

6
А-63

МИНИСТЕРСТВО МЕЛИОРАЦИИ И ВОДНОГО ХОЗЯЙСТВА
СССР

БЕЛОРУССКИЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ
МЕЛИОРАЦИИ И ВОДНОГО ХОЗЯЙСТВА

На правах рукописи

П. К. ЧЕРНИК

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ УПЛОТНЕНИЯ И РАЗУПЛОТНЕНИЯ ТОРФА

Специальность № 06.531
Мелиорация и орошаемое земледелие

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т

диссертации на соискание учёной степени
кандидата технических наук

М И Н С К - 1970

МИНИСТЕРСТВО МЕЛИОРАЦИИ И ВОДНОГО ХОЗЯЙСТВА СССР

БЕЛОРУССКИЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ
МЕЛИОРАЦИИ И ВОДНОГО ХОЗЯЙСТВА

На правах рукописи

П. К. Черник

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ УПЛОТНЕНИЯ И РАЗУПЛОТНЕ-
НИЯ ТОРФА

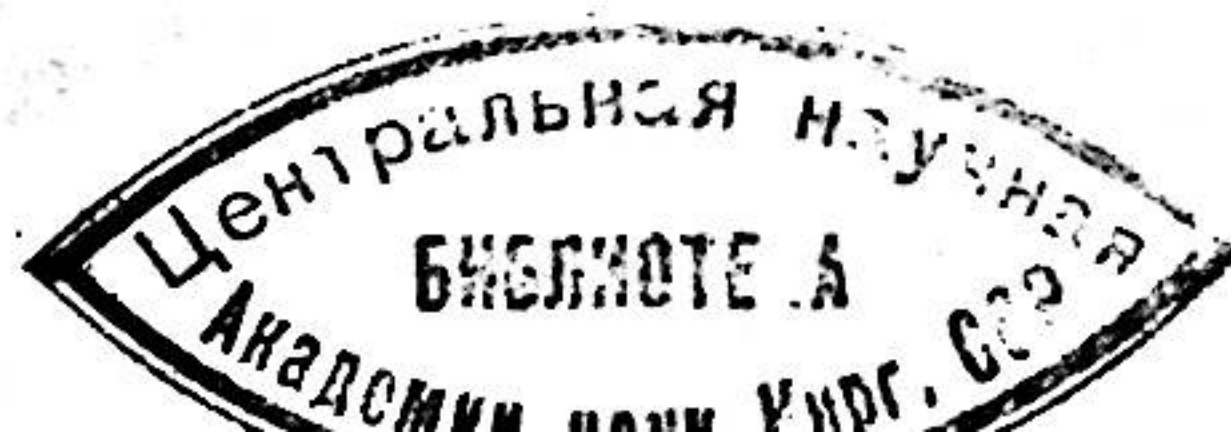
Специальность № 06.531

Мелиорация и орошаемое земледелие

Автореферат

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

г. Минск, 1970 г.



3
Работа выполнена в Научно-исследовательском институте мелиорации и водного хозяйства /Минск/ Министерства мелиорации и водного хозяйства СССР.

Научный руководитель —
старший научный сотрудник, кандидат
технических наук П.А.ДРОЗД

Официальные оппоненты:

доктор технических наук, профессор Л.С.АМАРЯН
старший научный сотрудник, кандидат
технических наук К.П.ЛУНДИН

Ведущее предприятие — Белорусский Государственный институт по проектированию водохозяйственного и мелиоративного строительства /БЕЛГИПРОВОДХОЗ/ Министерства мелиорации и водного хозяйства БССР.

Автореферат разослан " 4 " января 1976 г.

Защита диссертации состоится " 12 " февраля 1976 г.
на заседании Ученого Совета по присуждению ученых степеней кандидата технических наук по специальности сельскохозяйственная мелиорация и кандидата сельскохозяйственных наук по специальности земледелие на торфяно-болотных почвах при Белорусском научно-исследовательском институте мелиорации и водного хозяйства, Минск, Ленинский проспект, 68, к. 131.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке института.

Отзывы на автореферат просим направлять в двух экземплярах Ученому Совету Белорусского научно-исследовательского института мелиорации и водного хозяйства по вышеуказанному адресу.

Ученый секретарь Совета

/Г.И.АФАНАСИК/

В в е д е н и е

На основании решений партии и правительства о подъеме сельского хозяйства в нашей стране всё более широкое развитие получают мелиоративные работы по осушению и освоению болот и заболоченных земель. Осуществление намеченных планов по осушению болот потребует строительства большого числа различных сооружений, естественным основанием которых во многих случаях окажется торф. В практике проектирования из-за отсутствия достаточных обобщений и рекомендаций по строительству сооружений на торфяных грунтах часто отказываются от оптимально выбранных решений и стремятся перенести створы сооружений и трассы дорог на минеральное основание или применяют сложные мероприятия по его уплотнению /вертикальные дрены и др./. При невозможности такого варианта торф удаляют, что значительно усложняет и удорожает строительство.

В последнее время в результате исследований Н.А.Цытовича, Н.Н.Маслова, И.И.Вихляева, М.П.Воларовича, Н.В.Чураева, А.Ф.Печкурова, С.С.Корчунова, Л.С.Амаряна, К.П.Лундина, В.В.Рождественского, А.А.Ткаченко, И.Е.Евгеньева, П.А.Дрозда, Ф.П.Винокурова, А.Е.Тетёркина и др. по изучению строительных свойств торфяных грунтов появились возможности использования их в качестве оснований различных сооружений. Одной из важнейших задач при этом является правильное определение ожидаемой осадки основания и прогноз хода её во времени.

В настоящее время наиболее эффективным способом улучшения свойств торфяной залежи, как основания сооружений, является её осушение, а также предварительное уплотнение временными или постоянными нагрузками. Под действием внешней нагрузки торфяная залежь заметно уплотняется и упрочняется. Эффективность уплотнения, а также длительность процесса в сильной степени зависят от вида торфа, слагающего залежь, величины и характера нагрузки. Предварительно уплотняя залежь временными нагрузками, можно значительно улучшить её свойства и снизить деформации в основании строящихся в последующем сооружений. Однако процессы, протекающие при уплотнении торфа и особенно характер его разуплотнения при частичной или полной разгрузке, изучены недостаточно. Нет единого мнения о консолидации торфа под нагрузкой, требуют уточнения и методы расчёта осадки основания при различных режимах и способах загрузки.

Основной целью настоящей работы являлось исследование характе-

ра уплотнения и разуплотнения наиболее распространенных в условиях БССР видов торфа по двум схемам напряженного состояния: в условиях одномерной и полупространственной задачи. При этом изучались деформационные особенности торфа как основания и характер изменения его важнейших физико-механических свойств в процессе уплотнения.

Диссертация состоит из введения, шести глав, выводов и содержит 28 таблиц и 92 рисунка. В приложении в табличной форме даны основные расчетные параметры /коэффициенты/, полученные из опытов. Список использованной литературы включает 153 наименования.

В первой главе приведены краткие сведения, характеризующие торфяную залежь как основание мелиоративных сооружений, описаны особенности торфяных грунтов, а также задачи и методика исследований.

Структура торфяных грунтов является важнейшим фактором, определяющим их свойства, как оснований и среды для возведения сооружений. Изучению структуры торфяных грунтов посвящены работы М.П. Воляровича, Н.В. Чураева, В.М. Наумовича, А.В. Пичугина, Е.П. Семенского, К.П. Лундина, С.Г. Солопова, И.И. Липштвана и др. В естественном состоянии торфяные грунты обычно обладают высокой влажностью, иногда в несколько раз превышающей предел текучести, но вместе с тем в связи с особенностями структуры способны выдерживать определенную нагрузку.

Водно-физические свойства торфа в настоящее время изучены достаточно широко многими авторами: /М.П. Волярович, Н.В. Чураев, С.Ф. Аверьянов, Л.С. Амарян, К.П. Лундин, Н.И. Гамаюнов, С.С. Корчунов, В.Ф. Шебеко, Н.С. Костюк, Е.Т. Базин, А.А. Гребенщикова, М.Г. Булышко, Н.К. Работнов, Е.П. Семенский, Н.А. Галыбин и др./ Исследования, выполненные современными радиоиндикаторными методами, дают возможность определить содержание различных категорий воды в торфе, что имеет большое значение при расчетах уплотнения торфяных грунтов и осушения торфяной залежи.

До настоящего времени отсутствует ясное представление о поведении торфяного основания под нагрузкой, распределенной на некоторой площади конечных размеров и о величине тех удельных давлений, которые можно допустить на них. В.В. Рождественским обнаружены коренные отличия в характере разрушения торфяной залежи от классического вида разрушений минеральных грунтов, описанного Н.Г. Герсе-

вановым. В последствии рядом авторов /С.С. Корчунов, П.А. Дрозд, В.Н. Заяц, А.П. Рубан и др./ показано, что при постепенном наращивании нагрузки на штамп, кривые зависимости деформации от нагрузки имеют плавное очертание, а выпор торфа вокруг штампа отсутствует. Осадка торфа возрастает с увеличением размеров штампа.

Установлено, что характер деформирования торфяных грунтов при испытании штампом ограниченных размеров сильно отличается от сжимаемости в случае компрессионных испытаний.

Компрессионные свойства торфа достаточно широко описаны такими авторами как И.И. Вихляев, К.П. Лундин, А.Ф. Печкуров, А.Ф. Цыганков, А.С. Королёв, А.А. Ткаченко, И.Е. Евгеньев, П.А. Дрозд, В.Н. Заяц и др. Результаты компрессионных испытаний используются для расчета конечной осадки основания, а также коэффициента уплотнения торфа, необходимого для расчета фильтрационной консолидации.

Сдвиговая прочность торфяных грунтов в лабораторных условиях подробно изучена А.Ф. Печкуровым. В полевых условиях с помощью специально сконструированного прибора сопротивление сдвигу торфа в залежи изучалось Л.С. Амаряном и др.

Анализ многочисленных работ по изучению физико-механических свойств торфа, а также обобщение опыта строительства и эксплуатации различного рода сооружений на осушаемых торфяниках убедительно свидетельствуют, что в определенных условиях торфяная залежь может служить вполне надежным основанием. В силу высокой деформируемости торфа осадки сооружений могут достигать большой величины. При этом в процессе уплотнения, протекающего обычно длительный период, сильно изменяются физико-механические свойства торфа, отчего несущая способность залежи возрастает. В таких условиях первостепенной задачей является изучение характера деформирования основания во времени в различных условиях загрузки и отыскание методов улучшения свойств торфа естественной структуры.

Для ускорения стабилизации и повышения несущей способности торфяного основания автомобильных дорог нередко рекомендуют устройство вертикальных песчаных дрен /И.Е. Евгеньев, Ф.Я. Чистяков, А.Ф. Сергеев, Э.И. Берлин и др./ Однако эффективность песчаных дрен, особенно при сравнительно неглубокой и хорошо проницаемой залежи, является спорной. Кроме того, для мелиоративных сооружений низкого класса устройство вертикальных дрен является дорогостоящим и поэтому мало приемлемым мероприятием.

Методы закрепления торфяных грунтов в настоящее время изучены

краске водостаточно. Получены некоторые результаты по использованию электрососисе для повышения плотности торфа /Л.С. Азарев, Е.Ф. Бондарев, Е.Т. Базин, Г.Н. Воронков, Н.П. Коваленко и др./, а также некоторые данные по закреплению его различными химическими веществами /М.А. Шапошников и др./, однако практическая эффективность их пока очень незначительна. В условиях массового строительства сооружений на осушаемых массивах необходимо использовать более простые и дешевые методы улучшения свойств торфа в основании сооружений. Одним из таких методов является предварительное уплотнение торфа временной или постоянной пригрузкой с последующим строительством сооружений уже на уплотненном основании. Аналогичный метод предложен в 1935 году Б.Сергеевским при устройстве земляного полотна автомобильных дорог на торфяных болотах. Однако в силу ряда причин он не получил широкого применения в практике. Как показывает опыт, предварительное уплотнение торфа весьма эффективным средством улучшения свойств торфа. Торфянистый грунт можно предварительно уплотнить до любой заданной величины, обеспечиваясь деформации в основании данного вида сооружений в пределах допустимых величин. Однако в настоящее время в литературе отсутствуют необходимые данные о величине постоянной или временной пригрузки, требуемом времени ее действия и особенно о характере разуплотнения торфа после полной или частичной разгрузки. В наших и других в значительных исследованиях входило изучение следующих вопросов:

1. Качественное изучение процессов уплотнения и разуплотнения торфа после частичной или полной разгрузки в различных условиях загрузения;
 2. Качественные расчетные зависимости, характеризующие процесс уплотнения и разуплотнения;
 3. Проверка полученных результатов в полевых условиях и разработка практических рекомендаций.
- В процессе работы ставилась задача разработать методику расчета, позволяющую определить интенсивность и время действия пригрузки, обеспечивающей уплотнение торфа в основании малоперспективных сооружений до заданных значений, а также выявить допустимые диапазоны его разгрузки в процессе строительства и последующей эксплуатации различных сооружений.

В лабораторных условиях образцы торфа естественной структуры испытывались по двум вариантам загрузки: 1/ в приборах компрессионно-

го типа с площадью сечения образца 206 см^2 и высотой 13 см /общая мерная загрузка/ и 2/ штампом диаметром 5 см /податливая мерная загрузка/.

В полевых условиях образцы торфа, вырезанные на одном из мест, находились под различным по величине натуральным давлением грунта. После этого с каждого из образцов снимали определенные части нагрузки в долях от уплотняющей и снимали показания за разгрузкой образцов. Через некоторые промежутки времени под марочной нагрузкой образцы снова разгружали доминимально на $1/4$ от начальной уплотняющей нагрузки и так далее. В процессе снятия пригрузочной замерыли скомпенсированное поровое давление в образцах и при помощи керамических датчиков С.С. Корчунова и количества воды в процессе уплотнения воды. Длительность действия нагрузки в отдельных опытах составляла от 1 мин. до 125 суток, а в отдельных опытах достигала 170 суток. Длительность насыщения за исключением в отдельных опытах была не меньшей, чем время действия нагрузки. Всего проведено около 500 опытов. Основная часть опытов проведена в торфах естественного полностью водонасыщенного торфа (коэффициент пористости от 15 до 50% /коэффициенты пористости от 6,9 до 22,7/). Образцы торфа из видов торфа исследованы также в ненасыщенном состоянии (коэффициент водонасыщения $0,394-0,473$).

Во второй главе изложены краткие сведения по теории консолидации грунтов.

Для простейшего случая уплотнения водонасыщенного грунта применим теорию фильтрационной консолидации Терциуса Теркавского. В ряде опубликованных работ /Н.А. Теркавский, М.Т. Коваленко, Н.П. Коваленко, Е.Т. Базин, А.С. Корчун, Н.В. Заварзин, А.А. Заварзин, Н.Т. Заварзин, В.Т. Заварзин, Ф.П. Заварзин, А.З. Заварзин, М.А. Заварзин, В.А. Заварзин, А.В. Заварзин и др./, в которых приводятся расчетные зависимости, характеризующие процесс консолидации грунтов, и теория фильтрационной консолидации и теория грунтов.

В настоящее время установлено, что процесс уплотнения торфа в грунте во многих случаях существенно отличается от теории фильтрационной консолидации. Причиной этого могут быть частые колебания перемещения структурных элементов и частая разгрузка торфа при его уплотнении. Для учета этого фактора В.А. Заварзин был предложен метод получения скелета грунта и использование теории упруго-пластического деформирования грунтов. Применяется этой теории к расчету деформации грунта должна быть проведена экспериментально.

Н.Н.Маслов указывает, что уплотнение водонасыщенных связных грунтов происходит как за счет постепенного выжимания воды из пор, так и за счет одновременно протекающих реологических явлений в скелете грунта. В настоящее время весь процесс уплотнения водонасыщенных грунтов принято разделять на две стадии консолидации: первичную /фильтрационную/ и вторичную. М.Н.Гольдштейн и Тан-Тьянг-Ки указывают, что обе стадии консолидации в грунте происходят одновременно и, следовательно, в расчетах кроме фильтрационного уплотнения необходимо учитывать ползучесть скелета грунта и адсорбированных пленок воды. При решении ряда задач в механике грунтов большое распространение получила теория наследственной ползучести. Она применена С.С.Вяловым для мерзлых грунтов, Ж.С.Ержановым, Г.Н.Гуменюком — для горных пород, С.Р.Месчаном — для глинистых грунтов. Изучением явлений ползучести связных грунтов занимались К.Терцаги, Н.Н.Маслов, М.Н.Гольдштейн, Г.И.Покровский, В.А.Флорин и др.

Реологические процессы в торфяных грунтах изучались М.П.Воларовичем, Р.А.Бранопольской, Т.Я.Гораздовским, В.А.Силиным, Н.И.Малининым, С.С.Корчуновым, П.А.Дроздом, В.Н.Зайцем и др.

В третьей главе приведены экспериментальные данные, характеризующие особенности и общие закономерности деформирования торфяных грунтов при статических нагрузках.

Правильная, в том числе и количественная, оценка деформирования торфяных грунтов в основании возможна лишь при установлении физической сущности процессов, протекающих в них под воздействием сооружений.

В торфяных грунтах под действием нагрузки возникают восстанавливающиеся /обратимые/ и остаточные /пластические/ деформации. Обратимые деформации состоят из мгновенно восстанавливающихся и восстанавливающихся с последствием. Соотношения между ними зависят от величины и времени действия нагрузки. В отличие от минеральных грунтов с жесткими связями в торфе значительные по величине деформации могут быть полностью обратимыми. При кратковременном действии и небольшой величине нагрузки на торф восстановление деформаций после разгрузки происходит в сравнительно короткий срок. После большой длительности и величины нагрузки процесс восстановления деформаций протекает практически бесконечно.

Восстанавливающиеся во времени деформации по своей природе не относятся к упругим. Возникновение их вызвано изменением толщины вод-

ных пленок. Эти деформации названы Н.Я.Денисовым структурно-адсорбционными. Независимо от того, полностью или частично заполнены поры торфа водой, структурно-адсорбционные деформации протекают в течение времени, необходимого для удаления воды из контактов. Остаточные деформации в торфе обусловлены перемещением одних частиц относительно других. Эти деформации называют структурными.

При сравнительно небольшом давлении независимо от длительности его действия, практически не происходит необратимых смещений в образце и деформации торфяных грунтов в данном случае развиваются в двух фазах: упругие и структурно-адсорбционные. При разгрузке эти деформации полностью восстанавливаются. Величину давления, при котором не возникают необратимые смещения структурных элементов торфа, можно назвать структурной прочностью $\rho_{стр}$. Величины структурной прочности получены в опытах неодинаковыми не только для отдельных видов торфа, но и для одного и того же вида при различных напряженных состояниях /до $0,4 \text{ кг/см}^2$ /. При $\rho > \rho_{стр}$ на протяжении всего периода деформирования происходят необратимые структурные смещения отдельных агрегатов, увеличивающихся с ростом нагрузки и с длительностью ее действия. Соответственно возрастает и доля остаточных деформаций. Структурные особенности торфяных грунтов в значительной степени влияют на величину и характер затухания деформаций во времени.

Для исследованных видов торфа естественной структуры поровое давление в момент загрузки не равно внешней нагрузке, а составляет некоторую часть от нее, различную для каждого вида торфа. В тех же торфах нарушенной структуры поровое давление в момент загрузки достигает величины уплотняющей нагрузки. Экспериментальное изучение порового давления в процессе уплотнения торфяного грунта позволило, хотя и условно, разделить процесс уплотнения на отдельные стадии, оценить интенсивность деформаций ползучести скелета грунта, а также установить роль каждой из стадий в процессе уплотнения.

Для крупнопористых торфов малой степени разложения /до $20+25\%$ / при нагрузках, не превышающих 2 кг/см^2 , а для более разложившихся при нагрузках не более $0,8 \text{ кг/см}^2$ вторичное уплотнение настолько велико, что опытные кривые очень мало похожи на теоретические, соответствующие первичной /фильтрационной/ консолидации. В данном случае нарастание ползучих деформаций скелета грунта происходит настолько медленно, что именно они, а не удаление воды из пор грунта определяют скорость его уплотнения.

Механизм уплотнения торфяных грунтов в значительной степени

отличается от принятого в существующих методах расчетов. Это отличие заключается в следующем:

1/ в момент приложения нагрузки они сжимаются практически мгновенно на определенную величину, которая зависит от интенсивности нагрузки, вида торфа и его структуры /при $\rho = 2 \text{ кг/см}^2$ для слабо-разложившихся торфов эти деформации достигают 2/3 первоначальной высоты образца/;

2/ поровое давление в момент загрузки составляет лишь некоторую часть от внешней нагрузки. При уплотняющей нагрузке $\rho = 0,4 \text{ кг/см}^2$, например, для гипново-осокового торфа $R = 15-20\%$ оно достигает до $0,01 \text{ кг/см}^2$; для тростниково-осокового $R = 35\% — 0,050 \text{ кг/см}^2$; для древесно-тростникового $R = 45-50\% — 0,18 \text{ кг/см}^2$. При $\rho = 1,6 \text{ кг/см}^2$, соответственно, $0,35; 0,65; 1,08 \text{ кг/см}^2$. При малых нагрузках в крупно-пористых торфах оно вообще не возникает;

3/ вторичное уплотнение для торфяных грунтов составляло большую долю от полного, а его роль определяется видом и структурой торфа и величиной нагрузки.

В процессе передвижения воды при уплотнении торфяных грунтов естественной структуры наблюдаются две фазы:

а/ отжатие свободной воды из крупных пор, где соблюдается закон Дарси;

б/ при уплотнении до некоторой критической пористости $/\epsilon_{кр}/$ на процесс фильтрации воды начинают оказывать влияние поверхностные силы. В таких условиях фильтрация воды в торфе аналогична неньютоновскому течению жидкости и не может быть описана законом Дарси. В этом случае скорость течения может быть описана степенной зависимостью с двумя параметрами

$$V = AJ^z \quad /1/$$

Параметр A представляет собой скорость фильтрации при градиенте $J = 1$. При $z = 1$ параметр A представляет собой коэффициент фильтрации, а уравнение /1/ выражает закон Дарси. Величина параметра z характеризует степень отклонения от закона Дарси. Значения его для исследованных видов торфа получены от 1 до 3,41.

На основании опытных данных получена зависимость A от коэффициента пористости в виде экспоненты

$$A = e^{\beta(\epsilon_i - \epsilon_1)} \quad /2/$$

где β — постоянная величина;

ϵ_i — коэффициент пористости, для которого в процессе уплотнения определяется скорость фильтрации;

ϵ_1 — коэффициент пористости при $V = 1 \text{ см/сек}$;

e — основание натуральных логарифмов.

При $\epsilon > \epsilon_{кр}$, когда соблюдается закон Дарси, по зависимости /2/ вычисляется коэффициент фильтрации. Полученные в опытах значения параметров приведены в табл. I.

Таблица I

Вид торфа	: R, %	: β	: ϵ_1	: $\epsilon_{кр}$	: Примечания
Гипново-осоковый	15-20	1,83	15,5	11,3	для $\epsilon > \epsilon_{кр}$
		0,49	27,4	11,3	
Тростн.-осоков.	35	1,92	13,0	8,2	
Древесно-тростниковый	45-50	4,80	8,4	6,5	

В четвертой главе приведены результаты экспериментов, касающихся деформирования торфяных грунтов под действием статической нагрузки и расчетные зависимости.

В механике грунтов получают уравнения линейного деформирования идеализированных тел на основе анализа простейших моделей, которые дают общее, качественное представление о характере реологических процессов в грунтах. Особенности поведения торфяных грунтов под нагрузкой не позволяют механически распространить на них элементарные схемы и соответствующие им закономерности. В связи с этим важной задачей исследования являлось изучение реологических явлений, протекающих в торфяных грунтах и установление возможностей применения уравнений классической реологии.

В последнее время большое распространение получило стремление представить закон деформирования грунтов в интегральной форме в соответствии с теорией наследственной ползучести. При этом для описания деформаций применяют уравнение Больцмана-Вольтерры, обобщенное на случай нелинейной связи между нагрузкой и деформацией Ю.Н. Работновым и М.И. Розовским.

$$l(t) = f \cdot [p(t) + \int_0^t Q[p; (t-v)] f[p(v)] dv] \quad /3/$$

где $f_0[p(t)]$ — начальные мгновенные деформации;
 $Q[p;(t-\nu)]$ — ядро уравнения /ядро ползучести/, характеризующее влияние на деформацию в момент ν нагрузки, приложенной ранее в момент t .

Для однократно приложенной постоянной нагрузки $p = \text{const.}$ уравнение /3/ принимает вид:

$$l(t) = f_0(p) + \int_0^t Q(p, t) dt \quad /4/$$

На основании опытных данных функцию $f_0(p)$ принимаем в следующем виде:

$$f_0(p) = \ln b + \ln p \quad /5/$$

Ядро ползучести характеризует скорость нарастания деформаций во времени. На основании опытных данных выявлено, что скорость нарастания деформаций прямо пропорциональна величине начальной деформации l_n /деформации, возникающей в момент приложения нагрузки/ и обратно пропорциональна времени действия нагрузки t_n .

$$V_\delta = K \frac{l_n}{t_n} \quad /6/$$

Начальная деформация l_n зависит от величины нагрузки и для каждого вида торфа может быть описана уравнением /5/. Тогда ядро уравнения Q можно принять в следующем виде:

$$Q(p, t) = \frac{\alpha + \beta \ln p}{t + 1} \quad /7/$$

где α и β — реологические инвариантные параметры торфа.

Решив уравнение /4/ с принятыми значениями функций /5/ и /7/, получим зависимость, описывающую деформации торфяных грунтов:

$$l = \delta p^c (t + 1)^{\alpha + \beta \ln p} \quad /8/$$

Значения реологических параметров одного и того же вида торфа для полупространственной и одномерной задачи получены различными. Процесс деформирования торфа под статической нагрузкой во времени состоит из двух участков, для которых зависимость единая, но значения реологических параметров на начальном участке $0 < t < t_1$ и на последующем $t > t_1$ разные.

Значения реологических параметров для полупространственной за-

дачи получены при соотношении мощности сжимаемого слоя к диаметру штампа $\frac{T}{d} = 3$ /при котором проводили опыты/. Для других соотношений $\frac{T}{d}$ деформации можно определять по формуле:

$$l = \frac{p \cdot B}{K} \omega \quad /9/$$

где B — размер /диаметр или ширина/ площадки, передающей нагрузку;

ω — коэффициент, учитывающий влияние формы и размеров площадки и глубины сжимаемого слоя /по М.И. Горбунову-Посадову/;

K — коэффициент деформируемости грунта по своему характеру аналогичный модулю общей деформации.

Для торфяных грунтов, строго говоря, модуль общей деформации в обычном понимании его, как константы грунта, утрачивает смысл по причине нелинейности связи p и l . Для любого момента времени t и любой по величине нагрузки значения K определяются по формуле:

$$K = \frac{I}{\frac{\delta}{d} (t + 1)^\alpha [c + \beta \ln(t + 1)] p^{c + \beta \ln(t + 1) - 1}} \quad /10/$$

В пятой главе рассматривается разуплотнение торфяных грунтов при различных схемах их разгрузки и выявляются наиболее целесообразные варианты разгрузки, обеспечивающие максимальное сохранение достигнутой плотности и прочности торфа.

Обратимые деформации минеральных грунтов при воздействии повторных нагрузок изучены достаточно полно и освещены в работах Н.Н. Иванова, П.П. Понаморевы, Н.Я. Хархуты, А.И. Кривисского и др. В то же время обратимые деформации торфяных грунтов изучены недостаточно. Отдельные сведения для некоторых частных схем разгрузки приведены в работах С.С. Корчунова, В.А. Силина, В.Н. Зайца, Н.П. Петрова, В.П. Кузнецова, Ф.С. Яцевича и др. Данные о протекании процесса восстановления деформаций после разгрузки во времени для торфяных грунтов в литературе почти отсутствуют.

Наблюдения за процессами разуплотнения торфа после полной разгрузки показали, что они в общем имеют такой же характер, как и при уплотнении. При снятии нагрузки деформация образца мгновенно восстанавливается на некоторую величину. Такую деформацию называют упругой или мгновенно восстанавливающейся. Однако восстановление на этом не прекращается, а протекает во времени. Эту часть деформации

принято называть деформацией обратного упругого последствия или восстанавливающейся с последствием. С увеличением длительности действия нагрузки величина мгновенно восстанавливающихся деформаций после разгрузки уменьшается, т.е. происходит переход упругой деформации в остаточную. Кроме того меняется характер развития восстанавливающихся деформаций во времени. При кратковременном действии нагрузки мгновенно восстанавливающиеся деформации составляют 0,49–0,51 от полных деформаций перед разгрузкой и процесс восстановления деформаций во времени заканчивается сравнительно быстро. При увеличении длительности уплотнения мгновенно восстанавливающиеся деформации снижаются за счет роста остаточных и процесс восстановления протекает практически бесконечно.

На основании опытных данных для определения $l_{мгн}$ при полной разгрузке в условиях полупространственной задачи получена зависимость:

$$l_{мгн} = (\alpha - \beta \ln t_H) l_n^{(c-d \ln t_H)} \quad /II/$$

где α, β, c, d — реологические параметры торфа;
 t_H — время действия нагрузки;
 l_n — полная деформация перед разгрузкой.

Для восстанавливающихся с последствием деформаций получена зависимость:

$$l_{вп} = l_{мгн} \cdot t^m \quad /I2/$$

где $l_{мгн}$ — мгновенно восстанавливаемая деформация, вычисленная по формуле /II/;
 t — время восстановления в мин.
 m — коэффициент, зависящий от вида торфа и условий,

при которых проходило деформирование и восстановление после разгрузки.

Все опытные кривые, характеризующие восстановление деформаций во времени, состоят из двух или трех участков, описываемых уравнением /I2/ с различными значениями параметров на каждом участке. В случае одномерной задачи после уплотняющей нагрузки $p < p_{стр}$ величина мгновенно восстанавливающейся деформации соответствовала вычисленной по формуле /II/. После уплотняющей нагрузки $p > p_{стр}$ /полные деформации образцов перед разгрузкой при этом составляют более 0,13–0,2 от начальной высоты образца/ величина мгновенно восстанавливающейся деформации резко снижается. Восстанавливающиеся во времени

деформации при обоих вариантах загрузки вычисляются по ф-ле /I2/.

После частичной разгрузки величина мгновенно восстанавливающихся деформаций возрастает не пропорционально снятой части нагрузки и выражается следующей зависимостью.

$$l_{мгн} = (\alpha_0 - \beta p - \alpha \lg t_H) l_n e^{\beta \frac{p_c}{p}} \quad /I3/$$

где α_0, β, α и β — реологические параметры торфа;
 l_n — полная деформация перед разгрузкой;
 p_c — величина снятой нагрузки;
 p — уплотняющая нагрузка;
 t_H — время действия уплотняющей нагрузки.

Значения параметров для различных схем нагружений неодинаковы. Однако снижение $l_{мгн}$ после увеличения длительности действия нагрузки t_H в обоих случаях происходит одинаково и подчиняется той же закономерности, что и снижение напряжений при релаксации. Характер нарастания восстанавливающихся деформаций во времени при частичной разгрузке аналогичен случаю полной разгрузки и для описания его справедливо уравнение /I2/.

При $\frac{p_c}{p} < 0,5$ процесс разуплотнения заканчивается в течение некоторого конечного промежутка времени, возрастающего с приближением $\frac{p_c}{p}$ к 0,5. Величина восстанавливающихся деформаций в данном случае незначительна. После окончания процесса разуплотнения происходит дальнейшее уплотнение под действием оставшейся части нагрузки. При $\frac{p_c}{p} > 0,5$ величина восстанавливающихся деформаций заметно возрастает, а процесс разуплотнения протекает практически бесконечно долго. Следовательно, наибольший практический интерес представляет случай, когда снятая нагрузка меньше половины уплотняющей.

В шестой главе приведены результаты натурных наблюдений и проверка полученных зависимостей.

Для проверки полученных расчетных зависимостей в расчетной практике было отсыпано 12 опытных песчаных насыпей различной высоты на слабоосушенном торфяном массиве. В течение 6 лет проводились наблюдения за осадкой торфа в основании насыпей и за восстановлением деформаций после частичного или полного снятия насыпей.

Деформацию торфа под насыпями вычисляли методом послойного элементарного суммирования для сплошной нагрузки. Коэффициенты уплотнения определяли по экспериментальным компрессионным зависимостям для каждого слоя торфа. Вычисленные таким способом значения полных стабилизированных деформаций торфа под опытными насыпями оказались

близкими к замеренным и незначительно изменяются по сечению насыпи на участке, равном ширине насыпи поверху.

Выполнены расчёты осадки опытных насыпей во времени по уравнению теории фильтрационной консолидации по начальному /до отсыпки/ и конечному значениям коэффициентов консолидации. Фактическая осадка опытных насыпей высотой до 3 м протекала во времени медленнее рассчитанной даже по конечным значениям коэффициентов консолидации и в предположении, что вся толща торфа состоит из однородного слоя с наименьшей водопроницаемостью из всех фактически слагающих толщу слоёв. Следовательно, и натурные наблюдения показали, что при небольших нагрузках /насыпи из песка высотой до 3 м/ нарастание деформаций ползучести для исследованных видов торфа будет происходить настолько медленно, что именно они, а не фильтрация воды из пор определяют скорость процесса консолидации торфа под действием постоянной нагрузки. Под большими нагрузками /высотами насыпи/ скорость нарастания деформаций ползучести увеличивалась и в данном случае уже большее значение в процессе консолидации приобретал фактор отжатия поровой воды.

Для расчёта деформаций основания под опытными насыпями во времени использована формула /8/, полученная в результате решения интегрального уравнения нелинейной наследственной ползучести. Рассчитанные по формуле /8/ деформации удовлетворительно совпадают с фактическими осадками опытных насыпей /рис. I/.

Для определения деформаций торфа в условиях полупространственной задачи получена формула /9/. Значения расчетных параметров, входящих в формулу, получены из лабораторных опытов со штампом $\alpha = 5$ см. В полевых условиях были проведены опыты по вдавливанию в торфяную залежь штампа $\alpha = 30$ см. Полученные при этом результаты близки к рассчитанным.

Деформации разуплотнения торфа под опытными насыпями после частичного и полного их удаления удовлетворительно совпадают с расчётными по предлагаемой методике /рис. I/. При частичной разгрузке торфяного основания, когда высота насыпи уменьшилась не более половины от первоначальной величины, восстанавливающиеся деформации были незначительными. После затухания процесса восстановления наблюдалась как и в лабораторных опытах дальнейшая осадка под воздействием оставшейся части насыпи. Когда снятая часть насыпи составляла более половины её первоначальной высоты, наблюдался очень длительный процесс разуплотнения торфа в основании, при котором механиче-

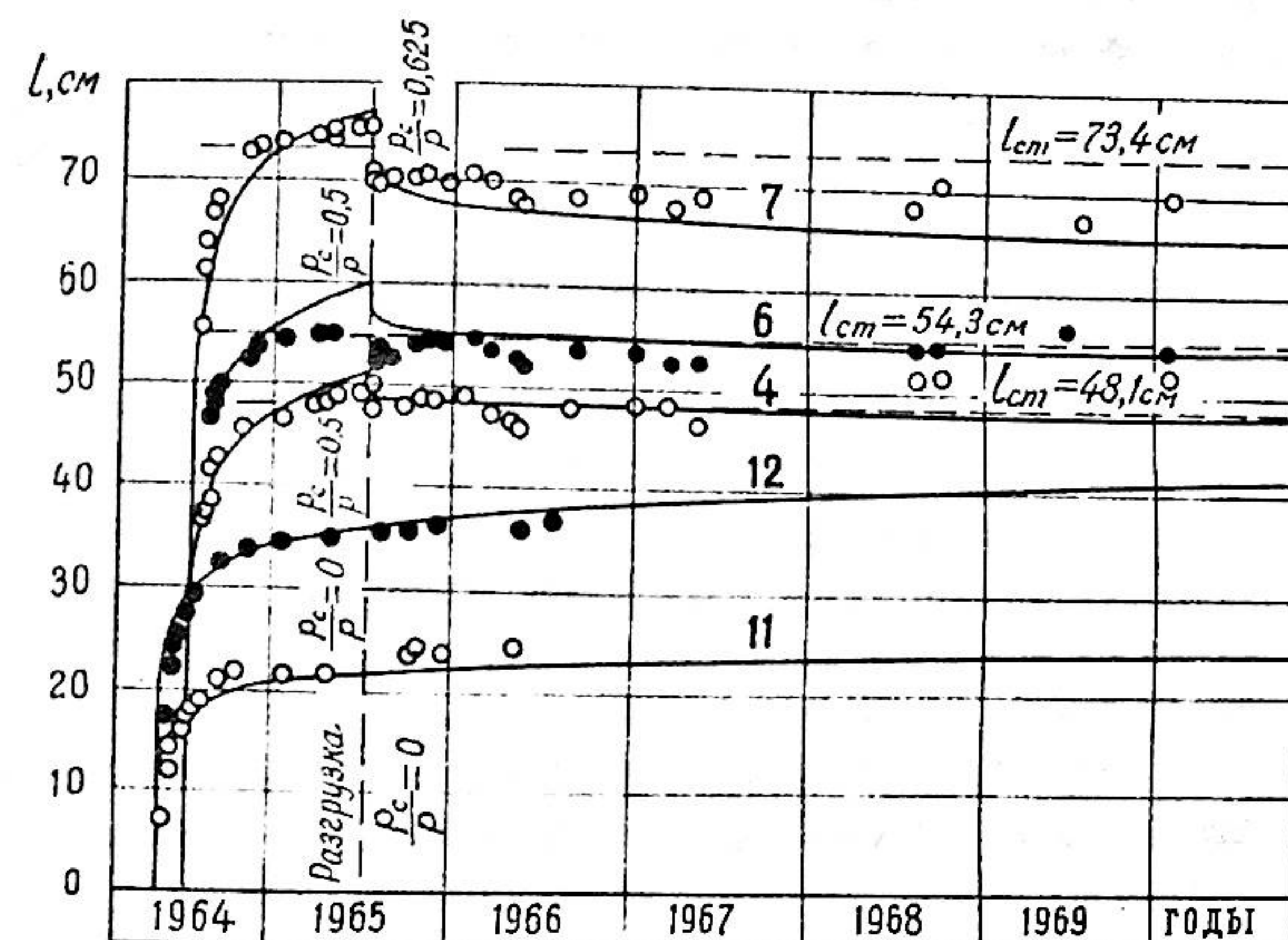
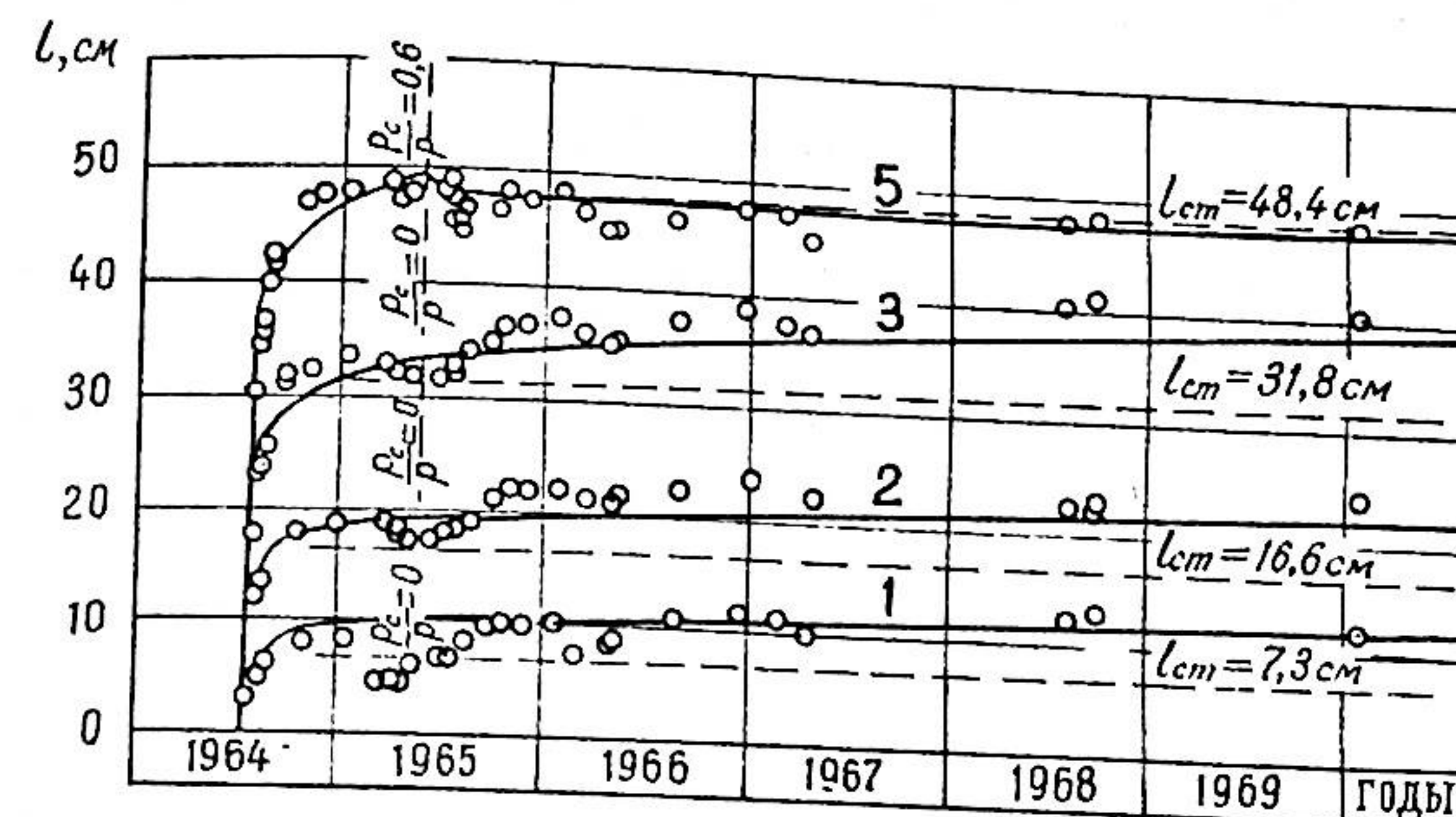


Рис. I. Осадка опытных насыпей во времени.

На кривых цифрами показаны номера насыпей, начальная толщина которых была: I — 0,5 м; 2 — 1,0 м; 3 — 1,5 м; 4 — 2,0 м; 5 — 2,5 м; 6 — 3,0 м; 7 — 4,0 м; II — 1,3 м; I2 — 2,0 м:

ρ и ρ_c — начальная и снятая часть нагрузки;
 l_{cm} — полные стабилизированные деформации.

ские свойства основания ухудшались.

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ И РЕКОМЕНДАЦИИ.

Проведенные исследования по изучению процессов уплотнения торфяных грунтов статическими нагрузками и их разуплотнения после частичной или полной разгрузки позволяют сделать следующие выводы и рекомендации производству:

1. Выявлены основные закономерности деформирования различных видов низинного торфа при статических нагрузках по площадкам ограниченных размеров и в условиях одномерной задачи. Изучен характер разуплотнения его после частичной и полной разгрузки.

2. Установлено наличие структурной прочности для торфяных грунтов. Структурной прочностью грунта $\rho_{стр}$ можно назвать величину нагрузки, при действии которой не происходят необратимые смещения его структурных элементов. Под нагрузками меньшими структурной прочности необратимые смещения структурных элементов торфа отсутствуют и деформации после разгрузок полностью и быстро восстанавливаются. Величина структурной прочности для исследованных видов торфа достигает до $0,4 \text{ кг/см}^2$ и зависит от вида торфа и характера загрузки.

3. В общем случае процесс уплотнения водонасыщенных торфяных грунтов во времени протекает в следующих стадиях:

а/ в момент приложения нагрузки происходит мгновенное сжатие грунта на некоторую величину, зависящую от вида торфа и величины нагрузки;

б/ затем имеет место процесс фильтрационного уплотнения;

в/ после окончания стадии фильтрационного уплотнения деформация грунта продолжается вследствие вторичной консолидации, обусловленной ползучестью скелета и водноколлоидных оболочек.

Роль каждой из этих стадий в общем процессе уплотнения зависит от вида торфа, его структуры и величины внешней нагрузки. Для крупнопористых слоборазложившихся торфов при небольших нагрузках до $0,8 \text{ кг/см}^2$ стадии фильтрационного уплотнения практически не наблюдается.

4. В силу особенностей торфяных грунтов естественной структуры поровое давление в момент приложения нагрузки составляло лишь некоторую долю от нее. В торфах нарушенной структуры оно в начальный момент равнялось по величине внешней нагрузке.

5. При уплотнении торфяных грунтов естественной структуры наблюдаются две фазы передвижения воды в них:

а/ процесс фильтрации подчиняется закону Дарси; при уплотнении отжимается лишь свободная вода крупных пор;

б/ при достижении некоторой критической пористости начинают сказываться поверхностные силы и движение воды в них описывается степенной функцией с двумя параметрами. Для определения параметров этой функции в диссертации дана эмпирическая зависимость /2/ и графики. Даже при большом уплотнении начального градиента /в смысле такого градиента, меньше которого фильтрация прекращается/ не обнаружено. Во всех опытах фильтрация продолжалась до нулевых градиентов.

6. Под действием уплотняющей нагрузки в торфе возникают мгновенные и развивающиеся во времени деформации. Величина и соотношение их зависит от вида торфа, величины нагрузки и времени её действия.

Для расчета уплотнения во времени исследованных видов торфа естественной структуры модель жесткой пористой среды не применима. Расчетные кривые по теории фильтрационной консолидации значительно отличаются от опытных. Определяющим фактором в процессе уплотнения торфа при нагрузках $\rho \leq 0,8 \text{ кг/см}^2$ является неустановившаяся ползучесть скелета. В этом случае для расчета деформации уплотнения во времени в условиях одномерной и полупространственной задачи применимо уравнение теории нелинейной наследственной ползучести. Для обеих схем загрузки на основе опытных данных определены и приведены в диссертации значения расчетных параметров.

7. Процесс разуплотнения торфяных грунтов после снятия уплотняющей нагрузки в общем случае аналогичен по характеру процессу уплотнения. В момент снятия всей или части нагрузки торф сразу разуплотняется на некоторую величину, а затем процесс нарастания деформаций разуплотнения протекает во времени с затуханием.

Длительность процесса разуплотнения зависит от вида торфа, величины и времени действия уплотняющей нагрузки. После кратковременного уплотнения малой нагрузкой процесс восстановления деформаций продолжался сравнительно недолго. После увеличения нагрузки и времени ее действия длительность процесса восстановления значительно возрастала. После действия нагрузок, не превышающих структурной прочности торфа, деформации уплотнения восстанавливались полностью.

8. Величина мгновенно восстанавливающихся деформаций каждого

вида торфа зависит от величины полной деформации образца перед разгрузкой, которая в свою очередь определяется величиной уплотняющей нагрузки и временем ее действия. Зависимости мгновенно восстанавливающихся деформаций от полных в условиях одномерной и полупространственной задачи практически совпадают, если уплотняющие нагрузки меньше структурной прочности.

В общем случае зависимости мгновенно восстанавливающихся деформаций от полных в общем случае нелинейны и описываются степенной функцией /II/. Эти деформации снижаются после увеличения длительности действия уплотняющей нагрузки. Процесс снижения аналогичен характеру релаксации напряжений.

9. Увеличение мгновенно восстанавливающейся деформации после частичной разгрузки не пропорционально снятой части нагрузки. Если снятая часть нагрузки не превышала 0,5 от полной, процесс разуплотнения затухал в течение некоторого конечного промежутка времени, увеличивающегося с повышением снятой части нагрузки. Величина восстанавливающихся деформаций в данном случае незначительна. После затухания процесса разуплотнения происходит дальнейшее уплотнение под действием оставшейся части нагрузки. Если снятая часть нагрузки более 0,5 от полной величина восстанавливающихся деформаций сильно возрастает и значительно удлиняется процесс разуплотнения.

10. Для определения осадки торфа в основании земляных плотин, обваловывающих дамб и другого вида сооружений на болотах на любой заданный период времени предложены расчетные зависимости для определения деформаций торфа в различных условиях загрузки /формулы 8 и 9/. Получены значения расчетных параметров.

II. Предложены зависимости и значения расчетных параметров для количественной оценки обратимых деформаций торфа после разгрузок /формулы II; I2; I3/.

I2. Рекомендуются расчетные зависимости проверены в производственных условиях шестилетними наблюдениями за I2 опытными насыпями различной толщины. Установлена удовлетворительная точность их для расчета общих и обратимых деформаций.

I3. Исследования показали, что метод предварительного уплотнения является весьма эффективным средством улучшения свойств торфа и его можно рекомендовать для практического применения в мелиоративном строительстве. Такой метод может найти широкое применение при строительстве шлюзов, труб и других сооружений на осушаемых болотах, особенно при глубокой залежи, когда удаление торфа представ-

ляет большие трудности или вообще невозможно. Полученные расчетные зависимости позволяют определить необходимую величину нагрузки и время ее действия, при которых достигаются заданные свойства основания, а также оценить степень разуплотнения торфа в период строительства и эксплуатации сооружений, если вес его меньше пригрузки.

Основные положения диссертации опубликованы в работах:

1. П.К.Черник, П.А.Дрозд. Об укреплении торфяных грунтов. Сб. "Осушение и сельскохозяйственное освоение торфяных почв". Изд-во "Урожай", Минск, 1965.

2. В.Н.Заяц, П.К.Черник. Исследования характера восстановления деформаций торфа. Сб. "Мелиорация и использование осушенных земель". Т. XIV. изд-во "Урожай", Минск, 1966.

3. П.К.Черник. Характер уплотнения и разуплотнения торфа. Сб. "Мелиорация и использование осушенных земель". Т. XV. Изд-во "Урожай", Минск, 1967.

4. П.К.Черник. Фильтрационные свойства уплотняемого торфа. Сб. "Мелиорация и использование осушенных земель". Т. XVI. Изд-во "Урожай", Минск, 1969.

5. П.К.Черник. Обратимые деформации торфа в условиях полупространственной задачи. Сб. "Гидротехника и мелиорация торфяных почв". ч. I. Минск, 1969.

6. П.К.Черник, О деформациях ползучести торфяных грунтов при несимметричном нагружении. Там же.

7. П.А.Дрозд, М.И.Святцев, П.К.Черник. Опыт строительства дорожной сети на объекте "Польское болото". Сб. "Проблемы мелиорации Полесья". Тезисы докладов научно-технической конференции по мелиорации земель Полесья. Часть I. Минск, 1970.

8. П.К.Черник. Особенности деформации торфяных грунтов. Сб. "Мелиорация и использование осушенных земель". Т. XVII. Изд-во "Урожай", Минск, 1970.

Результаты исследований доложены на:

— научной конференции молодых ученых по вопросам мелиорации земель /Минск, 1968/;

— XXIV научно-технической конференции Белорусского ордена Трудового Красного Знамени политехнического института /Минск, 1968/;

— научно-технической конференции по мелиорации земель Полесья /Минск, 1970/.

АТ 35344 Подписано к печати 18.12.70 г. Объем 1,0 п.л.
Тираж 200 экз. Отпечатано в НИИЭМП при Госплане БССР
Минск, Славинского 1.