

тойчивость песчаных откосов против фильтрующего через них потока грунтовой воды.— "Изв. АН СССР, сер.геолог." 1940, вып. 5. 4. Чугаев Р.Р. Земляные гидротехнические сооружения. Теоретические основы расчета. М., 1967. 5. Соболевский Ю.А. Устойчивость откосов мелиоративных каналов. Минск, 1965. 6. Аравин В.И., Нумеров С.Н. Теория движения жидкостей и газов в недеформируемой пористой среде. М., 1953. 7. Павловский Н.Н. О фильтрации через земляные плотины на непроницаемых основаниях. Л., 1932. 8. Шестаков В.М. Методика определения участка высачивания фильтрационного потока на откос. — В сб.: Информ. материал ВНИИ ВОДГЕО. Вып. 8. М., 1955. 9. Нельсон — Скорняков Ф.Б. Фильтрация в однородной среде. М., 1949. 10. Шанкин П.А. Расчет фильтрации в земляных плотинах. М.—Л., 1947. 11. Михайлов Г.К. О фильтрации в трапецеидальных плотинах на горизонтальном водоупоре. — "Гидротехника и мелиорация", 1952, №1. 12. Аравин В.И., Нумеров С.Н. Фильтрационные расчеты гидротехнических сооружений. Л.—М., 1955.

В.Ф. Карловский, А.А. Мазаник, М.А. Потапчик

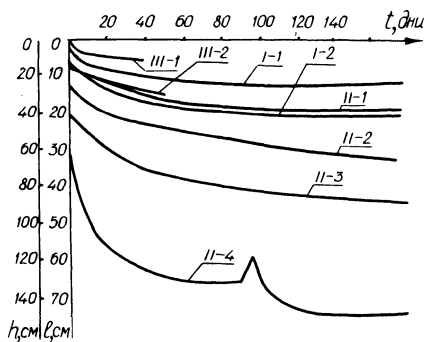
ОСАДКА ВПЕРВЫЕ ОСУШАЕМОЙ ТОРФЯНОЙ ЗАЛЕЖИ НА СТРОИТЕЛЬНОЙ ПОЛОСЕ В ПЕРИОД СТРОИТЕЛЬСТВА КАНАЛОВ

Поверхность торфяной залежи на болотных массивах в естественном состоянии покрыта дерновым слоем, который пронизан многочисленными корнями растений. Его прочность зависит от характера и мощности растительного покрова. В ненарушенном состоянии дерновый слой может воспринять нагрузку до $0,20 \text{ кг/см}^2$. Под слоем дернины находится сильно увлажненная торфяная масса, содержащая сухого вещества всего лишь 5—15%. Это значит, что относительная влажность торфяной залежи неосушенного торфяного месторождения колеблется в пределах 85—95%. По содержанию твердой фазы органического вещества А.Ф. Печкуров [1] подразделяет торф по плотности на плотный (с содержанием твердой фазы более $0,15 \text{ г/см}^3$), менее плотный ($0,15 - 0,12 \text{ г/см}^3$), рыхлый ($0,12 - 0,08 \text{ г/см}^3$), почти плавучий ($0,08 - 0,06 \text{ г/см}^3$), плавучий (менее $0,06 \text{ г/см}^3$). Несущая способность таких торфя-

Рис. 1. Кривые осадки поверхности болота на строительной полосе во времени:

I-1— объект "Польское болото", $H = 1,4-1,5$ м; $H_T = 2,4$ м; $P = 0,126$ г/см³; I-2— объект "Польское болото", $H = 1,4-1,5$ м; $H_T = 1,0$ м; $P = 0,103$ г/см³; II-1— объект "Понурка", $H_K = 2,0$ м; $H_T = 1,8$ м; $P = 0,126$ г/см³;

II-2—то же, $H = 2,8$ м; $P = 0,117$ г/см³; II-3—то же, $H = 5,3$ м; $P = 0,112$ г/см³; II-4—то же, понижение уровней грунтовых вод; III-1— объект "Проньки", $H_K = 2,0$ м; $H_T = 1,0$ м; $P = 0,139$ г/см³; III-2—то же, $H_T = 1,8$ м; $P = 0,132$ г/см³.



ников в 3—6 раз меньше, чем верхнего дернового слоя [2].

Строительство каналов на рыхлых и плавучих торфяниках экскаваторами затруднено из-за малой несущей способности болота. Выполнить русло канала проектных размеров за один проход экскаватора в торфах с плотностью меньше 0,1 г/см³ невозможно из-за сильных деформаций дна, откосов и берм (обвалы, оползни, выпор грунта со дна русла и т.д.). Чтобы получить канал хорошего качества, его трассу необходимо предварительно осушить прокладкой пионерной траншеи [3, 4]. Это лучше сделать в зимний период, когда болото промерзает до 10—15 см. При осушении из залежи удаляется приблизительно 25—26% воды [5], содержащейся в торфе, вследствие чего происходит его уплотнение и осадка.

Для изучения осадки поверхности болота на строительной полосе шириною до 7 м от бровки канала в 1970—73 гг. на исследуемых объектах ("Понурка" и "Проньки" Минской области) были оборудованы опытные участки с разными глубинами и плотностями торфа при глубине канала 2 м.

На рис. 1 приведены данные наблюдений за осадкой поверхности строительной полосы канала в течение 6 месяцев. Самая интенсивная осадка происходит в первые двое-трое суток, через 10 суток она достигает 45—50% от суммарной осадки за 6 месяцев. С увеличением осадки поверхности изменяется и плотность залежи. На рис. 2 даны кривые изменения плотности после прокопки пионерной траншеи. Из рис. 1 и 2 видно, что

Таблица 1

Номер ПК	Глубина, м		Проектный объем выемки, м ³ на 1 пог. м	Объем выемки за первый проход	
	торфа	канала		м на 1 пог. м.	% от проектно-го
5	4,7	3,45	19,85	6,75	34
7	4,8	3,33	18,60	6,75	36
9	3,8	3,32	18,48	7,75	42
14	1,0	2,93	14,60	6,25	43
15	0,5	2,75	13,03	6,25	45

Понижение УГВ перед вторым проходом, м		Средняя осадка бермы перед вторым проходом, м	Уменьшение объема выемки вследствие осадки бермы после первого прохода		
в 10 м от бровки	в 25 м от бровки		м на 1 пог. м	% к оставшемуся	% к проектному
-	-	0,48	2,72	20,6	13,7
-	-	0,50	2,60	22,0	14,0
1,02	0,92	0,35	1,62	15,0	8,8
1,01	0,92	0,10	0,80	9,6	5,5
0,84	0,73	0,04	0,20	2,7	1,5

Таблица 2

Участок канала П-0-11, ПК	Глубина торфа, м	Проектный объем выемки на участке, м ³	Объем выемки за первый проход в зимний период	
			м ³	%
0--8	5,5--4,0	15400	5528	36
8--12	4,0--2,7	6888	2700	39
12--14	2,7--1,0	3308	1250	42
14--16	1,0--0,5	2772	1250	44
Всего		28368	10728	

Объем оставшегося грунта, м ³	Средняя осадка бермы на участке, м	Объем грунта после осадки торфа, м ³	Уменьшение объема выемки вследствие осадки торфа, м ³
9872	0,49	7664	2208
4188	0,33	3312	876
2058	0,26	1816	242
1522	0,07	1362	158
17640		14154	3484

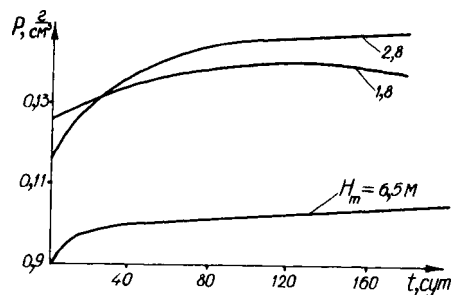


Рис. 2. Кривые изменения плотности торфяной залежи на строительной полосе во времени.

характер изменения плотности залежи одинаков с осадкой поверхности. Осадка поверхности торфяной залежи, вызванная осушительным действием пионерной траншеи, приводит к уменьшению объема выемки грунта при строительстве каналов за несколько этапов. В табл. 1 приведено изменение объемов вы-

емки грунта вследствие осадки после первого прохода экскаватора при двухэтапном строительстве канала П-0-11 объекта "Понурка".

Участок канала П-0-11 от нулевого пикета до 16-20 строился за два прохода экскаватора (первый проход — зимой, а второй — доработка канала до проектных размеров — летом). Мощность торфа на трассе колебалась от 5,5 м на нулевом пикете до 0,5 м на 16-м. За первый проход экскаватора было вынито в среднем 40% проектного объема выемки грунта. К моменту доработки канала вторым проходом экскаватора в летний период уровни грунтовых вод понизились, поверхность приканальной полосы осела, вследствие чего проектный объем выемки грунта уменьшился. В табл. 2 приведены данные наблюдений при строительстве канала в два этапа.

Наблюдения за осадкой поверхности строительной полосы, понижением уровня грунтовых вод в зоне канала, а также за

работой экскаватора в зимний и летний периоды (без сланей и на них) позволяют сделать вывод, что на впервые осушаемых болотах каналы (с площадью поперечного сечения более 12 м^2) необходимо строить в два-три этапа. После первой прокопки происходит понижение уровня грунтовых вод и осадка поверхности, значительно увеличивается несущая способность торфяника, т.е. создаются более благоприятные условия для доработки канала на втором и третьем этапах.

Из изложенного следует, что для выбора и экономического обоснования технологических схем прокопки каналов необходимо учитывать осадку поверхности болота в зоне канала в строительный период.

Осадку поверхности болотного массива при осушении достаточно изучена. Многие исследователи предложили теоретические и эмпирические зависимости осадки поверхности залежи от осушения за промежуток свыше одного года, но нет достаточных разработок по осадке торфа вблизи канала в строительный период, т.е. в течение нескольких месяцев. В основу расчета осадки поверхности болота в период строительства каналов нами положен экспоненциальный характер кривой осадки во времени.

Основными факторами осадки являются [6] плотность торфа, глубина торфяника, глубина канала и длительность осушения.

Связь между осадкой поверхности болота и факторами, ее вызывающими, выражается дифференциальным уравнением

$$-\frac{dH}{dt} = \lambda Hh, \quad (1)$$

где $\frac{dH}{dt}$ — осадка в единицу времени, м/мес; H — глубина торфяной залежи, м; h — глубина канала, м; t — длительность осушения, месяцы; λ — постоянная осадки, зависящая от физических свойств торфа, $\text{м}^{-1} \text{мес}^{-1}$.

После интегрирования исходного уравнения (1) и с учетом плотности торфа уравнение осадки будет иметь вид

$$S = AH_0 \left[1 - e^{-\lambda ht} \right], \quad (2)$$

где H_0 — глубина торфа до осушения; A — коэффициент плотности торфа.

Для определения числового значения коэффициента λ осадки низинных болот в период строительства каналов были ис-

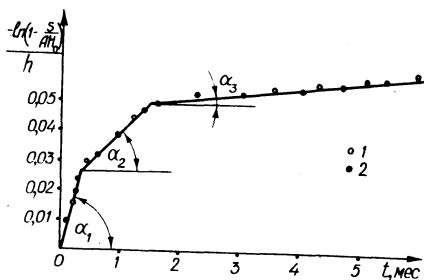
пользованы фактические материалы систематических наблюдений за осадкой поверхности болота на объектах "Понурка" и "Проньки" Минской области (1970—73 гг) и на болотном массиве "Польское болото" Брестской области (1968—69 гг). Эти массивы являются торфяниками низинного типа с различной плотностью торфа и разной мощностью торфяной залежи.

Построенный на опытных материалах график зависимости $\frac{-\ln(1 - \frac{S}{\lambda H})}{h}$ от длительности осушения t (рис. 3) показы-

вает, что за период осушения, равный шести месяцам, числовые значения постоянной осадки λ несколько раз изменяются. Этот график дает возможность выделить три периода времени, в течение которых числовые значения постоянной осадки λ примерно одинаковые. В первый период (с первого по десятый день с момента прокопки канала, $0 < t_1 \leq 0,33$ месяца) осадка поверхности болота происходит с наибольшей интенсивностью. За этот сравнительно короткий период осушения осадка составляет примерно 45% от всей суммарной осадки за 6 месяцев осушения. Второй период (с 11-го по 45-й день, $0,33 < t_2 \leq 1,5$ месяца) характеризуется уменьшением интенсивности осадки. За это время происходит примерно 40% от суммарной шестимесячной осадки. В третий период (с 46-го по 180-й день, $1,5 < t_3 \leq 6,0$ месяца) еще больше затухает интенсивность осадки. За этот период осадка составляет 15% от суммарной осадки за всю рассматриваемую длительность осушения. Длительность первого периода составляет 0,33 месяца, второго — 1,17 месяца, третьего — 4,5 месяца.

Очевидно, что коэффициент λ для периода осушения в 6 месяцев состоит из трех слагаемых (рис. 3): $\lambda_1 = \text{tg } \alpha_1$ — постоянная осадки за первые десять дней осушения, $\lambda_2 = \text{tg } \alpha_2$ —

Рис. 3. График зависимости $\frac{-\ln(1 - \frac{S}{\lambda H})}{h}$ от времени t :
1 — объект "Понурка"; 2 — "Польское болото".



постоянная осадки за время с 11-го по 45-й день с момента прокопки канала и $\lambda_3 = \text{tg} \alpha_3$ — постоянная осадки за последующее время до конца рассматриваемого периода осушения. Следовательно, выражение λt , входящее в показатель экспоненты уравнения (2) для длительности осушения в 6 месяцев, будет иметь вид

$$\lambda t = \lambda_1 t_1 + \lambda_2 t_2 + \lambda_3 t_3. \quad (3)$$

Подставив выражение (3) в уравнение (2), получим

$$S = A N_0 \left[1 - e^{-h(\lambda_1 t_1 + \lambda_2 t_2 + \lambda_3 t_3)} \right] \quad (4)$$

Численные значения коэффициентов λ_1 , λ_2 и λ_3 находятся как тангенсы углов наклона соответствующих участков ломаной линии, выражающей зависимость $\frac{-\ln(1 - \frac{S}{N_0})}{h}$ от времени t

(рис. 3):

$$\lambda_1 = \text{tg} \alpha_1 = 0,08; \quad \lambda_2 = \text{tg} \alpha_2 = 0,02; \quad \lambda_3 = \text{tg} \alpha_3 = 0,003. \quad (5)$$

Подставляя значения выражения (5) в уравнение (4), получаем

$$S = A N_0 \left[1 - e^{-h(0,08t_1 + 0,02t_2 + 0,003t_3)} \right]. \quad (6)$$

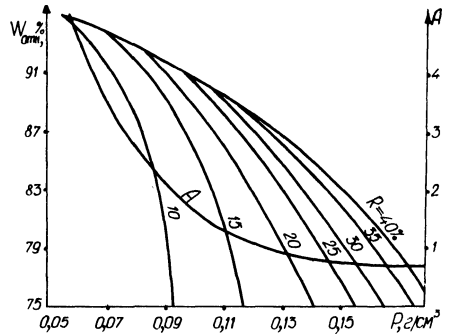
В формуле (6) время t_1 , t_2 и t_3 выражено в месяцах (месяц принят равным 30 дням), а осадка поверхности болота S , глубина канала h и глубина торфяника N_0 — в метрах. При расчете величины осадки по формуле (6) длительность осушения t разбивается соответственно на ее составляющие t_1 , t_2 , t_3 , т.е.

$$t = t_1 + t_2 + t_3. \quad (7)$$

Следует отметить, что при расчете величины осадки за длительность осушения $t \leq 0,33$ месяца в уравнении (6) следует принять $t_2 = 0$ и $t_3 = 0$, а при длительности осушения $t \leq 1,5$ месяца $t_3 = 0$.

Уравнение (6) применяется для расчета осадки поверхности низинных болот приканальной полосы шириной до 7 м от бровки канала. Оно справедливо при $t \leq 6$ месяцам и глубине воды в канале 5—40 см. Если горизонт воды в канале больше указанной величины, то в уравнении (6) следует уменьшить глубину канала на величину этого превышения. Данное положение основано на том, что высокий уровень воды в канале значительно влияет на величину осадки бермы канала.

Рис. 4. Номограмма для определения коэффициента плотности торфа А (R — степень разложения торфа, %; $W_{отн}$ — относительная влажность, %; P — плотность торфа).



Значение коэффициента плотности торфяной залежи А определяется [6] по величине плотности торфа по номограмме (рис. 4). В некоторых случаях (например, при расчетах, производимых на электронно-вычислительных машинах) более удобным будет представление значений коэффициента плотности А в виде математической зависимости от величины объемного веса твердого вещества. Кривая, выражающая связь между коэффициентом А и величиной объемного веса скелета торфа Р, хорошо описывается при помощи уравнения гиперболы

$$A = a + bP + \frac{c}{P}, \quad (8)$$

где a, b, c — коэффициенты уравнения регрессии, определяемые путем решения системы уравнений

$$\begin{aligned} \sum A &= na + b\sum P + c\sum \frac{1}{P}; \\ \sum Ap &= a\sum p + b\sum P^2 + nc; \end{aligned} \quad (9)$$

$$\sum \frac{A}{P} = a\sum \frac{1}{P} + nb + c\sum \frac{1}{P^2},$$

где n — число исходных данных, взятых для решения системы (9).

Система уравнений (9) составлена на основе применения методов корреляционного анализа, в частности принципа наименьших квадратов.

Решив систему уравнений (8) и подставив полученные значения коэффициентов a, b, c в уравнение (7), получим

$$A = - 5,66 + 18,03 P + \frac{0,554}{P}. \quad (10)$$

Зависимость (10) с достаточной степенью точности описывает график, представленный на номограмме для определения

Таблица 3

Объект	Глубина торфа, м	Глубина канала с учетом уровня воды в нем, м	Коэффициент плотности, А	Дли-тельность осушения, мес.	Факти-ческая осадка, м	Расчет-ная осадка, м	Откло-нение, м
Понурка	2,8	1,5	1,02	2,07	1,190	0,212	-0,022
	2,8	1,5	1,02	0,90	0,160	0,157	0,003
	2,2	1,5	0,94	2,03	0,160	0,153	0,007
	2,2	1,8	0,94	4,40	0,200	0,216	-0,016
	5,3	1,1	1,10	0,30	0,185	0,152	0,033
	5,3	1,2	1,10	6,03	0,380	0,427	-0,047
Польское болото	1,2	1,2	1,58	3,10	0,120	0,120	0,000
	1,2	1,2	1,58	1,33	0,113	0,103	0,010
	2,5	1,5	1,01	2,80	0,184	0,195	-0,011
	2,5	1,5	1,01	0,97	0,153	0,144	0,009
	2,5	1,5	1,01	5,47	0,193	0,223	-0,030
	1,6	1,05	1,64	4,87	0,150	0,159	-0,009
	1,6	0,9	1,64	3,43	0,121	0,128	-0,007
	1,7	1,2	1,42	2,00	0,152	0,144	0,008
Проньки	1,75	1,75	0,89	1,00	0,160	0,145	0,015
	1,85	1,85	1,26	1,63	0,240	0,216	0,024
	1,00	1,00	1,12	1,27	0,070	0,050	0,020

величины коэффициента А в зависимости от объемного веса скелета торфа (рис. 4).

Величина объемного веса скелета торфа Р должна находиться путем отбора образцов ненарушенной структуры по всей глубине торфяника. В случае неоднородности залежи, когда по глубине болота залегают отдельные пласты с различной плотностью, объемный вес скелета торфа определяется как средневзвешенное значение.

Характеристика использованного материала и проверка формулы (6) приведены в табл. 3.

Уравнения (6) и (10) дают возможность рассчитать величину осадки поверхности впервые осушаемых низинных болот за промежуток времени, равный 6 месяцам. Если в показателе экспоненты формулы (6) добавить четвертое слагаемое $\lambda_4 t_4$, то можно рассчитать осадку за период осушения до 1 года. При этом $t_4 = 6$ месяцам, а постоянная осадки за этот период согласно имеющимся фактическим материалам $\lambda_4 = 0,002 \text{ м}^{-1} \text{ мес}^{-1}$.

Рассчитаем среднегодовую величину постоянной осадки $\lambda_{\text{год}}$, выделив четвертый период времени осадки торфа t_4 с 7-го по 12-й месяц со времени прокопки канала и приняв $\lambda_4 = 0,002 \text{ мес}^{-1} \text{ м}^{-1}$:

$$\lambda_{\text{год}} = \frac{0,08 \cdot 0,33 + 0,02 \cdot 1,17 + 0,003 \cdot 4,5 + 0,002 \cdot 6,0}{0,33 + 1,17 + 4,5 + 6,0} \cdot 12 \text{ м} \cdot \text{год}^{-1} = 0,0753 \text{ м} \cdot \text{год}^{-1}.$$

Приведем пример использования формулы (6). Пусть глубина торфа до осушения $H_0 = 3,0 \text{ м}$, объемный вес скелета торфа $P = 0,10 \text{ г/см}^3$. Требуется определить величину осадки поверхности низинного болота вблизи открытого канала глубиной $h = 2,0 \text{ м}$ за время $t = 2$ месяца при уровне воды в канале $h_0 = 1,0 \text{ м}$. Находим по формуле (9) коэффициент плотности торфа $A = 1,683$. Так как уровень воды в канале выше уровня, принятого в формуле (6), то в уравнение (6) следует подставить величину $h = 2,0 - (1,0 - 0,4) = 1,4 \text{ м}$. Период времени $t = 2$ мес. состоит из $t_1 = 0,33 \text{ мес.}$, $t_2 = 1,17 \text{ мес.}$ и $t_3 = 0,5 \text{ мес.}$ Осадка поверхности болота будет

$$S = 1,683 \cdot 3,0 \cdot 1 - e^{-1,4(0,08 \cdot 0,33 + 0,02 \cdot 1,17 + 0,003 \cdot 0,5)} = 0,35 \text{ м}.$$

Л и т е р а т у р а

1. Печкуров. А.Ф. Устойчивость русел рек и каналов. Минск, 1964.
2. Турецкий Р.Я., Петлах Я.С. Механизация работ при осушении и освоении болот и заболоченных земель. М., 1970.
3. Щитников П.И. Рациональная технология строительства осушительных каналов. Минск, 1968.
4. Комиссаров В.Т. Мелиоративные работы зимой. М., 1970.
5. Аксенов Е.А., Пименов М.А. Осушение торфяных месторождений. Минск, 1971.
6. Расчет осадки торфяников после осушения. Минск, 1963.

В.Н. Заяц, М.Я. Вахер

ДЕФОРМАЦИИ СЖИМАЕМОГО ОСНОВАНИЯ ПРИ ПОВТОРНЫХ НАГРУЗКАХ НА ПЛАСТИНУ

Эффективное освоение осушаемых торфяных болот возможно при наличии качественных дорог, обеспечивающих проезд сельскохозяйственных машин и транспорта. В последние годы мели-