенных болот определяется в 40—50 см толщины и для неосушенных — 70 см.

6. Получаемые при зондировке данные записываются в полевой журнал зондировки.

7. Граница торфяной залежи определяется путем замыкания конечных нулевых точек зондировочных линий, в результате чего составляется план расположения залежи и устанавливается площадь, занятая торфом.

8. По средней глубине залежи и площади расположения ее вычисляется запас торфяной массы, залегающей в болоте.

II. Отбор образцов торфа для лабораторного анализа

9. Пробы торфа берутся в зависимости от площади болота:

для болота площадью 25 га берется 1 проба на 5 га

„ „ „	50	„	„	„	„	6
„ „ „	100	„	„	„	„	8
„ „ „	200	„	„	„	„	12
„ „ „	500	„	„	„	„	20

П р и м е ч а н и е . В случае разнородности болота на каждом характерном участке берется не менее трех проб.

¹ При составлении инструкции использованы данные рукописного отчета инж. М. Д. Дановича, Методы борьбы со сплавинами на рыбхозах БССР, 1934.

10. Шурфы закладываются размерами не менее 0,5 X 1,0 м и глубиной до нижней границы малоразложившегося слоя с объемным весом меньше единицы. (Для луговых болот глубина шурфов — не более 75 см.)

11. Со стенок шурфа по вертикальной линии через каждые 15—20 см берутся пробы весом 350—400 г для определения объемного веса, степени разложения и ботанического состава.

12. Пробы торфа в сыром виде этикетуются, завертываются в пергамент и заносятся в журнал отбора проб.

13. Для определения объемного веса торфа пробы волокнистого торфа отбираются в металлические сосуды цилиндрической формы размером 10 и 15 см, закрывающиеся крышками с открытых концов, из которых один — с отточенными краями. Сосуд без крышек острым концом вдавливается в поверхность стенки шурфа. Острым ножом торф обрезается по краям сосуда, затем последний вдавливается в торф до тех пор, пока верхний край сосуда не будет заглублен на 1—2 см ниже поверхности торфа. Снизу масса подрезается ножом, сосуд вынимается и масса торфа с обоих концов срезается в уровень с краями цилиндра. Затем сосуд закрывается крышками и ставится в ящик.

Для отбора проб волокнистого торфа с малой степенью разложения лучше пользоваться сосудами квадратной формы размером 10 X 10 см и высотой 15 см с двумя отъемными крышками по концам. Сосуд делается из оцинкованного железа. Один конец сосуда имеет заостренные края¹.

14. За неимением металлических цилиндров образцы торфа берутся в виде блоков и монолитов и в таком виде отправляются в деревянные ящиках в лабораторию. Размеры блоков 30 X 30 X 30 см, размеры монолитов 20 X 20 X 10 см. Для определения ботанического состава и степени разложения часть массы отбирается из блоков и монолитов в лаборатории.

III. Исследование отрывающего усилия, потребного для отрыва верхнего волокнистого слоя торфа и очеса

15. На типовом участке болота выбирается квадратная площадка размером 30X30 см. Со всех сторон площадка обрубается траншеей шириной не менее 40 см с вертикальными стенками с тем, чтобы блок имел правильную геометрическую форму.

Во все боковые стенки монолита втыкаются тонкие деревянные или металлические заостренные спицы длиной 30—35 см и диаметром 0,75—1,0 см.

Спицы втыкаются снизу вверх под углом 60° к вертикальной поверхности стенки. Спицы втыкаются несколько ниже границы малоразложившегося слоя, на 3—5 см ниже контакта верхнего, менее разложившегося, и нижнего, более разложившегося, слоя.

П р и м е ч а н и е . Количество шурфов для определения сцепления торфа назначается в соответствии с п. II—9.

16. Спицы с помощью шнура или цепочек соединяются над монолитом с динамометром.

17. При подъеме динамометра на некоторую высоту на некоторой глубине по плоскости отрывается верхняя часть блока. Потребное усилие, при котором отрывается верхняя часть блока, фиксируется на шкале динамометра.

П р и м е р I. На разрыв площадки в 32X32 см с площадью 1 024 см² затрачено усилие, равное 46,4 кг. Вес оторвавшейся части колонки торфа—42,8 кг. Толщина оторвавшегося слоя — 46 см. Потребное отрывающее усилие равно $46,8 - 42,8 = 4,0$ кг, а на 1 см² $4 : 1 024 = 0,0039$ кг/см².

Вес оторвавшейся колонки торфа 42,8 кг, объем 47,104 см³, следовательно объемный вес массы равен 0,91, и на 1 см² всплывающее усилие равно 0,0041 кг/см². Всплывающее усилие больше сил сцепления: торф всплывает.

П р и м е р II. Основанием монолита, по которому последовал разрыв, имеет площадь: 40X40= 1600 см². Затрачено усилие по динамометру 33 кг. Вес оторвавшейся части колонки торфа—13 кг. Толщина оторвавшегося слоя —10 см, следовательно объемный вес торфа—0,812. Необходимое для преодоления силы сцепления торфа усилие выражается в 20 кг. Сила сцепления торфа значительно превосходит свободную взвешивающую силу воды. Торф не должен всплывать.

18. После установления границ отрыва торфа составляется профиль, на котором показывается линия отрыва.

19. Одновременно с производством испытания на отрыв производится описание растительного покрова болота и ботанического состава оторвавшегося слоя торфа и степени разложения.

20. При наличии на поверхности болота большого количества пней последние также подвергаются исследованию, если имеется специальное задание, на объемный вес и влажность.

Исследование пня производится как в верхней части, находящейся над поверхностью болота, так и в нижней, расположенной в толще торфа. Пробы для исследования берутся путем выпиливания кругляшей толщиной 5—6 см из верхней части пня. Количество пней, подвергающихся исследованию, определяется в зависимости от разнородности их (листвен-

¹ С м . г л . II , п . 6 .

ные, хвойные), размера и густоты залегания, примерно 5—7 шт. на 1 га. Выпиленные кругляши сейчас же взвешиваются и описание их заносится в полевой журнал, где отмечаются: количество и характер пней, описание лесного покрова, густота и высота насаждений, средний диаметр деревьев (на высоте груди) и порода.

21. Если наполнение водоема будет производиться поздней осенью после промерзания почвы или ранней весной до оттаивания ее, то болота до момента наполнения подвергаются исследованию на глубину промерзания торфа.

В осеннее время затопление водоема необходимо производить до наступления больших морозов, а весной — после оттаивания промерзшего слоя болота.

IV. Лабораторное исследование и анализ торфа

22. Доставленные в лабораторию образцы торфа подвергаются исследованию и анализу для определения влажности, зольности, объемного и удельного веса.

а) Влажность W_c весовая. Для определения естественной влажности пробы торфа взвешиваются еще на болоте с целью учета потери влаги при транспорте образцов.

б) Зольность A . Кроме учета количества "конституционной" освобождающейся при сжигании органического вещества и наносной зольности также отмечается характер наносной зольности карбонатной (мергелистой), песчаной (крупность), глинистой. Процент зольности относится к естественной влажности и к абсолютно сухому веществу.

в) Объемный вес γ определяется как в лабораторных условиях, так и непосредственно на болотах.

$$\gamma = \frac{d-p}{V} = \frac{\text{вес сосуда с торфом} - \text{вес сосуда}}{\text{объем сосуда}}$$

Объем сосудов устанавливается по объему помещающейся в них воды, для чего одна крышка сосуда парафинируется; на парафинированную крышку ставится сосуд, который с открытого конца наполняется водой, измеряемой градуированным стеклянным цилиндром,

г) Удельный (истинный) вес Δ определяется в лабораторных условиях.

23. По данным объемной влажности, истинного удельного веса и объемного веса вычисляется объем сухого вещества и после определяется объемное содержание воздушной фазы торфа (воздуха) по формуле:

$$d = 100 - (m + W_0), \quad (1)$$

где W_0 — объемная влажность, определяемая по формуле: $W_0 = W_c \gamma^l$ 1;

W_c — весовая влажность по отношению к сырому торфу;

γ — объемный вес;

m — объемное содержание твердого вещества торфа (твердая фаза), определяемая по формуле: $m = \frac{S}{\Delta} \cdot 100$;

S — весовое содержание сухого вещества, определяемое по формуле:

$$S = (1 - 0,01W) \gamma; \quad (2)$$

Δ — истинный удельный вес.

24. Доставленные в лабораторию кругляши взвешиваются и тщательно измеряются. Толщина их определяется в четырех точках, расположенных на концах двух перпендикулярно идущих диаметров. Диаметр измеряется по четырем направлениям, расположенным одно относительно другого под углом в 45°. Из всех измерений берется арифметическое среднее. Объемный вес древесины определяется по формуле:

$$\gamma = \frac{P}{V} = \frac{\text{вес кругляша}}{\text{объем кругляша}}. \quad (3)$$

Влажность древесины определяется обычным способом.

П р и м е ч а н и е. Количество образцов торфа, направляемых для исследования и анализа, указывается в сопроводительной ведомости.

V. Мероприятия по борьбе со всплыванием торфа

25. К мероприятиям по борьбе со всплыванием торфа и очеса относятся следующие:

- минерализация поверхностного волокнистого слоя торфа;
- пригрузка поверхности волокнистого торфа минеральным грунтом;
- пригрузка торфа минеральными кучами;
- закрепление торфа деревянными сваями.

Минерализация поверхностного слоя

26. Если до залива болота имеется срок в несколько лет, то применяется вспахивание поверхности торфа, после чего торф, разлагаясь, увеличивается в объемном весе до единицы и теряет всплывающую способность.

¹ Здесь W_0 есть объемная влажность в отношении к объему сырого торфа, а не к объему сухого торфа, как определялось в гл. II, п. 3. *Ред.*

При ограниченном времени тот же эффект достигается предварительным подсушиванием и выжиганием поверхностного волокнистого слоя и очеса. Выжигание производится в сухую погоду; поджог делается с подветренной стороны.

Пригрузка торфа минеральным грунтом

27. Толщина минеральной пригрузки с условно принятым объемным весом (песок 1,6) рассчитывается следующим образом: объем 1 м² торфяной сплавины при толщине всплывающего слоя 0,7 м будет: 1,0 · 1,0 · 0,7 = 0,7 м³. При объемном весе торфа 0,87 всплывающая способность будет равна (1 000 — 870) · 0,7 = 91 кг. Потребность в минеральном грунте для уравновешивания вышеуказанной всплывающей способности торфа (91 кг) вычисляется по следующей формуле:

$$V = \frac{91}{1\,600 - 1\,000} = 0,152 \text{ м}^3. \quad (4)$$

Толщина необходимого для пригрузки слоя песка будет равна с округлением 15 см плюс 15% запаса; пригрузочный слой будет 17,5 см. Необходимый объем песка для пригрузки 1 га 10 000 · 0,175 = 1750 м³.

Слой песка или соответствующего минерального грунта может быть намыт способом гидромеханизации.

Свайный способ крепления

28. Деревянные сваи диаметром 20 см забиваются в шахматном порядке примерно в 20 м одна от другой. В верхнем конце с целью увеличения площади пригрузки сплавины врезается крестовина (усы).

Пример расчета. Средняя толщина сплавины—0,40 м средний, объемный вес — 0,981, объемный вес деревянных свай—1,0. Действие каждой сваи распространяется на площадь сплавины $\pi R^2 = \pi \cdot 10^2 = 314 \text{ м}^2$ объем сплавины 314 · 0,40 = 125,6 м³.

При объемном весе торфа 0,981 сила всплывания выразится:

$$(1\,000 - 981) \cdot 125,6 = 2\,386,4 \text{ кг}.$$

Чтобы удержать сплавины под водой, необходимо противопоставить всплывающей силе торфа силу трения свай о грунт:

$$W = \pi d h \delta,$$

где $d = 20 \text{ см}$ — диаметр свай;

πd = длина окружности свай;

$\delta = 0,15$ — коэффициент трения для минерализованного торфа по дереву (для других грунтов будет изменяться);

$h = 3,5 \text{ м}$ — глубина забивки свай в грунт;

W = сопротивление свай на выдергивание.

Подставляя в формулу принятые числовые значения, получим:

$$W = 3,14 \cdot 20 \cdot 350 \cdot 0,15 = 3\,297 \text{ кг}.$$

В данном случае всплывающее усилие не может выдернуть сваю.

Глубина забивки свай может быть определена из предыдущей формулы:

$$h = \frac{2\,386,4}{3,14 \cdot 20 \cdot 0,15} = 254 \text{ см}, \quad \text{а с запасом } 15\% - 292 \text{ см}. \quad (5)$$

Выше принято $h = 3,50 \text{ м}$, из которых 2,5 м будут забиты в торфяном грунте и 1,0 м — в минеральном грунте.

Пригрузка волокнистого торфа минеральными кучами

29. Деревянные сваи могут быть заменены песчаными кучами на деревянных площадках, которые насыпаются в местах забивки свай. Вес насыпанного минерального грунта должен соответствовать выдерживающей силе сплавины. В данном случае песок также должен насыпаться на деревянную площадку 1,0X1,0 м, покрывающую две крестовины, перекрещивающиеся в середине кучи.

При употреблении песка с объемным весом 1,6 объем песка в одной куче определяется: 2,386 = 1,6 V , откуда

$$V = \frac{2,386}{1,6} = 1,5 \text{ м}^3, \quad \text{а с запасом в } 15\% - 1,72 \text{ м}^3.$$

живающими наружный цилиндр при вращении его на внутреннем цилиндре. Винты наглухо укреплены в стенках внутреннего цилиндра. Нижний конец внутренней трубки оканчивается наглухо закрепляющимся сверлом (червяком) длиной 48 мм. Верхним концом внутренняя трубка жестко соединена со штангой.

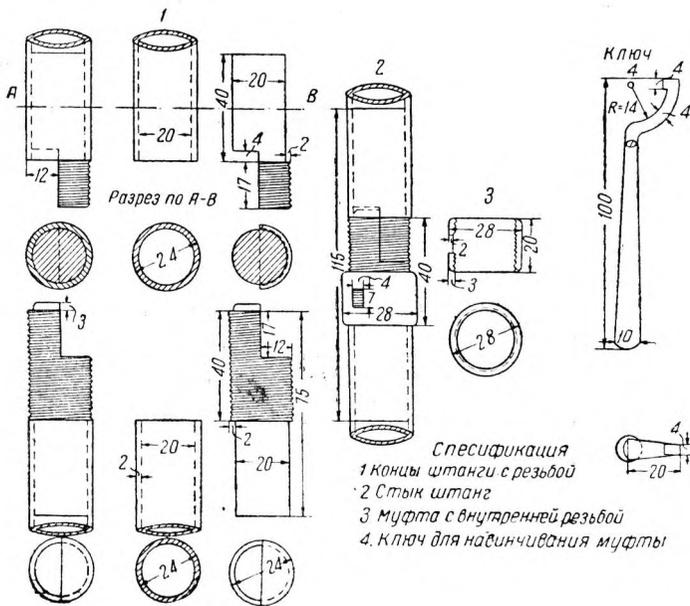
Штанги бура делаются из полых стальных труб длиной в 1—1,5 м и разделенных на 0,1 м кольцевыми отрезками.

При наращивании штанг узкий отточенный конец одной штанги входит в уширенную муфту другой и закрепляется с помощью ниппеля, ввинчиваемого ключом через отверстие в муфте.

Для взятия проб торфа нужно опустить камеру бура на необходимую глубину закрытой; легким вращением бура по часовой стрелке при опускании его камера удерживается в закрытом состоянии. При обратном вращении бура против часовой стрелки камера открывается и заполняется торфяной массой, для чего делается 4—5 оборотов. После заполнения вращением в противоположную сторону камера снова закрывается и вынимается на поверхность. При глубокой залежи штанги бура по мере его вынута из залежи должны развинчиваться.

При зондировании залежи на верхнюю штангу надевается поперечная ручка, скрепляющаяся также со штангой с помощью ниппеля.

На основании опыта работы с буром Гиллера на канале Москва — Волга с целью рационализации бура необходимо выполнение следующих требований.



Фиг. 99. Бур Гиллера. Винтовое соединение штанг.

1. Ниппельные соединения штанг должны быть заменены винтовым соединением (фиг. 99).

2. Все части бура должны изготовляться из стали. Верхняя вырезная часть головки должна изготовляться из особой твердой стали и нарезана резьбой с малым шагом (фиг. 99).

3. Головки всех штанг должны быть наглухо приварены в концах штанг.

4. Нарезные части головок штанг во всех комплектах буров должны быть совершенно одинаковы и пригнаны с таким расчетом, чтобы каждая из них подходила ко всем другим (стандартные).

5. На штангах через 0,5 и 0,25 м должны быть нанесены поясные деления, причем через 0,5 м деления должны быть заметны резче, чем деления через 0,25 м.

6. На челноке по краю выреза внешнего цилиндра деления наносятся через 10 см, начиная от нижнего края выреза челнока.

7. Верхний цилиндр челнока должен быть хорошо пригнан к внутреннему с целью исключения возможности попадания в зазор крупного песка и вместе с тем должно быть обеспечено нормальное вращение цилиндров при легком повертывании бура в торфяной залежи с помощью ручки без затраты усилий на вредное трение.

8. Наружный край отогнутого пера внешнего цилиндра в нижней и верхней частях должен быть закруглен, и край пера по всей длине его заостряется.

9. Винтовой наконечник (червяк, фиг. 98, б) должен быть пригнан в полости нижнего конца внутреннего цилиндра челнока, чтобы при скреплении их штифтом получилось жесткое соединение.

10. Верхний край внутреннего цилиндра челнока должен быть наглухо соединен посредством сварки с проходящим внутрь цилиндра стержнем и с нижним концом челночной штанги.

Спецификация материалов для буров системы Гиллера (большая модель) на один комплект:

1. Размер труб для штанг, наружный диаметр 24 мм, внутренний 20 мм..... 6,5 пог. м
2. Размер труб для челноков, наружный диаметр 26 мм, внутренний — 24 мм..... 0,6 „
3. Размер наружной трубки для челнока, наружный диаметр 30 мм, внутренний — 28 мм..... 0,6 „
4. Стальных штанг (стержней) диаметром 21 мм . . . 0,2 „,
 - 20..... 0,6 „,
 - 22 » . . . 0,4 „ „,
 - 30 0,2 . .

Части комплекта бура: 1) одна штанга с челноком, размером 1,5 м (без винтового наконечника), 2) четыре штанги по 1,5 м; 3) ручки (гриф); 4) два ключа; 5) одна ложка; все укладывается в брезентовый чехол.

ПРИЛОЖЕНИЕ 3

ПОЛЕВОЙ ЖУРНАЛ ЗОНДИРОВАНИЯ ТОРФЯНОЙ ЗАЛЕЖИ

БУР.....

№ пикета	Расстояние от начального пикета в м	Толщина торфяного пласта в м	Записи: Толщина очеса или минерального наноса; глубины попадания на пень, толщина и глубина залегания минеральных прослоек и характер их; толщина и характер подстилающего илистого слоя и характер минерального дна болота.	Абрис

ПРИЛОЖЕНИЕ 4

ПОЛЕВОЙ ЖУРНАЛ ВЗЯТИЯ ОБРАЗЦОВ ТОРФА

№ зондировочной линии	№ пикета	Общая толщина торфяного пласта в м	Глубина взятия образца в м	№ образцов	Качество торфа (ботанический состав, степень разложения, цвет, влажность)	Растительность (древесная, моховая) и характер поверхности болот

ВЫЧИСЛЕНИЕ СРЕДНЕЙ ГЛУБИНЫ (КАК СРЕДНЕЙ ГЛУБИНЫ ПРОФИЛЕЙ ЗОНДИРОВАНИЯ) И ЗАПАСА СЫРОЙ МАССЫ ТОРФА НА БОЛОТЕ

№ зондировочных линий	Сумма промежуточных глубин по формуле $\left(\frac{h_1}{2} + h_2 + h_3 + \dots + \frac{h_n}{2}\right)$	Число промежуточных пунктов без одного ($n - 1$)	Сумма глубин при первом крайнем отрезке ($h + h$)	Длина первого крайнего отрезка (г)	$(h + h)г$	Сумма глубин при втором крайнем отрезке ($h + h_{n+1}$)	Длина второго крайнего отрезка (г)	$(h + h_{n+1})г$
I	1,10	2		—	—		—	—
I	4,45	5	1,2	3,3	39,6	1,3	30	39,0
III	8,05	6	1,7	3,9	66,3	1,2	25	30,0
IV	12,10	9		—	—	1,6	37	59,2
V	14,00	10				1,2	12	14,4
VI	15,85	10	1,1	17	18,7	7,2	12	14,4
VII	15,26	9				1,5	36	34,0
VIII	15,80	10	1,1	17	18,7	1,3	37	48,1
IX	17,40	12				1,2	12	14,4
X	17,25	12	1,1	17	18,7	1,4	33	46,2
XI	16,85	12				1,1	13	14,3
XII			1,2	33	39,6			
XII	14,7	10	1,8	23	41,4	1,1	25	27,5
XIII-1	0,85	1	1,2	33	39,6			
XIII-2	13,00	8	3,2	18	57,6			
XIV-1	1,80	2						
XIV-2	9,75	6	3,5	14	49,0	1,2	33	39,6
XV -1	2,05	2	1,3	19	24,7			
XV -2	5,50	4	3,4	14	47,6			
XVI-1	4,00	3	1,1	5	5,5	3,2	7	22,4
XVI-2	2,95	3	3,2	10	32,0	1,2	20	24,0
XVII-1	3,95	4				1,8	10	18,0
XVII-2	1,40	2	1,6	6	9,6	1,1	10	11,0
XVIII-1	3,35	4	1,2	20	24,0	1,2	13	15,6
XVIII-2			1,0	17	17,0			
XIX	2,45	4				1,1	13	14,3
Итого	203,85	150	Итого	335	249,6	Итого	378	506,4

$$h_{\text{средн}} = \frac{\Sigma P}{\Sigma L} = \frac{203,85 + \frac{249,6 + 506,4}{2 \cdot 50}}{150 + \frac{335 + 378}{50}} = \frac{211,41}{164,26} = 1,22 \text{ м.}$$

Толщина очеса 0,12 м; средняя глубина без очеса (1,22—0,12)= 1,10 м; площадь промышленной торфяной залежи без карьера и водоотводной канавы (41,86—0,93—0,11) = 40,82 га = 408 200 м², запас сырой массы (408 200 • 1,1) = 449 020 м².

1. Длины крайних отрезков приняты равными нулю.

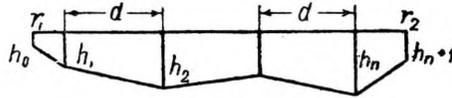
2. Каждая часть пересеченной визирки при подсчетах принимается за самостоятельную визирку.

3. В числовом дробном выражении средней глубины числитель представляет сумму площадей профилей зондирования, а знаменатель—сумму длины профилей, причем каждая из этих сумм сокращена на пикетное расстояние, в данном случае на $d = 50$ м. Это

выражение составляется по аналогии с выражением для определения средней глубины одного профиля (фиг. 100).

$$h_{\text{средн}} = \frac{P}{L} = \left(\frac{h_1}{2} + h_2 + h_3 + \dots + \frac{h_n}{2} \right) d + \left(\frac{h_0 + h_1}{2} \right) r_1 + \left(\frac{h_n + h_{n+1}}{2} \right) r_2 =$$

$$= \frac{\left(\frac{h_1}{2} + h_2 + h_3 + \dots + \frac{h_n}{2} \right) d + \frac{(h_0 + h_1) r_1 + (h_n + h_{n+1}) r_2}{2}}{(n-1) + \left(\frac{r_1 + r_2}{d} \right)}$$



Фиг. 100. Схема к определению средней глубины профиля.

Примечание. Если между пикетами имеются промежуточные точки, визирку следует разбивать этими точками на отдельные части, и для каждой части производить подсчеты по указанной схеме самостоятельно.

ПРИЛОЖЕНИЕ 6

ТАБЛИЦА ЗНАЧЕНИЙ ФУНКЦИЙ

$$\varphi \left(\frac{s}{h_0} \right) = - \ln \left(1 - \frac{s}{h_0} \right)$$

ДЛЯ ПОДСЧЕТА КОЭФИЦИЕНТА ФИЛЬТРАЦИИ

$\frac{s}{h_0}$	$\left(\frac{s}{h_0} \right)_{\varphi}$	Δ															
0	0	0,010	0,17	0,186	0,012	0,34	0,416	0,015	0,51	0,713	0,021	0,67	1,109	0,030	0,83	1,771	0,057
0,01	0,010	0,010	0,18	0,198	0,012	0,35	0,431	0,015	0,52	0,734	0,021	0,68	1,139	0,033	0,84	1,838	0,061
0,02	0,020	0,010	0,19	0,210	0,013	0,36	0,446	0,016	0,53	0,755	0,022	0,69	1,172	0,032	0,85	1,897	0,069
0,03	0,030	0,010	0,20	0,223	0,013	0,37	0,462	0,016	0,54	0,777	0,022	0,70	1,204	0,034	0,86	1,966	0,074
0,04	0,040	0,011	0,21	0,236	0,012	0,38	0,478	0,016	0,55	0,799	0,022	0,71	1,258	0,035	0,87	2,040	0,080
0,05	0,051	0,011	0,22	0,248	0,013	0,39	0,494	0,016	0,56	0,821	0,023	0,72	1,273	0,036	0,88	2,120	0,087
0,06	0,062	0,011	0,23	0,261	0,013	0,40	0,510	0,017	0,57	0,844	0,024	0,73	1,309	0,038	0,89	2,207	0,096
0,07	0,073	0,010	0,24	0,274	0,014	0,41	0,527	0,018	0,58	0,868	0,024	0,74	1,347	0,039	0,90	2,303	0,105
0,08	0,083	0,011	0,25	0,288	0,013	0,42	0,545	0,017	0,59	0,892	0,024	0,75	1,386	0,041	0,91	2,408	0,118
0,09	0,094	0,011	0,26	0,301	0,014	0,43	0,562	0,018	0,60	0,916	0,025	0,76	1,427	0,043	0,92	2,526	0,133
0,10	0,105	0,012	0,27	0,315	0,014	0,44	0,580	0,018	0,61	0,941	0,026	0,77	1,470	0,044	0,93	2,659	0,154
0,11	0,117	0,011	0,28	0,329	0,014	0,45	0,598	0,018	0,62	0,967	0,027	0,78	1,514	0,047	0,94	2,813	0,183
0,12	0,128	0,011	0,29	0,343	0,014	0,46	0,616	0,019	0,63	0,994	0,028	0,79	1,561	0,048	0,95	2,996	0,223
0,13	0,139	0,012	0,30	0,357	0,014	0,47	0,635	0,019	0,64	1,022	0,028	0,80	1,609	0,052	0,96	3,219	0,288
0,14	0,151	0,012	0,31	0,371	0,014	0,48	0,654	0,019	0,65	1,050	0,029	0,81	1,661	0,054	0,97	3,507	0,405
0,15	0,163	0,011	0,32	0,385	0,015	0,49	0,673	0,020	0,66	1,079	0,030	0,82	1,715	0,056	0,98	3,912	0,693
0,16	0,174	0,012	0,33	0,400	0,016	0,50	0,693	0,020							0,99	4,605	

ЛИТЕРАТУРА

1. Инж. Лундин К. П., Осадка торфа под насыпями, Госиздат — Белоруссия, 1935.
2. Проф. Терцаги К., Инженерная геология, 1933.
3. „Геотехническое обследование на железных дорогах* под ред. Л. Н. Бернацкого.
4. Бертон и Бенкельман, К вопросу об оседании насыпей в торфяных болотах, перев. Ленинградского ЦИАТА, 1932.
5. Иванов Н. П., О возможности предсказания осадок насыпей на торфах, 1924.
6. Инж. Федичкин К. М. Исследование Терской земляной плотины, 1933.
7. Кузнецова Н. П., Краткое указание к полевому обследованию и оценке болот как основания дороги, Гос. трансп. из-во, 1932.
8. Кузнецова Н. П., Изучение болот с точки зрения дорожного дела, Гос. трансп. из-во, 1931.
9. Проф. Кудряшов В. В. и инж. Чернаков А. Г., Реакция торфяной залежи на нагрузку кавальеров, журнал „Москваловгострой" № 2, 1936.
10. Инж. Гаврилов Н. Н., О фильтрации в торфе в связи с его применением в гидротехническом строительстве, журнал "Москваловгострой" № 4 и 6—7, 1936.
11. Инж. Лемзиков А. К., Лабораторный опыт по применению торфоочесов, журнал "Москваловгострой" № 1—2, 1937.
12. То же, Как предупредить появление сплавин в водохранилищах, журнал „Москваловгострой* № 1—2, 1937.
13. Инж. Шехтман, Производство слоистого торфяного понура и экрана Акуловской плотины, журнал „Москваловгострой" № 3, 1936.
14. Вахляев, И. И. Инструкция по производству торфостроительных работ, „Москваловгострой", 1936.
15. „Труды Шведской геотехнической комиссии", 1935.
16. Проф. Герсевичев Н. М., Основы динамики грунтовой массы, 1931.
17. Проф. Цитович Н. А., Основы механики грунтов, 1934.
18. Проф. Бернацкий Л. Н., Прикладная геотехника, 1935.
19. Проф. Лудин А. (A. Ludin), Гидроэлектростроительство Скандинавии, перев. с нем., 1934.
20. Инж. Крей Г., Теория давления земли и сопротивление грунтов нагрузке, перев. с нем. 1932.
21. Труды Инсторфа № 14 за 1934—1935 гг.
22. Проф. Лебедев А. Ф., Почвенные и грунтовые воды, 1936.
23. Лукашев К. И., Грунтоведение, КУБУЧ, 1933.
24. Поляков, Основы мелиоративного грунтоведения, 1933.
25. Проф. Брудастов А. Д., Осушение минеральных и болотных земель, 1934.
26. Инж. Кутаис Л. И., Гидротехника в торфяном деле, т. I, 1934.
27. Инж. Мартинсон, Гидротехника в торфяной промышленности, изд. Москва, 1935.
28. Инж. Мартинсон, Исследование торфяных болот, Москва.
29. Проф. Филатов М. М., Почвы и грунты в дорожном деле, 1932.
30. Проф. Филатов М. М., Анализ минеральных грунтовых.
31. Проф. Брудастов А. Д., К вопросу о движении грунтовых вод.
32. Справочник по гидротехнике и мелиорации, 1935.
33. "Техническое руководство по исследованию торфяных болот", изд. Сельхозгиз, 1932.
34. Проф. Стадников Г. Л., Химия торфа, изд. НКТП, 1930.
35. Феллеиус, В. Статика грунтов, перев. со шведск., 1933.
36. Терцаги, К. Основания механики грунтов, перев. с англ., 1932.
37. Терцаги, К. Строительная механика грунта, перев. с нем., 1933.
38. Труды ВИОС. Новые методы лабораторного определения прочности грунтов для целей фундаментации. Сборник 3, 1934.
39. Труды Инсторфа, "Сушка, качество и физико-механические свойства торфа" вып. 18, 1939.



Сдано в набор 17/ХП 1939 г. Подп. к печати
21/V 1940 г. Формат 70X108^{1/16}. Тираж 2000.
Индекс С-55-5-3. Тип. зн. в 1 бум. л. 128832.
Печ. л. 12. УАЛ 18,69. Учетн. № 6025.
Уполном. Мособлгорлит № Б-6243. Заказ 2877.
Бумага Вишерской ф-ки.



Цена 7 р. 50 к., пер. 2 рубл.



4-ая тип. ОГИЗ РСФСР гтреста „Полиграф-
книга“ им. Евгении Соколовой. Ленинград,
просп. Красных Командиров, 29.

ОПЕЧАТКИ

Стр. Строка Напечатано

43 5 сверху около 5 см

52 29 „, от 30 до 50% и выше

54 14 **снизу** (*Alnus incana*)

54 Фото-виды Не поставлены номера торфа

109 Табл. 38 55
графа 2,2 снизу

152 18 сверху (4,5 5,0 рН)

168 Фиг. 88 дамба с разрыв мычки

182 28 снизу 300

Следует **читать** По чьей вине

около 50 Ред.

от 50% и выше Автора

(*Alnus glutinosa*) »

Левые—1, 3, 5; Ред.
правые — 2, 4, 6

155 Автора

(3,5—5,0 рН)

дамба с разрывом Типографии
против перемычки

500 Автора

Зак. 2877. Торф в строительстве.

