

**ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ МОЛДОВЫ**

**На правах рукописи**

**У.Д.К: 624.131**

**РЫШКОВОЙ АЛЕКСАНДРУ**

**ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИКИ ИЗМЕНЕНИЯ  
ПРОСАДОЧНЫХ СВОЙСТВ ГРУНТОВ ОСНОВАНИЙ  
ПУТЕМ УСТРОЙСТВА ГРУНТОВЫХ СВАЙ,  
ВЫПОЛНЕННЫХ С ПОМОЩЬЮ ВИБРОПОГРУЖАТЕЛЯ**

**СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 211.02 – СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ,  
ЭЛЕМЕНТЫ И СООРУЖЕНИЯ**

**Диссертация на соискание  
ученой степени доктора технических наук**

**Научный руководитель:**

**Полканов Владимир**

**конференциар университетар,  
доктор технических наук**

**Автор:**

**Рышковой Александру**

**КИШИНЭУ, 2018**

**UNIVERSITATEA TEHNICĂ A MOLDOVEI**

**Cu titlu de manuscris**

**C.Z.U: 624.131**

**RÂȘCOVOI ALEXANDRU**

**STUDIUL DINAMICII DE CONSOLIDARE  
A PĂMÂNTURILOR SENSIBILE LA UMEZIRE PRIN  
EXECUTAREA COLOANELOR VERTICALE  
DE PĂMÂNT VIBROPRESATE**

**SPECIALITATEA 211.02 – MATERIALE DE CONSTRUCȚII,  
ELEMENTE ȘI EDIFICII**

**Teză de doctor în științe tehnice**

**Conducător științific:**

**Polcanov Vladimir**

**doctor în științe tehnice,  
conferențiar universitar**

**Autor:**

**Râșcovi Alexandru**

**CHIȘINĂU, 2018**

**© RÂȘCOVOI ALEXANDRU, 2018**

## СОДЕРЖАНИЕ

<b>АННОТАЦИЯ</b> (на русском, румынском, английском языках).....	6
<b>СПИСОК АББРЕВИАТУР</b> .....	9
<b>УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ</b> .....	10
<b>ВВЕДЕНИЕ</b> .....	11
<b>1. СОВРЕМЕННЫЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ О ПРОСАДОЧНОСТИ ГРУНТОВ И СТРОИТЕЛЬСТВЕ НА НИХ</b> .....	19
1.1. Анализ инженерно-геологической изученности просадочных свойств грунтов Молдовы .....	19
1.2. Методологические основы, определяющие необходимость и способы устранения просадочных свойств грунтов при строительстве в Молдове .....	27
1.3. Основные проблемы проектирования и устройства оснований и фундаментов на лессовых грунтах в Молдове .....	36
1.4. Выводы по главе 1 .....	45
<b>2. ИССЛЕДОВАНИЕ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ, РЕОЛОГИЧЕСКИХ И ПРОСАДОЧНЫХ СВОЙСТВ ЛЕССОВЫХ ГРУНТОВ МОЛДОВЫ И ИХ ВЛИЯНИЯ НА РАБОТУ ОСНОВАНИЙ</b> .....	47
2.1. Результаты исследования причин деформаций оснований и фундаментов жилых домов в мун. Кишинэу, размещенных на просадочных грунтах .....	47
2.2. Результаты изучения закономерностей изменения показателей состава и свойств просадочных грунтов в условиях природного залегания .....	57
2.3. Результаты исследования причин возможного снижения прочности просадочных грунтов .....	66
2.4. Выводы по главе 2 .....	81
<b>3. ОЦЕНКА РЕЗУЛЬТАТОВ УСТРАНЕНИЯ ПРОСАДОЧНЫХ СВОЙСТВ ГРУНТОВ ПУТЕМ УСТРОЙСТВА ГРУНТОВЫХ СВАЙ, ВЫПОЛНЕННЫХ С ПОМОЩЬЮ ВИБРОПОГРУЖАТЕЛЯ</b> .....	83
3.1. Анализ влияния уплотнения на прочностные, деформационные, просадочные и реологические характеристики исследуемых грунтов ...	83
3.2. Оценка воздействия глубинного уплотнения на микроструктуру просадочных грунтов методом дешифрирования РЭМ-изображения ...	100

3.3. Разработка региональных таблиц прочностных и деформационных характеристик просадочных грунтов Молдовы на основе выявленных корреляционных зависимостей .....	111
3.4. Выводы по главе 3 .....	115
<b>ОБЩИЕ ВЫВОДЫ</b> .....	117
<b>РЕКОМЕНДАЦИИ</b> .....	118
<b>БИБЛИОГРАФИЯ</b> .....	119
<b>Приложение 1</b> Результаты исследований просадочных грунтов, полученные В.С. Гончаровым .....	133
<b>Приложение 2</b> Результаты исследований просадочных грунтов, полученные Ю.И. Олянским .....	136
<b>Приложение 3</b> Графическая интерпретация исследований просадочных грунтов, выполненных автором .....	143
<b>Приложение 4</b> Результаты расчета характеристик физических свойств грунтов .....	156
<b>Приложение 5</b> Результаты лабораторных испытаний на просадочность .....	159
<b>Приложение 6</b> Результаты испытаний грунтов на неконсолидированный сдвиг .....	168
<b>Приложение 7</b> Результаты лабораторных испытаний на компрессию .....	169
<b>Приложение 8</b> Определение нормативных значений относительной просадочности лессовых грунтов .....	175
<b>Приложение 9</b> Физико-механические характеристики уплотненных просадочных грунтов Молдовы (данные Молдгиинтиза и Молдгипроавтодора) .....	176
<b>Приложение 10</b> Список отчетов по изучению инженерно-геологических условий площадок для строительства, использованных автором ....	179
<b>ДЕКЛАРАЦИЯ ОБ ОТВЕТСТВЕННОСТИ</b> .....	182
<b>АВТОБИОГРАФИЯ АВТОРА (CV)</b> .....	183

## АННОТАЦИЯ

к диссертационной работе на соискание ученой степени доктора технических наук  
**«Исследование динамики изменения просадочных свойств грунтов оснований  
путем устройства грунтовых свай, выполненных с помощью вибропогружателя»**

**РЫШКОВОЙ Александру, Кишинэу, 2018**

**Структура диссертации:** введение, три главы, выводы и рекомендации, библиография (180 источников). Содержание изложено на 118 страницах основного текста; содержит 12 таблиц (без учета приложений), 49 рисунков, 10 приложений. Результаты исследования опубликованы в 7 научных работах.

**Ключевые слова:** просадка, просадочные грунты, устранение просадочности, физико-механические свойства, микроструктура, грунтовые сваи, вибропогружатель.

**Область исследования:** строительство на просадочных грунтах.

**Цель исследования:** разработка нового технического решения по устранению просадочности грунтов при строительстве в Молдове.

**Задачи исследования:** провести анализ инженерно-геологической изученности просадочных свойств грунтов Молдовы; изучить базовые способы устранения просадки; обобщить опыт строительства на просадочных грунтах в Молдове; получить новые данные физико-механических, просадочных и реологических характеристик лессовых грунтов; оценить влияние уплотнения, проведенного с помощью вибропогружателя RG-установки на характеристики грунтов; изучить микроструктуру просадочных грунтов и ее изменение после устройства грунтовых свай; исследовать НДС основания; обосновать возможность устранения просадки основания путем устройства грунтовых свай, выполненных с помощью вибропогружателя.

**Научная новизна и оригинальность работы** определяются разработкой эффективного решения уплотнения просадочных грунтов с помощью вибропогружателя. Получены новые данные о свойствах просадочных грунтов Молдовы; впервые определены значения порога ползучести просадочных суглинков; исследованы причины возможного снижения прочности грунтов; для устранения просадочных свойств использован и научно обоснован метод устройства грунтовых свай с помощью вибропогружателя; выполнена оценка воздействия глубинного уплотнения на микроструктуру просадочных грунтов методом дешифрирования РЭМ-изображений; разработаны региональные таблицы характеристик просадочных грунтов Молдовы.

**Важность научной проблемы,** решенной в рамках исследования, заключается в получении новых данных, характеризующих свойства просадочных грунтов в условиях естественного залегания и после уплотнения, выполненного путем устройства грунтовых свай с использованием вибропогружателя.

**Теоретическая значимость и практическая ценность** заключается в возможности использования полученных результатов при освоении территорий, сложенных грунтами II типа по просадочности. Выявлена роль жестких, необратимых связей структурного сцепления и связности водноколлоидного характера, определяющих процессы снижения прочности. Исследовано воздействие уплотнения просадочного грунта с помощью вибропогружателя на его микроструктуру.

**Внедрение научных результатов.** Предложенное техническое решение устранения просадочных свойств грунтов путем устройства грунтовых свай с помощью вибропогружателя на RG-установке использовалось при подготовке основания под фундаменты жилых зданий в муниципии Кишинэу. Разработанные автором таблицы физико-механических характеристик просадочных грунтов приняты к использованию проектировщиками института Incercom.

## ADNOTARE

la teza pentru obținerea gradului de doctor în științe tehnice  
«**Studiul dinamicii de consolidare a pământurilor sensibile la umezire  
prin executarea coloanelor verticale de pământ vibropresate**»

**RÂȘCOVOI Alexandru, Chișinău, 2018**

Specialitatea: **211.02 – Materiale de construcții, elemente și edificii**

**Structura tezei:** adnotarea, introducerea, trei capitole, concluzii și recomandări, bibliografia (180 de titluri), 118 pagini text de bază, 12 tabele, 49 figuri și 10 anexe. Rezultatele cercetării sunt publicate în 7 lucrări științifice.

**Cuvinte-cheie:** tasare, pământurilor sensibile la umezire, eliminarea tasabilității, proprietățile fizico-mecanice, microstructura, coloane verticale de pământ, vibropresare.

**Domeniul de studiu:** edificarea construcțiilor pe terenuri sensibile la umezire.

**Scopul cercetării:** elaborarea unei noi soluții tehnice pentru eliminarea tasabilității a pământurilor sensibile la umezire la edificarea construcțiilor pe teritoriul R. Moldova.

**Obiectivele cercetării:** analiza gradului de explorare ingineresc-geologic a proprietăților de tasare a pământurilor din Moldova; studierea metodelor de bază de eliminare a tasabilității; generalizarea experienței de edificare a construcțiilor pe pământuri sensibile la umezire în Moldova; obținerea de date noi privind caracteristicile fizico-mecanice, de tasare și reologice ale loessurilor; evaluarea influenței compactării realizate prin vibropresare folosind instalația RG pe caracteristicile pământului; studierea microstructurii pământurilor sensibile la umezire și modificarea acesteia ca urmare executării coloanelor verticale de pământ; analiza stării de tensiune-deformare a terenului de fundare; justificarea posibilității eliminării tasării suplimentare a terenului de fundație prin executarea coloanelor verticale de pământ vibropresate.

**Noutatea și originalitatea științifică a rezultatelor obținute** sunt determinate de elaborarea unei soluții eficiente de compactare a pământurilor sensibile la umezire cu ajutorul instalației de vibropresare. Sunt obținute date noi privind proprietățile pământurilor sensibile la umezire din R. Moldova; în premieră sunt determinate valorile pragului de fluaj pentru argile nisipoase tasabile; sunt studiate cauzele posibilei scăderi a rezistenței pământurilor; pentru eliminarea proprietăților de tasare este utilizată și argumentată științific metoda executării coloanelor verticale de pământ vibropresate; este estimat efectul compactării de adâncime asupra microstructurii prin metoda decodificării imaginilor SEM; sunt elaborate tabele regionale ale caracteristicilor pământurilor sensibile la umezire pentru teritoriul R. Moldova.

**Problema științifică importantă** rezolvată în cadrul studiului, este obținerea de noi date, care caracterizează proprietățile pământurilor sensibile la umezire în condiții de depunere naturală și după compactare prin executarea coloanelor verticale de pământ vibropresate.

**Semnificația teoretică și valoarea aplicativă a tezei** constă în posibilitatea utilizării rezultatelor obținute în dezvoltarea teritoriilor, care sunt compuse din pământurile de tip II de tasabilitate. Este identificat rolul legăturilor rigide, ireversibile de coeziune structurală și coeziunea de natură hidrocoloidală, care determină procesele de reducere a rezistenței. Este cercetat efectul compactării pământului cu ajutorul instalației de vibropresare pe microstructura sa.

**Implementarea rezultatelor științifice** Soluția tehnică propusă pentru eliminarea proprietăților de tasare prin executarea coloanelor verticale de pământ vibropresate cu ajutorul instalației RG a fost utilizată pentru pregătirea terenului de fundare a clădirilor rezidențiale din mun. Chișinău. Tabelele caracteristicilor fizico-mecanice ale pământurilor sensibile la umezire, elaborate și propuse de autor, au fost acceptate pentru utilizare de proiectanții ICȘC Incercom.

## ANNOTATION

to the thesis for obtaining the PhD degree in technical sciences  
„Investigation of changes dynamics in the settlement properties of foundation soils  
by construction of soil piles using a vibratory loader”

RÂȘCOVOI Alexandru, Chișinău, 2018

Specialty: **211.02** – Construction materials, elements and edifices

**Thesis structure:** introduction, three chapters, conclusions and recommendations, references (180 titles). The content is presented on 118 basic text pages, 12 tables (without appendices), 49 figures and 10 appendices. Research results are published in 7 scientific papers.

**Key words:** settlement, settlement sensitive soil, elimination of settlement, physico-mechanical properties, microstructure, soil piles, vibrator.

**Area of research:** construction on settlement sensitive soil.

**Aim of the research:** development a new technical solution to eliminate settlement of soils during construction in Moldova.

**Objectives:** to analyze the engineering-geological study degree of properties of settlement sensitive soils of Moldova; to study the main methods of settlement elimination; to generalize the experience of construction on settlement sensitive soils in Moldova; to obtain new data of physico-mechanical, settlement and rheological characteristics of loess soils; to evaluate the effect of compaction on the soils characteristics, carried out with vibratory loader RG-installation; to study the microstructure of settlement sensitive soils and its change after the construction of soil piles; to investigate the stress-strain behavior of foundations; to substantiate the possibility of eliminating the settlement of foundation by execution the soil piles made with vibratory loader.

**Scientific novelty and originality:** are determined by development of an effective solution to compact settlement sensitive soils with vibrator. New data of settlement sensitive soils properties of Moldova was obtained; the values of the creep threshold for settlement sensitive loams were first determined; the reasons of possible decrease in strength of soils was investigated; for elimination the settlement properties, was used and scientifically substantiated the method of constructing soil piles using a vibratory loader; the effect of deep seals on the microstructure of settlement sensitive soils was been estimated by the method of decoding SEM images; the regional tables of characteristics of settlement sensitive soils of Moldova have been developed.

**The importance of the scientific problem,** solved in the study, is to obtain new data characterizing the properties of settlement sensitive soils in conditions of natural occurrence and after compaction by construction of soil piles using a vibratory loader.

**Theoretical significance and applicative value of the thesis** consists the possibility of using the obtained results for development the territories composed by II-nd type settlement soils. The role of rigid, irreversible structural cohesion links and water-colloidal links on the processes of strength reduction was identified. The effect of compaction of settlement sensitive soils using vibratory loader on its microstructure was investigated.

**Implementation of the scientific results.** The proposed technical solution for elimination of settlement properties of soils by execution of soil piles with vibrating loader RG-installation was used in preparing the foundations of residential buildings in the municipality of Chisinau. The tables of physico-mechanical characteristics of settlement sensitive soils developed by the author were accepted for use by the designers of the Incercom Institute.

## СПИСОК АББРЕВИАТУР

АНМ	– Академия наук Молдовы
ВЗМ	– Водозащитные мероприятия
ДИИТ	– Днепровский институт инженеров транспорта (в н.в. – Днепровский национальный университет железнодорожного транспорта)
ЕС	– Европейский Союз
ИГИ	– Инженерно-геологические изыскания
ИГС АНМ	– Институт геологии и сейсмологии Академии Наук Молдовы
ИГЭ	– Инженерно-геологический элемент
МАДИ	– Московский автомобильно-дорожный институт (в н.в. – Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет)
МГСУ	– Московский государственный строительный университет
МКЭ	– Метод конечных элементов
МОЛДГИИНТИЗ	– Молдавский государственный институт инженерно-технических изысканий (в н.в. – INGEOCAD)
МОЛДГИПРО АВТОДОР	– Молдавский государственный институт проектирования автомобильных дорог (в н.в. – IPDA)
НДС	– Напряженно-деформированное состояние
ППМ	– Противоопасочные мероприятия;
РЭМ	– Растровый электронный микроскоп
СНГ	– Содружество независимых государств
СФ	– Свайные фундаменты
ТУМ	– Технический университет Молдовы
ТЭО	– Технико-экономическое обоснование
УПВ	– Уровень подземных вод
ФМЗ	– Фундаменты мелкого заложения
INCERCON	– Institutul de cercetări științifice în construcții
IPDA	– Institutul de proiectări drumuri auto
RG-установка	– установка для уплотнения грунта с помощью вибропогружения
DL	– Отметка планировочной поверхности
FL	– Отметка глубины заложения подошвы фундаментов

## УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ

$C$	– удельное сцепление, Па
$C_c$	– структурное сцепление в глинистых грунтах, Па
$C_w$	– общее сцепление в глинистых грунтах, Па
$e$	– коэффициент пористости, дол. ед.
$E$	– модуль деформации, Па
$H$	– мощность грунтовой толщи, м
$I_L$	– показатель текучести дол. ед.
$I_p$	– число пластичности, %
$K_\phi$	– коэффициент фильтрации, м/сутки
$n$	– пористость грунта, %
$p_n$	– нормальное напряжение, Па
$P_{sl}$	– начальное просадочное давление, Па
$p_z$	– вертикальное сжимающее нормальное напряжение в грунтовой толще на глубине $z$ , Па
$R_0$	– условное расчетное сопротивление грунта, Па
$S$	– прочность грунта, Па
$S_{p,w}$	– сопротивляемость глинистого грунта сдвигу при нагрузке $\rho$ и его влажности $W$ , Па
$S_r$	– степень влажности, дол. ед.
$S_{sl,g}$	– суммарная просадка грунта от собственного веса при замачивании водой, см
$t$	– длительность действия нагрузки на грунт, с
$W$	– влажность, %
$W_L$	– влажность на границе текучести, %
$W_p$	– влажность на границе раскатывания, %
$\Delta\tau$	– непогашенная часть касательного напряжения, Па
$\varepsilon_{sl}$	– относительная просадочность, дол. ед.
$\lambda$	– деформация сдвига, м
$\rho_d$	– плотность сухого грунта (скелета), г/см <sup>3</sup>
$\rho_s$	– плотность частиц грунта, г/см <sup>3</sup>
$\rho_{sat}$	– плотность грунта, насыщенного водой, г/см <sup>3</sup>
$\Sigma_w$	– сцепление связности в глинистых грунтах, Па
$\sigma_{zg}$	– напряжения от собственного веса грунта, Па
$\sigma_{zg, sat}$	– напряжения от собственного веса грунта в водонасыщенном состоянии, Па
$\sigma_{zp}$	– напряжения от действия внешней нагрузки, Па
$\tau$	– касательное напряжение, Па
$\tau_{lim}$	– начальное напряжение сдвига; порог ползучести, Па
$\tau_{xz}$	– касательное напряжение по горизонтальным и вертикальным площадкам, Па
$\varphi$	– угол внутреннего трения грунта, град.
$\varphi_w$	– то же, глинистого грунта с учетом его плотности – влажности $W$ , град.

## ВВЕДЕНИЕ

**Актуальность темы.** Актуальность исследуемой проблемы определяется необходимостью решения важнейшей задачи строительства, а именно: возведения надежных зданий и сооружений и сохранения существующей застройки в условиях распространения грунтов II-го типа по просадочности.

Анализ состояния объектов, возведенных на просадочных грунтах, свидетельствует, что просадочные явления по-прежнему следует относить к опасным геологическим процессам, затрудняющим строительство на территории Республики Молдова и приводящим к резкому удорожанию нулевого цикла.

Недостаточный учет просадочных явлений и возможности резкого ухудшения физико-механических характеристик просадочных грунтов при замачивании неизбежно приводит к дополнительным деформациям основания, фундаментов и, как следствие, может серьезно изменить работу несущих конструкций надземной части здания.

Нередки случаи, когда подобного рода деформации приводили к аварийным последствиям. Об этом свидетельствуют данные многочисленных исследований и материалы значительного количества международных конференций в Австрии, Германии, России, Румынии, США, Украины и др. странах.

На территории Молдовы просадочные грунты распространены практически повсеместно, а ограниченность территории вынуждает проектировщиков использовать под застройку участки, сложенные просадочными грунтами II-го типа. Это положение особенно актуально для муниципия Кишинэу и южных районов республики, где мощность просадочной толщи может достигать 30 и более метров.

Необходимость глубокого изучения свойств просадочных грунтов определяется также тем, что именно свойства грунтов определяют, в конечном счете, стоимость строительства объекта, его инвестиционную привлекательность, сроки и целесообразность.

Так, например, по данным А.А. Лаврусевича, при строительстве на просадочных грунтах стоимость объекта повышается на величину порядка 10% по сравнению со стоимостью строительства на обычных грунтах.

В общем объеме затрат при сооружении объектов гидромелиорации в Молдове на подготовку основания приходится порядка 10-12%.

При строительстве гражданских и промышленных зданий и сооружений дополнительные затраты достигают 12-15% от стоимости строительно-монтажных работ.

В данных условиях разработку надежных и эффективных методов по устранению просадочных свойств грунта следует отнести к актуальной задаче, требующей немедленного решения.

**Степень научной разработанности проблемы.** Тематика, научная постановка проблемы исследования и последующее определение задач, выносимых на разработку, потребовали от автора изучения и использования теоретического наследия отечественных и зарубежных ученых.

Фундаментальными основами исследуемых задач являются результаты исследований отечественных ученых, занимавшихся изучением закономерностей развития процессов просадки глинистых пород Молдовы: Богдевича О.П., Вовка В.М., Гончарова В.С., Костика Г.Е., Монюшко А.М., Олянского Ю.И., Сорочан Е.А. и др.

По данным большинства исследователей, лессовый покров на территории междуречья Прут-Днестр отсутствует только в поймах и на некоторых водоразделах Центрально-Молдавской возвышенности.

Это означает, что в подавляющем большинстве случаев просадочные грунты либо служат основанием фундаментов мелкого заложения, либо определяют характер работы свайных фундаментов, прорезающих просадочную толщу.

В отдельных случаях просадочные грунты служат несущим слоем для свайных фундаментов, т.к. максимальная мощность просадочной толщи может достигать 30м.

Исследованиями структурно неустойчивых грунтов и, в частности, изменением деформативных, прочностных и фильтрационных свойств просадочных грунтов в процессе изменения влажностного режима занимались такие выдающиеся ученые как: М.Ю. Абелев, Ю.М. Абелев, В.П. Ананьев, М.Н. Гольдштейн, Н.Я. Денисов, Р.С. Зиангиров, А.П. Коновалов, В.И. Крутов, А.Л. Крыжановский, А.К. Ларионов, А.В. Леонычев, А.А. Мусаэлян, А.А. Мустафаев и др.

Анализ литературных источников показал, что несмотря на значительное число научных работ, исследующих тематику просадочных грунтов, количество публикаций по исследованию уплотненных просадочных грунтов ограничено.

Отмечен и недостаток сведений по разработке новых методов устранения просадочных свойств грунтов. Это является дополнительным подтверждением актуальности разработки новых методов устранения просадки, особенно в условиях плотной застройки.

Сказанное выше послужило основой для выбора объекта, основной цели и задачи настоящего исследования.

**Объект исследования:** территории, сложенные посадочными грунтами, используемые для строительства зданий и сооружений.

**Предмет исследования:** физико-механические и реологические свойства просадочных и уплотненных грунтов, методы устранения просадочных свойств.

**Цель диссертационного исследования:** разработка нового технического решения по устранению просадочности грунтов при строительстве в Молдове.

**Задачи диссертационного исследования.** Для реализации основной цели исследования были определены следующие основные задачи, подлежащие решению:

1. Провести анализ инженерно-геологической изученности просадочных грунтов Молдовы;
2. Изучить базовые способы устранения просадки грунтов;
3. Обобщить опыт строительства на просадочных грунтах в Молдове: выявить основные проблемы и способы устройства оснований и фундаментов на лессовых грунтах, определить причины деформаций зданий и сооружений, размещенных на просадочных грунтах;
4. Получить на основе лабораторных исследований новые данные, характеризующие физико-механические, просадочные и реологические характеристики лессовых грунтов для строительных площадок, размещенных в пределах плотной застройки урбанизированных территорий и в условиях «свободного залегания»;
5. Оценить влияние уплотнения, проведенного с помощью вибропогружателя RG-установки на прочностные, деформационные, просадочные и реологические характеристики исследуемых грунтов;
6. Изучить микроструктуру просадочных грунтов и ее возможное изменение после устройства грунтовых свай;

7. Исследовать напряженно-деформированное состояние основания, уплотненного грунтовыми сваями с применением RG-установки: определить зону уплотненного грунта вокруг свай, влияющую на распределение напряжений в просадочной толще;

8. Обосновать на основе теоретических и экспериментальных исследований возможность устранения просадки основания путем устройства грунтовых свай, выполненных с помощью вибропогружателя RG-установки.

**Методы и информационная база исследования.** При выполнении исследования автором проанализирован опыт отечественного и зарубежного строительства на просадочных грунтах. В диссертации использован комплексный подход, учитывающий различные методы оценки, математического моделирования, структурно-функционального анализа, статистической обработки данных.

В процессе выполнения работы были использованы полевые и лабораторные способы исследования, которые проводились при личном участии автора. Базовые основы теоретических исследований составили труды отечественных и зарубежных ученых: монографии, статьи, материалы научных конференций, специализированных периодических изданий, интернет-ресурсов, диссертаций по соответствующей тематике.

В работе обобщены и проанализированы архивные материалы проектных институтов, департамента гражданского строительства и геодезии, Технического Университета Молдовы, нормативно-инструктивная литература, данные Национального бюро статистики, Национального института научных исследований в строительстве (INCERCOM), Urbanproject, аналитическая информация компаний Intexnauka, Kirsan, составившие информационную основу диссертационного исследования.

**Важность решенной научной проблемы,** проведенной в рамках исследования, заключается в получении новых данных, характеризующих свойства просадочных грунтов в пределах свободных и урбанизированных территорий в условиях естественного залегания и после уплотнения, выполненного путем устройства грунтовых свай с использованием вибропогружателя на RG-установке компании RTG Rammtechnik GmbH.

**Научная новизна и оригинальность работы** определяется разработкой эффективного решения уплотнения просадочных грунтов с помощью вибропогружателя с использованием установки RG и следующими основными результатами:

1. Получены новые данные о свойствах просадочных грунтов Молдовы;

2. Впервые определены значения порога ползучести просадочных суглинков, позволяющие оценить поведение грунта под воздействием касательных напряжений в условиях возможного развития деформации ползучести;

3. Исследованы причины возможного снижения прочности просадочных грунтов. Установлена роль дополнительного увлажнения на значение прочностных характеристик и порога ползучести;

4. Впервые для устранения просадочных свойств грунтов использован и научно обоснован метод устройства грунтовых свай с помощью вибропогружателя;

5. Выполнена оценка воздействия глубинного уплотнения на микроструктуру просадочных грунтов методом дешифрирования РЭМ-изображений, ранее не применяемого в Молдове;

6. Разработаны региональные таблицы характеристик просадочных грунтов Молдовы.

**Теоретическая важность полученных результатов.** Проведенные исследования вносят определенный вклад в познание природы просадочных грунтов. Выявлена роль жестких, необратимых связей структурного сцепления и связности водноколлоидного характера, определяющих процессы снижения прочности в соответствии с основными положениями физико-технической теории ползучести.

Исследовано воздействие уплотнения просадочного грунта, осуществленного путем устройства грунтовых свай с помощью вибропогружателя, на микроструктуру грунта. Выявлена динамика изменения микроструктуры от скелетного до матричного типа с образованием переходной зоны с микроструктурой скелетно-матричного типа.

**Практическая значимость** результатов исследования заключается в возможности использования полученных результатов при строительстве на просадочных грунтах. Подготовка основания с помощью RG-установки позволяет полностью устранить просадочные свойства в пределах глубины 12-15 м, повысить несущую способность грунтов основания, обеспечить надежную работу фундаментов.

Достоверность результатов исследования обоснована применением теоретических основ, фундаментальных положений инженерной геологии, грунтоведения, механики грунтов, оснований и фундаментов; подтверждается использованием и научным анализом значительного объема фактического материала, убедительной сходимостью полученных

результатов теоретических и практических исследований, а также отзывами проектно-изыскательских и строительных организаций муниципия Кишинэу.

**Основные результаты исследования, выносимые на защиту:**

1. Результаты новых исследований физико-механических и реологических свойств просадочных грунтов, включающие аналитические уравнения и графические зависимости;

2. Анализ динамики изменения прочностных, деформационных и реологических характеристик грунтов, выполненный при уплотнении просадочной толщи с применением RG-установки;

3. Разработанные на основе экспериментальных исследований таблицы прочностных и деформационных характеристик просадочных и уплотненных с помощью вибропогружателя грунтов;

4. Результаты оценки влияния глубинного уплотнения на микроструктуру просадочных грунтов методом дешифрирования РЭМ-изображения;

5. Рекомендации по применению грунтовых свай, устраиваемых с использованием RG-установки для устранения просадочных свойств грунтов и обеспечивающих надежную работу фундаментов, размещенных в просадочной толще, преобразованной с помощью вибропогружателя.

**Внедрение научных результатов.** Предложенное техническое решение устранения просадочных свойств грунтов путем устройства грунтовых свай с помощью вибропогружателя на RG-установке использовалось при подготовке основания под фундаменты жилых зданий в муниципии Кишинэу (в районах Центру, Ботаника).

Разработанные автором таблицы физико-механических характеристик просадочных грунтов приняты к использованию проектировщиками института Incercom.

**Апробация результатов диссертационного исследования.** Основные положения диссертационной работы докладывались на международных научно-практических конференциях, в том числе: «Окружающая среда и устойчивое развитие», Кишинэу, 2016; «Актуальные проблемы строительства и обустройства территорий» Кишинэу, 2016; IPICSE 2018 «Интеграция, партнёрство и инновации в строительной науке и образовании» Москва, 2018; «Приоритеты научных исследований: теоретическая и практическая ценность» Польша, 2018. Полученные результаты исследований были представлены к обсуждению в Департаменте горного дела, топографии и строительства факультета горного дела

Университета г. Петрошень, 2018. В целом диссертация докладывалась и получила одобрение на расширенном заседании Департамента гражданского строительства и геодезии ТУМ, а также на научном заседании Ученого семинара по специальности 211.02 Строительные материалы, элементы и сооружения, 2018.

**Публикации по теме исследования.** Основные положения диссертации отражены в 7 печатных работах, в том числе 3 – в лицензированных печатных изданиях категорий С, 4 – в международных изданиях.

**Объем и структура диссертации.** Диссертационная работа включает: аннотацию (на румынском, русском и английском языках), введение, 3 главы, общие выводы, рекомендации, библиографию (180 источников). Содержание работы изложено на 118 страницах основного текста. Иллюстративный материал содержит 12 таблиц (без учета приложений), 49 рисунков, 10 приложений.

Во введении обоснована актуальность темы, отражена степень научной разработанности проблемы, сформулированы цели и задачи исследования, научная ценность и практическая значимость полученных результатов.

В первой главе **«Современные представления о просадочности грунтов и строительстве на них»** на основе теоретических исследований выявлены современные подходы к изучению роли просадочных явлений в нарушении условий работы оснований, фундаментов и конструкций надземной части.

Рассмотрены методы, позволяющие устранить просадочные свойства грунтов, в первую очередь – II-го типа по просадочности. Отмечен значительный вклад отечественных и зарубежных ученых в изучение природы просадочности лессовых пород.

На основе анализа геологического строения строительных площадок, расположенных в муниципии Кишинэу, выявлено, что региональные условия могут создать дополнительные трудности при проектировании фундаментов, выборе конструктивного решения надземной части, обеспечения надежной эксплуатации зданий и сооружений.

Вторая глава **«Исследование физико-механических, реологических и просадочных свойств лессовых грунтов Молдовы и их влияния на работу оснований»** посвящена результатам проведенных автором теоретических и лабораторных исследований, направленных на дальнейшее раскрытие природы просадочности лессовых пород. В главе приводятся результаты новых исследований физико-механических и реологических свойств

просадочных грунтов, выполненных автором (или при его участии) на двух опорных участках муниципия Кишинэу.

Их анализ показал, что показатели, характеризующие прочность исследуемых грунтов, варьируют в широких пределах и во многом определяется составом и состоянием пород.

Выполнено моделирование напряженно-деформированного состояния основания 10-этажного дома, размещенного на грунтах II-го типа по просадочности.

В третьей главе **«Оценка результатов устранения просадочных свойств грунтов путем устройства грунтовых свай, выполненных с помощью вибропогружателя»** приведены сведения о динамике изменения свойств грунтов просадочной толщи, уплотненной с помощью RG-установки.

Исследования, проведенные с целью оценки характеристик уплотненного просадочного грунта, выявили существенные изменения в сторону повышения показателей физико-механических и реологических свойств.

Представлены результаты оценки воздействия глубинного уплотнения на микроструктуру просадочных грунтов путём дешифрирования РЭМ-изображения.

На основе выявленных корреляционных зависимостей разработаны региональные таблицы прочностных и деформационных характеристик просадочных и уплотненных грунтов.

Предложена методика уплотнения грунта с помощью вибропогружателя, оценена возможность ее использования. Даны рекомендации по применению предлагаемой методики для повышения несущей способности оснований фундаментов, размещенных в просадочных грунтах II-го типа.

В **Приложениях** к диссертационной работе представлены:

1. Таблицы с результатами ранее выполненных исследований по изучению физико-механических свойств просадочных грунтов Молдовы;
2. Результаты новых исследований (рисунки, графики, таблицы), просадочных грунтов Молдовы, выполненные автором;
3. Результаты выполненных автором исследований физико-механических свойств уплотненных с помощью RG-установки просадочных грунтов (таблицы, графики);
4. Список отчетов по изучению инженерно-геологических условий площадок строительства, использованных автором.

# **1. СОВРЕМЕННЫЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ О ПРОСАДОЧНОСТИ ГРУНТОВ И СТРОИТЕЛЬСТВЕ НА НИХ**

## **1.1. Анализ инженерно-геологической изученности просадочных свойств грунтов Молдовы**

На предварительном этапе исследований автором было проведено ознакомление с литературными источниками и составлен обзор по условиям залегания просадочных грунтов Молдовы и их свойствам. Был также выполнен анализ методов устранения просадочности при строительстве зданий и сооружений, рассмотрен опыт использования отдельных технических решений в Молдове.

Анализ литературных источников и архивных материалов, проведенный автором, показывает, что строительство на просадочных грунтах в республике в целом осуществляется успешно. Однако имелся ряд случаев, когда наблюдались недопустимые деформации зданий и сооружений [72, 74, 134, 136, 147].

Причина такого положения кроется не только в специфических свойствах лессовых грунтов в целом, но и в региональных особенностях. Недооценка существующих природных условий приводит к возникновению экономического и социального ущерба, удорожанию строительства, росту эксплуатационных затрат и к значительным издержкам, связанным с ликвидацией последствий аварий [63, 68, 92, 107, 120, 174].

Необходимость изучения просадочности грунтов региона, помимо чисто строительных задач, тесно связана с обеспечением экологической безопасности. Например, в южных районах республики планируемое строительство орошаемого комплекса предполагает решение многих проблем, сопутствующих возведению объектов гидромелиорации на структурно-неустойчивых грунтах [160]. При этом, как показал анализ имевших место случаев деформаций зданий и сооружений, особо следует остановиться на оценке просадочных свойств грунтов II-го типа.

Детальное исследование лессовых пород в Молдове началось в конце 50-х гг. XX века (Рисунок 1.1). К числу первых следует отнести работу В. Ф. Краева [110], в которой изучены просадочные свойства правобережной части нижнего Преднепровья.

В начале 60-х гг. в научный план Института геофизики и геологии АНМ была внесена тема о региональном и комплексном изучении лессовых пород. Над одним из разделов в течение периода 1963-1970гг. работал В.С. Гончаров.

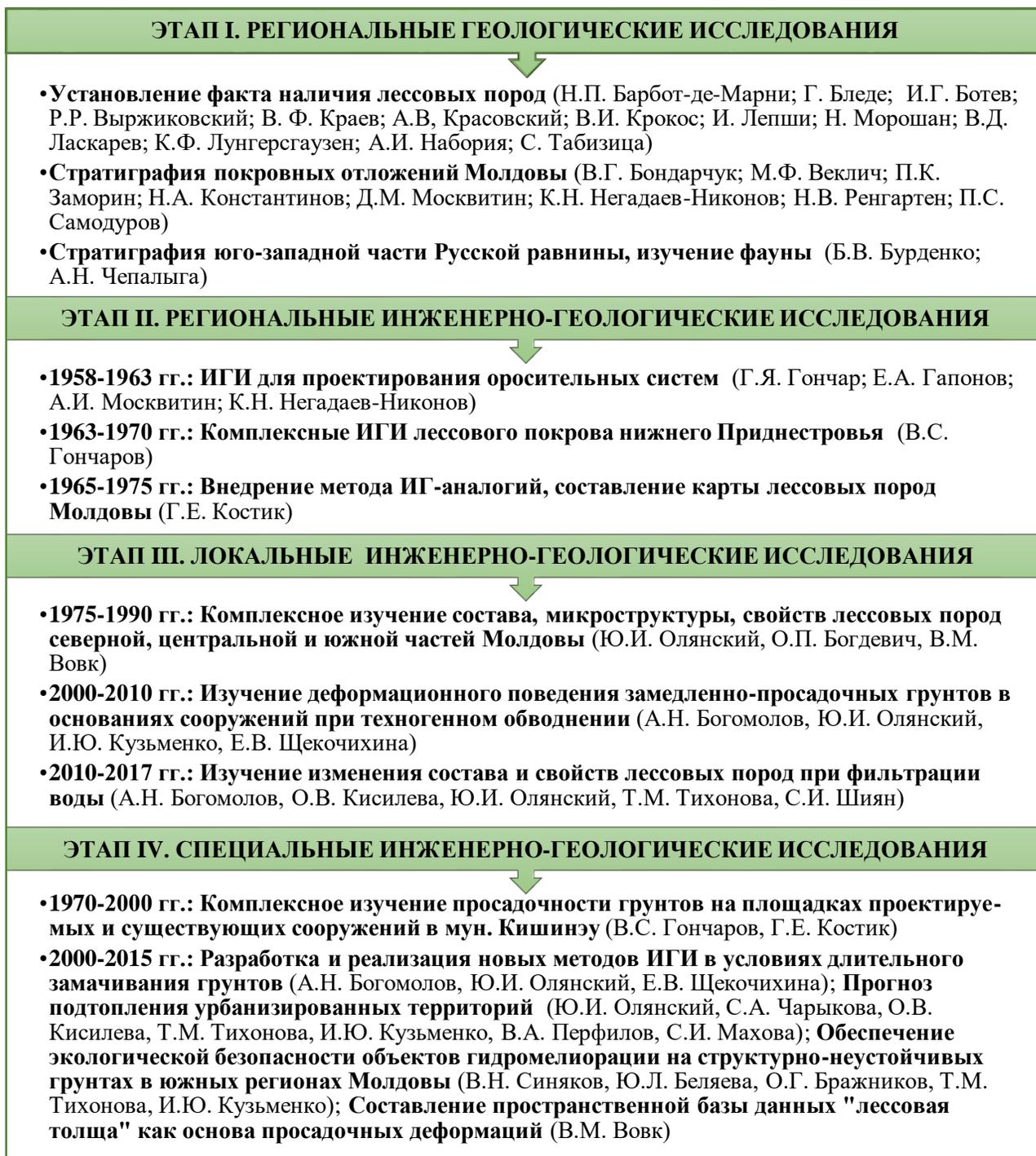


Рис. 1.1. Этапы изучения лессовых пород Молдовы

Источник: разработано автором

Значительный прогресс в изучении лессового покрова Нижнего Приднестровья отмечается с 1965г. В этот период в результате исследований таких ученых как М.Ф. Веклич, Н.А. Константинова, А.К. Ларионов, К.Н. Негадаев-Никонов, К.В. Никифорова, Н.В.

Ренгартен была, в том числе, разработана детальная стратиграфическая схема покровных отложений Молдовы.

По результатам работы В.С. Гончарова [93] была составлена схематическая карта распространения и мощности лессовых отложений.

Для исследований, проводимых автором, важным является отметить, что мощность просадочных грунтов по В.С. Гончарову может изменяться от 1 до 25м. При этом лессовый покров Нижнего Приднестровья залегает на всех элементах рельефа: террасах, склонах долин, балок, водоразделах, на водораздельных пространствах [93, с.19].

По просадочности лессовые породы исследуемой территории крайне разнообразны: величина относительной просадочности изменяется в пределах 0,01-0,139; выделяются участки I и II типа просадочности.

При мощности толщи до 5м проявление просадок от природного давления, как правило, исключено.

В последующем были разработаны таблицы для практического применения, демонстрирующие характеристики физико-механических и просадочных свойств изученных участков (Приложение 1, Таблицы П 1.1-П 1.3).

По результатам исследований, проведенных в 1965-1975гг., была выполнена диссертационная работа Г.Е. Костика, посвященная прогнозу просадки лессовых пород методом инженерно-геологических аналогий [109].

В диссертации показано, что значение просадки является суммой случайных величин, экстраполируемых в условных интервалах слоя или толщи; таким образом, она также является случайной величиной. Разработанная Г.Е. Костиком методика позволяет установить значения относительной просадочности, определив лишь три показателя: влажность, удельный вес и удельный вес частиц. В работе дается подробная характеристика лессового покрова территории Молдовы, приводится история его изучения.

Наиболее важным, с точки зрения настоящих исследований, является выделение Г.Е. Костиком закономерностей условий залегания, распространения и мощности лессовых пород Молдовы. В частности, отмечается следующие закономерности [108, 109]:

1. Лессовые породы не покрывают сплошным плащом все элементы рельефа, их нет на многих водоразделах и склонах, в поймах и на первых надпойменных террасах рек;

2. Лессовые породы отсутствуют в пределах Центральной Молдавской возвышенности. Местами в виде небольших лоскутных участков можно встретить маломощные новообразования на террасах небольших рек в виде аллювиальных супесей и суглинков; на склонах – отложения тяжелых делювиальных суглинков;

3. Мощность лессовых пород возрастает в направлении с севера на юг.

В связи с расчлененностью рельефа, на территории Молдовы преобладали денудационные процессы. Происходило переотложение мелкозема с более высоких уровней на более низкие. Это обусловило широкое распространение лессовых пород делювиального типа. В долинах рек наблюдаются аллювиальные и аллювиально-делювиальные, а на водоразделах – элювиальные лессовые породы.

На юге в приустьевой части рек Днестр и Прут распространены эолово-делювиальные типы лессовых пород. На большей части территории лессовые породы представляют собой нерасчлененную толщу, в особенности это относится к междуречным пространствам. Ископаемые почвы обнаруживаются в толще лессовых пород, как на водоразделах, так и на склонах. Однако в связи с пересеченным рельефом, а также частым замещением по простиранию одной литологической разновидности лессовых пород другой, ископаемые почвы не выдержаны и не прослеживаются на большие расстояния.

Важнейшим событием в изучении лессовых пород территории Молдовы явился выход в 1992г. Монографии Ю.И. Олянского [136], базирующейся на ранее проведенных исследованиях и диссертационной работе.

В книге приведены результаты изучения характеристик минерального состава, дисперсности, агрегированности; обобщены данные по физическим свойствам, просадочным деформациям. По существу, результаты многолетней работы Ю.И. Олянского явились первой попыткой обобщения всей разрозненной информации по лессовым грунтам.

Для автора данной работы весьма значимой является информация, что «лессовые породы покрывают около 60% территории северной зоны республики и более 90% южной и находятся в зоне интенсивного промышленного и гражданского строительства» [136, с. 3].

Выявленные Ю.И. Олянским основные особенности стратиграфии лессового покрова региона заключаются в следующем:

- в пределах водораздела Прут-Днестр лессовый покров самый молодой, и на преобладающей части территории представлен образованиями верхнего и современного отделов четвертичной системы;
- в долинах крупных рек встречаются лессовые отложения всех отделов четвертичной системы, в зависимости от возраста террас, однако, если в северной части региона наиболее древние лессовые отложения обнажаются на поверхности или перекрываются более поздними отложениями небольшой мощности, то в южных районах они погружаются на значительную глубину [136, с. 10].

По условиям образования, залегания и распространения лессовый покров междуречья разделяют на три района: северный, центральный и южный. Каждому из них присуща соответствующая мощность покровных лессовых образований и состав пород.

Так, например, элювиально-делювиальные лессовые отложения водоразделов со склонами распространены на всех элементах рельефа, характеризующегося пологоувалистым обликом, и отсутствуют только на высоких отметках (свыше 250м) Приднестровской возвышенности и отдельных крутосклонах. Мощность пород, как правило, не превышает 5÷7м, уменьшаясь вверх по склону до 2÷3м. В литологическом строении толщи преобладают средние и тяжелые пылеватые лессовидные суглинки практически без горизонтов ископаемых почв. Это позволило К.Н. Негадаеву-Никонову условно отнести их к нерасчлененному верхнесовременному отделу четвертичной системы.

К югу от Центрально-Молдавской возвышенности интенсивность и амплитуда плиоцен-четвертичных поднятий снижается. Юг региона в течение всего четвертичного периода подвергался опусканию, что повлияло на условия формирования лессового покрова.

В долине р. Прут, к югу от г. Унгень, в продольном профиле реки сравнительно четко прослеживаются все четвертичные и плиоценовые террасы. Степень их сохранности и площадь распространения увеличиваются в южном направлении. Террасы сложены лессовыми породами значительной мощности: от 5÷8м на первой до 20÷40м – на плиоценовых. Максимальная мощность лессового покрова приурочена к водоразделу рек Кагул и Прут и может достигать 40м.

Условия формирования и накопления лессовых пород в долине нижнего течения р. Днестр в целом аналогичны южному Припрутью. Здесь также достаточно четко прослеживаются почти все террасы, однако мощность лессовой толщи не превышает 20÷25м.

Особенно широко распространены террасы на левом берегу реки: здесь они образуют террасовые поля шириной 10÷20км. В отличие от южного Припутья, на поверхности обнажаются средне- и нижнечетвертичные отложения. Наиболее часто их можно встретить в правобережной части долины, примыкающей к Приднестровский возвышенной равнине. Мощность пород, слагающих лессовую толщу в целом меньше, чем в южном Припутье, и составляет 4÷5м на верхнечетвертичных террасах, 7÷10м – на среднечетвертичных и 12÷20м – на нижнечетвертичных. В геологическом строении преобладают лессовидные высокопылеватые легкие и средние суглинки, преимущественно делювиального и эолового происхождения. Горизонт ископаемых почв здесь четко выражен.

Территория водораздела между Прутом и Днестром в их южном течении представлена возвышенной пологогоувалистой равниной. Отметки поверхности изменяются от 100 до 300м. В долинах небольших рек: Ялпуг, Когыльник, Ботна, Бык часто наблюдаются до 2-3, реже 4-5 надпойменных террас, имеющих ограниченное распространение. Лессовая толща этих террас по мощности и сохранности в целом аналогична соответствующим террасам Прута и Днестра.

Минимальная мощность лессовых пород водораздельных пространств отмечена в междуречье Когыльник-Днестр. Лессовые отложения на водоразделах представлены красно-бурыми, желто-бурыми, средними и тяжелыми суглинками мощностью не более 5÷6м. Эти отложения, как правило, обнажаются в верховьях оврагов и в верхних частях склонов. Ниже по склону в основании залегает маломощный слой (не более 4÷5м), представленный чаще средними лессовидными суглинками с невыдержанным количеством ископаемых почв.

К юго-востоку от долины р. Когыльник на водоразделах, происходит увеличение мощности лессовых пород. В бассейне р. Ялпуг она достигает 30÷40м. Наблюдается закономерное чередование лессовых горизонтов и ископаемых почв. Отложения представлены в основном высокопылеватыми средними и тяжелыми суглинками элювиального, делювиального и эолового происхождения.

Дальнейшие исследования Ю.И. Олянского и его учеников посвящены закономерностям развития просадки, прогнозу подтопления лессовых территорий и возможному изменению свойств просадочных грунтов в результате послепросадочного уплотнения [131-135, 137].

Рассматривая вопросы исследования просадочности грунтов региона, следует выделить многочисленные работы ученых Румынии: Antonescu I., Burlacu C., Coşovliu O., Dianu V., Dimofte D., Dobrescu C., Dron A., Enculescu P., Enică S., Istrate M., Necula C. др. [5, 8-16, 25, 42, 45, 51].

Первые сведения о свойствах просадочных грунтов, условиях и характере их залегания на территории Румынии приводит Enculescu P. (1929). В дальнейшем исследования приобретают характер технической направленности: разрабатываются методы расчетов оснований и фундаментов, нормативные документы по строительству на просадочных грунтах, способы устранения просадочности [1-5, 17-24, 26, 27, 29-32, 34-38].

Изучение и анализ данных о свойствах лессовых пород в пределах территории Молдовы, проведенные автором, показали, что, несмотря на достаточно значительный объем материалов за последнее десятилетие, количество новых исследований весьма ограничено. В основном, как отмечалось, они выполняются А.Н. Богомоловым, Ю.И. Олянским и их учениками [72-78, 131-137].

В течение продолжительного периода изучение физических и механических свойств лессовых грунтов выполнялось в черте застройки крупных городов. В настоящее время осваиваются новые свободные территории, появляются города-спутники Кишинэу, развивается строительство в южных районах республики.

Данное обстоятельство обуславливает необходимость изучения лессовых грунтов в пределах урбанизированных территорий, а также выявления изменений физико-механических свойств лессов в условиях естественного залегания.

В силу сказанного, одной из задач настоящего исследования явилось изучение типичных геологических разрезов, отбор монолитов в количестве, достаточном для проведения лабораторных испытаний, выявление закономерностей в характеристиках физико-механических свойств грунтов на площадках в черте городской застройки и в естественных условиях залегания грунтов на осваиваемых свободных территориях.

Одним из современных направлений исследований особенностей поведения просадочных грунтов под нагрузкой является изучение их микроструктуры [81, 90, 96, 97, 105, 128, 129, 138-140, 157, 165].

Начало таких исследований относят к середине 50-х гг. XX в. Применение в 1969 г. в России растровой электронной микроскопии (РЭМ) позволило начать исследования по количественному изучению микроструктуры глинистых грунтов.

На основе первых работ Р.А. Бочко, Л.Г. Рекшинской, Г.Г. Ильинской, предложивших автоматическую обработку данных электронно-микроскопических исследований, были проведены изыскания по определению величины пористости и количественной оценки структуры порового пространства.

Основоположниками этих исследований по праву считают В.И. Осипова, Н.А. Румянцеву, В.Н. Соколова [138-140]. Работы этих ученых позволили запатентовать способ и устройство для количественной оценки структуры твердых тел, с успехом применяемые и в настоящее время в Великобритании, США, Франции, ФРГ, Чехии и др. странах.

Для автора настоящего исследования чрезвычайно важным является факт, что выявление количественных взаимосвязей между параметрами микроструктуры глинистых грунтов открывает принципиально новые возможности для изучения закономерностей и динамики изменения прочности и деформируемости просадочных грунтов в условиях природного залегания и после глубинного уплотнения, осуществленного путем устройства грунтовых свай, выполненных с помощью вибропогружателя.

Следует отметить, что изучение микроструктуры ранее в Молдове осуществлялось весьма узким кругом специалистов: Ю.И. Олянским [134, 136] для просадочных грунтов и Н.Г. Сыродоевой [168] – в основном для оползневых сарматских глин.

Результаты, полученные этими учеными, отражают специфику просадочных и глинистых пород естественной структуры. Исследований динамики изменения микроструктуры просадочных грунтов под влиянием уплотнения не проводилось.

Это обстоятельство определило необходимость проведения автором дополнительных исследований по изучению микроструктуры с применением РЭМ.

Вопросам исследования просадочных грунтов и неразрывно связанными с ними методов расчета, проектирования и строительства на просадочных грунтах, по-прежнему, уделяется особое место на международных конференциях и симпозиумах [13, 26, 35, 40, 44, 45, 48, 49, 52, 55, 56, 76, 132 и др.]. Этот факт лишний раз подчеркивает значение решаемых задач для территории РМ.

## 1.2. Методологические основы, определяющие необходимость и способы устранения просадочных свойств грунтов при строительстве в Молдове

Макропористые лессовые грунты занимают значительные территории многих стран и являются объектом многочисленных исследований [41, 51, 62-64, 69, 72, 79, 84-89, 93, 98, 99, 109, 117-119, 122, 134, 144, 151, 159]. Особенность строительства гражданских и промышленных зданий, транспортных и гидротехнических сооружений на макропористых лессовых грунтах состоит в том, что в процессе строительства и, что более существенно, во время эксплуатации при замачивании водой возникают просадки, вследствие чего фундаменты часто теряют устойчивость. Однако наиболее опасными являются случаи неравномерных деформаций, когда в результате значительных неравномерных осадок (просадок) могут произойти изменения в работе несущих конструкций, в результате которых здание становится непригодным для дальнейшей эксплуатации. Стоимость ремонтно-восстановительных работ может достигать 30÷40% первоначальной стоимости здания.

В отдельных случаях избежать катастрофических деформаций не удастся. Одним из направлений устранения подобных процессов следует считать дальнейшее изучение природы просадочных явлений [74, 75, 100, 101, 115, 116, 162, 171, 177 и др.].

Способность микропористых грунтов при замачивании под нагрузкой проявлять дополнительные деформации определяет так называемые просадочные свойства грунтов. Вопросами их изучения стали заниматься во второй половине XIX века. Первой работой, по данным Ю.М. Абелева, в которой описаны лессовые отложения в районе р. Дон, является исследование Н.Д. Барисяка, опубликованное в 1867 г. [63].

Генетическую классификацию лессовых пород впервые предложил ученый А.П. Павлов в 1903 г. В начале XX века исследования просадочных свойств грунтов проводились на территории России, Средней Азии, Украины, Австрии, Аргентины и многих других стран. При этом нередко результаты этих исследований носили противоречивый характер. Так, результаты опытов, проведенных инженером Ф. Эмпергером в окрестностях Вены в 1926 г., с точки зрения Ю. М. Абелева, привели его к ошибочному мнению, что лесс является очень надежным основанием с допустимым давлением 350 кПа.

Термин **просадка** впервые употреблен И.Е. Хеладзе в 1929 г. для обозначения явлений оседания поверхности земли вдоль каналов после пуска в них воды. В настоящее время под

**просадкой** в большинстве случаев понимают уплотнение грунта с разрушением его структуры в результате замачивания при определенном напряженном состоянии.

Различают также деформацию, связанную с длительным замачиванием грунта, сопровождающуюся выносом из грунта водорастворимых солей и получившую различные названия: «послепросадочного уплотнения» (Рубинштейн, 1958 г.), «скрытой просадочности» (Ломидзе, 1964 г.), «суффозионно-пластической деформации» (Балаев, 1965 г.).

К числу первых работ, раскрывающих природу просадочности, следует отнести исследования под руководством Ю.М. Абелева. Важно отметить, что эти исследования проводились с акцентом на изучение строительных свойств лессовых грунтов, позволяя разрабатывать методы строительства жилых зданий и промышленных сооружений.

В 1935 г. Ю.М. Абелевым для количественной оценки величины просадочности и объективности учета свойств макропористых грунтов при проектировании различных сооружений были введены понятия «коэффициент макропористости» и «относительная просадочность».

В дальнейшем начатые исследования позволили перейти к составлению нормативных документов и разработать методы строительства на просадочных грунтах применительно к различным инженерно-геологическим условиям с учетом конструктивных особенностей фундаментов и несущих конструкций конкретных зданий и сооружений.

Разработанные положения изложены в трудах Ю.М. Абелева и его учеников: В.Г. Галицкого, А.М. Дондыша, В.И. Крутова, И.Г. Рабиновича, В.Б. Швеца, Р.П. Эйдука, а также И.М. Литвинова, Н.А. Осташова, В.В. Соколовича и др.

В 50-е гг. XX века в просадку объединили два типа деформаций, которые принято было называть настоящей и дополнительной просадкой. Считалось, что **настоящая**, или **истинная** просадка происходит в условиях природного напряженного состояния при отсутствии дополнительной нагрузки на грунт.

**Дополнительная**, или **условная**, **ложная** просадка (Кригер, 1967 г.), называемая также дополнительным уплотнением (Денисов, 1953 г.), развивается при замачивании грунта, находящегося под давлением, превышающим природное.

Разделение этих двух типов деформаций необходимо, т.к. они имеют различное происхождение. Дополнительная просадка всегда связана с техногенным перераспределением напряжений в грунте. Настоящая просадка обусловлена различным

географическим распространением и может иметь место лишь в определенных ландшафтно-географических условиях.

Понятие о просадке в 60-е гг. века было значительно расширено. Причиной этому послужило увеличение числа исследователей данной проблемы. В этой связи следует отметить работы Ф.И. Воронова, В.С. Гвоздева, Н.Я. Денисова, Е.А. Замарина, А.Л. Рубинштейна, которые провели большую работу по изучению просадочных явлений на ирригационных системах. Ученые Л.Г. Балаев, А.А. Гладь, Л.М. Ломидзе исследовали влияние на процессы просадки длительной фильтрации в каналах ирригационных систем, а А.Н. Озерецкий, И.В. Попов, В.С. Шаров – влияние на величину просадки химического состава растворов воды.

Выдающийся вклад внесли ученые М.Н. Гольдштейн, Л.М. Ломидзе и их ученики. Так, М.Н. Гольдштейн и Я.Л. Коган впервые провели лабораторные исследования изменения сопротивления сдвигу макропористых грунтов в процессе просадки.

Увеличение числа работ привело к появлению новых определений понятия «просадка». Например, профессор И.М. Горькова называет просадкой лавинное уплотнение грунта под воздействием увлажнения, т.е. отождествляет просадку с быстропротекающей осадкой [95]. По мнению автора, более удачное определение дает Ю.М. Абелев, который определяет просадку как деформацию, вызывающую перестройку структуры грунта, находящегося под воздействием внешней нагрузки или собственного веса, под влиянием воды, температуры или сотрясений [62].

Однако некоторые исследователи (Н.Я. Денисов, Н.И. Кригер) считают, что из настоящей и дополнительной просадки деформации термической и вибрационной просадки должны быть исключены [99, 112].

При изучении просадочности важно различать понятия **просадочность в точке** (ниже будет оцениваться величиной коэффициента относительной просадочности) и **просадочность толщи** (ниже будет оцениваться в сантиметрах).

Проведенные в период 60-70-х гг. исследования позволили сформулировать основные причины просадки, однако единой точки зрения достигнуто не было. Просадка объяснялась:

- расклинивающим действием тонких пленок воды, проникающих в его микротрещины (Н.Я. Денисов, 1953);

- физическим и химическим воздействием на нагруженный, рыхлый, маловлажный грунт (Ю.М. Абелев и др., 1968);
- растворением и выносом солей (А.Л. Рубинштейн и др., 1961);
- высокой пористостью, малыми влажностями и гидрофильностью, обусловленными гранулометрическим и минералогическим составом и повышенным содержанием водорастворимых солей (Е.И. Сергеев, 1971 и др.) и т.д.

Результатом исследований 70-80-х гг. XX в. явилось дальнейшее совершенствование методик количественной оценки просадочности. Для этих целей в лабораторных условиях на основе изучения образцов грунта с ненарушенной структурой и влажностью производилось определение относительной просадочности в количественных критериях и по косвенным данным на основе изучения состава и состояния пород.

В полевых условиях на основе изучения грунта *in situ* (в массиве) проводились испытания нагрузок на штампы с замачиванием основания; замачивание котлованов; динамическое зондирование и т.д.

Масштабные научно-исследовательские работы проводились специалистами А.Ф. Андрухиным в Узбекистане; В.С. Быковой, А.М. Дранниковым на Украине; В.П. Ананьевым, Я.Д. Гильманом, Ф.А. Никитенко в России; В.Я. Воляником на Северном Кавказе; Г.В. Абелишвили в Грузии и др.

Фундаментальные исследования по изучению свойств лессовых пород составили основу теоретических и практических работ А.Р. Ларионова, В.П. Ананьева, В.Ф. Разоренова, В.А. Приклонского, С.Е. Морозова, Н.И. Кригера, Е.М. Сергеева.

В период 1980-2000 гг. продолжались исследования макропористых лессовых пород при обводнении. Материалы этих исследований отражены в работах Ю.М. Абелева, И.Г. Тахирова, В.А. Ивахнюка и др. Более подробно стали проводиться исследования динамических свойств лессовых пород (А.А. Мусаэлян, Х.З. Рассулов).

Научно-технический прогресс, появление современного оборудования обеспечили переход исследований просадочных свойств грунтов на новый качественный уровень. Исследования последних лет расширили представления о причинах возникновения просадки. Большинство ученых высказывается в поддержку положений, установленных Б.В. Дерягиным, о расклинивающем действии тонкого слоя воды.

Просадочность грунтов обуславливается условиями формирования толщ лессовых пород: в подавляющем большинстве случаев грунты находятся в неуплотненном состоянии.

Согласно немецким исследователям [Jehring S. и др.], основной проблемой лессовых отложений являются структурные обвалы, которые проявляются при замачивании под действующей нагрузкой от собственного веса. Процесс, получивший название **гидроконсолидации**, предполагает переход от рыхлой упаковки частиц к более плотной.

Безусловный интерес представляют ранние исследования, проведенные Ф.Л. Андрухиным [65]. Его наблюдения выявили, что процесс просадки происходит различно и зависит от особенностей пород, слагающих просадочную толщу.

В соответствии с предложенной Ф.Л. Андрухиным региональной инженерно-геологической классификацией, выделяют следующие четыре типа просадочных деформаций:

- I тип: деформации проявляются сразу после замачивания породы;
- II тип: деформации проявляются спустя весьма длительное время после замачивания;
- III тип: деформации проявляются в течение длительного периода, возрастая во времени;
- IV тип: деформации развиваются в виде процесса карстообразования, проявляясь в лессовых породах и тощих глинах.

Одной из возможных причин, обуславливающих необходимость устранения просадочных свойств грунтов в пределах всей просадочной толщи, могут явиться просадочные и послепросадочные деформации лессовых оснований при фильтрации воды.

Испытания лессовых пород в условиях замачивания и фильтрации в течение 90 суток, проведенные под руководством Ю.И. Олянского, показали, что длительное воздействие с водой ведет к полной их деградации [134].

Послепросадочное уплотнение, вызванное длительной фильтрацией воды через лессовую толщу, обусловлено разрушением водостойких структурно-коллоидных связей в грунте и проявляется в виде деформации ползучести скелета. Просадочный и послепросадочный процессы обычно объединены, поэтому деформации должны рассматриваться совместно. В связи с трудностью разграничения данных процессов на практике, при оценке общей деформируемости лессовой толщи выделяют наиболее активно протекающую стадию процесса – собственно просадку и плавную, постоянно затухающую

деформацию – послепросадочную стадию. Деформационное поведение отдельных образцов лессовых пород в компрессионном приборе при замачивании и фильтрации воды показано в виде графиков на Рисунке 1.2.

С позиции проводимых автором исследований, данный факт указывает на возможность проявления просадочных деформаций спустя длительное время после замачивания грунтов основания, сложенного просадочными грунтами. Само замачивание может явиться следствием аварийных утечек, подъема уровня подземных вод, длительного орошения территории вблизи существующих или строящихся зданий и сооружений и других факторов.

При этом общая деформация будет состоять из провальной просадки (по А.К. Ларионову), замедленной просадочности и послепросадочного уплотнения. Важно отметить, что возникающие послепросадочные деформации по своей величине могут быть сопоставимы с величиной провальной просадки.

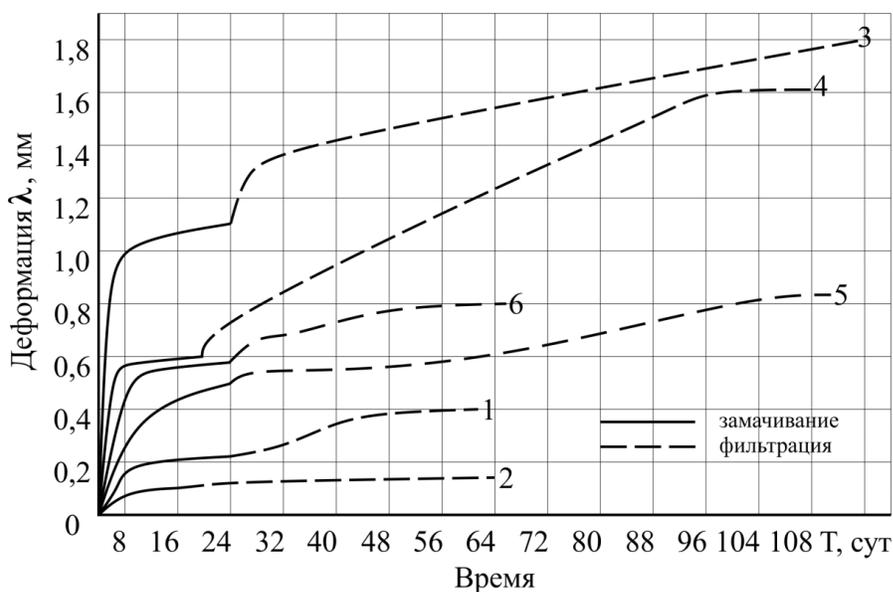


Рис. 1.2. Кривые деформации лессовых пород при замачивании и фильтрации воды:  
 1 – едр Q<sub>3-4</sub> (г. Хынчешть); 2 – едр Q<sub>3-4</sub> (г. Кишинэу); 3 – едр Q<sub>3-4</sub> (г. Кишинэу);  
 4 – едр Q<sub>3-4</sub> (г. Хынчешть); 5 – deol Q<sub>2</sub> (г. Тараклия); 6 – deol Q<sub>2</sub> (г. Кантемир).

Источник: по данным Олянского Ю.И. [134].

Таким образом, исследования последних лет указывают на необходимость пересмотра общих указаний действующих нормативов [149, 161], определяющих поведение грунта под нагрузкой в условиях длительного замачивания.

Возможные случаи осадки сооружений, возведенных на лессовых породах, представленные на Рисунке 1.3, очевидно, также нуждаются в корректировке.

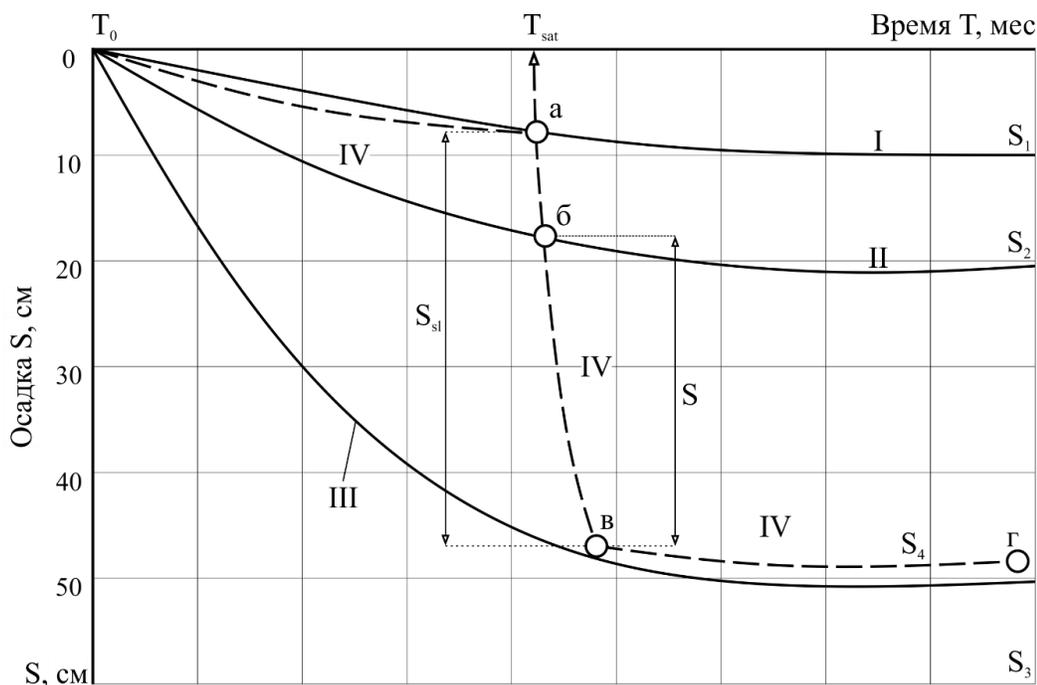


Рис. 1.3. Типичные кривые осадки на лессах в различных условиях

Источник: разработано автором на основе [147]

В соответствии с основными положениями действующих нормативов [161], одним из условий, подлежащим удовлетворению при расчете фундаментов по II-ой группе предельных деформаций, является:

$$S_{\Sigma} = (S + S_{sl}) \leq S_u, \quad (1.1)$$

где \$S\$ — осадка фундаментов, см;

\$S\_{sl}\$ — просадка основания, см;

\$S\_{\Sigma}\$ — суммарная деформация, см;

\$S\_u\$ — значение предельно допустимой деформации, см.

Просадка основания определяется по формуле:

$$S_{sl} = \sum_{i=1}^n \varepsilon_{sli} \times h_i \times k_{sli}, \quad (1.2)$$

где \$\varepsilon\_{sli}\$ — относительная просадочность \$i\$-го слоя грунта;

\$h\_i\$ — толщина слоя, м;

$k_{sli}$  – коэффициент условий работы основания;

$n$  – число слоев, на которые разбиты зоны просадки  $h_{slp}$  и  $h_{slg}$ .

При расчете просадки в основании выделяют три зоны (Рисунок 1.4): I – зона просадки от внешних нагрузок,  $h_{slp}$ ; II – нейтральная зона, в пределах которой просадка отсутствует,  $h_n$ ; III – зона просадки от собственного веса,  $h_{slg}$ .

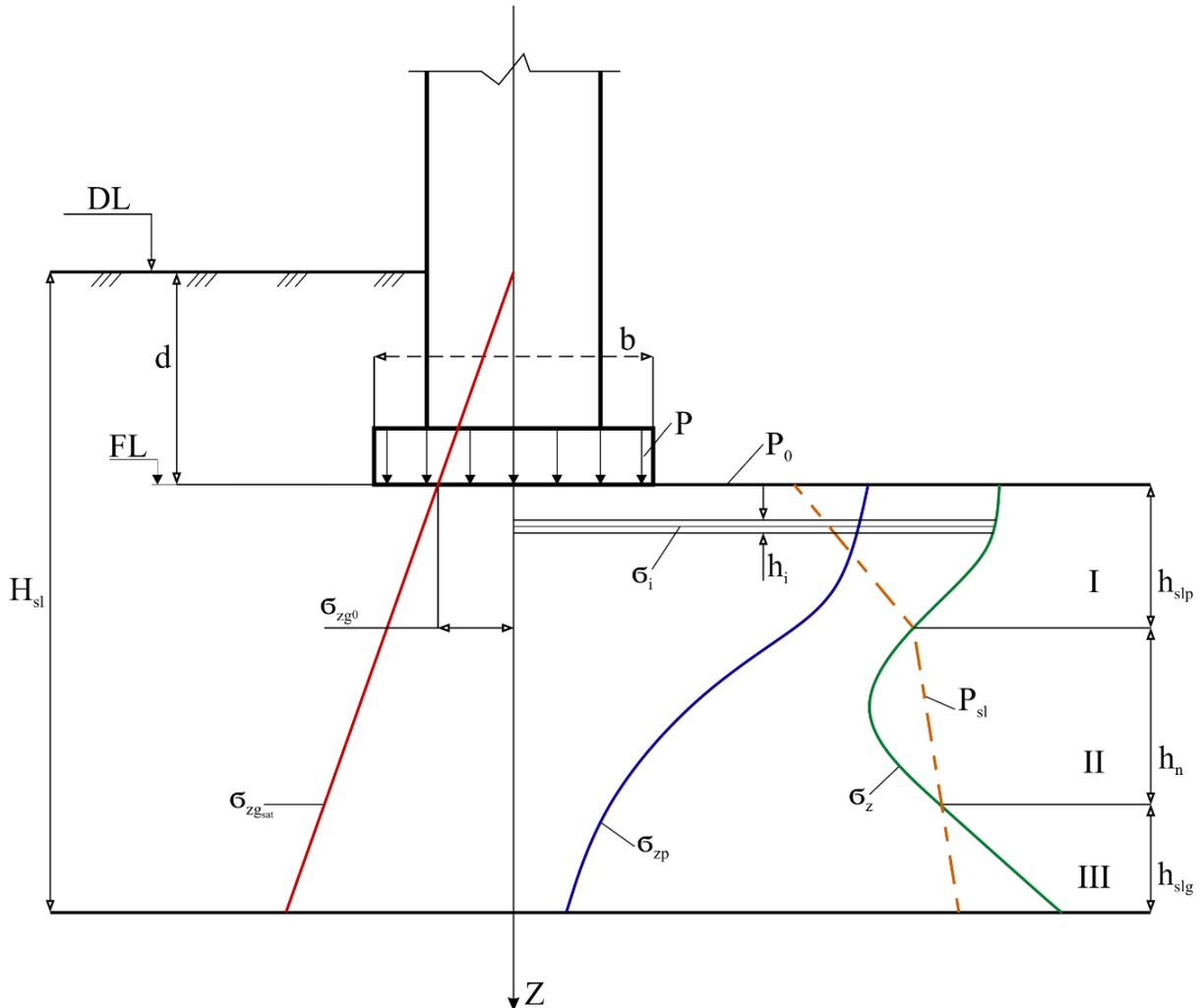


Рис. 1.4. Схема напряженного состояния под фундаментом

I – зона просадки от внешних нагрузок (деформируемая зона); II – нейтральная зона, в пределах которой просадка отсутствует; III – зона просадки от собственного веса

Источник: разработано автором на основе [147]

Толщина зоны просадки  $h_{sl}$  принимается равной:

- $h_{sl} = h_{sl,p}$  – толщине верхней зоны просадочной толщи при определении просадки грунта от внешней нагрузки  $S_{sl,p}$ . При этом нижняя граница указанной зоны

соответствует глубине, где  $\sigma_z = \sigma_{zp} + \sigma_{zg} = p_{sl}$  или глубине, где значение  $\sigma_z$  минимально, если  $\sigma_{z\ min} > p_{sl}$ ;

- $h_{sl} = h_{sl,g}$  – толщине нижней зоны просадки при определении просадки грунта от собственного веса  $S_{sl, g}$ , т.е. начиная с глубины  $z$ , где  $\sigma_z > p_{sl}$  или значение минимально, если  $\sigma_{z\ min} > p_{sl}$  и до нижней границы просадочной толщи.

Схема, представленная на Рисунке 1.4, наглядно отражает напряженное состояние грунтов основания и в значительной мере облегчает поиски правильного проектного решения, исключает возможность недоучета особенностей деформационных свойств грунтов в пределах различных напряженных зон. При наличии значений начального просадочного давления для разных слоев лессовой толщи появляется возможность выделить те слои, для которых суммарные напряжения от природных и дополнительных нагрузок больше или меньше начального просадочного давления. Выяснение взаимного расположения этих слоев позволяет осуществить прогноз возможной просадки основания и, в случае необходимости, после выполнения соответствующих расчетов выбрать наиболее эффективный метод устранения просадочных свойств грунтов.

К сожалению, как показали проведенные автором исследования, в большинстве случаев именно возможность проявления просадки грунтов в нижней части просадочной толщи игнорировалась при принятии решения для устранения просадочных свойств грунтов.

Это обусловлено тем, что проектирование комплекса ППМ, часто, ведется без учета региональных природных особенностей просадочных грунтов, присущим им, как отдельным геологическим образованиям.

Поэтому выявление основных закономерностей, обуславливающих природу прочности и деформативности лессовых грунтов, её возможное снижение в ходе геологической истории или в результате воздействия антропогенных факторов должно послужить основой для разработки новых рациональных методов искусственного уплотнения изучаемых пород. При этом нужно не просто стремиться к повторению природных процессов, а добиваться, как отмечала Л. В. Гончарова [94], лучших результатов.

### **1.3. Основные проблемы проектирования и устройства оснований и фундаментов на лессовых грунтах в Молдове**

Повышение эффективности и надежности строительства фундаментов зданий и сооружений в значительной степени зависит от правильной оценки несущей способности грунтовых оснований. В то же время, вопрос обеспечения прочности и устойчивости зданий и сооружений, конструкции которых чувствительны к неравномерным осадкам, возводимых и эксплуатируемых в условиях распространения лессовидных просадочных грунтов, по-прежнему остается серьезной проблемой. Характерным свойством достаточно прочных в естественном сложении лессовидных грунтов является то, что возведенное при обычном производстве работ здание оказывается прочным и устойчивым лишь временно – до случайного замачивания грунтов в основании. Просадки основания при замачивании грунта могут составлять более одного метра; здание при этом подвергается опасности полного разрушения [85÷89, 91, 101, 102 и др.].

Лессовые грунты покрывают порядка 80% территории республики и находятся в зоне интенсивного промышленного и гражданского строительства. Это означает, что возведение и эксплуатация зданий и сооружений в значительной степени зависят от правильной оценки инженерно-геологических условий и выбранного проектного решения.

После публикации работ Ю.М. Абелева, В.П. Ананьева, А.Н. Богомолова, С.Н. Клепикова, В.И. Крутова, А.К. Ларионова, И.М. Литвинова, А.А. Мустафаева, В.Т. Трофимова, Н.А. Цытовича и других ученых проблема строительства на просадочных грунтах успешно решается. Однако она требует специфического подхода и, соответственно, углубленных знаний, когда речь идет о строительстве в конкретном регионе. Особенное внимание должно быть уделено этому вопросу при размещении зданий и сооружений на грунтах II-го типа по просадочности [9, 13, 20, 42, 56, 60, 61, 62, 67, 71, 72, 74, 142 и др.].

В ходе выполнения диссертационного исследования автором были проанализированы материалы проектно-изыскательских организаций, исполнительной документации и состояния объектов, построенных на лессовых грунтах в пределах территории Молдовы.

Геологическое строение толщи изучалось на основе фондовых и опубликованных данных, материалов по опорным разрезам, составленным специалистами ИГС АНМ. Были приняты во внимание результаты исследований, выполненных на 82 строительных площадках, расположенных в северной, центральной и южной частях республики.

Анализ конструктивных решений, применяемых для устранения просадки, выполнялся на основе изучения реальных проектов, разработанных в институтах «Urbanproect», «Chisinau-Proect», а также в частных компаниях.

Собранный фактический материал показал, что, будучи размещенными на лессовидных грунтах, находящихся в воздушно сухом состоянии, даже тяжелые сооружения с нагрузкой на грунт 0,35-0,40 МПа испытывают незначительные осадки. Лессы в таком состоянии способны держать высокие вертикальные откосы (Рисунок 1.5). Однако при замачивании прочность и устойчивость резко снижаются.



Рис. 1.5. Вертикальный откос в толще просадочного суглинка.

Кишинэу, сектор Ботаника, бул. Траян

Источник: фото автора

При расчете деформаций оснований, сложенных просадочными грунтами, важным, с точки зрения оценки поведения массива грунта во времени, является выявление причин, вызывающих деформацию лессовых пород. К сожалению, до настоящего времени единства мнений по этому вопросу не достигнуто. Убедительно, можно лишь констатировать, что замачивание приводит к резким деформациям зданий и сооружений. Осадка может превышать 20 см. Из-за неизбежных неравномерных осадок сооружения деформируются с образованием трещин, перекосов и других негативных явлений (Рисунок 1.6).



Рис. 1.6. Трещины в усилении цоколя и стене жилого дома, возникшие в результате просадки грунтов основания. Кишинэу, сектор Боюкань, ул. Алдя-Теодорович

Источник: фото автора

Проведенные автором исследования выявили, что условия эксплуатации зданий и сооружений нередко нарушаются при их осадке-просадке, вследствие деформаций слабых разновидностей грунтов в толще основания под воздействием приложенных к нему сил. Особенно часто подобная обстановка возникает при наличии в основании в пределах

активной зоны работы фундамента слабо уплотненных глинистых пород в грунтовой подушке, а также лессовидных грунтов с неустранимой просадочностью.

Неравномерные деформации, вызванные просадкой, неизбежно увеличивают действующие на конструкцию изгибающие моменты и поперечные силы, нередко вызывая в ней значительное перенапряжение. Особенно опасным оказывается положение при неравномерной осадке опор многопролетных неразрезных конструкций.

Показательный пример приводит профессор Н.Н. Маслов (Рисунок 1.7)

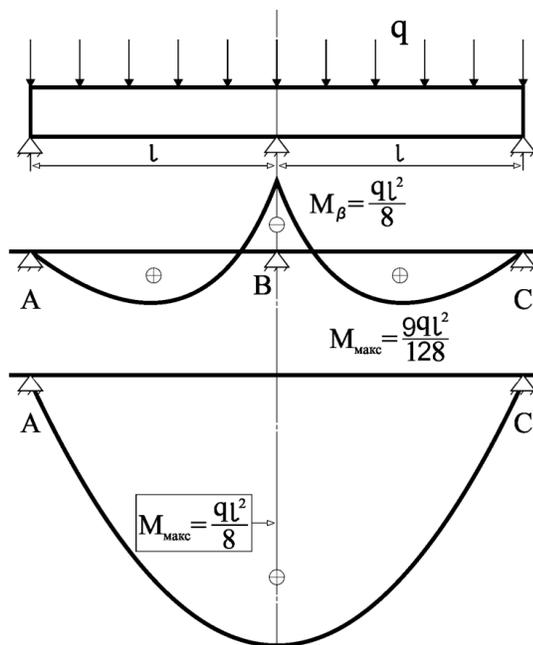


Рис. 1.7. Влияние просадки промежуточной опоры двухпролетной неразрезной балки на величину и знак изгибающего момента

Источник: разработано автором по данным [123]

Стрела прогиба в балке, свободно лежащей на двух опорах с пролетом  $L$ , как известно, определяется зависимостью:

$$f = \frac{5}{384} \frac{q L^4}{EI} \quad (1.3)$$

где  $EI$  – жесткость.

Прогиб железобетонной балки сечением 60x75 см при пролете  $L = 2l = 14,0$  м и нагрузке  $q = 3$  т/м<sup>2</sup> будет равен  $f = 3,3$  см.

Если относительная осадка промежуточной опоры  $B$  окажется более 3,3 см – рассматриваемая двухпролетная балка с пролетами  $l = 7$  м превращается в балку на двух

опорах с пролетом  $L = 2 l = 14$  м. При этом условии по оси опоры  $B$  будет действовать момент  $M''_B$  величиной

$$M''_B = q l^2/2 = +74 \text{ Т·м} \quad (1.4)$$

вместо действовавшего здесь ранее момента

$$M'_B = - q l^2/8 = -18,3 \text{ Т·м} \quad (1.5)$$

Таким образом при осадке опоры  $B$  относительно опор  $A$  и  $C$  более 3,3 см нормальные напряжения от изгиба не только возрастают более чем в 4 раза, но на опоре  $B$  меняют свой знак. При принятом характере армирования такое изменение момента может оказаться опасным (катастрофическим) для работы железобетонной балки.

Весьма показателен случай неравномерных деформаций в здании жилого дома в г. Ростов-на-Дону [92].

Жилой дом выполнен из монолитного железобетона в 1981 г. Состоит из 16 этажей с подвалом. Фундамент здания плитный, железобетонный. Конструктивная схема: продольные и поперечные несущие стены. Основания фундаментов – просадочные грунты II-го типа.

Нарушения условий эксплуатации привели к изменению геометрического положения здания в пространстве. Общий крен составил порядка 60 см. Осадки фундаментной плиты проявились неравномерно: максимальное значение достигло 42,2 см; минимальное – 4,0 см. Относительная деформация оказалась равной 0,012. Предельно допустимые значения были превышены почти в 2,5 раза. Здание признано аварийным.

Одной из особенностей инженерно-геологических условий Молдовы является то, что просадочная толща часто залегает на сарматских глинах значительной мощности. В условиях урбанизации территории данное обстоятельство привело к резкому подъему УПВ. На отдельных участках повышение достигло 10÷15 м. Как следствие, произошло замачивание нижних неуплотненных грунтов, часто составляющих активную зону под подошвой фундаментов. Некоторые здания и сооружения претерпели серьезные деформации.

Такие деформации имели место и при строительстве жилого дома по ул. Думенюк, мун. Кишинэу.

Развитие неравномерных деформаций строящегося здания показало, что устройство грунтовой подушки и ликвидация просадочных свойств грунтов в верхней и средней части толщи в пределах глубины 5,0 м от подошвы фундаментной плиты не обеспечило надежную работу основания.

Рассмотренные выше примеры убедительно доказывают, что теории и практике проектирования и строительства на просадочных грунтах II-го типа должно по-прежнему отводиться особое место.

Для выявления причин развития неравномерных деформаций зданий и сооружений, автором настоящего исследования были проанализированы методы, применяемые в республике для ликвидации просадочных свойств, а также виды фундаментов, используемых при строительстве в условиях I-го и II-го типов грунтов по просадочности (Рисунок 1.8).

#### 1950-1960 гг.

- Строительство малоэтажных зданий ведется без устанения просадки;
- ФМЗ ППМ: планировка, лотки, отмостки;
- Неэффективность применяемых водозащитных мер;
- Многочисленные случаи деформации зданий при замачивании грунтов: трещины в несущих конструкциях, прогибы в полах, перекос окон, дверных проемов.
- Грунты в основании: I тип по просадочности.

#### 1960-1980 гг.

- Строительство преимущественно 5-ти этажных зданий;
- Фундаменты: мелкого заложения; свайные; в вытрамбованных котлованах;
- ППМ: грунты в котлованах при строительстве на ФМЗ уплотняют с помощью тяжелых трамбовок;
- Давление по подошве фундаментов ограничивают начальным просадочным давлением ( $p \leq p_{sl}$ );
- При замачивании существенных деформаций не выявлено;
- Грунты в основании: I тип по просадочности.

#### 1980-1990 гг.

- Массовая застройка городов Кишинэу, Тираспол, Тигина и др. 9-ти и 12-ти этажными жилыми домами крупнопанельной серии;
- Фундаменты: мелкого заложения; свайные;
- ППМ: грунтовая подушка на уплотненном тяжелыми трамбовками основании;
- При техногенном замачивании за счет подъема УПВ в некоторых зданиях - значительные неравномерные осадки и недопустимые перемещения;
- Грунты в основании: II тип по просадочности.

#### 1990-2017 гг.

- Строительство частного сектора и многоэтажных зданий;
- Фундаменты: мелкого заложения (для 2-3х этажных зданий); СФ; плита;
- ППМ: грунтовая подушка, грунтовые сваи (редко), комплекс ВЗМ;
- При аварийном замачивании и подъеме УПВ: недостаточность мероприятий для зданий возведенных на сплошной плите;
- Неравномерные осадки, перекосы, крены;
- Грунты в основании: II тип по просадочности.

Рис.1.8. Возведение зданий и сооружений на просадочных грунтах в Молдове

Источник: разработано автором

Анализ архивных материалов проектных институтов и частных компаний, а также публикаций по соответствующе тематике [63, 72, 93, 134, 136, 144, 176] выявил следующее:

1. В условиях I-го типа просадочности наиболее широко использовалось:

- устройство фундаментов в вытрамбованных котлованах (в основном для сельскохозяйственных сооружений);
- уплотнение грунта тяжелыми трамбовками;
- устройство грунтовых подушек.

В качестве фундаментов применялись: фундаменты мелкого заложения; свайные – из забивных железобетонных и буронабивных свай.

2. В условиях II-го типа по просадочности применялось:

- устройство ФМЗ на грунтовой подушке;
- уплотнение просадочной толщи грунтовыми сваями с последующим устройством ФМЗ;
- прорезание просадочной толщи.

В качестве фундаментов применялись, в основном, свайные, из забивных или буронабивных свай, с размещением острия сваи в непросадочном грунте.

Устройство фундаментов на лессовых грунтах I-го типа по просадочности в настоящее время не представляет сложную проблему и в целом не вызывает затруднений.

Возведение зданий и сооружений на грунтах II-го типа по просадочности по-прежнему связано с рядом проблем, требующих скорейшего разрешения.

За многие годы в строительстве накоплен достаточный опыт осуществления противопросадочных мероприятий и применения наиболее эффективных фундаментов.

Так, например, исследователи А.Н. Богомолов и Ю.И. Олянский для зданий с несущими стенами высотой до 9-12 этажей, а также жестких зданий с полным каркасом, рекомендуют использовать комплексный подход на строительных площадках II-го типа условий по просадочности [72].

В состав комплекса включают:

- подготовку основания с помощью поверхностного уплотнения. Это позволяет ликвидировать просадочные свойства грунта в пределах активной зоны;
- создание сплошного водонепроницаемого экрана и применение водозащитных мероприятий, что должно исключить возможность замачивания грунтов;

– конструктивные мероприятия, которые должны, тем не менее, учитывать возможность просадки и обеспечивать прочность и устойчивость возводимых зданий и сооружений.

Для относительно гибких зданий, а также повышенной этажности, при частом расположении несущих конструкций и фундаментов, ученые рекомендуют использовать методы глубинного уплотнения путем пробивки скважин с последующим их заполнением грунтовым материалом.

Подготовка основания по этому методу осуществляется с помощью навесного оборудования к экскаватору. Диаметр пробитых скважин составляет  $0,6 \div 1,0$  м.

Рассматривая проблему строительства на просадочных грунтах, необходимо отметить, что за рубежом эти вопросы решаются как путем подготовки основания, так и с помощью применения усовершенствованных свайных фундаментов.

В частности, в России А.Н. Богомолов для гибких и большепролетных зданий предлагает использовать:

- забивные и буронабивные сваи в эластичных оболочках;
- набивные сваи в оболочке из уплотненного грунта;
- буронабивные сваи с уширенным основанием, а также с несущим слоем, образованным с помощью закрепления подстилающего просадочного или иного грунта.

Для тяжелых зданий и сооружений с большими нагрузками на фундаменты значительный эффект достигается сочетанием глубинного уплотнения с устройством набивных или забивных свай.

В этом случае глубинное уплотнение позволяет устранить просадку грунтов под внутренними конструкциями, а сваи используются для восприятия нагрузки от несущих конструкций и ее передачи на подстилающие надежные грунты основания.

Анализ, проведенный автором, показал, что в настоящее время в республике уделяется недостаточное внимание теоретическим основам строительства на просадочных грунтах, а также разработке новых методов подготовки основания для фундаментов.

Тот факт, что при замачивании просадочных грунтов возникают сложные деформации, в результате которых происходит повреждение зданий, подтверждает сказанное.

Это происходит вследствие накопления ошибок, которые возникают на различных этапах (как, например, при строительстве жилого дома по ул. Доменюк в мун. Кишинэу): изысканий, проектирования и строительстве объекта.

В силу сказанного вопросы, связанные с замачиванием основания фундаментов и возникновением дополнительных перемещений просадочных грунтов, требуют своего дальнейшего разрешения. В частности, выполненный автором настоящего исследования анализ причин аварий зданий и сооружений, размещенных на просадочных грунтах, указывает на необходимость уточнения характеристик физико-механических свойств грунтов основания, рекомендуемых проектировщикам для проведения расчетов.

К сожалению, задача проектирования и возведения зданий и сооружений на просадочных грунтах II-го типа в РМ решается проектировщиками индивидуально.

При этом принимаемое конструктивное решение крайне редко основано на принципах экономической целесообразности. Использование свайных фундаментов из забивных или буронабивных свай, с учетом специфических региональных условий Молдовы, эффективно только в случае залегания в основании просадочной толщи надежных подстилающих грунтов. Это могут быть твердые (полутвердые) сарматские глины, пески крупные и средней крупности. Однако с учетом того, что просадочная толща может достигать по мощности 20-25 м и более, применение свайных фундаментов будет не лишено трудностей. В первую очередь это связано с необходимостью назначения повышенной длины сваи и обеспечения требований условий ее работы по гибкости ствола при восприятии значительных вертикальных и горизонтальных нагрузок, возникающих, в том числе, в результате геодинамических процессов, и в первую очередь, сеймики [66, 82, 83].

Применяемые конструктивные решения с устройством грунтовых подушек также имеют свои ограничения. Об этом красноречиво свидетельствуют описанные выше случаи деформации зданий.

В сложившихся условиях автором была рассмотрена возможность улучшения прочностных и деформационных характеристик основания путем использования глубинного уплотнения просадочных грунтов с помощью RG-установки [155].

В следующих главах представлены результаты исследований в рамках поставленных диссертационных задач.

#### 1.4. Выводы по главе 1

Выполненный автором настоящего исследования анализ архивных данных и литературных источников, проведенные обследования построенных и возводимых зданий и сооружений позволяют сделать следующие выводы:

1. Строительство объектов в Молдове на грунтах I-го типа по просадочности в целом осуществляется успешно и не вызывает проблем у проектировщиков и строителей.

2. Отмечен ряд случаев неудовлетворительной работы оснований при размещении зданий и сооружений на площадках, сложенных грунтами II-го типа по просадочности.

3. Для устранения просадочных свойств грунтов в республике наиболее часто применяют: уплотнение грунта в котловане тяжелыми трамбовками; устройство грунтовых подушек послойным уплотнением грунтов катками; устройство грунтовых свай в пробитых скважинах; устройство фундаментов в вытрамбованных котлованах.

4. Применяемые противопросадочные мероприятия не всегда позволяют избежать недопустимых деформаций оснований фундаментов, а также зданий и сооружений в целом.

5. Отмеченные случаи деформации жилых домов, построенных и строящихся на грунтах II-го типа по просадочности, свидетельствуют, что строительство осуществлялось без учета региональных условий формирования просадочной толщи и присущих грунтам физико-механических свойств. Это означает, что отдельные положения инструктивно-нормативной литературы по строительству в Молдове, связанные с проведением и использованием результатов инженерно-геологических изысканий в грунтовых условиях республики, требуют корректировки.

6. Обеспечение безаварийной эксплуатации зданий и сооружений, возводимых на просадочных грунтах, требует проведения специальных исследований, учитывающих специфику лессовых пород региона и, в первую очередь, раскрывающих природу просадочности грунтов.

7. При освоении свободных территорий и площадок, размещенных в условиях плотной застройки на урбанизированных территориях, необходимо располагать обновленной информацией о просадочных и физико-механических свойствах лессовых пород.

8. Результаты детального исследования состава и свойств лессовых грунтов естественного залегания должны быть дополнены данными о возможном изменении характеристик просадочности, прочности, деформируемости, полученным в результате

использования противопросадочных мероприятий. В нашем случае – в результате уплотнения грунта с помощью вибропогружателя.

9. Лессовые породы покрывают почти 80% территории республики и находятся в зоне интенсивного освоения, в связи с этим рассматриваемую в диссертационном исследовании проблему следует отнести к весьма актуальной.

С учетом изложенного, основная **цель диссертационного исследования** заключается в разработке нового технического решения по устранению просадочности грунтов при строительстве в Молдове.

Для реализации основной цели исследования были определены следующие основные **задачи, подлежащие решению:**

1. Провести анализ инженерно-геологической изученности просадочных грунтов Молдовы;
2. Изучить базовые способы устранения просадки грунтов;
3. Обобщить опыт строительства на просадочных грунтах в Молдове: выявить основные проблемы и способы устройства оснований и фундаментов на лессовых грунтах, определить причины деформаций зданий и сооружений, размещенных на просадочных грунтах;
4. Получить на основе лабораторных исследований новые данные, характеризующие физико-механические, просадочные и реологические характеристики лессовых грунтов для строительных площадок, размещенных в пределах плотной застройки урбанизированных территорий и в условиях «свободного залегания»;
5. Оценить влияние уплотнения, проведенного с помощью вибропогружателя RG-установки на прочностные, деформационные, просадочные и реологические характеристики исследуемых грунтов;
6. Изучить микроструктуру просадочных грунтов и ее возможное изменение после устройства грунтовых свай;
7. Исследовать напряженно-деформированное состояние основания, уплотненного грунтовыми сваями с применением RG-установки: определить зону уплотненного грунта вокруг сваи, влияющую на распределение напряжений в просадочной толще;
8. Обосновать на основе теоретических и экспериментальных исследований возможность устранения просадки основания путем устройства грунтовых свай, выполненных с помощью вибропогружателя RG-установки.

## **2. ИССЛЕДОВАНИЕ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ, РЕОЛОГИЧЕСКИХ И ПРОСАДОЧНЫХ СВОЙСТВ ЛЕССОВЫХ ГРУНТОВ МОЛДОВЫ И ИХ ВЛИЯНИЯ НА РАБОТУ ОСНОВАНИЙ**

### **2.1. Результаты исследования причин деформаций оснований и фундаментов жилых домов в мун. Кишинэу, размещенных на просадочных грунтах**

Принципы проектирования и строительства на просадочных грунтах с применением водозащитных и конструктивных мероприятий, а также различных способов устранения просадочных свойств, являются основой нормативных документов в Молдове и во многих странах Европы, Средней Азии, Южной и особенно Северной Америки, Новой Зеландии, северной Африки и др. [9, 14, 34, 60, 63, 64, 67, 72, 104, 106, 113, 114, 130].

В целом эти принципы, основанные на теории просадки Ю.М. Абелева [62], обеспечивают надлежащую эксплуатационную пригодность зданий и сооружений. Строительство стало возможным на любой по мощности толще макропористых просадочных грунтов. Однако и за рубежом, и в Молдове отмечен ряд случаев неудовлетворительной работы оснований фундаментов, повлекших за собой серьезные последствия, в том числе разрушения.

Так, например, в Молдове дополнительным деформациям, вызванным в основном замачиванием лессовых пород, были подвержены: жилой дом по улице Ленинградской (г. Тигина); 9-ти этажные секционные жилые дома по улице Богдан Воевод и проспекту Москова; 5-ти этажные жилые дома по улицам 31 августа и Студенческая; здание школы по улице Кодряну; 2-х этажный жилой дом по улице Теодорович, мун. Кишинэу [72, 136].

При размещении фундаментов на просадочных грунтах I-го типа неравномерные деформации приводили к раскрытию трещин и сопровождалась длительной (более 5 лет) осадкой, после чего ситуация стабилизировалась и здания после проведенного незначительного ремонта продолжали эксплуатировать. Однако нередко после нарушения условий эксплуатации требовалось принятие дополнительных, более кардинальных мер.

В частности, в апреле 2009 г. был отмечен случай неравномерных деформаций 3-х этажного здания по ул. Дойна в мун. Кишинэу.

Автором настоящего исследования был собран имеющийся архивный материал, обработаны данные, полученные в результате отрывки трех шурфов, отбора монолитов грунта и их последующего испытания в геотехнической лаборатории.

Анализ полученных результатов определения физико-механических свойств исследуемых грунтов показал, что основанием фундаментов здания служат грунты, обладающие различными прочностными и деформационными свойствами (Таблица 2.1).

Таблица 2.1. Характеристики физико-механических свойств грунтов основания фундаментов здания по ул. Дойна, мун. Кишинэу

№ шурф-скважины	Наименование грунта	Показатель текучести $I_L$ , доли ед.	Прочность грунта $S$ , кПа	Модуль деформации $E$ , МПа	Расчетное сопротивление $R$ , кПа
1	Суглинок туго- и мягкопластичный	0,46	63	14	227
2	Суглинок тугопластичный	0,29	75	19	285
3	Суглинок полутвердый	0,12	87	20	354

Источник: разработано автором

Дальнейшие исследования показали, что прочность и модуль деформации суглинков в шурф-скважине №1 в 1,4 раза меньше отобранных в шурф-скважине №3. Весьма существенно отличались показатели текучести. Консистенция грунтов изменилась от полутвердой до тугопластичной.

Расчетное сопротивление грунта под подошвой фундамента в шурф-скважинах №1 и №2 снижено по сравнению с его значениями в шурф-скважине №3 в 1,6 и 1,25 раза соответственно.

На возможность резкого снижения прочностных и деформационных показателей просадочных грунтов при замачивании водой указывают многие исследователи. Так, например, по данным А.П. Долганова, модуль деформации лессовых пород при увлажнении снижается в 7-10 раз; коэффициент внутреннего трения при влажности 8% равен 0,65; при влажности 52% – 0,21; удельное сцепление грунта при таких изменениях влажности уменьшается с 60 до 20кПа [102].

Проведенные рекогносцировочные обследования и расчеты показали, что основной причиной появления трещин в несущих стенах явилось замачивание просадочных грунтов основания в левом крыле здания. В результате изменения консистенции произошло снижение прочностных и деформационных характеристик грунтов и, как следствие, расчетного

сопротивления. Это, в свою очередь, привело к увеличению зон локальных сдвигов и развитию неравномерных осадок фундаментов.

Причины деформации основных несущих конструкций 2-х этажного жилого дома по ул. Дойна ши Ион Алдя-Теодорович, мун. Кишинэу, также были связаны с замачиванием просадочных грунтов.

Исследования, проведенные автором на этом участке показали, что в геоморфологическом отношении площадка приурочена к водораздельной части правого берега р. Бык. Абсолютные отметки поверхности площадки изменяются в пределах 108,0÷111,0м.

До глубины 10м в строении толщи принимают участие четвертичные аллювиально-делювиальные суглинки и супеси: суглинки – до 7,7м, супеси – до 10,0м. Подземные воды вскрыты на глубине 9,3м. Тип грунтовых условий по просадочности – II-ой. Максимальные значения относительной просадочности приурочены к верхней части толщи (до 4,5м).

В период эксплуатации жилого дома грунты основания неоднократно испытали замачивание вследствие утечек из коммуникаций. Расчеты, выполненные автором, показали, что расчетное сопротивление в условиях полного водонасыщения уменьшилась в 2,8 раза (до 86,2кПа), а значение просадки фундаментов составило 49см. Относительная деформация составила 0,04, что значительно превосходит предельно допустимые значения (0,002).

На основе выполненных рекогносцировочных работ, изучения и анализа фондовых материалов и проведенных расчетов было установлено, что причиной изменения в напряженно-деформированном состоянии конструкций явилось неоднократное замачивание просадочных грунтов основания за счет утечек воды из коммуникаций и инфильтрации атмосферных осадков в условиях нарушения режима эксплуатации здания.

Приведенные примеры характеризуют поведение оснований и фундаментов зданий, построенных в период 50-60-х гг. XX века, когда основы расчета и проектирования фундаментов на лессовых грунтах находились на стадии становления [178 и др.].

В то же время в республике имели место деформации зданий, построенных в период 70-80-х гг. XX века, испытавших неравномерную просадку, даже после осуществления комплекса противопросадочных мероприятий. В качестве примера можно привести случай деформации 9-ти этажного жилого дома по ул. Богдан-Водэ, мун. Кишинэу.

Анализ архивных материалов и литературных источников [134 и др.] показал, что мощность лессовой толщи в основании здания достигает 19,5 м; грунты обладают просадочными свойствами до глубины 12÷14 м. Подстилающими отложениями служат сарматские глины; тип грунтовых условий по просадочности – II-ой.

9-ти этажный жилой дом 135-ой серии состоит из семи секций, разделенных между собой деформационными швами шириной 30 см. Фундаменты – мелкозаложенные, ленточные, железобетонные. Перед устройством фундаментов была выполнена грунтовая подушка мощностью 1,5 м из местных суглинков, т.е. просадочные свойства грунтов полностью устранены не были. В 1978 г. произошло замачивание основания в результате аварийных утечек. Фильтрация воды в толщу неуплотненных просадочных грунтов привела к снижению деформационных характеристик. Как следствие произошла неравномерная осадка двух отсеков: наклон отдельных секций дома от вертикальной оси составил 18÷20 см; некоторые секции сомкнулись на уровне парапетов.

Лабораторные исследования выявили, что в результате длительной фильтрации воды влажность грунтов в пределах зоны замачивания увеличилась от 11÷15% до 19÷23%. Консистенция грунтов изменилась от твердой и полутвердой до туго- и мягкопластичной. Максимальная глубина замачивания грунтовой толщи составила 12÷14 м.

Для устранения крена здания и стабилизации осадки было применено глубинное регулируемое дополнительное увлажнение грунтов в основании, замачивание осуществлялось более года. Осадки были стабилизированы: их значения достигли 45÷55 см. Крен секций устранить не удалось из-за неоднородности грунтов основания.

В настоящее время здание продолжает эксплуатироваться. По мнению автора, с учетом того факта, что достигнутые значения осадки вдвое превышают предельно допустимые, для безопасной эксплуатации здания должен быть организован мониторинг поведения фундаментов и основных несущих конструкций.

Более значительной по своим негативным последствиям оказалась неравномерная деформация грунтов в основании второго корпуса жилого 10-ти этажного дома по ул. Думенюк, мун. Кишинэу (Рисунок 2.1).

Грунты площадки строительства представлены, в основном, просадочными суглинками, реже супесями. Тип грунтовых условий по просадочности – II (второй). Мощность просадочной толщи – более 16,0 м.



Рис. 2.1. Неравномерные деформации недостроенного здания  
по ул. Думенюк, мун. Кишинэу

Источник: фото автора

В июне 2010 г. в осях 7-12 были отмечены неравномерные деформации. Осадка в углах здания составила: по осям 12-В – 94мм; 12-Д – 110мм. Подъем основания в углу здания по оси 7 достиг 55мм.

Анализ проектной документации и проведенное автором обследование показали, что фундамент выполнен в виде монолитной железобетонной плиты. Основанием служит грунтовая подушка, отсыпанная из суглинки, толщиной 4,9м.

В ходе исследований физико-механических показателей свойств грунтов было выявлено снижение плотности грунтовой подушки, в первую очередь – ее верхней части, до глубины 2,5-3,0м. Основной причиной изменения характеристик грунтовой подушки явилось дополнительное увлажнение в период выпадения осадков и снеготаяния.

В результате последующих расчетов установлено, что развитие неравномерных деформаций здания было обусловлено следующими причинами:

1. Уменьшением деформационных характеристик грунтов основания в результате дополнительного увлажнения. Согласно Таблице 86 [149, с. 241], модуль деформации уплотненного грунта ( $E$ ) при природной влажности составляет  $E = 25000\text{кПа}$ ; в

водонасыщенном состоянии  $E = 20000$  кПа. Однако в случае разуплотнения в условиях полного водонасыщения модуль деформации может снижаться до минимальных значений. Согласно Таблице 1.2 [147, с. 11],  $E = 4000$  кПа (уменьшение более чем в 5 раз по сравнению с исходными значениями).

2. Уменьшением прочностных характеристик грунтов. Расчетное сопротивление грунта  $R_0$ , согласно Таблице 48 [149, с.107], для суглинков при плотности сухого грунта  $1,7\text{г/см}^3$  составляет 300кПа. Это значение принималось при расчете фундаментной плиты. Однако в условиях разуплотнения и дополнительного увлажнения, в соответствии с Таблицей 1.9 [147, с. 26], значение расчетного сопротивления грунта может снижаться до  $140\div 150$ кПа.

При проектировании фундаментной плиты общий вес здания, принятый для расчета, составил  $N = 9204\text{т}$ ; площадь плиты  $A = 434\text{м}^2$ ; среднее давление по подошве  $P_{cp.} = 212\text{кПа}$ . Максимальная нагрузка на плиту в условиях неравномерного нагружения достигает значений  $P_{max} = 250\text{кПа}$ .

Это означает, что в условиях дополнительного увлажнения грунтов верхней части грунтовой подушки на глубине 2,5-3,0м под краями фундаментной плиты среднее давление превысило расчетное сопротивление грунта основания. Другими словами, под краями фундаментной плиты появились области дополнительных чрезмерных пластических деформаций в условиях  $P > R$ . Требование п. 2.174 [146, с. 99] не выполняется.

3. Проявлением дополнительных просадочных деформаций основания. Согласно принятому проектному решению, грунтовая подушка размещена на суглинках, обладающих просадочными свойствами. Просадка от собственного веса нижней неуплотненной толщи составляет 1,35см. Это означает, что в условиях дополнительного замачивания просадочные деформации только от природных давлений могли превысить как минимум 1,35см.

Особо следует отметить, что наблюдаемые деформации носят неравномерный характер в силу различной степени замачивания грунтов основания и исходного состояния плотности-влажности грунта.

Сказанное подтверждается данными геодезических наблюдений: относительная деформация по оси 12 в осях В-Д составила 0,001, что меньше предельно допустимой; относительная деформация по створу в осях 7-12-Д составила 0,0056, что в 1,4 раза превышает предельно допустимые значения [149, с. 167].

Имевшие место деформации привели к остановке строительства здания. В течение 9 лет за поведением конструкций надземной части ведутся инструментальные геодезические наблюдения. Стабилизация осадок не выявлена.

Рассматриваемый случай неравномерных деформаций здания по ул. Думенюк представляет, по мнению автора, наглядный пример недоучета просадочных свойств грунта при проектировании и строительстве.

С целью оценки влияния изменения свойств просадочных грунтов на работу основания автором было выполнено моделирование напряженно-деформированного состояния.

Решение задачи потребовало изучение основ метода конечных элементов и его адаптации к оценке НДС основания.

Анализ литературных источников показал, что в последние годы во многих странах наметился прогресс в развитии фундаментостроения, который во многом определяется достигнутыми результатами в области математического моделирования различных процессов деформирования оснований, фундаментов и надземной части зданий и сооружений.

Основы методов расчета и проектирования фундаментов зданий на просадочных грунтах изложены в трудах М.Ю. Абелева, Ю.М. Абелева, В.П. Ананьева, А.А. Григоряна, Н.Я. Денисова, Ю.К. Зарецкого, В.А. Ильичева, В.И. Крутова, А.К. Ларионова, Г.А. Мавлянова, А.А. Мустафаева, М.И. Смородинова, Е.А. Сорочана, З.Г. Тер-Мартиросяна и др.

Задача исследования напряженно-деформированного состояния грунтов под воздействием внешних сил и собственного веса и, в частности, при возможном замачивании просадочного грунта, по-прежнему является одной из главнейших в механике грунтов [127, 143, 150, 172, 173 и др.]. Это обстоятельство обусловлено необходимостью располагать данными распределения напряжений в грунте не только на момент проведения изысканий и по окончании возведения сооружения, но и на длительный период его эксплуатации. Другими словами, проектировщику необходимо знать, как может измениться напряженное состояние во времени и при каких условиях могут возникнуть недопустимые деформации, вызванные дополнительным замачиванием просадочного грунта.

В настоящее время наиболее современным методом решения большинства задач в механике грунтов является применение расчетных комплексов, базирующихся на

применении МКЭ и комплексного моделирования [39, 43, 46, 50, 53, 54, 57, 59, 70, 80, 103, 111, 158, 164, 169].

Выполнить прогноз НДС грунтосвайного массива позволяет компьютерное моделирование [166].

При проведении геологического моделирования приоритет отдается программному комплексу PLAXIS, так как он изначально направлен на решение геотехнических задач.

В комплексе реализованы многие модели, позволяющие максимально учесть специфические свойства грунтов: модель Кулона-Мора; линейная упругая модель, модель слабого грунта; модель грунта, упрочняющегося под собственным весом и действующей нагрузки и др.

В рамках настоящей диссертационной работы была решена тестовая задача, которая позволила оценить эффективность устранения просадочных свойств грунтов основания, путем устройства грунтовой подушки при проектировании и строительстве жилого дома по ул. Думенюк в мун. Кишинэу, подтвердив ранее выполненные расчеты и результаты стационарных наблюдений.

Схема устройства основания фундаментной плиты представлена на Рисунке 2.2.

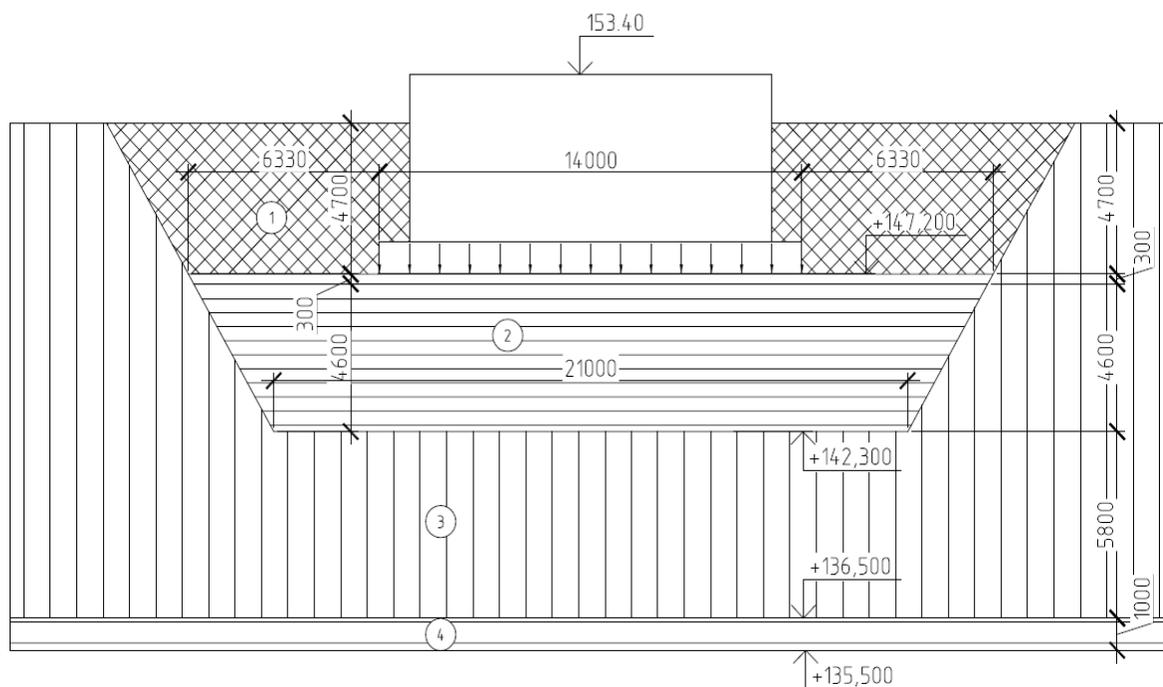


Рис. 2.2. Схема устройства основания фундаментной плиты

Источник: разработано автором

Поле напряжений в грунтовом массиве определялось решением двухмерной задачи плоской деформации с использованием конечных элементов треугольной формы. Построение сетки конечных элементов, применяемой при расчетах, приведено на Рисунке 2.3.

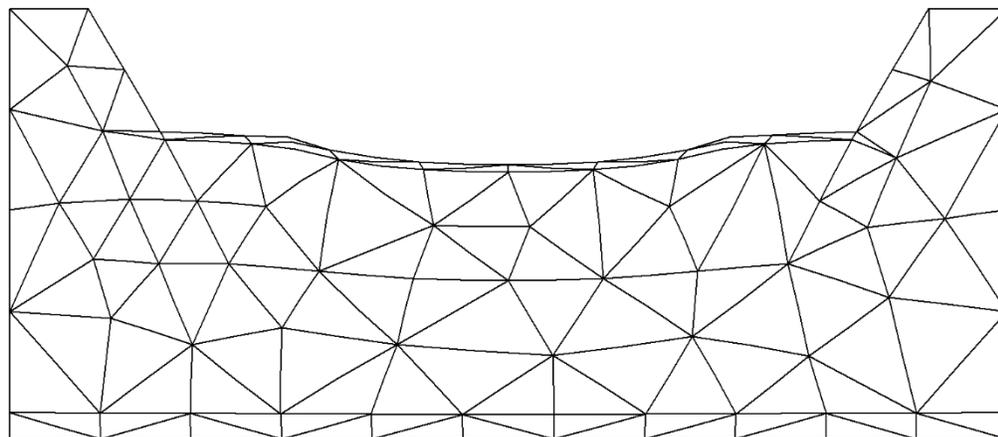


Рис. 2.3. Разбивка активной зоны основания на конечные элементы

Источник: разработано автором

В результате выполненного моделирования были получены графики вертикальных перемещений и сдвиговых напряжений, представленные на Рисунках 2.4, 2.5 соответственно.

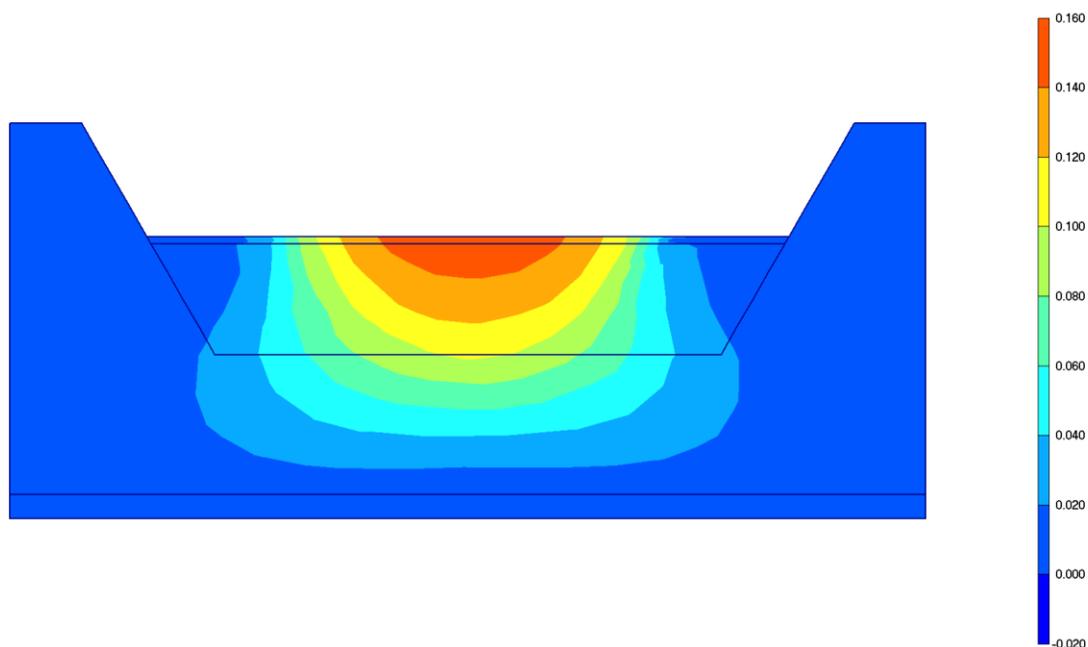


Рис. 2.4. Компьютерное моделирование в PLAXIS.

График вертикальных перемещений в цветовой гамме.

Источник: разработано автором

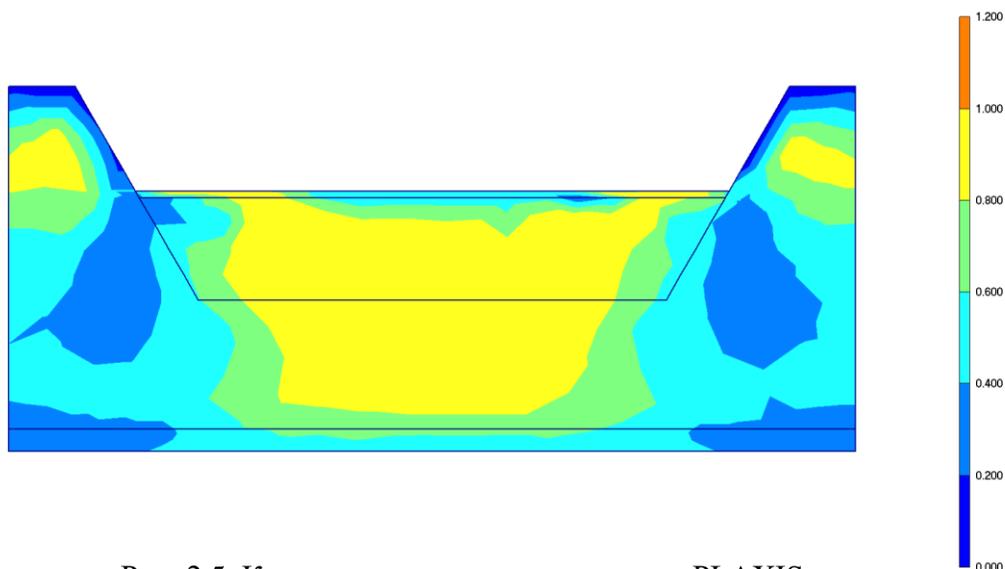


Рис. 2.5. Компьютерное моделирование в PLAXIS.  
График сдвиговых напряжений в цветовой гамме.

Источник: разработано автором

Таким образом, исходя из опыта промышленного и гражданского строительства на лессовых грунтах в Молдове и результатов проведенного исследования следует, что назначаемые конструктивные решения в ряде случаев не позволяют избежать недопустимых деформаций оснований фундаментов, а также зданий и сооружений в целом.

Применяемые для устранения просадки грунтовые подушки толщиной более 3,0÷3,5м (иногда до 5,0м) не могут гарантировать надежную работу фундаментов.

Усугубляет ситуацию низкое качество работ, часто наблюдающееся при подготовке оснований на лессовых грунтах, а также неэффективная защита от замачивания грунтов основания.

Так как не все способы устранения просадки совершенны и применимы не для всех грунтов, дальнейшая разработка методов искусственного улучшения свойств грунтов основания и поиск более совершенных и экономически оправданных решений является актуальной задачей.

Вышесказанное определяет необходимость изучения свойств лессовых грунтов и разработки новых технических решений для устранения просадки, которые бы полностью исключили образование нежелательных явлений и саму возможность проявления дополнительных осадок (просадок), при аварийном замачивании основания.

## **2.2. Результаты изучения закономерностей изменения показателей состава и свойств просадочных грунтов в условиях природного залегания**

Выбранная тематика и обозначенная основная цель настоящего исследования обусловили необходимость проведения количественной оценки физико-механических и просадочных характеристик лессовых грунтов в условиях природного залегания на свободных территориях и площадках, выбранных для строительства в условиях плотной застройки.

На предварительном этапе автором был проведен анализ имеющихся материалов по изучаемому вопросу. Его основу составили наиболее значимые работы, проведенные В.С. Гончаровым, Г.Е. Костиком, Ю.И. Олянским в период 1970-2000гг.

Результаты, полученные этими учеными, были дополнены практическими исследованиями автора. Это позволило провести сравнительный анализ изменения отдельных характеристик физико-механических свойств во времени и получить значения расчетных показателей для решения дальнейших задач по изучению просадочности.

Основные результаты исследований, проведенных В.С. Гончаровым и дополненные автором настоящей работы, представлены в Таблицах П 1.1-П 1.3.

Согласно данным В.С. Гончарова, плотность частиц лессовых пород изменяется в пределах  $2,62 \div 2,74 \text{ г/см}^3$ . Высокие значения характерны для более глинистых грунтов. Время размокания образцов лессовых пород колеблется от 11 сек. до нескольких суток и зависит от первоначальной влажности, гранулометрического состава и структурных особенностей грунта. Коэффициент фильтрации варьирует от 0,065 до 0,436 м/сутки; коэффициент сжимаемости в интервале давлений  $100 \div 300 \text{ кПа}$  изменяется в пределах  $0,008 \div 0,094 \text{ кПа}^{-1}$ .

Выявлено существенное влияние на сжимаемость пород изменения их влажности. Параметры прочности, определенные по методу консолидированного сдвига при природной влажности, колеблется в широких пределах:  $\varphi = 14 \div 29^\circ$ ;  $C = 12 \div 85 \text{ кПа}$ .

Сопrotивляемость сдвигу в значительной степени зависят от гранулометрического состава и структурных особенностей грунта. В тяжелых суглинках наиболее часто отмечены значения:  $\varphi = 17 \div 20^\circ$ ,  $C = 50 \div 60 \text{ кПа}$ ; в средних и легких суглинках:  $\varphi = 20 \div 23^\circ$ ,  $C = 20 \div 40 \text{ кПа}$ .

Величина относительной просадочности составляет  $0,01 \div 0,139$ . Начальное просадочное давление находится в интервале  $1,0 \div 1,2 \text{ кг/см}^2$  [93, с. 14, 15].

Как уже отмечалось, с конца 60-х годов XX века исследования физико-механических свойств лессового покрова Молдовы проводились в ряде проектных институтов республики и, в первую очередь – в Молдгипрострое учеными Г.Е. Костиком и В.С. Гончаровым.

Гранулометрический состав выявлен Г.Е. Костиком по данным 350 анализов, представляющих лессовые породы севера и юга Молдовы, а также долин рек Днестр, Прут и Реут. На севере республики наблюдается увеличение глинистой фракции до 35,9% и снижение песчаной фракции – до 13,8%. На юге глинистая фракция уменьшается до 19,9%, в то время как песчаная – возрастает до 30,7%. Пылеватая фракция содержится примерно в одинаковом количестве: 44÷52%. Какой-либо закономерности в распространении карбонатов в лессовой толще по территориальному признаку не отмечено.

По данным исследований 560 образцов Г.Е. Костиком были установлены следующие закономерности для физических характеристик: влажность, число пластичности и плотность уменьшаются с севера на юг. Так, например, на севере (р-н мун. Бэлць)  $W_0 = 18,8\%$ , на террасах р. Днестр (р-н городов Тираспол, Тигина) – 15,6÷16,8%, на юге (р-н г. Кагул) – 7÷11%.

Обобщающие сведения о физико-механических свойствах лессовых пород Молдовы впервые получены Ю.И. Олянским [136]. В целом они подтверждают результаты ранее выполненных исследований В.С. Гончарова и Г.Е. Костика, являясь, в то же время, более расширенными и дополненными изучением микроструктуры (Таблицы П 2.1-П 2.7).

По данным Ю.И. Олянского, предельные значения содержания песчаной фракции составляет 3,7÷58,5%; пылевидной – 21,8÷86,3%; глинистой – 3,7÷59,8%. Отчетливо наблюдается закономерность в изменении гранулометрического состава с изменением возраста: с повышением возраста отложений уменьшается содержание песчаной фракции и увеличивается содержание глинистой фракции (Таблица П 2.1).

Выявлены отличия в лессовом покрове террас от лессового покрова водоразделов и их склонов. Для первого характерна повышенная песчанистость, для второго – глинистость. Данное обстоятельство весьма важно, т.к. от содержания глинистой фракции будет зависеть степень уплотнения грунта при его пробивке вибропогружателем (см. главу 3).

Одной из характерных особенностей лессовых пород региона является их низкая пылеватость. Несмотря на преобладание содержания пылевой фракции над остальными, ее среднее значение составляет менее 50%.

Важно также подчеркнуть, что лессовые грунты региона характеризуются значительной изменчивостью гранулометрического состава. В северной части преобладают низкопылеватые элювиально-делювиальные грунты. Содержание пылеватых частиц на водоразделе и склонах составляет 49,3÷59,8%; на террасах, сложенных тяжелыми пылеватыми суглинками и глинами – 24,4÷78,4%. В южной части междуречья распространены высокопылеватые аллювиальные, делювиальные и эоловые грунты. Содержание пылеватых частиц в породах на водоразделах и склонах достигает 63,7%; на террасах, сложенных в основном пылеватыми супесями, легкими и средними пылеватыми суглинками – 51,1÷86,3% [136, с. 29].

Значительный интерес для познания природы формирования инженерно-геологических свойств представляют данные микроагрегатного анализа дисперсных пород.

Исследования, проведенные Ю.И. Олянским, свидетельствуют о преобладании образцов со смешанным коагуляционно-цементационным типом структурных связей. Лишь отдельные образцы из района Центрально-Молдавской возвышенности характеризуются пластифицированно-коагуляционным типом связей.

По предложению И.М. Горьковой, тип структурных связей определяется коэффициентом агрегированности [95]. Для образцов, изученных Ю.И. Олянским, он изменяется в пределах 2÷19.

Существенное влияние на свойства лессовых пород оказывает качественный и количественный состав глинистых минералов.

В настоящее время говорить об особенностях минерального состава различных генетических типов грунтов не представляется возможным в силу отсутствия достаточного объема материалов [6, 7]. Однако установлено, что содержание монтмориллонита в изученных образцах составляет 30÷64%, гидрослюды – 35÷56% [136 и др.]. Почти во всех образцах монтмориллонит преобладает над гидрослюдой. Согласно В.П. Ананьеву [63], такие грунты следует отнести к замедленно-просадочным. Это означает, что величину просадки можно выявить лишь при испытаниях образцов методом консолидации.

Важнейшей характеристикой свойств лессовых грунтов является их природная влажность. Для изучаемых грунтов она характеризуется данными Таблицы П 2.2.

В целом лессовые грунты северной части региона, в отличие от южного, характеризуются более высокими средними значениями влажности. Влажность лессовых

грунтов террас повсеместно меньше влажности грунтов водораздела, что может быть связано не только с более легким составом первых, но и с характером подстилающих отложений.

Лессовые грунты террас залегают, как правило, на хорошо проницаемых отложениях. В результате в разрезе лессовой толщи выделяются две зоны: зона сезонного колебания влажности и зона постоянной влажности (Рисунок 2.6).

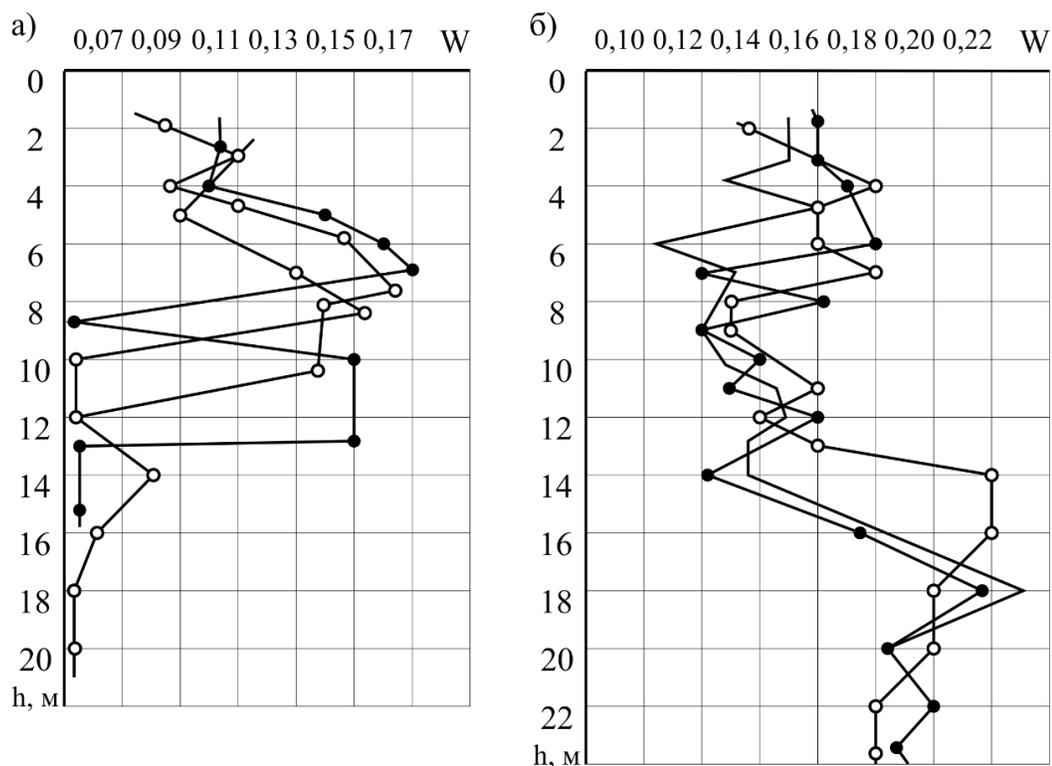


Рис. 2.6. Распределение влажности по глубине просадочной толщи в зависимости от подстилающих отложений

а) Буюкань, мун. Кишинэу, подстилающие отложения – пески

б) Будешть, мун. Кишинэу, подстилающие отложения – глины

Источник: по данным Олянского Ю.И. [136].

Важным, по мнению автора, является тот факт, что в пределах застраиваемых территорий залегание уровня подземных вод может быть выше подошвы лессовой толщи. Как следствие, в нижней части толщи происходит увеличение влажности пород до их полного водонасыщения. В результате такого дополнительного замачивания влажность грунта превышает значение начальной просадочной влажности. Последнее неминуемо приводит к развитию просадочных деформаций в нижней части толщи.

В случае, когда лессовые грунты подстилаются глинами (например, как это имеет место в Центрально-Молдавской возвышенности) характер изменения влажности по глубине предполагает наличие трех зон:

- зона сезонного изменения влажности – до глубины 2,0÷2,5м;
- зона постоянной влажности – до глубины 12÷14м;
- зона повышенной влажности – глубже 12÷14м.

В случае, когда просадочная толща формируется на песках (например, в мун. Кишинэу, р-н Боюкань), зона повышенной влажности отсутствует. Более того, влажность в нижней части просадочной толщи может даже уменьшиться на 3÷4% по сравнению с верхними горизонтами. По данным Ю.И. Олянского, влажность лессовых грунтов в северной части междуречья Прут-Днестр достигает 15÷25%, в центральной части – 8÷20%, в южной – 5÷20%.

Показатели пластичности являются важнейшими классификационными и расчетными характеристиками лессовых пород. По усредненным показателям лессовые породы близки между собой, что является результатом их литологической однотипности [136, с. 5, 38].

Показатели пластичности лессовых грунтов различных генетических типов приведены в Таблице П 2.3.

В северной части территории Молдовы распространены делювиальные разновидности грунтов (на террасах) и элювиальные и делювиальные отложения (на водоразделах и склонах), характеризующиеся повышенной глинистостью.

Лессовый покров содержит значительное количество песка и, реже – гравия.

В южной части региона распространены грунты аналогичного происхождения, однако их образование сопровождалось эоловым привнесом материала с севера.

В результате отложения представлены, в основном, легкими и средними суглинками.

На террасах более широко представлены супеси, особенно в долине р. Прут.

Обособленное место занимает лессовый покров Центральной Молдавской возвышенности: грунты характеризуются пониженными значениями показателей пластичности. В целом изменение пластичности пород региона отвечает общему характеру динамики изменения гранулометрического состава с севера на юг.

Важнейшими показателями посадочных грунтов являются также показатели плотности сложения: природная плотность, пористость, коэффициент пористости, плотность

скелета. Эти характеристики во многом определяют показатели прочности, деформативности, фильтрации, просадочности.

Именно природное недоуплотнение лессовых грунтов является причиной просадочности.

Значения пористости лессовых грунтов по данным Ю.И. Олянского приведены в Таблицах П 2.4-П 2.5.

В целом для территории Молдовы существует тенденция увеличения пористости с севера на юг от элювиально-делювиальных к делювиально-эоловым грунтам.

Характер изменения пористости по глубине сложный. Имеющиеся данные свидетельствуют о том, что пористость лессовых грунтов террас, залегающих на хорошо проницаемых песчаных отложениях, выше, чем у лессовых грунтов водораздела. В целом наблюдается тенденция уменьшения пористости с глубиной.

Средние значения показателей плотности представлены в Таблице П 2.6.

Наименьшими значениями характеризуются высокопористые отложения верхнего и современного отделов. Колебание плотности составляет  $1,41 \div 2,00 \text{ г/см}^3$ .

Для лессовых грунтов покрова террас средние значения плотности на  $0,04 \div 0,07 \text{ г/см}^3$  меньше, чем у грунтов водораздела.

Наиболее плотными являются лессовые грунты северной части региона, характеризующиеся высокой влажностью, глинистостью и частично меньшей пористостью, чем лессовые грунты юга междуречья Прута и Днестра.

Одной из важнейших характеристик, используемых для расчета просадки основания, является величина относительной просадочности  $\varepsilon_{sl}$ .

К сожалению, достоверность ее определения до настоящего времени вызывает множество споров.

Относительная просадочность  $\varepsilon_{sl}$ , определяемая как относительное сжатие грунта при заданных давлениях и степени повышения влажности, устанавливается в большинстве случаев в лабораторных условиях с использованием компрессионных приборов на образцах ненарушенной структуры. При этом используются следующие методы [147, стр. 19]:

- метод одной кривой;
- метод двух кривых;
- комбинированный метод;

– упрощенным метод.

Оценка достоверности получаемых значений относительной просадочности методом «одной кривой» и «двумя кривыми» дается по-разному различными исследователями.

В частности, А.К. Ларионов и др. (1959г.), Н.И. Кригер и В.С. Быкова (1968г.), Э.М. Садетова (1969г.), Г.М. Терехина (1961г.) считают, что определение  $\varepsilon_{sl}$  методом «одной кривой» более правильно моделирует просадку лессовой толщи. Исследователи Т.З. Чахвадзе (1963г.), Ю.М. и М.Д. Абелевы (1968г.), А.М. Дранников (1961г.), Н.А. Макаренко (1971г.) утверждают, что оба метода равноценны, следовательно, равнозначны и получаемые результаты. В пособии по проектированию зданий и сооружений на просадочных грунтах ни одному из методов не отдается предпочтение.

В то же время результаты исследований, выполненных в лаборатории инженерной геологии ИГС АНМ [160], позволили сделать вывод о том, что лабораторный метод определения просадочности, используемый в изыскательных организациях, не дает удовлетворительных результатов. Это объясняется, в том числе, отсутствием возможности моделирования длительного воздействия воды на грунт и фильтрацию.

На значение  $\varepsilon_{sl}$ , получаемые как по одной, так и по двум кривым, накладываются искажающие основной фон «шумы» с различными амплитудой, знаком, интенсивностью и т.д. Объясняется это неизбежными нарушениями естественной структуры, отбираемой в поле пробы грунта, а также ошибками при определении  $\varepsilon_{sl}$  в лаборатории.

В связи с этим, определения  $\varepsilon_{sl}$  как по одной, так и по другой методике, дают результаты, представляющие собой случайные значения, а, следовательно, независимо от методики, пригодной для прогноза.

Анализ имеющихся данных, обработанных автором для территории региона, свидетельствует о более высокой просадочности лессовых грунтов террас по сравнению с грунтами водораздела, что обусловлено их большей пористостью и меньшей влажностью.

С учетом того, что в настоящее время в республике активно ведется застройка склоновых территорий, изучение просадочности и, что важнее, вопросов её устранения приобретает особое значение.

Результаты исследований относительной просадочности и начального просадочного давления приведены в Таблице П 2.7.

На основе анализа просадочности лессовой толщи можно заключить, что лессовые грунты террас главных рек характеризуются высокими значениями начального просадочного давления ( $0,085 \div 0,097$  МПа), вследствие чего при мощности  $4 \div 5$  м они способны давать просадку только при дополнительной нагрузке. Для лессовых грунтов водораздела просадка от собственного веса отсутствует при их мощности  $5 \div 7$  м [136, с. 63].

Определения просадочности, осуществленные автором, подтверждают результаты ранее выполненных исследований.

Данный факт говорит о том, что величина просадки во всех случаях при замачивании будет значительной, т.к. передающееся на грунт основания давление от фундаментов, как правило, превышает  $150 \div 200$  кПа.

Важным также является тот факт, что существует различие между лессовыми грунтами террас и водораздела. Относительная просадочность последних, как правило, меньше и составляет  $0,025$ , в то время как для террас рек Прут и Днестр она достигает  $0,045$  и  $0,037$  соответственно.

Аналогичная картина наблюдается и для начального просадочного давления. На водоразделе северной части региона его среднее значение составляет  $0,14$  МПа, а на террасах рек –  $0,097$  и  $0,085$  МПа.

Лессовый покров Центрально-Молдавской возвышенности по своим просадочным свойствам наиболее близко приближается к лессовому покрову южной части водораздела Прут-Днестр. Средние значения относительной просадочности и начального просадочного давления составляют  $0,037$  и  $0,104$  МПа соответственно. Данное обстоятельство, безусловно, потребует принятия проектировщиками дополнительных мер по ликвидации просадочности толщи.

При необходимости устранения просадочных свойств под подошвой фундаментов важное значение имеет изучение изменения просадочности лессовой толщи с глубиной.

В.П. Ананьев увязывает характер распределения относительной просадочности по глубине с типом грунтовых условий по просадочности.

При I-ом типе просадочные свойства с глубиной уменьшаются; при II-ом – просадочность сохраняется почти в одинаковых пределах вплоть до кровли слоя непросадочного грунта.

При проектировании плитных фундаментов, когда давление по подошве от внешней нагрузки также изменяется незначительно по глубине, величина суммарных напряжений  $\sigma_{\Sigma} = \sigma_{zg sat} + \sigma_{zp}$  будет непрерывно нарастать до кровли непросадочного грунта.

Это обстоятельство неизбежно повлечет увеличение суммарных деформаций основания.

При проектировании также необходимо будет учитывать, что на проявление свойств лессовых грунтов существенное влияние будут оказывать подстилающие отложения.

Для территории Молдовы толща лессовых пород, залегающая на террасах рек, характеризуется уменьшением относительной просадочности с глубиной, за исключением приповерхностных 2-3-х метровых горизонтов, в которых сезонное замачивание привело к деградации просадочности.

Характер изменения просадочности с глубиной иллюстрируется данными, полученными Ю.И. Олянским для двух районов мун. Кишинэу (Таблица 2.2). Лессовая толща в первом случае имеет мощность более 16м и подстилается глинами; во втором – толщей песка мощностью более 10м.

Таблица 2.2. Зависимость относительной просадочности  $\varepsilon_{sl}$  при давлении 0,3Мпа от характера подстилающих пород

Глубина, м	Глина		Песок	
	Количество определений, n	Среднее значение, $\varepsilon_{sl}$	Количество определений, n	Среднее значение, $\varepsilon_{sl}$
	Район Будешть		Район Боюкань	
0÷2	12	0,035	20	0,055
2÷4	15	0,036	19	0,046
4÷6	17	0,037	20	0,048
6÷8	15	0,030	21	0,028
8÷10	12	0,027	18	0,028
10÷12	8	0,008	13	0,023
12÷14	9	0,009	11	0,020
14÷16	6	0,006	6	0,020

Источник: данные Олянского Ю.И. [136]

На основании выполненного исследования можно заключить, что показатели состава и свойства грунтов строительной площадки будут резко отличаться в зависимости от её месторасположения и подверженности техногенному воздействию. Данный факт должен быть учтён при подготовке основания фундаментов.

### **2.3. Результаты исследования причин возможного снижения прочности просадочных грунтов**

Как уже отмечалось в главе 1 настоящего исследования, строительство на территории Молдовы осуществляется в сложных инженерно-геологических условиях. Нарушения природного равновесия в геологической среде, в том числе вызванные замачиванием оснований сооружений, дополнительными нагрузками, возникающими в пределах строительных площадок, формируют новые качества и свойства грунтов. Как следствие, изменяется их несущая способность. Это означает, что весьма важна правильная оценка физико-механических свойств грунтов, попадающих в сферу инженерного воздействия.

Собранный автором фактический материал показал, что исследования прочности грунтов в Молдове с учетом их реологических свойств относятся к двум разновидностям глинистых грунтов, слагающих большинство склонов и откосов [28, 146, 148, 170]:

- глины пестро-цветные, комковатые, перемятые, почти полностью потерявшие свое первичное сложение, с вертикальной трещиноватостью и частыми наклонными зеркалами скольжения;
- глины серовато-зеленые, стально-серые, темно-синие, с присыпками песка по поверхностям напластования, сохранившим первичное сложение.

Вопросы изучения прочности лессовых грунтов освещены недостаточно.

Как следствие, в справочной литературе и региональных таблицах отсутствуют значения реологических характеристик: структурного сцепления, порога ползучести и др. Важно отметить, что именно эти параметры определяют возможность проявления деформаций ползучести грунтов и снижение прочности во времени, что позволяет прогнозировать их длительную прочность и, тем самым, достоверно оценивать несущую способность основания.

Следует также отметить, что за последние почти 30 лет при проектировании зданий и сооружений назначение параметров прочности выполняется не на основе полевых или лабораторных исследований, а принимается по Таблицам 1-3 Приложения 1 к СНиП 2.02.01-83, что для зданий I и II класса ответственности не допускается [161].

Данный факт ограничил возможность получения репрезентативной выборки ранее выполненных испытаний и потребовал от автора проведения новых обширных исследований по изучению прочностных и реологических характеристик просадочных грунтов.

Изучение свойств просадочных грунтов проводилось после анализа геологических карт и типичных геологических разрезов, составленных учеными и сотрудниками АНМ, а также архивных материалов проектно-изыскательных организаций.

На выбранных опорных участках был проведен комплекс инженерно-геологических работ [175]: сбор и изучение материалов ранее проведенных изысканий, рекогносцировочное обследование территории, бурение скважин с отбором монолитов грунта (Рисунок 2.7).



Рис. 2.7. Отбор монолита для испытаний в лаборатории

Источник: фото автора

Основная экспериментальная часть исследовательской работы проводилась в геотехнической лаборатории «Ingeotehgrup». Результаты проведенных экспериментов были дополнены архивными данными институтов IPDA, Urbanproject, а также частных компаний.

Предварительно изучались физические свойства просадочных суглинков. На основе построенных графиков рассеивания физических показателей было установлено, что

закономерного изменения физических свойств с глубиной не наблюдается (Рисунки 2.8-2.10; П 3.1-П 3.6).

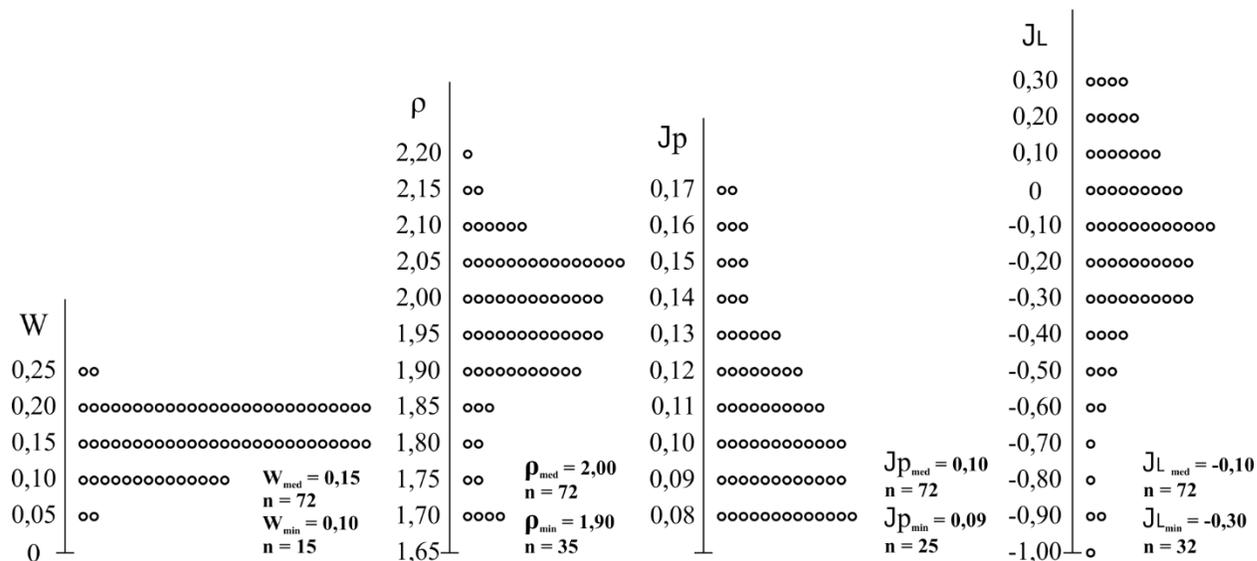


Рис. 2.8. Графики рассеивания показателей физических свойств суглинков, отобранных в южных районах республики

Источник: разработано автором

В общем комплексе этих исследований основное внимание уделялось правильному определению физико-механических характеристик грунтов ненарушенной структуры и природной влажности, так как от этих показателей зависят дальнейшие выводы о свойствах грунтов.

Незначительное нарушение структуры и влажности приводит к коренному изменению прочностных и деформационных показателей. Поэтому, кроме отбора монолитов грунтов при разведочном бурении, проводилось так же и шурфование с отбором контрольных образцов в виде монолитов-кубов, тщательно герметически упакованных и испытанных в геотехнической лаборатории в сжатые сроки.

Также проводился дополнительный контроль, основанный на испытаниях образцов грунта в полевых условиях с использованием лаборатории Литвинова для ускоренных испытаний строительных свойств грунтов непосредственно в природных условиях [120].

Результаты испытаний проведенных при личном участии автора и собранный архивный материал легли в основу общей выборки для последующей обработки.

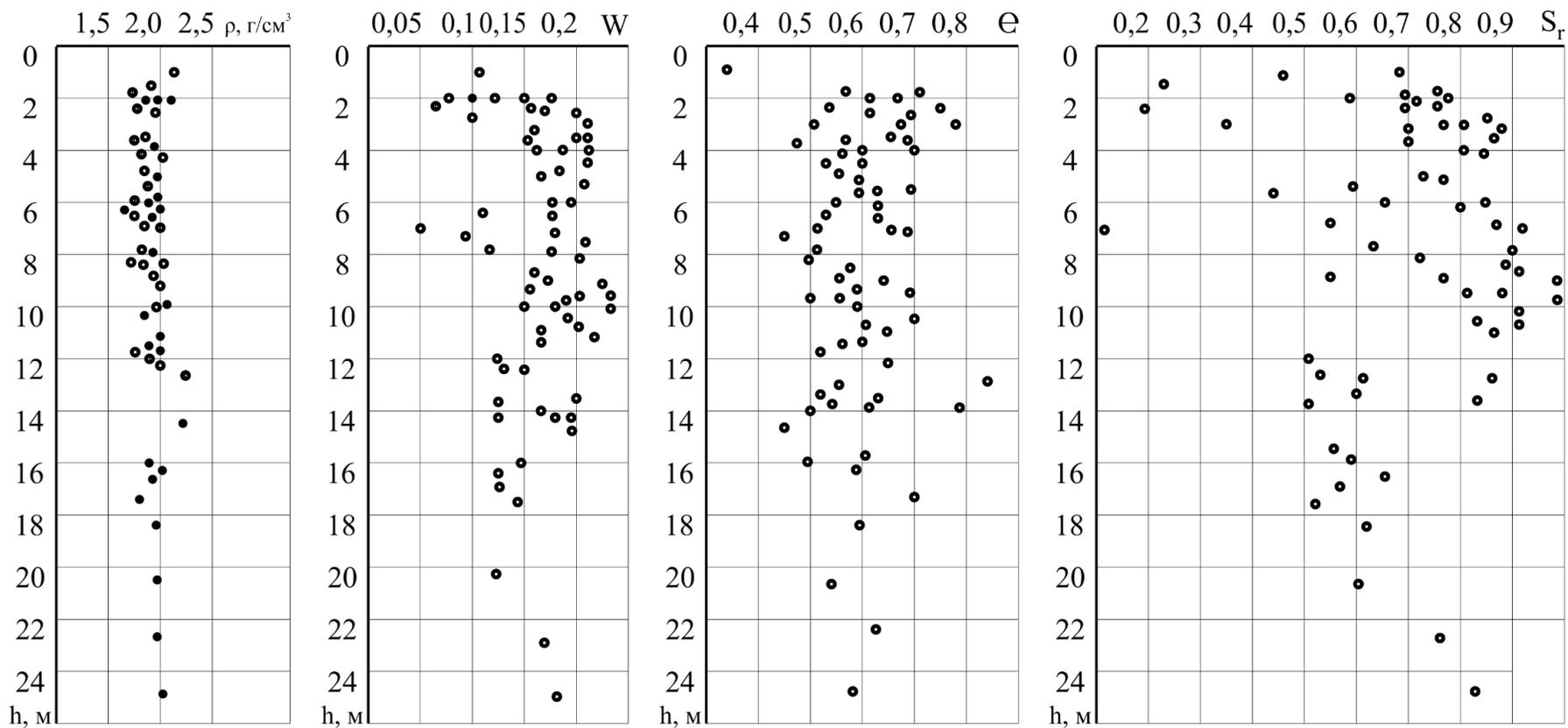


Рис. 2.9. Графики рассеивания физических характеристик по глубине.

Суглинки, южный район

Источник: разработано автором

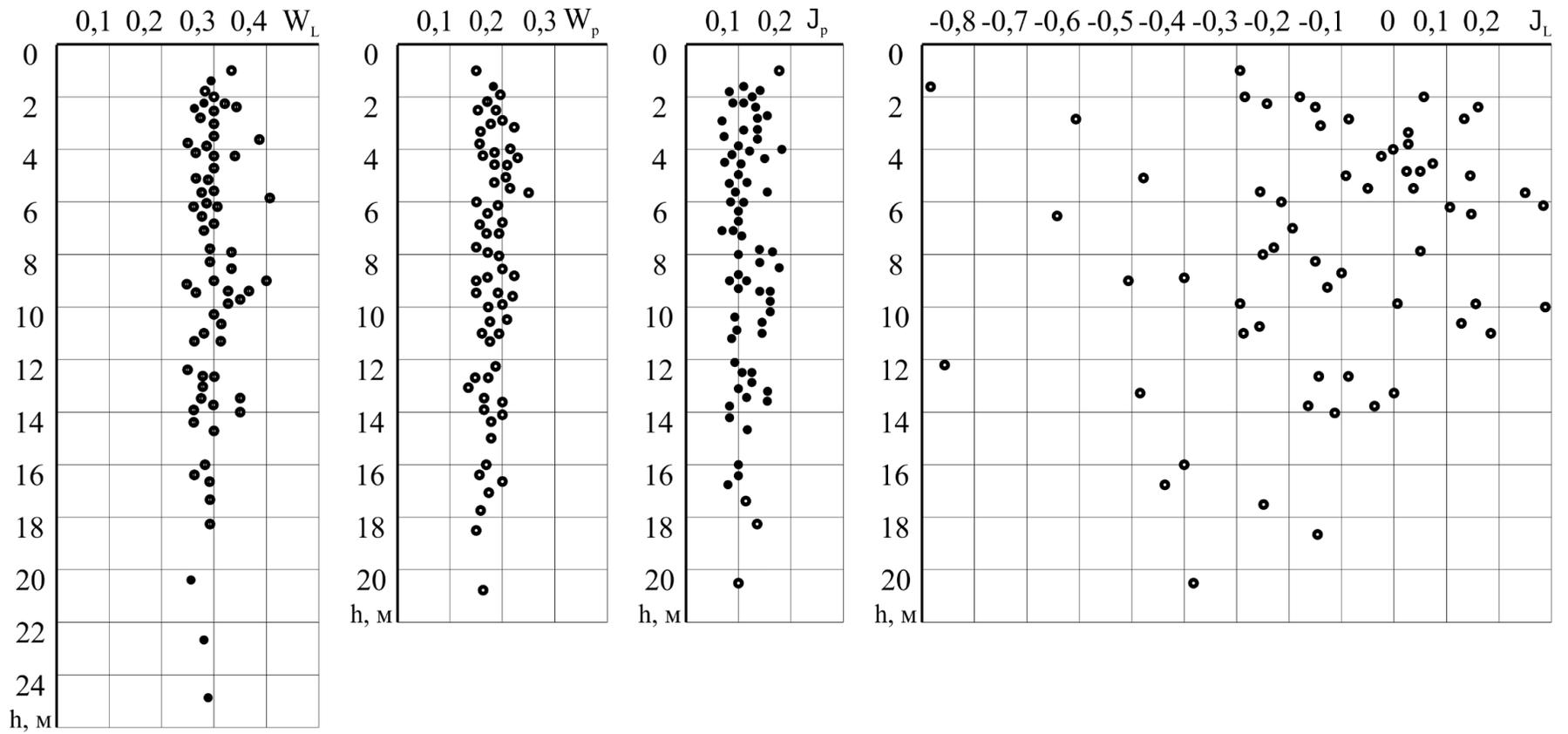


Рис. 2.10. Графики рассеивания физических характеристик по глубине.

Суглинки, южный район (окончание)

Источник: разработано автором

Территориально выявлено незначительное увеличение плотности образцов, отобранных в южных районах республики, снижение их влажности и, как следствие, консистенции. Отмечен также значительный разброс опытных определений характеристик физических свойств (Таблица 2.3).

Таблица 2.3. Показатели физических свойств суглинков

Район республики	Плотность частиц $\rho_s$ , г/см <sup>3</sup>	Плотность $\rho$ , г/см <sup>3</sup>	Влажность $w$ , %	Число пластичности $I_p$ , дол.ед.	Показатель текучести $I_L$ , дол.ед.
Северный	2,69	$\frac{1,95}{1,65 - 2,10}$	$\frac{25}{15 - 40}$	$\frac{14}{7 - 17}$	$\frac{0,2}{-0,5 - 0,7}$
Центральный	2,72	$\frac{1,95}{1,5 - 2,2}$	$\frac{15}{5 - 25}$	$\frac{14}{10 - 17}$	$\frac{0}{-0,5 - 0,4}$
Южный	2,70	$\frac{2,00}{1,7 - 2,2}$	$\frac{15}{5 - 20}$	$\frac{10}{8 - 17}$	$\frac{-0,1}{-0,6 - 0,3}$

Источник: разработано автором

Прочностные свойства изучались на приборах прямого среза (Рисунки 2.11÷2.12) при вертикальном давлении 100, 150, 200 и 300 кПа. Для образцов, испытанных после дополнительного увлажнения, вертикальное давление принималось равным 50, 100, 150 кПа. Опыты проводились по методике быстрого и медленного сдвига. Построенные графики рассеивания также выявили значительный разброс опытных данных, что в первую очередь может быть объяснено широким диапазоном консистенции испытанных образцов (Таблица 2.4, Рисунки 2.13÷2.15, П 3.7÷П 3.8).

Таблица 2.4. Показатели прочностных свойств суглинков

Район республики	Интервал изменения прочности $\tau_f$ , кПа при давлении $\sigma = 200$ кПа	Угол внутреннего трения $\varphi$ , град	Общее сцепление $C_w$ , кПа	Структурное сцепление $C_c$ , кПа	Связность водно-коллоидная $\Sigma_w$ , кПа
Северный	39÷222	11	60	40	20
Центральный	50÷375	14	120	60	60
Южный	20÷280	17	120	70	50

Источник: разработано автором



Рис. 2.11. Подготовка к испытаниям на сдвиговом приборе

Источник: фото автора



Рис. 2.12. Установка кольца с грунтом в верхнюю каретку сдвигового прибора

Источник: фото автора

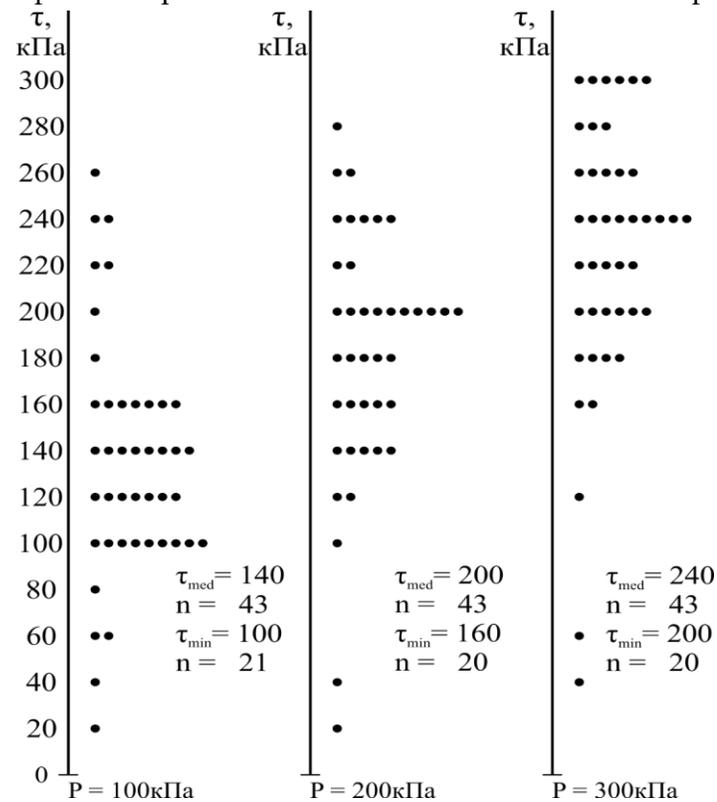


Рис. 2.13. Графики рассеивания сопротивляемости сдвигу. Суглинки, южный район, естественная поверхность сдвига

Источник: разработано автором

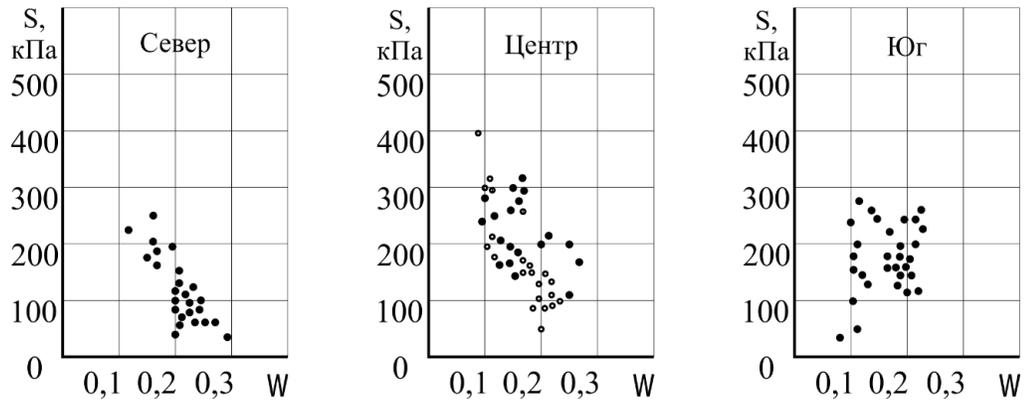


Рис. 2.14. Графики рассеивания прочности от влажности. Суглинки

Источник: разработано автором

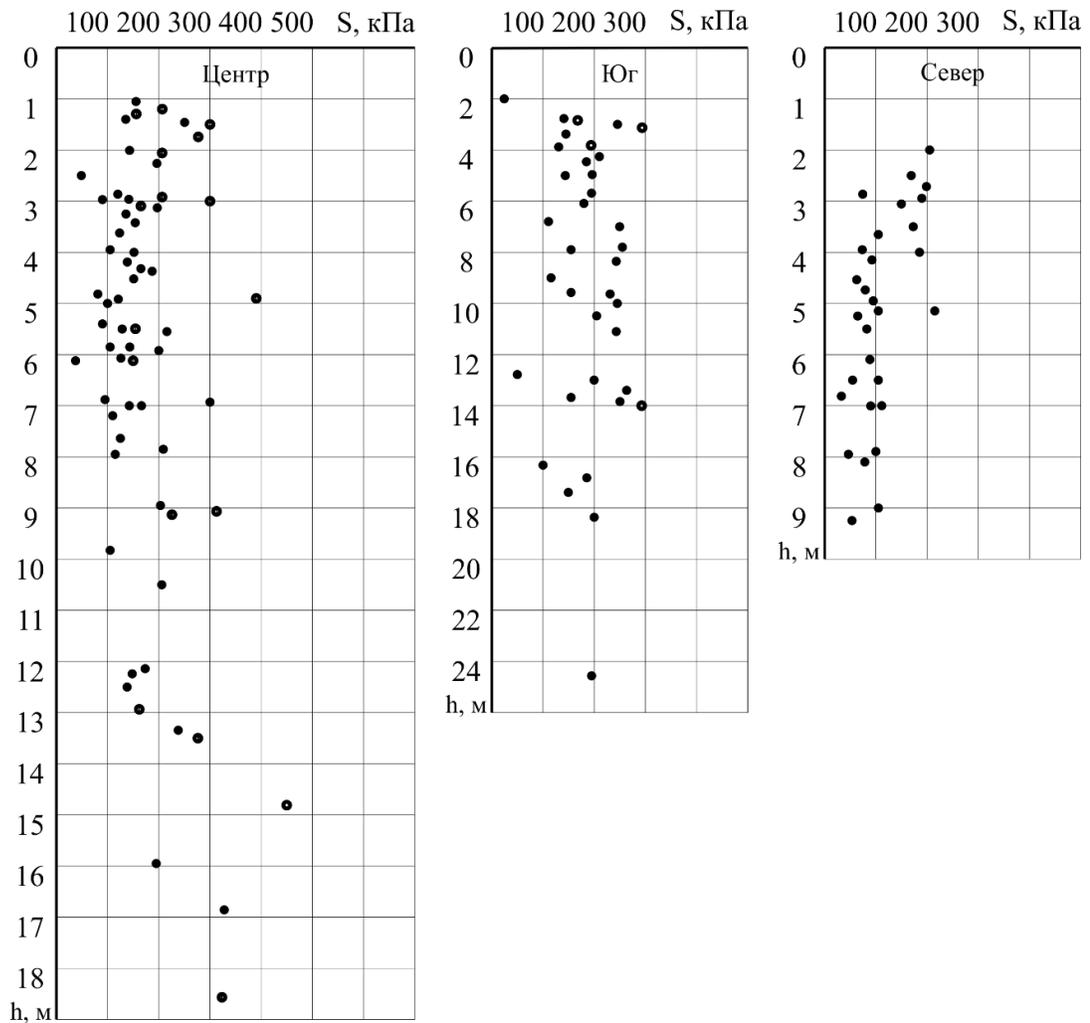


Рис. 2.15. Графики рассеивания прочности по глубине. Суглинки,  $P = 200$ кПа

Источник: разработано автором

Для выявления природы прочности исследуемых грунтов были обработаны результаты более 750 опытов на сдвиг образцов с естественной и подготовленной поверхностью сдвига (Рисунки П 3.9÷П 3.11). Типичный характер поверхности в зоне сдвига при проведении опытов с подготовленной поверхностью представлен на Рисунке 2.16.



Рис. 2.16. Испытания на сдвиг по подготовленной поверхности.

Характер поверхности в зоне сдвига

Источник: фото автора

Уравнения, характеризующие прочность суглинков северных  $S_1$ , центральных  $S_2$  и южных  $S_3$  районов выражаются соответствующими зависимостями (Рисунки 2.17÷2.19):

$$S_1 = 0,19\sigma + 60 \text{ кПа} \quad (2.1)$$

$$S_2 = 0,25\sigma + 120 \text{ кПа} \quad (2.2)$$

$$S_3 = 0,30\sigma + 120 \text{ кПа}, \quad (2.3)$$

где  $\sigma$  – давление, нормальное к плоскости сдвига.

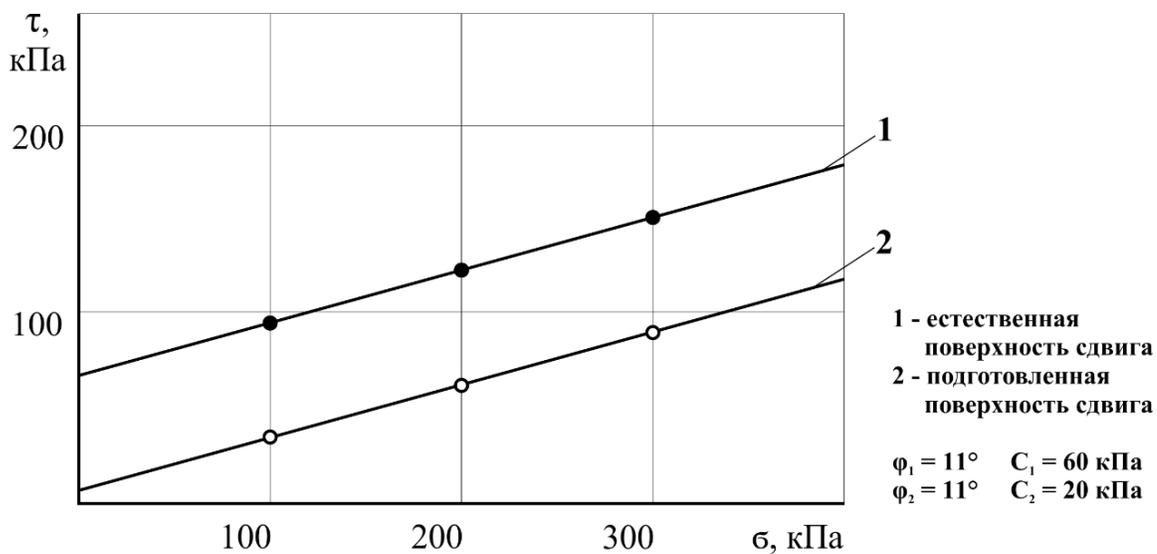


Рис. 2.17. Зависимость сопротивляемости сдвигу от давления: северный район

Источник: разработано автором

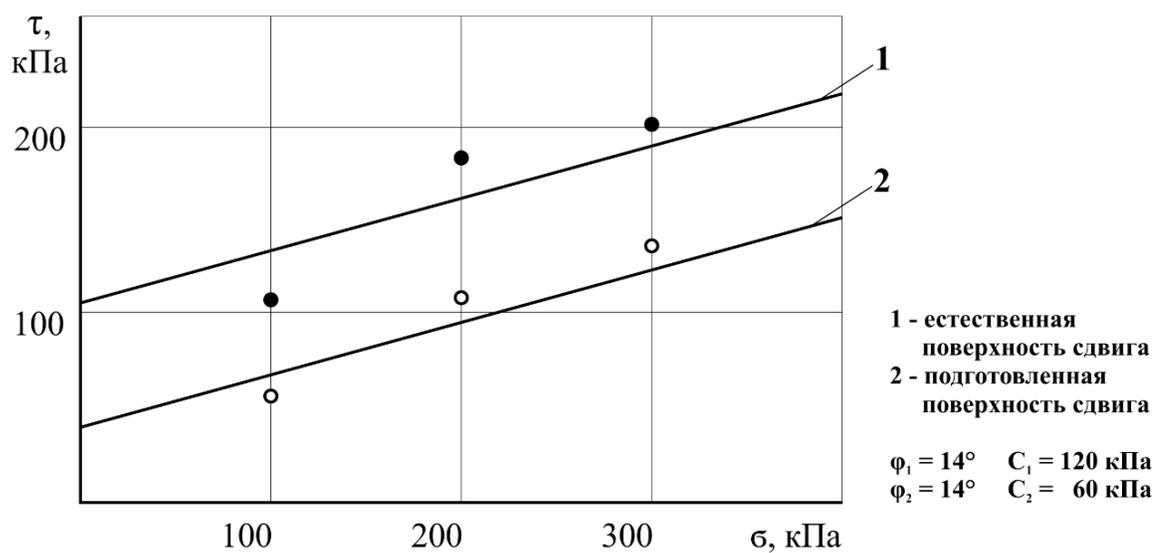


Рис. 2.18. Зависимость сопротивляемости сдвигу от давления: центральный район

Источник: разработано автором

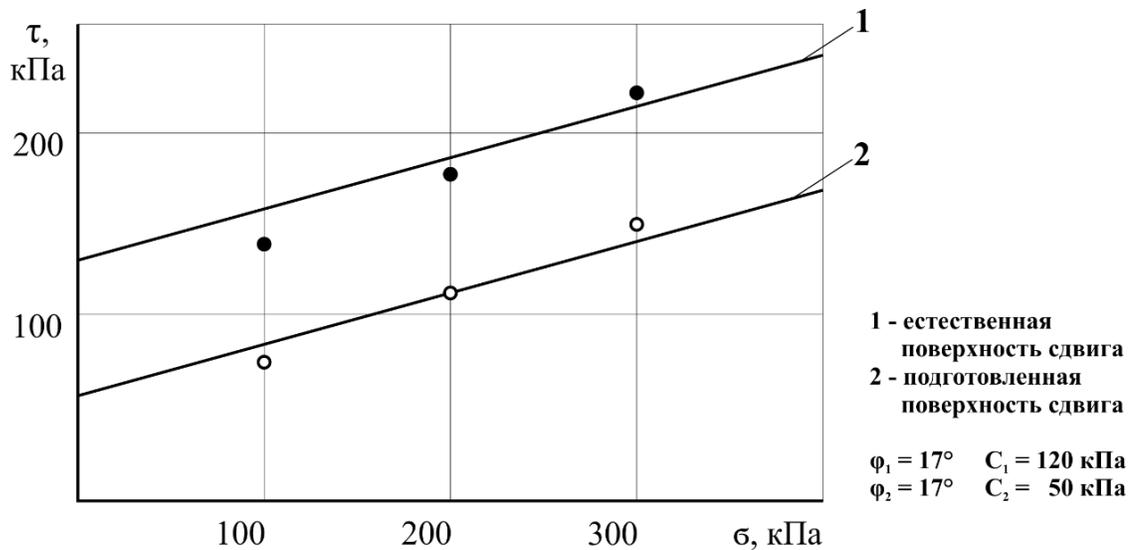


Рис. 2.19. Зависимость сопротивляемости сдвигу от давления: южный район

Источник: разработано автором

По результатам испытаний на сдвиг по подготовленной поверхности было произведено разделение общего сцепления ( $C_w$ ) на две составляющие: жесткое структурное сцепление ( $C_c$ ) и связность ( $\Sigma_w$ ) водно-коллоидного характера (Таблица 2.4). Это позволило на основе концепции проф. Н.Н. Маслова [123 – 125] получить уравнение, характеризующее прочность исследуемых грунтов при полном нарушении структурного сцепления:

$$S_{res1} = 0,19\sigma + 20, \text{ кПа} \quad (2.4)$$

$$S_{res2} = 0,25\sigma + 60, \text{ кПа} \quad (2.5)$$

$$S_{res3} = 0,30\sigma + 50, \text{ кПа} \quad (2.6)$$

Для более детального изучения вопроса о возможном снижении прочности при изменении консистенции были проведены опыты на сдвиг водонасыщенных грунтов, специальная подготовка выборки и ее последующая обработка по методу «плотности-влажности» (Рисунки 2.20-2.22, П 3.12-П 3.14).

Установлено, что влияние консистенции в большей степени проявляется в интервале консистенции, превышающей полутвердую. При твердой консистенции зависимости практически не наблюдается. По этой причине не удалось получить зависимости прочности от консистенции для южных районов ( $I_L = -0,1$ ).

Проведенный подробный анализ физических показателей образцов, отобранных в северных и центральных районах, позволил произвести для них обработку общей выборки.

В результате были получены зависимости параметров прочности от консистенции (Рисунки 2.21, 2.22), которые могут быть использованы на стадии предварительного заключения при решении инженерных задач.

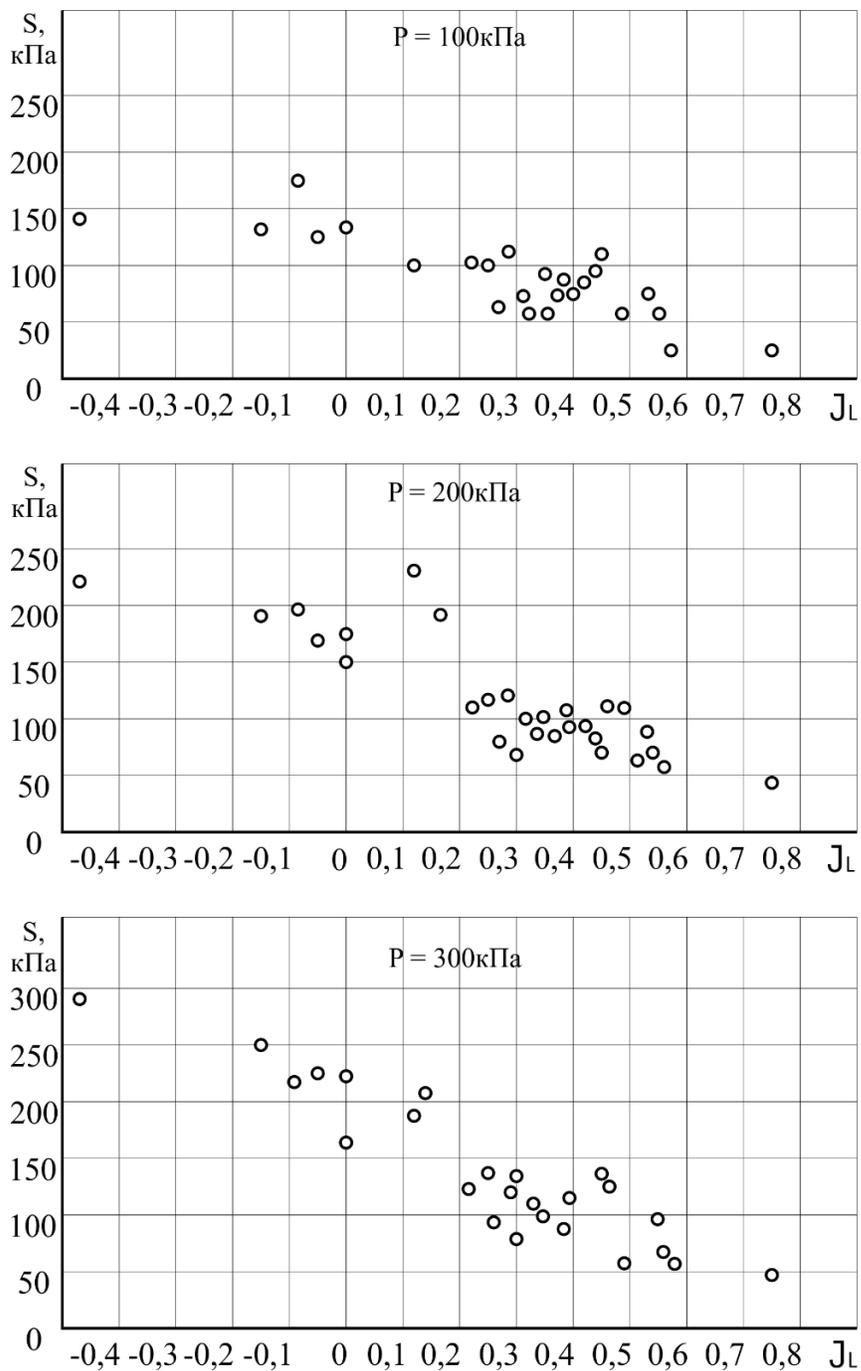


Рис. 2.20. Графики рассеивания прочности от консистенции.

Суглинки после дополнительного увлажнения, северный район

Источник: разработано автором

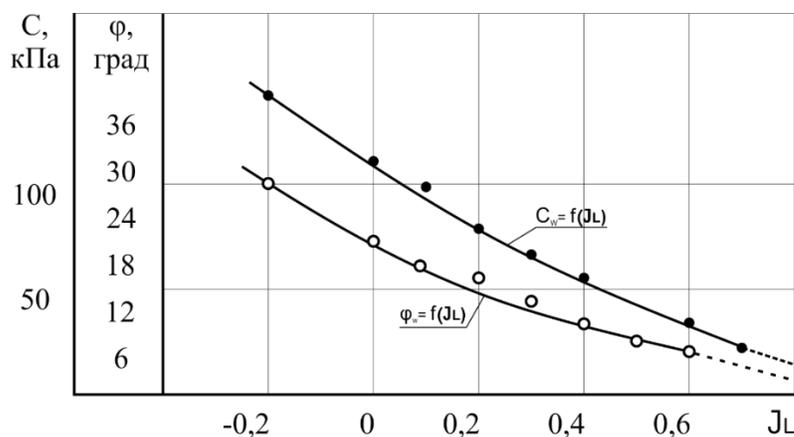


Рис. 2.21. Зависимость параметров прочности от консистенции, полученная методом «плотности-влажности». Суглинки, район север-центр

Источник: разработано автором

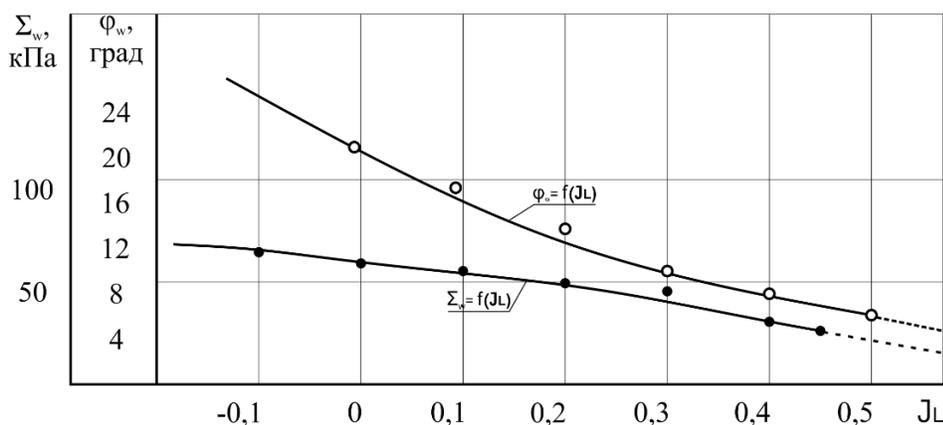


Рис. 2.22. Зависимость сцепления связности и угла внутреннего трения от консистенции. Суглинки (общая выборка)

Источник: разработано автором

В соответствии с физико-технической теорией ползучести проф. Н.Н. Маслова [125] основной реологической характеристикой грунта является порог ползучести  $\tau_{lim}$ , который может быть определен аналитическим путем по формуле:

$$\tau_{lim} = \sigma_n \operatorname{tg} \varphi_w + C_s, \quad (2.7)$$

где:  $\sigma_n$  – нормальное напряжение, кПа;

$\operatorname{tg} \varphi_w$  – тангенс истинного угла внутреннего трения;

$C_s$  – структурное сцепление, кПа.

Необходимо отметить, что результаты опытного определения порога ползучести суглинков Молдовы практически отсутствуют. Некоторые единичные образцы подвергались

испытаниям в лабораториях Молдовы, Днепропетровска, Одессы. Однако, вследствие отсутствия единой комплексной программы, были решены отдельные частные задачи. Отсутствует единство мнений и по методике проведения испытаний.

В рамках настоящего исследования величина структурного сцепления ( $C_c$ ) устанавливалась по результатам испытаний образцов грунта по подготовленной поверхности.

На основе полученных зависимостей применительно к расчетной консистенции для выделенных районов выражения порога ползучести имеют вид (2.8-2.10):

$$\text{Север: } \tau_{lim1} = 0,19\sigma + 40, \text{ кПа} \quad (2.8)$$

$$\text{Центр: } \tau_{lim2} = 0,25\sigma + 60, \text{ кПа} \quad (2.9)$$

$$\text{Юг: } \tau_{lim3} = 0,30\sigma + 70, \text{ кПа} \quad (2.10)$$

При проведении настоящих исследований в отдельный инженерно-геологический элемент (ИГЭ) были выделены красно-бурые суглинки.

В лаборатории изучались образцы грунтов, отобранные, главным образом, на площадке строительства комплекса жилых домов по ул. Тестемицану, мун. Кишинэу, и откоса выемки автомобильной дороги Кишинэу-Полтава.

Результаты этих исследований сведены в Таблицах 2.5, 2.6.

Таблица 2.5. Результаты исследований прочностных свойств красно-бурых суглинков. Центральный район, участок автодороги Кишинэу-Полтава

Условия проведения испытаний	Глубина отбора монолитов $h$ , м	Показатель текучести, $I_L$		Параметры прочности образцов, испытанных на сдвиг			
		природный	после увлажнения	при естественной влажности		после дополнительного увлажнения	
				$\phi$ , град	$C$ , кПа	$\phi$ , град	$C$ , кПа
1*	1-3	-0,50	0,38	13	130	13	20
	6	-0,30	0,17	13	50	16	44
	7-15	-0,08	-	16	100	-	-
2*	1-3	-0,50	0,38	15	80	13	10
	6	-0,30	0,17	14	50	16	10
	7-15	-0,08	-	15	50	-	-
3*	1-3	не определялся		13	30	9	10
	7-15	не определялся		10	20	12	9

Примечание: 1\* – сдвиг образцов естественной структуры, 2\* – сдвиг образцов с подготовленной поверхностью, 3\* – сдвиг образцов с подготовленной увлажненной поверхностью.

Источник: по данным А. Кырлана [146]

Таблица 2.6. Результаты исследований прочностных свойств красно-бурых суглинков. Центральный район, участок №2, ул. Тестемицану, мун. Кишинэу

Условия проведения испытаний	Глубина отбора монолитов $h$ , м	Показатель текучести, $I_L$		Параметры прочности образцов, испытанных на сдвиг			
		природный	после увлажнения	при естественной влажности		после дополнительного увлажнения	
				$\varphi$ , град	$C$ , кПа	$\varphi$ , град	$C$ , кПа
1*	10,0	0,0	0,30	18	70	14	28
2*	10,0	0,0	0,30	16	30	12	20
3*	10,0	не определялся		11	22	10	8

*Примечание:* 1\* – сдвиг образцов естественной структуры, 2\* – сдвиг образцов с подготовленной поверхностью, 3\* – сдвиг образцов с подготовленной увлажненной поверхностью.

Источник: разработано автором

Совершенно очевидно, что изменение прочности во времени зависит не только от влажностного режима (консистенции), но и условий работы грунта. При отсутствии значительных касательных напряжений в условиях консолидации грунта под фундаментами следует ожидать улучшения прочностных характеристик. На склонах, не достигших предельного уположения, касательные напряжения могут способствовать развитию процессов ползучести. В откосах выемок и искусственных сооружений определяющую роль будут играть процессы многократного замачивания и высыхания.

Формирование лессовых пород происходило в условиях сухого климата при преобладании процессов физического выветривания. Как следствие, эти породы весьма чувствительны к изменениям физико-географических условий и геологической обстановки. По образному выражению М. П. Лысенко лессовые грунты способны “приспосабливаться” к изменениям окружающей природной обстановки [121, с. 153].

Применительно к проводимым исследованиям это предполагает необходимость учитывать влияние на просадочные грунты некоторых аспектов инженерной деятельности человека, в первую очередь подъем УПВ, обуславливающий изменение существующего естественного влажностного режима.

Полученные автором результаты исследования причин возможного снижения прочности просадочных грунтов были использованы при составлении региональных таблиц (см. Главу 3).

## 2.4. Выводы по главе 2

1. Изучение опыта строительства на просадочных грунтах в Молдове свидетельствует, что применяемые с целью устранения просадки конструктивные решения в ряде случаев не позволяют избежать недопустимых деформаций оснований фундаментов, а также зданий и сооружений в целом.
2. Основной причиной изменения в напряженно-деформированном состоянии основания, фундаментов и конструкций надземной части и возникающих деформаций в большинстве случаев послужило дополнительное замачивание грунтов основания, которое проявилось спустя некоторое (иногда, длительное) время. Возможность проявления послепросадочного уплотнения, связанного с длительной фильтрацией воды через лессовую толщу, как правило, не учитывалось.
3. Количественная оценка физико-механических и просадочных характеристик лессовых грунтов Молдовы, проведенная В.С. Гончаровым, Г.Е. Костиком, Ю.И. Олянским в период 1970-2000 гг., на основе обширных исследований, тем не менее, нуждается в корректировке, так как не учитывает имевшие место за последние десятилетия изменения в естественно-исторической обстановке, вызванные урбанизацией территории и строительством в условиях плотной застройки.
4. В сложных инженерно-геологических условиях Молдовы необходимо учитывать региональные особенности территории. Вопрос изучения природы прочности просадочных грунтов и ее изменение под влиянием различных факторов остается одним из важнейших.
5. Собранный фактический материал показал, что вопросы изучения прочности лессовых грунтов освещены недостаточно. При выполнении диссертационной работы данный факт ограничил возможность получения репрезентативной выборки по результатам ранее выполненных изысканий и потребовал от автора проведения новых обширных исследований по изучению физических, прочностных и реологических характеристик грунтов.
6. На основе теории “плотности-влажности” и физико-технической теории ползучести Н.Н. Маслова выявлены реологические параметры просадочных суглинков. Установлено влияние влажности на значения прочностных характеристик грунтов, построены зависимости прочности от консистенции. Для предварительного выбора расчетных показателей, характеризующих прочность просадочных суглинков, могут быть использованы полученные зависимости.

7. На основе проведенных опытов на сдвиг образцов с подготовленной поверхностью и построенных корреляционных зависимостей получены уравнения, характеризующие порог ползучести просадочных грунтов для северной (1), центральной (2) и южной (3) частей республики, имеющих соответственно, следующий вид:  $\tau_{lim1} = 0,19\sigma + 40$ ;  $\tau_{lim2} = 0,25\sigma + 60$ ;  $\tau_{lim3} = 0,30\sigma + 70$ , кПа.
8. Установлено, что падение прочности просадочных суглинков во времени может быть обусловлено следующими причинами: в результате нарушения жестких цементационных связей структурного сцепления ( $C_c$ ) в условиях превышения возникающих в грунте касательных напряжений значений порога ползучести ( $\tau > \tau_{lim}$ ); в результате снижения связности водо-колоидного характера ( $\Sigma_w$ ) в условиях изменения существующего естественного влажностного режима (консистенции) вследствие дополнительного увлажнения в результате инженерной деятельности, в том числе – подъема УПВ.
9. Получены новые данные о физических, прочностных, деформационных и просадочных свойствах грунтов в условиях свободного залегания и в районах плотной застройки.
10. Результаты исследований легли в основу расчетов при проведении моделирования с использованием программного комплекса PLAXIS напряженно-деформированного состояния основания 10-этажного жилого дома в мун. Кишинэу.
11. Выявлено, что при проектировании плитных фундаментов, когда давление по подошве от внешней нагрузки изменяется по глубине незначительно, величина суммарных напряжений непрерывно нарастает до кровли непросадочного грунта. Это обстоятельство неизбежно приводит к увеличению суммарных деформаций оснований, подвергшихся дополнительному (аварийному) замачиванию.
12. Развитие неравномерных деформаций зданий и сооружений, нарушение “нормальных” условий эксплуатационного режима, чаще всего, является следствием: уменьшения деформационных характеристик грунтов основания в результате его дополнительного увлажнения; уменьшения прочностных характеристик и, как следствие, расчетного сопротивления грунта ( $R$ ): под краями фундаментов (плиты) появляются области пластических деформаций, в которых не соблюдается условие  $P \leq R$  и увеличиваются зоны локальных сдвигов ( $\tau > S$ ); проявления дополнительных послепросадочных деформаций.

### **3. ОЦЕНКА РЕЗУЛЬТАТОВ УСТРАНЕНИЯ ПРОСАДОЧНЫХ СВОЙСТВ ГРУНТОВ ПУТЕМ УСТРОЙСТВА ГРУНТОВЫХ СВАЙ, ВЫПОЛНЕННЫХ С ПОМОЩЬЮ ВИБРОПОГРУЖАТЕЛЯ**

#### **3.1. Анализ влияния уплотнения на прочностные, деформационные, просадочные и реологические характеристики исследуемых грунтов**

Анализ состояния объектов, возведенных на просадочных грунтах, свидетельствует, что просадочные процессы по-прежнему относятся к опасным геологическим процессам, затрудняющим строительство в республике и приводящим к резкому удорожанию стоимости работ нулевого цикла [145].

В главе 1 данного исследования отмечалось, что техногенные факторы активизируют природные геологические процессы, в результате которых могут измениться условия работы оснований и фундаментов, возникнуть недопустимые деформации, весьма негативно влияющие на характер взаимодействия надземной части с фундаментом и основанием.

В качестве еще одного примера может быть рассмотрен случай нарушения устойчивости откоса котлована по ул. Мирон Костин, мун. Кишинэу (Рисунок 3.1).



Рис. 3.1. Нарушение устойчивости откоса котлована в результате замачивания  
просадочного грунта

Источник: фото В. Корчмарь

В июне 2016 г. в результате аномального выпадения атмосферных осадков произошло разрушение шпунтового ограждения и обрушение откоса. Катастрофическим смещениям предшествовало длительное замачивание просадочных грунтов: по данным государственной гидрометеорологической службы, сумма осадков за май превысила 2,5 месячные нормы.

Как уже отмечалось, просадочные грунты способны “держат вертикальный откос” в естественном состоянии, но резко меняют свойства при замачивании: характеристики механических свойств могут снижаться в десятки и даже сотни раз. При этом сам процесс может быть растянут во времени.

Наблюдаемые в последние годы нарушения устойчивости котлованов, деформации зданий является ярким подтверждением сказанного и свидетельствует о том, что разработка способов устранения просадочных свойств грунтов по-прежнему остается актуальной задачей, требующей своего разрешения.

В условиях Молдовы просадочные явления следует отнести к одним из наиболее значительным и чувствительным факторам, изменяющим условия эксплуатации сооружений. На это указывают работы А.Н. Богомолова, Ю.И. Олянского и их учеников [73-78].

В связи с особенностями формирования, лессовые породы приобрели ряд специфических свойств, к которым, в первую очередь, следует отнести способность резко изменять прочностные и деформационные показатели при изменении влажностного режима. Как следствие, возможно проявление просадочных процессов.

Как отмечалось, в строительной практике Молдовы известны многие случаи нарушения “нормальных” условий работы основания, возникшие по причине замачивания просадочных пород. Это означает, что даже соблюдение требований нормативных документов [149, 152, 161, 163] при проектировании не всегда обеспечивает надежную эксплуатационную пригодность сооружений, возведенных на просадочных грунтах.

Связывается данное обстоятельство, с одной стороны – с нераскрытой до конца природой просадочных свойств грунта; с другой стороны – с выбором характеристик прочности и деформативности уплотненного грунта.

На возможность улучшения физических, прочностных и деформационных свойств с помощью механического уплотнения грунтов обращали в своих работах многие выдающиеся ученые: М.Ю. Абелев, Ю.М. Абелев, Г.М. Бадьин, Т.А. Белаш, В.Г. Березанцев, А.К. Бугров, А.Л. Гольдин, Б.И. Долматов, И.В. Дудлер, А.Ж. Жусунбеков, П.Л. Иванов, В.А. Ильичев,

В.И. Крутов, Е.Н. Курбацкий, Р.А. Мангушев, Н.Н. Маслов, О.А. Савинов, З.Г. Тер-Мартirosян, К. Терцаги, А.М. Уздин, В.М. Улицкий, Р.А. Усманов, Dembicki E. (Poland), Ishihara K. (Japan), Seed H. B. (USA) и др.

Однако использование расчетных значений показателей для прогноза деформаций уплотненного (видоизмененного) просадочного грунта, определенных большинством ученых, затруднено. Это связано с тем, что полученные характеристики не адаптированы к региональным особенностям территории Молдовы [58 и др.].

При возведении зданий и сооружений на площадках, сложенных просадочными грунтами II-го типа, СНиП 2.02.01-83 [161] рекомендует определенный комплекс мероприятий по устранению просадочных свойств.

В результате применения разработанных методов стало возможным полное устранение просадки при возведении зданий и сооружений на грунтах I-го типа по просадочности. Однако технические решения по проектированию и строительству на основаниях II-го типа по просадочности требуют их совершенствования.

В Молдове, как отмечалось в главе 1, чаще всего используют устройство грунтовых подушек, мощность которых может достигать 4÷6м. Однако, как показывает практика и результаты исследований автора устройство подушек не всегда гарантирует надежную работу основания. Подтверждением этому служит отмеченный случай неравномерных деформаций многоэтажного дома в секторе Чокана, мун. Кишинэу.

С учетом сказанного, возникла объективная необходимость разработки более надежного технического решения устранения просадки. Это потребовало от автора проведения обширных экспериментальных, теоретических и лабораторных работ

Полевые исследования выполнялись на двух участках, расположенных в мун. Кишинэу:

- участок 1: строительство жилого комплекса по ул. Тестемицану;
- участок 2: строительство 12-ти этажного жилого дома по бул. Траян.

На каждом из участков был проведен комплекс работ, в состав которых были включены:

- проходка буровых скважин;
- изготовление грунтовых свай
- отбор образцов пород из тела ствола свай и околосвайного массива грунта;

- изучение физико-механических свойств и просадочности в лабораторных условиях.

При исследовании просадочных толщ применялись два метода: косвенный и прямой, предложенные ранее проф. Приклонским В.А.

В соответствии с **косвенным методом**, использовались следующие физико-географические признаки:

- степень увлажнения пород;
- мощность толщи;
- глубина залегания подземных вод;
- показатели состава и состояния пород: пластичность, пористость, естественная влажность, наличие быстрорастворимых солей.

При использовании **прямого метода** изучались показатели, непосредственно указывающие на наличие просадочных свойств и значения возможной просадки в условиях замачивания:

- начальная просадочная влажность;
- относительная просадочность;
- начальное просадочное давление;
- величина просадки от собственного веса;
- суммарная просадка в пределах всей мощности просадочной толщи.

В качестве основного рабочего механизма при изготовлении грунтовых свай использовалась RG-установка компании “RTG Rammtechnik GmbH”.

Применение этой установки позволяет в кратчайшие сроки (до 15 минут) выполнить устройство грунтовой сваи с помощью вибропогружателя. Производительная мощность RG-установок характеризуется высокими показателями в секторе свайных молотов для специальных подземных работ.

Анализ литературных источников и фондовых материалов показал, что исследования свойств просадочных грунтов, уплотненных (видоизмененных) таким методом, ранее в Молдове не проводились.

С целью изучения возможного изменения физико-механических свойств природных грунтов в результате их уплотнения с помощью RG-установки, автором настоящего исследования предварительно были проведены тестовые исследования на строительной площадке №1 по ул. Тестемицану, мун. Кишинэу.

## Краткая характеристика инженерно-геологических условий площадки строительства №1

Согласно данным выполненных инженерно-геологических изысканий, в геологическом строении принимают участие лессовидные просадочные суглинки и супеси, подстилаемые с глубины 15,5÷16,5 м непросадочными темноцветными суглинками и супесями, вскрытой мощностью до 4,5 м. Подземные воды до глубины 25 м не обнаружены. Возможная суммарная просадка от собственного веса грунта при замачивании может достигать 29,1 см; тип грунта по просадочности – II-ой. Результаты определения физико-механических характеристик исследуемых просадочных грунтов приведены в Таблице 3.1.

Таблица 3.1. Основные показатели свойств грунтов в естественном залегании на площадке строительства №1

Характеристики физико-механических свойств		Инженерно-геологические элементы (ИГЭ)	ИГЭ-I	ИГЭ-II
		Наименование грунтов и номера слоев	Суглинки просадочные (слои 3,4,6,7,8)	Суглинки просадочные (слои 5,9)
Нормативные значения	Угол внутреннего трения $\varphi_n$ , * град.	Уплотненный, водонасыщенный	22	28
		Водонасыщенный	14	18
		Природный	20	22
	Удельное сцепление $C_n$ , * кПа	Уплотненный, водонасыщенный	26	12
		Водонасыщенный	14	9
		Природный	19	12
	Модуль деформации $E$ , * МПа	Уплотненный, водонасыщенный	20	15
		Водонасыщенный	5	7
		Природный	13	9
	$e$	Коэффициент пористости	0,94	0,835
	$I_L$	Показатель текучести	< 0	< 0
	$I_p$	Число пластичности	0,11	0,06
	$W_0$	Природная влажность	0,11	0,06
$\rho_d$ , г/см <sup>3</sup>	Плотность сухого грунта	1,38	1,45	
$\rho$ , г/см <sup>3</sup>	Плотность	1,53	1,55	

Примечание: \* характеристики приняты по табл. 2,3 Приложения [161]

Источник: разработано автором

Технологический процесс проведения исследований включал следующие операции:

- отрывка котлована до предполагаемой глубины заложения фундаментов;
- пробивка и изготовление свай;

- ликвидация буферного слоя;
- устройство подушки из уплотненного местного суглинка.

Технология устранения просадочных грунтов с помощью устройства грунтовых скважин не нова [92, 100, 113, 120, 126, 144, 176, 179, 180]. Однако в предлагаемом автором техническом решении пробивка скважин осуществляется вибрирующей каплей под большим давлением, передающимся на грунт.

Такой способ позволяет до минимума снизить вибрационное воздействие, особенно заметное при „обычной” пробивке скважин, что дает возможность использовать его при строительстве вблизи с существующими зданиями и сооружениями.

Технологический процесс устройства грунтовых свай разделяется на этапы:

### **1. Подготовительный:**

1.1 определение физико-механических характеристик грунтов улучшаемого основания;

1.2 определение объема грунта, необходимого для изготовления одной сваи;

1.3 определение необходимого количества дополнительного объема грунта для изготовления всех свай и устранения “буферного слоя”. Возможно, что будет достаточно грунта с площадки строительства (в случае устранения толщи, сложенной просадочным суглинком);

1.4 подготовка грунта до проектного требования по степени влажности путём дополнительного увлажнения или, наоборот, высушивания на площадке;

1.5 поддержание степени влажности подготовленного и завезенного грунта путем изоляции от атмосферного воздействия

### **2. Производственный:**

2.1 формирование скважин на проектную глубину с заданным шагом и расположением путем вдавливания наконечника с помощью вибропогружателя. Для повышения качества работ рекомендуется выполнять сваи “через одну”;

2.2 изготовление ствола сваи путем подачи в скважину и уплотнения подготовленного грунта. Ствол сваи наиболее целесообразно выполнять из суглинка. Подачу грунта в скважину выполняют порциями с помощью легкого бульдозера. Уплотнение осуществляется каплей с использованием вибропогружателя;

2.3 устранение буферного слоя.

### 3. Сдаточный:

3.1 проведение контроля качества работ путем отбора монолитов и определения полученных после изготовления свай характеристик физико-механических свойств грунтов основания;

3.2 составление исполнительной документации: съемка фактического размещения скважин; журнал устройства свай. В журнале обязательно отмечается глубина и диаметр скважины, количество втрамбованного грунта, его тип.

Для определения оптимального расстояния между скважинами рядом с устроенными грунтовыми сваями были пробурены скважины и отобраны монолиты грунта для последующего изучения в лаборатории. Фрагмент плана площадки с размещенными скважинами представлен на Рисунке 3.2.

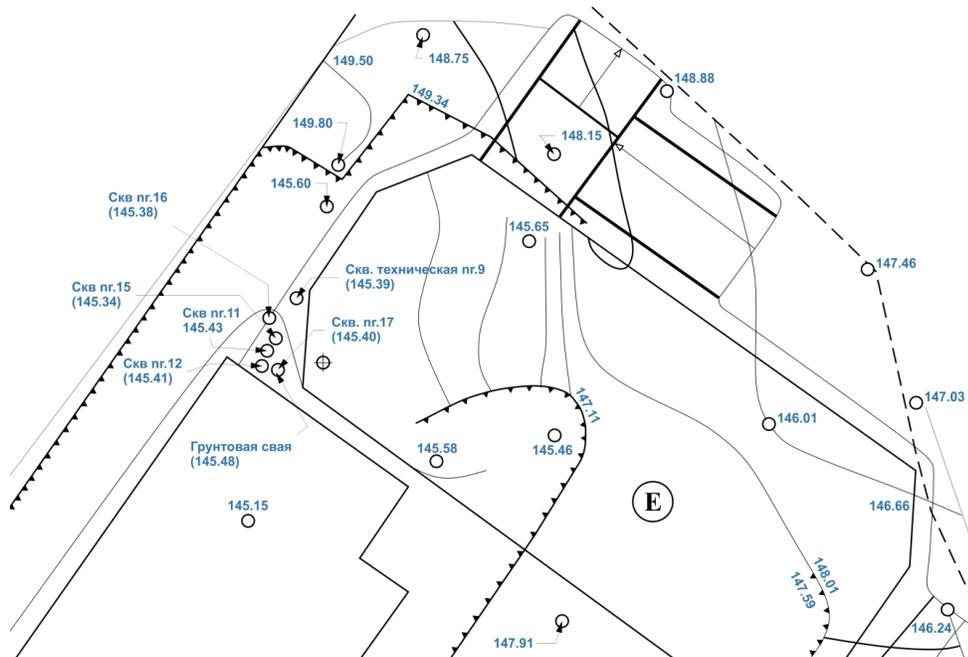


Рис. 3.2. Схема размещения скважин на площадке № 1

Источник: разработано автором

В лабораторных условиях были проведены детальные исследования физико-механических свойств грунтов. Как отмечалось, образцы были отобраны из тела ствола свай, а также из скважин, пробуренных на заданных расстояниях от ее центра. Для каждого образца были выполнены испытания на просадочность. Результаты определения плотности сухого грунта, пористости, характеристик просадочности представлены на Рисунках 3.3-3.5.

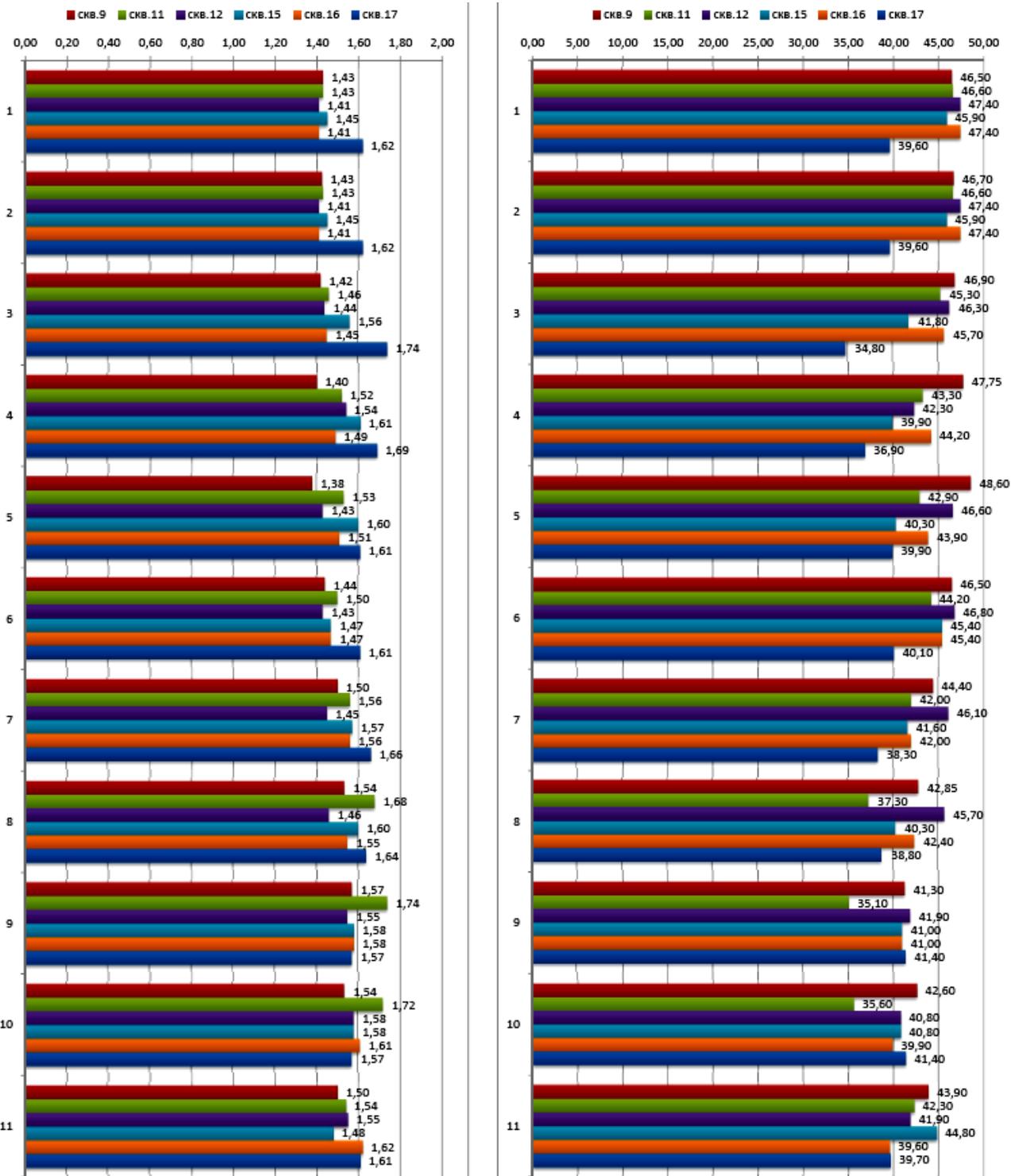


Рис. 3.3. Графики изменения плотности сухого грунта и пористости до и после изготовления грунтовой сваи (скв.9 – исходное состояние; скв.11, 12 – после пробивки скважины; скв.15, 16, 17 – после изготовления сваи)

Источник: разработано автором

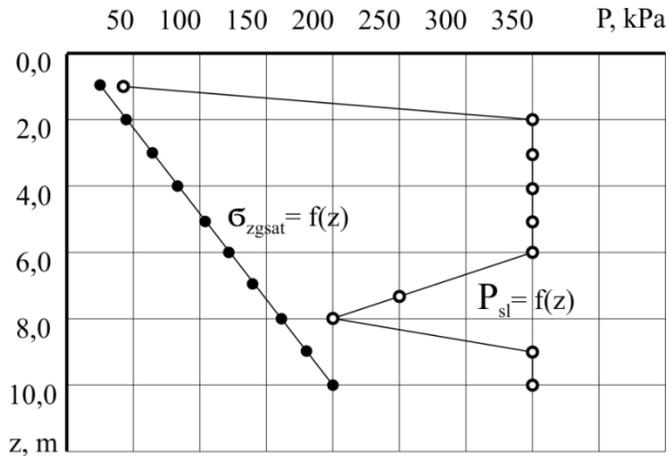


Рис. 3.4. Изменение напряжений от собственного веса грунта в водонасыщенном состоянии  $\sigma_{zg,sat}$  и начального просадочного давления  $P_{sl}$  по глубине  $z$  (скв. 17)

Источник: разработано автором

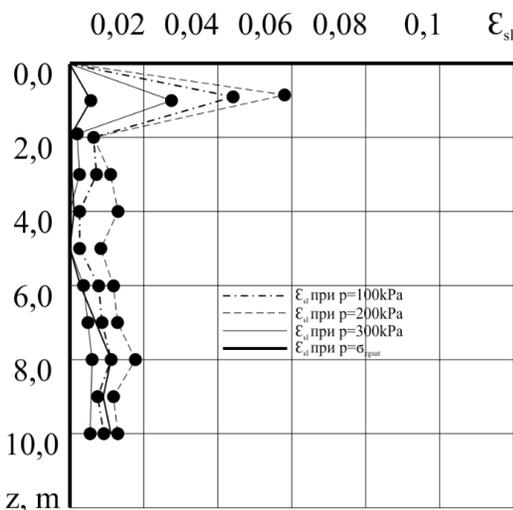


Рис. 3.5. Изменение относительной просадочности  $\epsilon_{sl}$  по глубине  $z$  при различных давлениях  $P$  (скв. 17)

Источник: разработано автором

Всего автором было проанализировано более 100 испытаний на просадочность, для которых выполнялся необходимый комплекс исследований физических характеристик.

В результате проведенного анализа установлено, что в теле сваи плотность сухого грунта значительно превышает нормативное значение  $1,60 \div 1,65 \text{ г/см}^3$ , незначительно изменяясь по глубине ствола. На расстоянии 40 и 80 см от контура пробитой (до

изготовления ствола) сваи характеристики грунта (по глубине) изменяются незакономерно. Отмечается повышение средневзвешенного значения пористости ( $n_{mt}$ ) с удалением от контура пробитой сваи: для скв. 11 –  $n_{mt}= 41,91\%$ ; для скв. 12 –  $n_{mt}= 44,84\%$ .

После изготовления ствола сваи изменений в значениях пористости не выявлено: для скв. 15 –  $n_{mt}= 42,52\%$ ; для скв. 16 –  $n_{mt}= 43,54\%$ .

Проведенные исследования на просадочность показали, что в пределах всей толщи просадка от собственного веса после изготовления свай исчезает, однако просадочные свойства могут проявляться при давлениях, превосходящих  $150\div 170$ кПа. Так, по данным скважины № 15, пробуренной в 40см от внешнего контура сваи, при влажности  $6\div 17\%$  и плотности сухого грунта  $1,45\div 1,77$ г/см<sup>3</sup>, среднее просадочное давление составило 173кПа. По данным скважины № 16, пробуренной в 80см от внешнего контура сваи, при влажности  $6\div 16\%$  и плотности сухого грунта  $1,38\div 1,73$ г/см<sup>3</sup>, среднее значение  $P_{sl}$  составило 153кПа. Во всех случаях отмечено разуплотнение грунта с поверхности на глубину до 1,0м.

Глубина бурения в пределах закрепленного грунта составила 10,2м.

На основании выполненных полевых исследований и лабораторных испытаний грунтов на площадке №1 можно заключить, что:

1. Грунты ствола сваи обладают высокими характеристиками физико-механических свойств, значительно превосходящими их значения в условиях природного залегания;
2. Просадка от собственного веса при замачивании грунтов, находящихся за контуром изготовленной сваи, полностью исчезает, в пределах расстояния до 1,0 м от ствола сваи;
3. Изготовление ствола сваи должно осуществляться из суглинка при строгом соблюдении условий технологического цикла.

Результаты этой части исследований отражены в [155, 156].

Для решения задач диссертационной работы, исследования были продолжены на строительной площадке №2, расположенной на бул. Траян, в мун. Кишинэу.

### **Краткая характеристика инженерно-геологических условий площадки строительства №2**

В геоморфологическом отношении площадка строительства приурочена к одной из верхних надпойменных террас правого склона р. Бык. Абсолютные отметки поверхности колеблются в пределах  $170,10\div 172,80$ м.

В геологическом строении принимают участие отложения четвертичного возраста, представленные аллювиально-делювиальными суглинками, супесями, аллювиальными

песками, подстилающими супесями и глинами неогенного возраста. Описание одной из колонок приведено в Таблице 3.2.

Таблица 3.2. Описание геологического строения толщи (по данным скважины 1т)

№ слоя	Геол. индекс	Литологическое описание пород	Глубина залегания слоя, м		Мощность слоя, м	Отметка подошвы слоя, м
			от	до		
1	t Q IV	Насыпной грунт (почва с гнездами щебня, песок с примесью строительного и бытового мусора)	0,0	1,2	1,2	171,40
1a	t Q IV	Почвенно-растительный грунт	1,2	1,6	0,4	171,00
2	ad Q IV	Суглинок темно-бурый, с гнездами почвы, с 2,0м – желтый, с 3,0м – темно-желтый, твердый, маркопористый	1,6	5,2	3,6	167,40
3	ad Q IV	Супесь желтого цвета, твердая, макропористая, с присыпками песка, с прожилками карбонатов	5,2	6,0	0,8	166,60
4	ad Q III-IV	Суглинок желтый, до 8,5м с прослойками супеси, с 8,5м – светло-коричневый, с 10,0м – вертикально трещиноватый, с 10,5м – темно-коричневый, 11,0-12,5м – темно-желтый, рыхлый, с гнездами почвы и песка, с 12,5м – желто-коричневый, трещиноватый: трещина заполнена карбонатами, твердый, пористый, неоднородный	6,0	13,2	7,2	159,40
5	ad Q III-IV	Суглинок красновато-коричневый, плотный, с 13,5м – светло-коричневый с прожилками карбонатов, с 14,0м – с карбонатным щебнем, с 15,5м – желто-коричневый, плотный, массивный, с 16,2м – с прослойками песка и супеси, с 17,0м – серовато-желтый, с гнездами гравия, песка	13,2	17,5	4,3	155,10
6,7	ad Q II	Песок мелкий, в кровле с прослойками песка пылеватого, прослоями супеси, желваками коричневого суглинка, с 18,8м – с прослойками (5-7см) серой глины, с 20,0м – с прослоями коричневого суглинка, с 21,0м – с прослойками супеси пластичной (до 10см) и песка пылеватого, маловлажный, средней плотности; 21,5-22,7м – супесь желто-серого цвета, твердая, в подошве пластичная, с прослойками песка; с 22,7м – песок мелкий, маловлажный, с гнездами суглинка, с 23,0м – с обломками слабоцементного песчаника.	17,5	23,6	6,1	149,00
8	NIS	Песок средней крупности, плотный, маловлажный, от светло-желтого до серовато-коричневого цвета, с 25,5-25,7м – песчаник бежевого цвета, сцементированный, крепкий, глубже – песок с обломками песчаника, редко – прослойки глины, с 26,0м – влажный, с 26,5м – водонасыщенный.	23,6	27,0	3,4	145,60
9	NIS	Супесь серого цвета, текучая, с прослойками глины и песка.	27,0	30,4	3,4	145,60
10	NIS	Глина серого цвета, полутвердая.	30,4	31,0	0,6	141,60

Источник: разработано автором

Особенностями геологического строения площадки являются:

- неоднородность просадочной толщи, проявляющаяся в резком изменении физических свойств грунтов;
- наличие прослоев песка;
- чередование рыхлых и трещиноватых грунтов с более плотными;
- незакономерное залегание по глубине и простиранию песков.

По результатам компрессионных испытаний, суглинки и супеси до глубины 14,4÷16,3м обладают просадочными свойствами. Общая мощность просадочной толщи изменяется в пределах 13,5÷15,1м. Начальное просадочное давление по глубине изменяется незакономерно – от 22 до 212кПа. Суммарная величина максимальной просадки от собственного веса при полном водонасыщении грунта достигает 39,6см; тип грунтовых условий по просадочности – II-ой.

С глубины 12,2÷13,4м на проявление просадочных свойств суглинков в значительной степени оказывает влияние наличие включений обломков песчаника, карбонатного щебня, прослоев песка.

Подземные воды обнаружены всеми скважинами на глубинах 24,8÷26,5 м от дневной поверхности (абсолютные отметки: 145,4÷146,10 м). Водовмещающими породами являются пески и супеси; водоупором служат сарматские глины.

Согласно карте сейсмического районирования сектора “Ботаника” мун. Кишинэу, обследованная площадка находится в 8-ми бальной зоне сейсмической активности на резонансных частотах 0,3÷1,0 Гц и 1,5÷2,7 Гц.

### **Приборы, оборудование, методика проведения исследований**

Изучение физико-механических свойств просадочных и уплотненных грунтов проводилось в два этапа.

На первом этапе на площадке осуществлялось разведочное бурение скважин с отбором необходимого количества монолитов и их последующим испытанием в лаборатории. На втором этапе проводилось устройство грунтовых свай с использованием RG-установки. Схема котлована с выполненными сваями представлена на Рисунке 3.6.

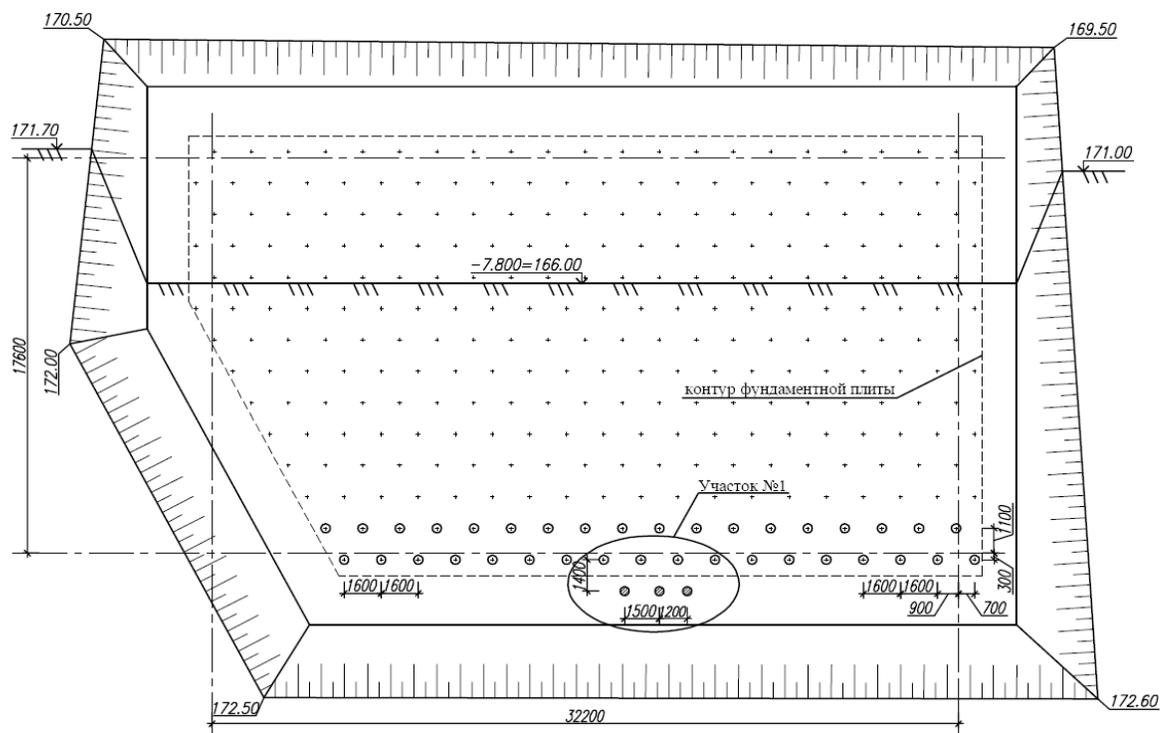


Рис. 3.6. Общая схема котлована с выполненными грунтовыми сваями.  
Площадка строительства №2, бул. Траян, мун. Кишинэу

Источник: разработано автором

Изготовление скважин осуществлялось вибрирующей каплей под большим давлением, передающимся на грунт. Для заполнения пробитой скважины грунтом (суглинком) совместно с установкой RG использовался легкий бульдозер (Рисунок 3.7).



Рис. 3.7. Устройство грунтовых свай с помощью RG установки

Источник: фото автора

После изготовления свай на заданном расстоянии осуществлялось контрольное бурение скважин с отбором проб уплотненного грунта. В дальнейшем в лабораторных условиях по стандартным методикам были определены характеристики физических, просадочных и прочностных свойств грунтов (Рисунок 3.8). Полученные результаты представлены в Приложениях 4-7 и отражены в [154].



Рис. 3.8. Испытание на просадочность

Источник: фото автора

Проведенные исследования позволили получить новые данные физических и физико-механических свойств лессовых грунтов в уплотненном состоянии.

В Таблицах 3.3 и 3.4 приведены результаты лабораторных исследований грунтов, после уплотнения, которые сравнивались со средними значениями соответствующих характеристик, определенных в естественных условиях.

Таблица 3.3. Сравнение физических показателей грунтов

Тип грунта	Число пластичности $I_P$ , дол. ед.	Показатель текучести $I_L$ , дол. ед.	Плотность грунта $\rho$ , г/см <sup>3</sup>	Влажность $W$ , %	Плотность сухого грунта $\rho_d$ , г/см <sup>3</sup>
Суглинок в условиях естественного залегания	12	< 0	1,57	12,0	1,39
Суглинок после уплотнения	8 – 12	< 0	1,88 – 2,09	8,0 – 12,0	1,61 – 1,91

Источник: разработано автором

Таблица 3.4. Сравнение механических показателей грунтов

Тип грунта	Относительная просадочность $\varepsilon_{st}$ , дол. ед. ( $P = \bar{\sigma}_{zg}$ )	Начальное просадочное давление $P_{st}$ , кПа	Модуль деформации $E$ , МПа	Угол внутреннего трения $\varphi$ , град.	Общее сцепление $c_w$ , кПа
Суглинок в условиях естественного залегания	0,002 – 0,04	22 - 212	9	18	16
Суглинок после уплотнения	–	–	18 – 41	19 – 31	47 – 87

Источник: разработано автором

Анализ полученных результатов показал, что грунты по глубине толщи в значительной степени улучшили характеристики физико-механических свойств:

- плотность сухого грунта увеличилась в 1,2÷1,4 раза;
- модуль деформации – в 2÷4,5;
- угол внутреннего трения – в 1,1÷1,7;
- общее сцепление – в 2,9÷5,4;
- просадочные свойства грунтов исчезли полностью.

Таким образом, данные лабораторных испытаний свидетельствуют, что уплотненные с помощью вибропогружателя грунты обладают надежными характеристиками прочностных и деформационных свойств, в разы превосходящими эти значения для грунтов в естественном залегании. Это означает, что для устранения просадочных свойств грунтов при строительстве на площадках II типа условий по просадочности может быть использовано предлагаемое техническое решение глубинного уплотнения, основанное на применении RG установки.

Проведенные эксперименты убедительно свидетельствуют, что уплотненный грунт обладает существенно повышенными значениями физико-механических характеристик, однако нерешенным остается вопрос о ликвидации просадочных свойств вокруг свай и размерах уплотненной зоны.

Для решения этого вопроса исследования на площадке №2 были продолжены. Дальнейшим этапом настоящего исследования явилось определение “эффективного шага свай”. Чтобы избежать в будущем, при строительстве, взаимовлияния между сваями и определить минимально допустимый шаг свай на площадке №2 были проведены дополнительные исследования. Отбор проб грунта выполнялся сразу после пробивки

грунтовой толщи вибропогружателем, а также после изготовления ствола сваи. Фрагмент плана размещения грунтовых свай представлен на Рисунке 3.9.

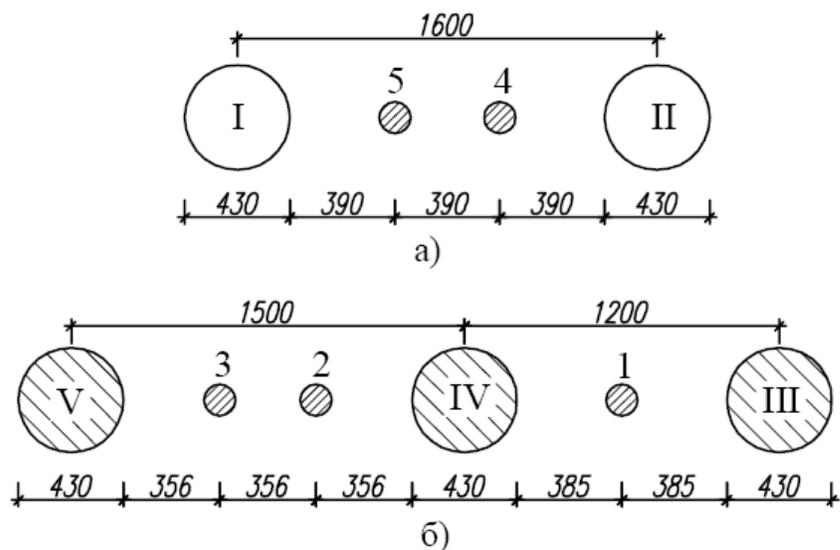


Рис. 3.9. Фрагмент плана размещения “пробитых” (I, II) и изготовленных (III – V) грунтовых свай. Площадка строительства №2.

а) “пробитые” сваи; б) изготовленные грунтовые сваи;  
1-5 – номера буровых скважин

Источник: разработано автором

Сравнительный анализ результатов определения физико-механических и просадочных характеристик исследованных образцов грунта показал, что при диаметре грунтовой сваи, равной 430мм, “эффективный” шаг свай в осях не должен превышать 1,5м; минимально допустимое расстояние в свету между сваями – 0,8м, максимальное – 1,1м.

В соответствии с данными Приложения 4, средневзвешенные значения коэффициента пористости  $e'_{mт}$  для исследованной 10-ти метровой толщи составляют, соответственно, в пределах скважин: 1 – 0,556; 2 – 0,565; 3 – 0,531; 4 – 0,694; 5 – 0,696. Грунты в природном залегании характеризуются коэффициентом пористости  $e = 0,928$ .

Данные лабораторных исследований показывают, что уже после пробивки свай (I, II) плотность грунта повышается: коэффициент пористости уменьшается от природного значения 0,928 до значения 0,695 (скв. 4, 5);  $\Delta e = 0,233$ .

Устройство грунтовых свай приводит к дополнительному уплотнению грунта между ними. По данным скв. 1  $\Delta e$  составляет 0,372. Увеличение шага до 1,5 м (сваи IV – V) на снижение плотности влияния не оказало:  $e'_{mт} = 0,548$ ;  $\Delta e = 0,380$ .

Проведенные автором испытания на просадочность показывают, что при шаге свай 1200мм (см. Рисунок 3.9, сваи III-IV) просадочные свойства грунта расположенного между изготовленными сваями исчезают полностью (см. Приложение 5). При увеличении шага свай до 1500мм (см. Рисунок 3.9, сваи IV-V) физические, прочностные и деформационные показатели остаются высокими, в разы превосходящими природные значения (см. Приложение 6 и 7).

Устранение просадочных свойств грунтов и повышение физико-механических характеристик, в свою очередь, способствует значительному улучшению несущей способности основания под фундаментами.

В этом случае (после устранения просадки) безопасное давление, которое можно передавать на грунты, будет определяться критической нагрузкой ( $P_{кр}$ ), определяемой по формуле Н.П. Пузыревского, как для "обычных" (непросадочных) грунтов [130, с.149]:

$$P_{кр} = \frac{\pi(\gamma \cdot h + C \cdot \cot \varphi)}{\cot \varphi + \varphi - \pi/2} + \gamma \cdot h \quad (3.0)$$

где:  $C$  и  $\varphi$  – характеристики прочности уплотненного грунта.

Ранее, в Главе 2, автором было установлено, что падение прочности лессовых грунтов начинает проявляться при повышении влажности до значений, обуславливающих изменение консистенции от полутвердой до тугопластичной. После устройства грунтовых свай, во всех изученных случаях, консистенция грунтов была близка к твердой, даже в условиях предварительного замачивания под нагрузкой.

Данный факт исключает существенное падение прочности и изменение условий общей устойчивости основания при эксплуатации зданий и сооружений.

Предлагаемое техническое решение, по мнению автора, представляет собой эффективный способ устранения просадочных свойств грунтов основания. Использование прогрессивных технологий RG-установки обеспечивает не только устранение возможной просадки, но и позволяет экономить средства на устройстве фундаментов за счет значительного улучшения физико-механических характеристик грунтов.

Изменение первоначальной структуры просадочных грунтов в результате уплотнения, выполненного путем устройства грунтовых свай с помощью вибропогружателя на установке RG, были подтверждены дальнейшими исследованиями их микроструктуры. Результаты этих исследований изложены в разделе 3.2 и отражены в [153].

### **3.2. Оценка влияния глубинного уплотнения на микроструктуру просадочных грунтов методом дешифрирования РЭМ-изображения**

Одной из задач настоящего исследования явилось изучение закономерностей формирования и деформируемости лессовых грунтов в основаниях зданий и сооружений.

В Главе 1 были приведены примеры из практики строительства на лессовых грунтах которые свидетельствуют о многочисленных случаях деформаций зданий и сооружений, находящихся в сфере взаимодействия с грунтовыми основаниями, сложенными просадочными грунтами.

Автор подчеркивает, что до настоящего времени остается недостаточно изученной сама природа деформируемости лессовых грунтов под нагрузкой, несмотря на многочисленные исследования в данной области. Важность проблемы совершенно очевидна, если учесть современные масштабы строительства на подобных грунтах.

Решение многих задач достигается на основе комплексного подхода к изучению свойств грунтов. Важную роль играет оценка структурно-текстурных особенностей лессовых грунтов и закономерностей их деформирования под влиянием внешних воздействий.

К основным механическим воздействиям, имеющим наибольшее распространение при строительстве и эксплуатации зданий и сооружений на лессовых грунтах, следует отнести:

- статические и динамические нагрузки;
- замачивание грунта, находящегося под давлением от собственного веса и внешней нагрузки.

Эти воздействия обуславливают существенные изменения микроструктуры лессовых пород: разрушение структурных составляющих элементов, формирование новой микроструктуры, в том числе при динамическом уплотнении, осуществляемом вибропогружателем [90, 96, 138, 165].

Просадочные грунты требуют изучения их микроструктуры с учетом специфических региональных особенностей. В Молдове одной из таких особенностей является наличие двух типов грунтовых условий по просадочности.

Структура лессовых грунтов территории Молдовы, как уже отмечалось в главах 1 и 2, имеет свои характерные особенности, в том числе по гранулометрическому составу: значительную агрегированность, ярко выраженную макропористость, изменяющуюся по глубине и простирающуюся, включения в виде линз и прослоек песка и т.д.

Различное поведение изучаемых лессовых грунтов в процессе их эксплуатации в качестве оснований зданий и сооружений обусловило необходимость их детального изучения на количественном микроструктурном уровне.

В процессе длительного уплотнения под дополнительным давлением от веса здания просадочные грунты изменяют первоначальную структуру. Однако степень уплотнения различается в зависимости от вида и значения передающихся нагрузок, а также дополнительных факторов, в первую очередь – увлажнения. Это означает, что прочностные и деформационные свойства грунтов, залегающих под подошвой фундамента, могут изменяться как в лучшую, так и в худшую сторону.

Цели избежать «скачков» в численном выражении и должно послужить применение грунтовых свай, выполненных с помощью вибропогружателя.

Для объективной оценки прочностных и деформационных свойств в увязке с закономерностями внутренних процессов в грунте, обусловленными применением грунтовых свай, были выполнены исследования изменения микроструктуры лессового просадочного грунта под воздействием глубинного уплотнения.

В одной из важнейших работ академик В.И. Осипов подчеркивал, что «структура – это важнейшее качество породы, с одной стороны, отражающее условия ее формирования, а с другой – определяющее ее физические, механические и другие свойства» [139].

По определению В.И. Осипова, «структура» представляет собой пространственную организацию всего вещества породы, характеризующуюся совокупностью морфометрических, геометрических и энергетических признаков и определяющуюся составом, количественным соотношением и взаимодействием компонентов породы [139, с. 9]. Микроструктура определяется размером и формой глинистых частиц и микроагрегатов (совокупностей частиц), их взаимной ориентацией и типом структурных связей (т.е. сил, действующих на контактах между твердыми структурными элементами).

Изучение структуры породы с применением электронного микроскопа позволяет увидеть морфометрические особенности структурных элементов; установить характер их взаимодействия; определить наличие цементационных связей [95 и др.].

Степень раздробленности твердых структурных элементов породы может быть определена по показателю  $D = 1/d$  ( $d$  – диаметр частиц), получившему название «дисперсность».

Еще одним важным показателем служит «объемная удельная поверхность», которая представляет собой площадь поверхности  $S$  в единице объема ( $S_0 = S / V$ ).

Помимо показателей  $D$  и  $S_0$  используется величина весовой удельной поверхности  $S_{0p}$ , которая связана с объемной удельной поверхностью  $S_0$  зависимостью:

$$S_0 = S_{0p} \cdot \rho_s \quad (3.1)$$

где  $\rho_s$  – плотность частиц грунта.

Поведение пород под различными воздействиями в последние годы прогнозируют, используя структурные показатели, в которых «закодирована» генетическая информация. Для получения корреляционных зависимостей необходимы современные методы количественной оценки структурных показателей грунтов.

Одним из таких методов является метод, основанный на растровой электронной микроскопии (РЭМ).

Исследования микроструктуры проводились для грунтов, залегающих на площадке №2 по бул. Траян, мун. Кишинэу.

Образцы грунта отбирались до и после устройства грунтовой сваи.

Микроструктурные особенности оценивались для образцов ствола сваи, а также отобранных на расстоянии 40, 60 и 80см от ее наружной границы (Рисунок 3.10), с глубины 2,0м.

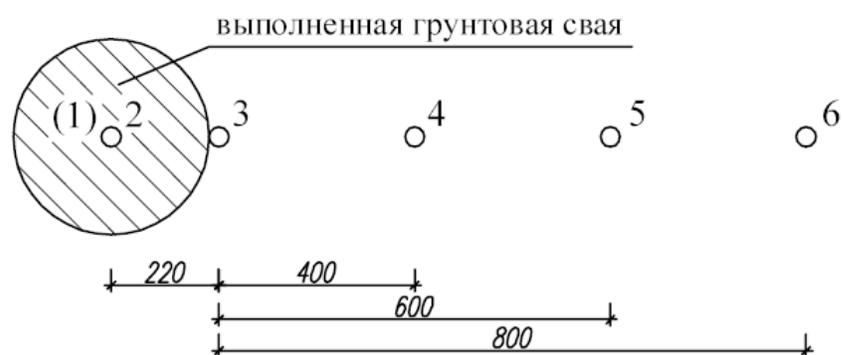


Рис. 3.10. Схема размещения точек отбора проб грунта для последующего изучения микроструктуры.

1-6 – номера образцов; (1) – образец, отобранный до начала изготовления сваи

Источник: разработано автором

Исследования осуществлялись с применением РЭМ VEGA TS 5130, уникальность которого позволяет получить информацию, в том числе о природе грунта, его сложении, составе и т.д. (Рисунок 3.11).

Подготовка образцов грунта к электронно-микроскопическим исследованиям и последующее изучение выполнялись в лаборатории Национального центра исследований и тестирования материалов при ТУМ (Рисунок 3.12).



Рис. 3.11. Исследование микроструктуры с применением РЭМ

Источник: фото автора



Рис. 3.12. Подготовка к испытаниям с применением РЭМ

Источник: фото автора

При проведении сканирующей электронной микроскопии (SEM) используется фокусирующий электронный луч для сканирования небольших участков породы. Вторичные электроны после выброса из исследуемого образца собираются и создают так называемую карту вторичных выбросов, представляющую, по сути, увеличенное изображение образца.

Пространственное разрешение достигает 1-4нм. Коэффициент увеличения (при необходимости) может превышать 500 000.

Данные с микроскопа поступают на компьютер с современным программным обеспечением, работающим в среде Windows.

Шлифы для анализа готовились в вакуумном универсальном посту в условиях мгновенного замораживания при температуре жидкого азота и сублимирования при глубоком

вакууме. Для обеспечения качественной проводимости электричества на образец напылялся слой золота (мкм).

В случае, когда первоначальную цифровую информацию с РЭМ получить сразу на магнитный носитель было невозможно, выполнялись снимки поверхности шлифов с последующим сканированием и оцифровкой для электронного анализа.

Для того, чтобы охватить весь диапазон структурных элементов глинистой породы, РЭМ-фотографии выполнялись с увеличением от 50 до 3000 раз, таким образом перекрывался весь диапазон встреченных размеров элементов грунта.

Результаты проведенного исследования представлены на РЭМ-изображениях (Рисунки 3.13÷3.18).

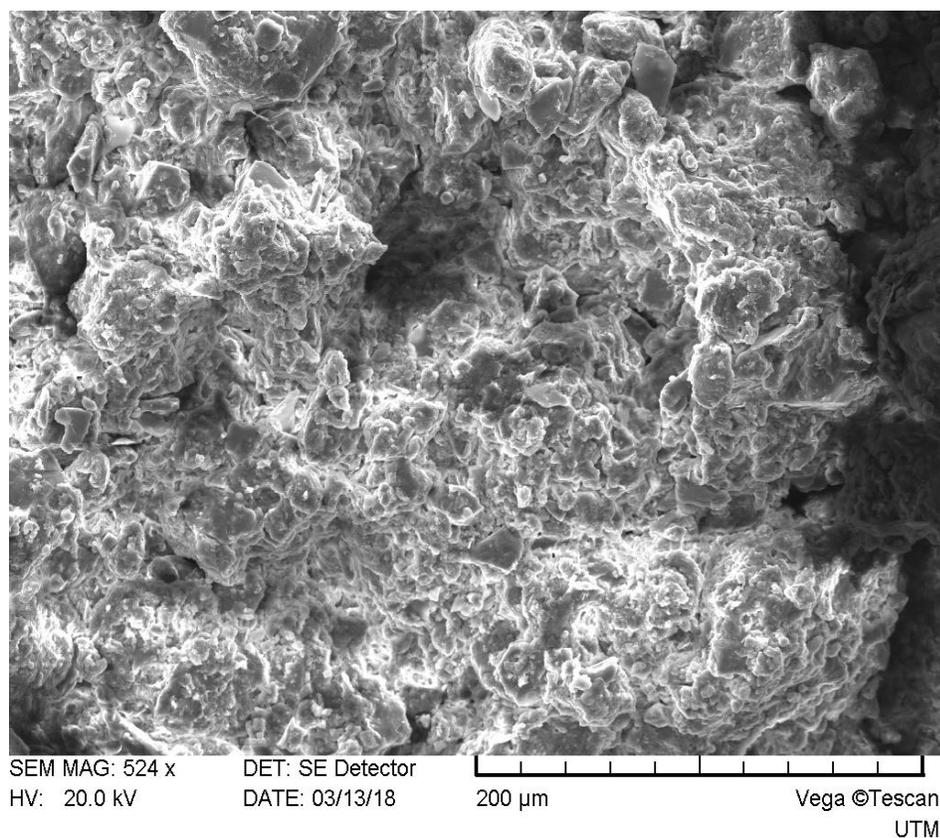


Рис. 3.13. Микроструктура исследуемого просадочного грунта  
в условиях природного залегания (до изготовления свай)

Источник: разработано автором

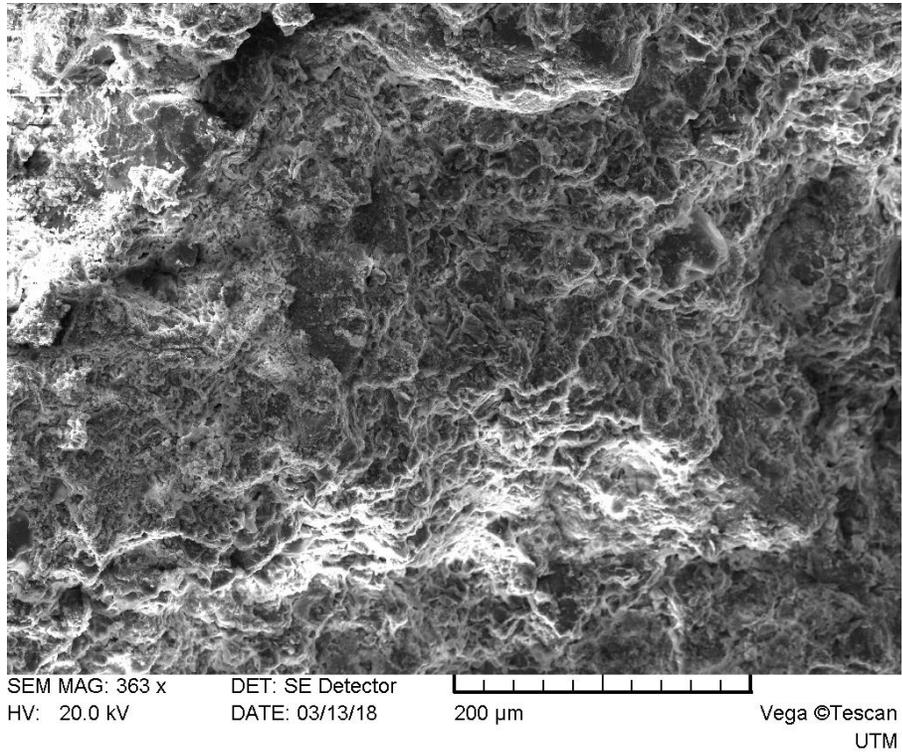


Рис. 3.14. Микроструктура уплотненного грунта ствола сваи

Источник: разработано автором

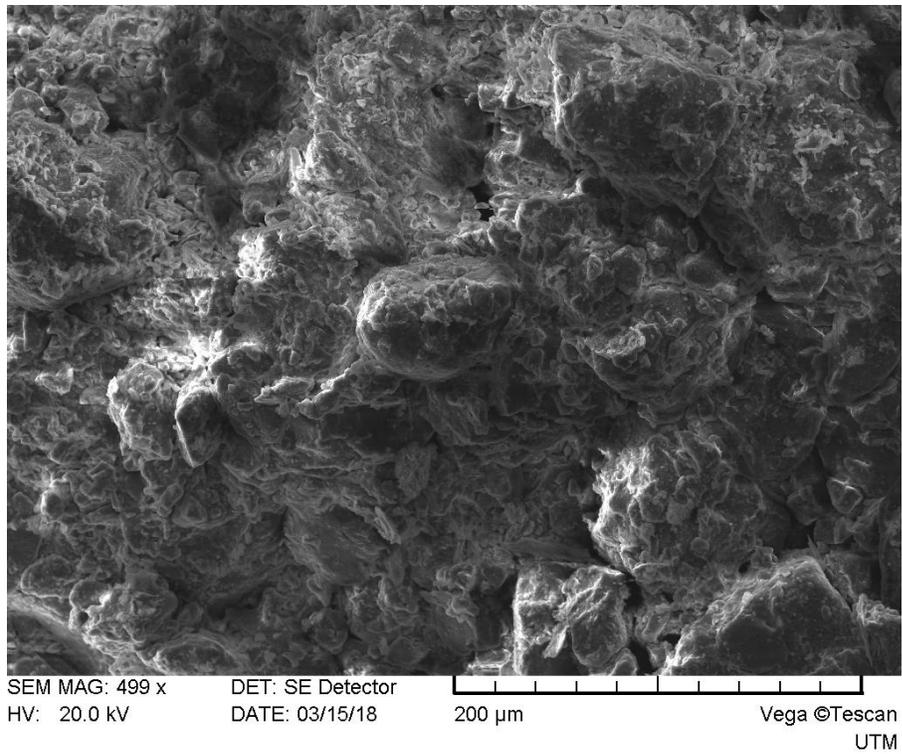


Рис. 3.15. Микроструктура уплотненного грунта на расстоянии 20 см от центра сваи

Источник: разработано автором

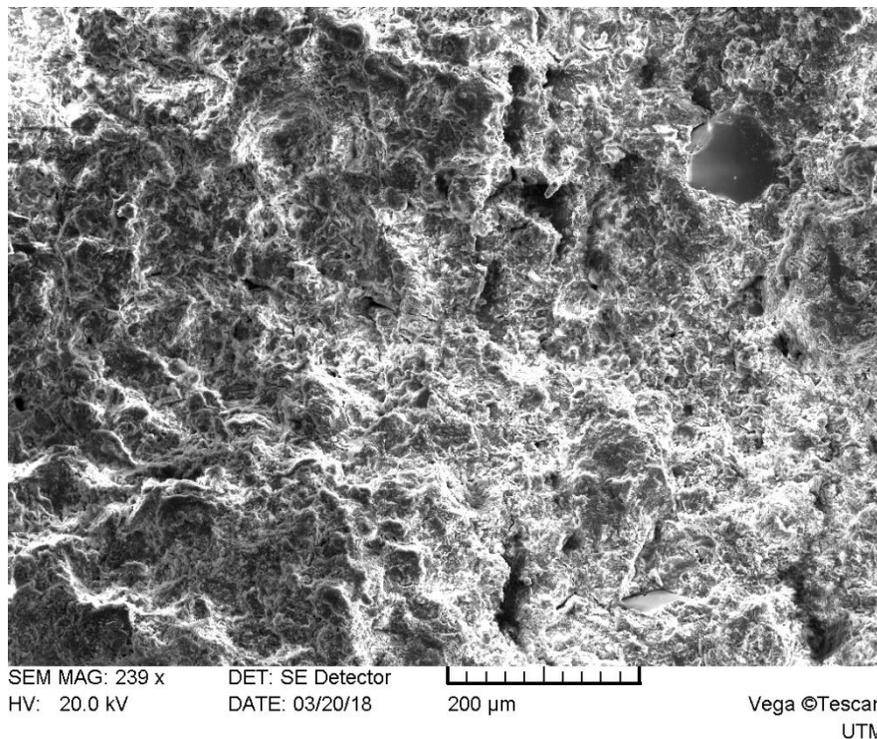


Рис. 3.16. Микроструктура уплотненного грунта на расстоянии 40 см от ствола сваи

Источник: разработано автором

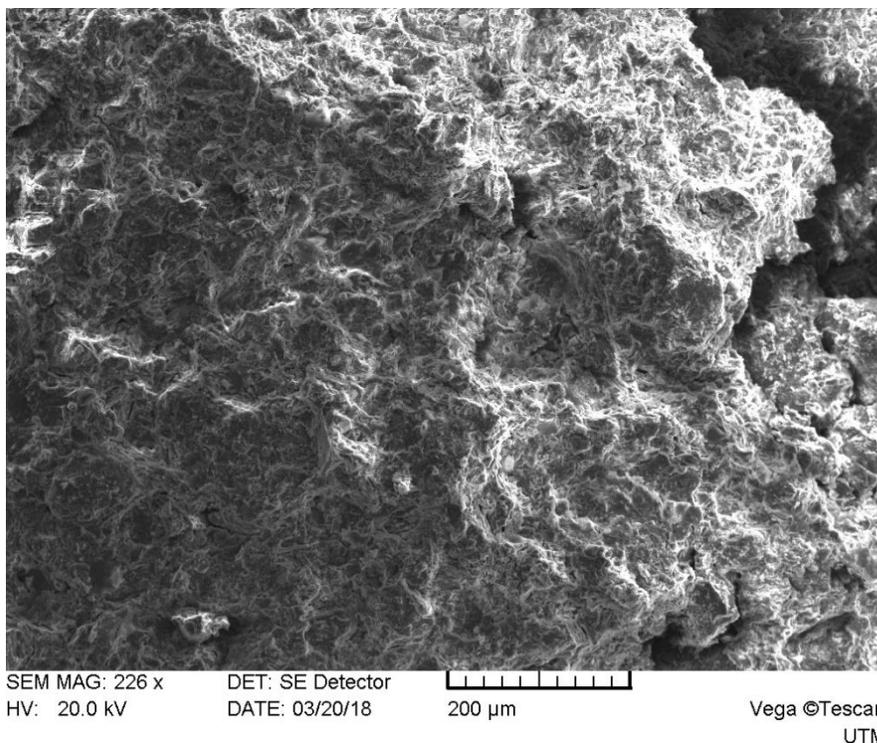


Рис. 3.17. Микроструктура уплотненного грунта на расстоянии 60 см от ствола сваи

Источник: разработано автором

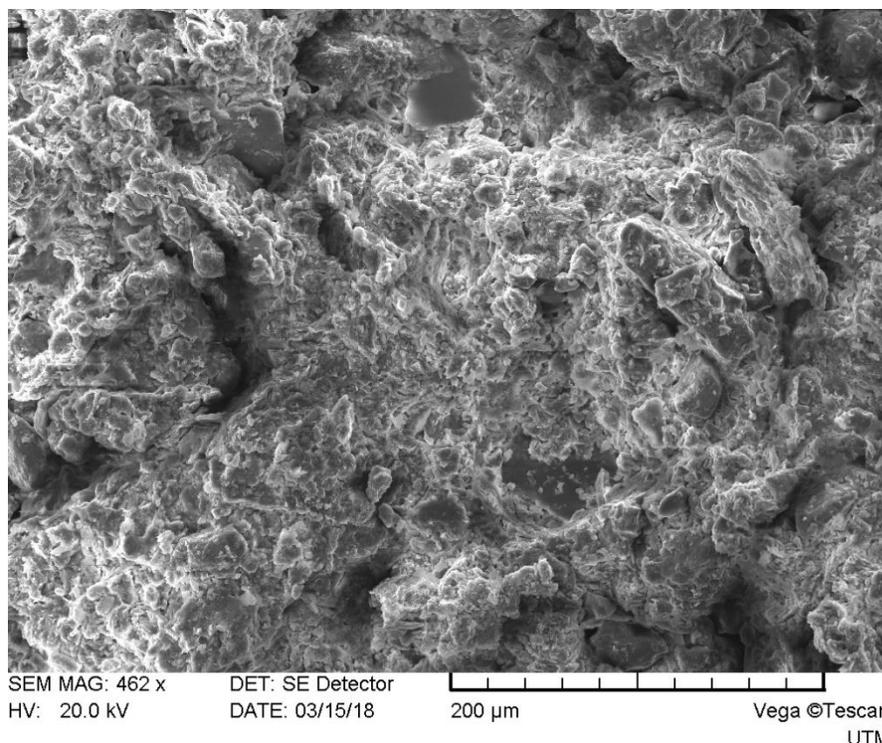


Рис. 3.18. Микроструктура уплотненного грунта на расстоянии 80 см от ствола сваи

Источник: разработано автором

Результаты компьютерного анализа шлифов испытуемых образцов грунта позволили изучить изменение структуры грунта, в зависимости от удаления от изготовленной сваи, от матричного до скелетного типа.

Так, на расстоянии до 40см динамическое воздействие привело к дроблению частиц на более мелкие элементы – агрегаты диаметром  $0,5 \div 2$  мкм. Их число среди общего количества составляет 70%. На РЭМ-изображениях (Рисунки 3.15, 3.16) отчетливо прослеживается некоторое расплющивание отдельных агрегатов исследуемого образца грунта. Встречаются более крупные частицы с диаметром  $20 \div 30$  мкм, но их число невелико. По суммарным площадям большинство составляют элементы с диаметром  $15 \div 20$  мкм. Очертания частиц имеют изрезанную неправильную форму, что может быть объяснено частичным разрушением элементов структуры грунта под воздействием вибрирующего уплотнения в процессе изготовления сваи. Это подтверждает наблюдаемая слабая ориентация частиц при низком процентном содержании неориентируемых элементов –  $0 \div 12\%$ .

На расстоянии более 40см (до 80см) отмечается постепенное уменьшение влияния уплотнения на структурные характеристики просадочного грунта. Просматривается рост

среднего показателя диаметра частиц – до  $3,0 \div 56,0$  мкм. Среди общего числа мелкие частицы по-прежнему составляют большинство – около 65%, однако их размеры несколько увеличены. По оценке суммарных площадей, наряду с элементами диаметра  $15 \div 20$  мкм, больше пространства занимают крупные частицы размером до 30 мкм.

Поверхность элементов остается изрезанной, однако форма все более приближается к окружности. Это позволяет оценить микроструктуру уплотненного грунта на расстоянии  $40 \div 80$  см от ствола сваи как скелетно-матричную.

С увеличением расстояния до 80 см структура грунта приближается к природному сложению. Сказывается постепенное прекращение влияния изготовления сваи на дробление твердых составляющих элементов просадочного грунта. В образце также встречается большое количество мелких элементов, но по мере увеличения расстояния размеры их растут: от 0,8 мкм до 9,0 мкм. Значительно возрастает средний диаметр частиц – до  $8 \div 10$  мкм. Крупных элементов встречается немного, однако наблюдается увеличение их размеров до  $50 \div 80$  мкм. Среди всех элементов возрастает площадь частиц, занимающих промежуточное значение между мелкими и крупными, а именно – пылевато-глинистые агрегаты и зерна, хорошо заметные на РЭМ-изображениях (Рисунок 3.18).

На фотографиях также просматривается глинистый материал, расположенный в местах контактов агрегатов, и на поверхности песчаных и пылеватых зерен. Твердые структурные элементы с увеличением расстояния от ствола сваи становятся все более рыхлыми. На основе этих количественных показателей, структуру грунта на расстоянии более 0,8 м можно отнести (по В.И. Осипову) к скелетному типу.

Проведенный анализ позволил также выявить закономерность в разграничении структуры грунта с увеличением расстояния от ствола сваи.

В частности, на расстоянии до 40 см среднее значение площади частиц остается на одинаковом уровне – структура грунта представляет собой сплошную массу: однородную тонкодисперсную матрицу, которая визуалью хорошо различима на Рисунках 3.12, 3.13.

На расстоянии  $40 \div 80$  см происходит постепенное увеличение значения средней площади элементов. Как видно из Рисунков 3.17, 3.18, вследствие этого строение грунта претерпевает медленный возврат к своему природному строению – скелетной структуре. Это расстояние можно рассматривать как переходную зону, в пределах которой микроструктуру грунта можно оценить как скелетно-матричную.

Исследуемые образцы грунта характеризуются как слабо ориентируемые, однако по снижению показателя максимальной ориентации частиц можно говорить об изменении структуры грунта от уплотненной зоны – менее 40см, до постепенного прекращения влияния динамических воздействий сваи в пределах от 40 до 80см.

Изменение структуры просадочного грунта от матричного (на расстоянии до 40 см) до скелетного (более 80см) типа с переходной зоной на расстоянии 40÷80см также хорошо прослеживается при количественном анализе порового пространства образцов.

В пределах расстояния 0÷40см от сваи средний диаметр пор в целом не превышает 4,0мкм. Среди общего количества элементов число мелких пор велико: даже по доле суммарных площадей они составляют подавляющее большинство. Это может быть объяснено приобретением грунтом более плотной структуры.

На расстоянии более 40см элементы порового пространства начинают постепенно увеличиваться в размерах; возрастает также величина суммарной площади крупных элементов порового пространства размером 50÷80мкм.

Указанное свидетельствует о постепенном прекращении влияния уплотнения, возникающего при изготовлении свай. При этом микроструктуру просадочного грунта на расстоянии 40÷80см от ствола сваи можно рассматривать как переходную между двумя наблюдаемыми структурами: матричной и скелетной.

Проведенные исследования показали, что микроструктура пород оказалась чутким индикатором преобразований, которые произошли с просадочным грунтом в процессе устройства грунтовых свай, выполненных с помощью вибропогружателя. В данном случае происходят техногенные преобразования, обуславливающие формирование новой видоизмененной микроструктуры, во многом отличной от исходной.

Таким образом, техногенный глинистый грунт ствола сваи можно охарактеризовать как сложно структурированную полиминеральную систему с реликтовыми и новообразованными структурами [165].

Использование сканирующего электронного микроскопа позволило автору количественно оценить на мезо- и микроуровне как текстурные признаки грунтов, так и их морфометрические особенности.

Проведенные автором исследования микроструктуры просадочного грунта в естественном залегании и после изготовления грунтовых свай в республике осуществлено

впервые. Они показали, что динамическое уплотнение грунтов, осуществленное с помощью вибропогружателя, обуславливает существенное изменение микроструктуры просадочных грунтов, которое сопровождается разрушением структурных элементов (первоначального структурного сцепления по Н. Н. Маслову) и формированием новой ориентированной микроструктуры. Это позволило наряду с изучением прочностных и деформационных характеристик, выполнить исследование динамики изменения просадочных свойств грунтов, преобразованных путем устройства грунтовых свай и определить “эффективный” шаг свай при устранении просадочных свойств основания с помощью RG установки.

С технологической точки зрения способ, основанный на изготовлении грунтовых свай с помощью вибропогружателя, следует отнести к наиболее простым, однако позволяющим обеспечить значительную эффективность при устранении просадочных свойств грунтов.

Выполненные автором исследования не оставляют сомнений об улучшении просадочного основания, преобразованного устройством грунтовых свай.

Применение глубинного уплотнения с помощью вибропогружателя изменяет микроструктуру и свойства просадочного грунта. Изменение в лучшую сторону прочностных и деформационных показателей, безусловно, отражается на характере распределения напряжений в грунтовой толще.

В случае, когда мощность просадочной толщи под подошвой фундаментов не превышает 8 – 10м, лессовые грунты, уплотненные с помощью вибропогружателя, не будут способны проявлять при замачивании просадочные деформации.

Дополнительная осадка в этих условиях будет происходить только при увеличении напряжений от внешней нагрузки.

При большей мощности – возможно проявление дополнительной осадки, в основном, за счет напряжений от собственного веса грунта, возрастающих с глубиной.

Проведенные исследования указывают на необходимость внесения поправок в существующие расчетные модели по проектированию оснований зданий и сооружений, возводимых на просадочных грунтах, так как применяемые способы расчетов не в полной степени учитывают региональную специфику геологического строения толщи, микроструктурные особенности и динамику их изменения под влиянием нагрузок от фундаментов, искусственного уплотнения или дополнительного замачивания.

### **3.3. Разработка региональных таблиц прочностных и деформационных характеристик просадочных грунтов Молдовы на основе выявленных корреляционных зависимостей**

При проектировании и строительстве на просадочных грунтах нормативные документы [161, 163] предполагают необходимость соблюдения дополнительных требований к инженерно-геологическим изысканиям и методике расчетов фундаментов.

При проведении изысканий акцент делается на определении основных характеристик просадочности, а также прочностных и деформационных характеристик.

В ряде стран результаты исследований нашли отражение в новых нормативных документах. В частности, относительную просадочность на предварительном этапе проектирования можно устанавливать по физическим характеристикам (Приложение 8).

Следует с сожалением подчеркнуть, что в Молдове такого рода таблица отсутствует, хотя идея ее составления была предложена молдавским ученым Г.Е. Костиком еще в 70-е годы XX в.

Особое внимание при проектировании отводится установлению надежных значений параметров сдвига: угла внутреннего трения и сцепления, а также показателей деформируемости: коэффициента сжимаемости и модуля общей деформации.

Установление этих характеристик проводится в естественных условиях, после дополнительного замачивания, а также в уплотненном состоянии.

Следует подчеркнуть, что прочностные характеристики определяют значения:

- расчетного сопротивления грунта основания и соответственно, влияют на назначение ширины подошвы фундаментов;
- трения по боковой поверхности сваи и расчетного сопротивления грунта под ее острием. Это, в свою очередь, определяет правильную оценку величины несущей способности сваи по грунту;
- коэффициента устойчивости откосов выемок;
- величины критической нагрузки на грунты основания и др.

В основу предлагаемых ниже таблиц положены результаты исследований, проведенных лично автором в лаборатории Ingeotehgrup, а также полученные в результате обработки данных 82 инженерно-геологических отчетов, выполненных для строительства жилых, гражданских и производственных зданий (Рисунок 3.19 и Приложение 10).



Рис. 3.19 Схематическая карта с указанием расположения проведенных инженерно-геологических изысканий  
Источник: разработано автором на основе архивных данных Ingeotehgrup

Деформационные характеристики служат основой расчетов по II-ой группе предельных состояний. В рамках настоящего исследования они определяют величину суммарных деформаций: осадок и просадок основания.

Исследования, проведенные автором, показали, что в настоящее время обобщенные характеристики прочностных и деформационных свойств просадочных грунтов, учитывающие региональные условия Молдовы, отсутствуют.

Единичные сведения содержатся в Таблице П9.1, разработанной в 90-е годы XX в. в Молдгипроавтодоре под руководством В.С. Гончарова.

Ориентировочные динамические характеристики просадочных свойств грунтов с нарушенной структурой были также получены в Молдгипроавтодоре (Таблица П9.2, П9.3).

Это означает, что на сегодняшний день в Молдове не существует нормативных таблиц и эмпирических уравнений, позволяющих определить свойства лессовых уплотненных грунтов. Это во многом осложняет проектировщикам задачу по выбору расчетных показателей прочностных и деформационных свойств и находит отражение в принятии правильного конструктивного решения.

Сказанное определяет необходимость разработки новых и уточнения уже существующих региональных таблиц, позволяющих проектировщикам и строителям быстро и надежно устанавливать расчетные характеристики.

При составлении таблиц были учтены отмеченные в предыдущих главах особенности и закономерности проявления просадочных свойств грунтов в пределах территории Молдовы. Полученные результаты приведены в Таблице 3.5, 3.6.

Таблица 3.5. Нормативные значения общего сцепления  $C_w$ , кПа, сцепления связности  $\Sigma_w$ , кПа и угла внутреннего трения  $\phi_w$ , град. лессовых грунтов Молдовы

Наименование грунтов	Обозначение характеристики	Численное значение характеристики грунтов при интервале показателя текучести $I_L$ , дол. ед., равном:			
		-0,2-0,0	0,0-0,2	0,2-0,4	0,4-0,6
Суглинки	$C_w$	$\frac{160 - 120}{140}$	$\frac{120 - 90}{100}$	$\frac{90 - 70}{80}$	$\frac{70 - 50}{60}$
	$\Sigma_w$	$\frac{60 - 52}{56}$	$\frac{52 - 42}{47}$	$\frac{42 - 28}{35}$	$\frac{28 - 10}{19}$
	$\phi_w$	$\frac{30 - 20}{25}$	$\frac{20 - 14}{17}$	$\frac{14 - 10}{12}$	$\frac{10 - 8}{9}$

Примечание: числитель – интервал изменения; знаменатель – среднее значение

Источник: разработано автором

Таблица 3.6. Нормативные значения модуля деформации  $E$ , МПа, лессовых грунтов Молдовы в природном ( $E_{пр.}$ ) и уплотненном ( $E_{упл.}$ ) состоянии

Наименование грунтов	Обозначение характеристики	Численное значение характеристики грунтов при интервале показателя текучести $I_L$ , дол. ед., равном:			
		-0,2-0,0	0,0-0,2	0,2-0,4	0,4-0,6
Суглинки	$E_{пр.}$	$\frac{30 - 22}{26}$	$\frac{22 - 14}{18}$	$\frac{14 - 10}{12}$	$\frac{10 - 6}{8}$
	$E_{упл.}$	$\frac{44 - 36}{40}$	$\frac{36 - 32}{34}$	$\frac{32 - 28}{30}$	$\frac{28 - 16}{22}$

*Примечание: числитель – интервал изменения; знаменатель – среднее значение*

Источник: разработано автором

Представленные в Таблице 3.5, 3.6 значения, следует рассматривать, как предварительные.

Это обстоятельство автором связывается с необходимостью уточнения полученных результатов путем проведения полевых испытаний грунтов. В частности, при определении модуля деформации в лабораторных условиях по компрессионным испытаниям его значения получаются заниженными. Как следствие, и несущая способность основания принимается в расчеты заниженной. Прочностные характеристики: удельное сцепление и угол внутреннего трения, как показали проведенные исследования, зависят в значительной степени от влажности (консистенции) и структуры грунта. Это предполагает необходимость установления прочностных характеристик просадочных и уплотненных грунтов при природной влажности и в водонасыщенном состоянии.

**Дальнейшие исследования**, по мнению автора, должны быть направлены на:

- моделирование процессов длительного замачивания грунтового массива, уплотненного с помощью RG-установки;
- разработку методики определения суммарных деформаций во времени;
- сбор и систематизацию исходной информации по устранению просадки, осуществленной с помощью вибропогружателя, на других участках, с целью разработки нормативных документов для строительства на просадочных грунтах с учетом региональных особенностей Молдовы.

### 3.4. Выводы по главе 3

1. Представленные в настоящей главе материалы исследований по устранению просадочных свойств грунтов путем устройства грунтовых свай, выполненных с помощью вибропогружателя, базируются на результатах полевых и лабораторных работ, проведенных на двух опорных участках в мун. Кишинэу. Результаты исследования прочностных, деформационных, просадочных и реологических характеристик уплотненных лессовых грунтов дополняются изучением микроструктуры грунта.
2. Анализ литературных источников и архивных материалов показал, что исследования свойств просадочных грунтов, уплотненных с помощью RG-установки компании RTG Rammtechnik GmbH, ранее в республике не проводились.
3. Настоящие исследования выполнялись на площадках, сложенных просадочными суглинками и супесями. Мощность просадочной толщи превышала 16,5 м, суммарная просадка от собственного веса при полном водонасыщении грунта достигала значения 40 см; тип грунтовых условий по просадочности – II-ой.
4. Анализ результатов лабораторных испытаний по определению физико-механических свойств свидетельствует, что грунты ствола сваи обладают надежными характеристиками прочностных и деформационных свойств, в разы превосходящими эти значения для грунтов в естественном залегании.
5. Исследования грунтов «околосвайного массива», а именно динамики изменения физико-механических характеристик по мере удаления от ствола изготовленной сваи осуществлялось на образцах, отобранных из скважин, пробуренных на заданных расстояниях от центра (ствола) сваи.
6. С учетом результатов выполненных испытаний грунтов следует, что просадочные свойства грунтов, находящиеся за контуром «пятна» изготовленной сваи, полностью исчезают, если расстояние в свету между сваями не превышает 1,0м.
7. При изготовлении грунтовых свай в массиве происходят изменения, вызванные, с одной стороны, наличием самой грунтовой сваи, с другой – уплотнением окружающих сваю грунтов природного сложения. Свойства таких техногенных глинистых пород будут определяться их микроструктурой.
8. Исследование структуры грунтов проводилось для просадочных супесей и суглинков на двух масштабных уровнях: макро- и микроуровне. После тщательного визуального

обследования для выявления особенностей строения изучаемых грунтов был использован растровый электронный микроскоп (РЭМ) VEGA TS 5130.

9. Проведенные исследования РЭМ-изображений грунта позволили на количественном уровне проследить динамику изменения морфометрических и геометрических параметров основных структурных элементов – частиц и пор, на различных участках уплотненной зоны. Это, в свою очередь, позволило сделать вывод о степени уплотнения просадочного грунта в результате устройства грунтовых свай, сопровождающееся изменением его микроструктуры.

10. На расстоянии до 40 см происходит максимальное сближение частиц грунта, сопровождающееся процессом частичного и полного разрушения агрегатов; формируется новая матричная структура, отличная от природной. Это приводит к устранению просадочных свойств лессового основания. На расстоянии 40÷80 см влияние устройства свай на уплотнение грунта постепенно ослабевает. Структура грунта возвращается к природному состоянию – скелетному типу.

11. Микроструктуру просадочного грунта на расстоянии 40÷80 см от ствола свай можно рассматривать как переходную – скелетно-матричную. На расстоянии более 80 см природный грунт не претерпевает существенных изменений в результате устройства грунтовых свай, выполненных с помощью вибропогружателя. Таким образом, на основе исследований микроструктуры просадочного грунта дана количественная оценка взаимодействия свай с окружающим грунтом.

12. Научно обосновано, что устранение зоны просадочных деформаций в грунтовом массиве в результате устройства свай, выполненных с помощью вибропогружателя с использованием установки RG, повышает точность определения прогнозируемых осадок (просадок) фундаментов и достоверность их расчетных значений.

13. Составлены таблицы прочностных и деформационных показателей просадочных грунтов в естественном и уплотненном состоянии.

## ОБЩИЕ ВЫВОДЫ

1. Проведен анализ инженерно-геологической изученности просадочных грунтов Молдовы. Выполненные исследования по изучению характера и условий их залегания позволяют сделать вывод о том, что более 60% территорий, используемых при строительстве в Молдове, попадают в зону потенциального геоэкологического риска, связанного с возможным проявлением просадки лессовых пород [145].
2. Изучены базовые способы устранения просадки грунтов. Анализ литературных источников и изучение опыта строительства на просадочных грунтах показал, что разработку надежных и эффективных технических решений по устранению просадочных свойств грунтов следует отнести к актуальной задаче, требующей немедленного решения [155].
3. Выявлены основные проблемы, возникающие при строительстве на грунтах II-го типа по просадочности. Установлено, что устройство грунтовых подушек толщиной 3 – 5 м не обеспечивает надежную работу основания и фундаментов [155].
4. Получены новые данные, характеризующие свойства просадочных грунтов. Установлены: зависимости прочности просадочных суглинков от консистенции; реологические параметры: структурное сцепление  $C_c$ , связность  $\Sigma_w$ , порог ползучести  $\tau_{lim}$ , позволяющие прогнозировать поведение просадочного грунта при дополнительном замачивании и в условиях возрастания касательных напряжений в просадочной толще [28].
5. Изучено влияние уплотнения, проведенного с помощью вибропогружателя на физические, прочностные, деформационные и реологические характеристики просадочных грунтов. Экспериментальными исследованиями подтверждено значительное улучшение показателей строительных свойств грунтов [155, 156].
6. Изучена микроструктура просадочных грунтов и её возможное изменение после устройства грунтовых свай. Установлено, что при устройстве грунтовой сваи, выполненной с помощью вибропогружателя, происходят техногенные преобразования, обуславливающие формирование новой видоизмененной микроструктуры (матричной), во многом отличной от исходной (скелетной). Техногенный глинистый грунт ствола сваи может быть characterized как сложно структурированная полиминеральная система с реликтовыми и новообразованными структурами [153].
7. Исследовано напряженно-деформированное состояние основания, уплотненного грунтовыми сваями с применением RG-установки. По результатам экспериментальных

данных, проведенных автором, при диаметре грунтовой сваи 430мм, минимально допустимое расстояние в свету между сваями – 0,8м, максимальное – 1,1м [154].

8. По результатам проведенного научного исследования предложено новое техническое решение по совершенствованию методов устранения просадочных свойств грунтов, реализуемое с помощью RG-установки. Применение в практике строительства результатов исследования позволит повысить надежность проектирования оснований и фундаментов зданий и сооружений на просадочных грунтах [148, 155].

### **РЕКОМЕНДАЦИИ**

1. Глубинное уплотнение просадочной толщи путем устройства грунтовых свай с помощью вибропогружателя осуществлено на двух опорных участках в мун. Кишинэу и показало положительные результаты. Это позволяет рекомендовать предлагаемое техническое решение для подготовки оснований при строительстве на грунтах II-го типа по просадочности.

2. Целесообразность применения грунтовых свай, устраиваемых с помощью RG-установки, повышается, если мощность просадочной толщи, залегающей под подошвой фундаментов (плиты) не превышает 10÷12м. Последнее обусловлено размерами оборудования, существующего в Молдове в настоящее время.

3. Полученные автором значения прочностных и деформационных показателей просадочных грунтов в естественном, водонасыщенном и уплотненном состоянии могут быть использованы для проектирования при решении ряда практических задач: назначения размеров фундаментов, определения несущей способности свай и основания в целом и в других случаях, например, связанных с оценкой устойчивости склонов откосов выемок и насыпей.

## БИБЛИОГРАФИЯ

1. Alexandrescu I. Contribuții la studiul acțiunii solicitărilor dinamice asupra fundațiilor și a terenului de fundare. Teza de doctorat. Timișoara, 2007. 121 p.
2. Arad S., Arad V., Chindriș Gh. Geotehnica mediului. Deva: Editura Polidava, 2000. 232 p.
3. Arad V., Radermacher L., Apostu S. Mecanica rocilor. Petroșani: Editura Universitas, 2016. 231 p.
4. Arad V., Stog I., Polcanov V. Geomecanica. Chișinău: Editura Tehnica-Info, 2009. 248p.
5. Cercetări privind influența caracteristicilor de natură și de stare a PSU asupra sensibilității la umezire. Analize comparative pe diferite tipuri de loessuri din România (raport de cercetare) INCD URBAN-INCERC București, 2012.
6. Ciobotaru V. Mineralogie: Curs general. — Chișinău : CEP USM, 2004. 176 p.
7. Ciobotaru V., Francovschi I., Neaga V. Formațiunile argiloase ale Republicii Moldova sub aspectul perspectivei gazelor de șist. Buletinul institutului de Geologie și Seismologie al AȘM. Nr 1 2016. Chișinău, 2016. p.1-10.
8. Ciornei A., Răileanu P. Cum dominăm pământurile macroporice sensibile la umezire (P.S.U.): posibilități de fundare a construcțiilor în P.S.U. Iași : Junimea, 2000. 285 p.
9. Dianu V., Coșovliu O. Fundarea pe loessuri și pământuri loessoide. București: Editura Academiei Republicii Socialiste România, 1984. 232 p.
10. Dianu V., Dianu F. Fundare eficientă în condiții de teren dificile. București: Editura Tehnică, 1992. 319 p.
11. Dianu V., Istrate M. Depozitele loessoide ca terenuri de fundare. București: Editura Tehnică, 1982. 279 p.
12. Dimofte D. Schimbări climatice cuaternare înregistrate în depozite sedimentare deduse prin analize mineralogice, granulometrice, geochimice și magnetice pe secțiuni de loess-paleosol din România. Teza de doctorat. Bucuresti, 2012. 157 p.
13. Dobrescu C. Prognozarea comportării pământurilor sensibile la umezire. București: Ed. Bren, 2011. 118 p.
14. Dron A. Lucrări de îmbunătățiri funciare și construcții pe loessuri și pământuri loessoide. București: Ceres, 1976. 176 p.
15. Enică S. Impactul substratului loessoid asupra habitatului din municipiul Galați. În: Confluente geografice. An. 2, nr. 2, 2014, p. 38-54

16. Evaluarea sistematică a comportării pământurilor cu structură instabilă și influența acestora asupra siguranței construcțiilor fondate pe aceste tipuri de pământuri (raport de cercetare) INCD URBAN-INCERC București, 2012.
17. Fărcas V., Popa A. Geotehnica. Teorie și exemple de calcul. Cluj Napoca: UTPRESS, 2013. 299 p.
18. Haida V., Peptan A., Voicu O. Fundații speciale. Timișoara: Editura Politehnica, 2010. 386p.
19. Iliesi A., Stanciu A., Lungu I. Modalități de evaluare a siguranței construcțiilor fondate pe pământuri sensibile la umezire. A XII-a Conferință Națională de Geotehnică și Fundații (CNGF 2012), Iași, 20-22 septembrie 2012, pag. 551-565
20. Indicativ NP 125, 2010. Normativ privind fundarea construcțiilor pe pământuri sensibile la umezire colapsibile.
21. Indicativ NP-112, 2014. Normativ de proiectare a fundațiilor de suprafață.
22. Lungu I., Stanciu A., Boți N. Probleme speciale de geotehnică și fundații. Iași: Editura Junimea, 2002. 247 p.
23. Mihoc G Fundarea construcțiilor inginerești pe terenuri sensibile la umezire (loessuri). Iași: Universitatea Tehnică "Gheorghe Asachi", 2009. 354 p.
24. Mihoc G. Studiu asupra posibilităților de proiectare, execuție și exploatare a construcțiilor inginerești pe terenuri sensibile la umezire. Bacău: Alma Mater, 2009. 157 p.
25. Necula C. Proprietati magnetice ale depozitelor de loess-paleosol din România: implicații paleoclimaterice. Teza de doctorat. Bucuresti, 2006. 186 p.
26. Olinic E., Paraschiv I. Tasarea unui depozit ecologic de deșeuri fundat pe pământ sensibil la umezire. A XIII-a Conferinta Nationala de Geotehnica si Fundatii, 7-10 septembrie 2016, Cluj-Napoca, Romania.
27. Olteanu A. Geotehnică. București: Conspress, 2014. 126 p.
28. Polcanov V., Funieru N., Râșcovoi A., Cîrlan A., Ceban O. Particularitățile manifestării proprietăților reologice ale argilelor alunecătoare neogene. In: *Meridian Ingineresc*, Nr. 1(68), UTM, 2018, pp. 67-71. ISSN 1683-853X. Categoria C.
29. Răileanu P., Boți N., Stanciu A. Geologie, geotehnică și fundații, vol.I. Iași: Rotaprint I.P., 1986. 305 p.
30. Răileanu P., Boți N., Stanciu A. Geologie, geotehnică și fundații – Mecanica pământurilor, vol.II. Iași: Rotaprint I.P., 1986. 365 p.
31. Răileanu P., Boți N., Stanciu A. Geologie, geotehnică și fundații – Geotehnică , vol.III. Iași: Rotaprint I.P., 1986. 366 p.

32. Sîrodoev Gh., Mițul., Ignatiev L. ș.a. Dezvoltarea eroziunii liniare. În: Republica Moldova. Hazardurile Naturale Regionale. Chișinău, 2009. p. 33-46.
33. Sîrodoev Gh., Mițul., Ignatiev L. ș.a. Evaluarea riscurilor de apariție a proceselor geomorfologice periculoase. În: Republica Moldova. Hazardurile Naturale Regionale. Chișinău, 2009. p. 9-15.
34. Stanciu A. ș.a. Fundații II. Investigarea și cercetarea terenului de fundare. București: Editura Tehnică, 2016. 965 p.
35. Stanciu A., Boți N., Lungu I. Comportarea în exploatare a unui rezervor de apă pe un teren sensibil la umezire îmbunătățit – nota I - Lucrările celei de a X-a Conferințe Naționale de Geotehnică și Fundații, București, 2004. p. 399-403.
36. Stanciu A., Lungu I., Fundații I. Fizica și mecanica pământurilor. București: Editura Tehnică, 2006. 1620 p.
37. Stănciuc M. Investigații geotehnice în situ. București: Cuer, 2010. 128 p.
38. Studii și cercetări privind fundarea pe loessuri și pământuri loessoide (raport de cercetare). INCERC București, 1974.
39. Taranenco A. Calculul structurilor din bare în domeniul postelastice (Teză). — Chișinău: 2008. 109 p.
40. Adam D., Paulmichl I. Rapid impact compactor – an innovative dynamic compaction device for soil improvement. Proc. 8th International Geotechnical Conference, Slovak University of Technology, Bratislava, 2007. p. 183-192.
41. Angelova R. Loess-cement long-term strength – a facilitating factor for loess improvement applications. *Geologica Balcanica*, 36, 3-4, 2007. p. 21-24.
42. Antonescu I. Some features of Romanian loessial soils, Proc. Int. Conf. on Engineering Problems of Regional Soils, Beijing, China, 1988, p. 195-200.
43. Britto, A.M. and Gunn, M.I. Critical State Soil Mechanics via Finite Elements. Chichester: Ellis Horwood Limited. 1990. – 486 pp.
44. Burlacu C. Improvement solutions for very compressible soils. Case study: Tulcea wastewater treatment plant. Proceedings of the 22nd European Young Geotechnical Engineers Conference. Gothenburg, Sweden. 2012. p. 251-255.
45. Burlacu C. ș.a. Compacted soil columns for foundations on collapsible soils. Laboratory and in-situ experimental study. Proceedings of the 18th International Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering, Paris, 2013. p.2433 – 2437
46. Craig R. Soil mechanics. London: Chapman&Hall, 1992.

47. Cremaschi M. The loess in northern and central Italy: a loess basin between the alps and the Mediterranean region. Milano; Editrice Gutenberg, 1990.
48. Cristopher T. Expedient mitigation of collapsible loess in Northern Afghanistan Int. J. Geoenviron. Case Histories, 2 (May) 2013. p. 252-257
49. Derbyshire E. Geological hazards in loess terrain, with particular reference to the loess regions of China. Earth Science Reviews, 2001, p. 231-260.
50. Duncan J.M. "State of the Art: Limit Equilibrium and Finite Element Analysis of Slopes". Journal of Geotechnical Engineering. Vol. 122, №1996. pp. 576-596.
51. Enculescu P. Le loess de la Roumanie et les sols zoneaux formés a ses dépens. București: Bucovina, 1929. 24 p.
52. Evstatiev D., Karastanev D., Angelova R., Jefferson I. Improvement of collapsible loess soils from Eastern Europe: Lessons from Bulgaria. In: Proc. of 4th Int. Conf. on Ground Improvement Techniques, Kuala Lumpur, 1. 2002. p. 331- 338.
53. Gioba G., Cividini A. Numerical methods for the analysis of tunnel performance in squeezing rocks. Rock Mechanics and Rock Engineering (issue 29(4)), Austria, 1996. Springer – Veriag. p. 171-193.
54. Gitirana G. (Jr.) Weather-related Geo-hazard Assessment Model for Railway Embankment Stability. Saskatoon, SK, Canada: Ph. D. Thesis. University of Saskatchewan. 2005. - 411pp.
55. Jiang M., Zhang F., Hu H., Cui Y., Peng J.B. Structural characterization of natural loess and remoulded loess under triaxial tests Engineering Geology, 181 (2014). p. 249-260
56. Manea S., Olinic E. Geotechnical design on loessoid soils”, XIVth Danube-European Conference on Geotechnical Engineering, Bratislava, 2010. p. 209 – 219.
57. Pipkin B., Trent D. Geology and the environment, Third Edition, Brooks/Code Thomson Learning, chapter 6 Soils, weathering and erosion, 2000. 570 p.
58. Resurse naturale ale Republicii Moldova: fișierul etnografic retrospectiv (1990-2012) / Acad. de Științe a Moldovei. Ch., 2012. – 303p.
59. Yin Z., Chang C., Karstunen M., Hicher P. An anisotropic elastic viscoplastic model for soft clays. International Journal of Solids and Structures, 47, 2010. p. 665-677.
60. Zárate M. Loess of southern South America. Quaternary Science Reviews. Volume 22, Issues 18–19, September 2003, p. 1987-2006
61. Zbigniew Różycki S., Załoba E., Smólska J. Loess and loess-like deposits: evolution of views on the genesis of loess classical loess provinces loess of the warm zone. Wrocław: Ossolineum, 1991. 187 p.

62. Абелев Ю.М., Абелев М.Ю. Основы проектирования и строительства на просадочных макропористых грунтах. – 3-е изд. Перераб. и доп. – Москва: Стройиздат, 1979. – 271с.
63. Ананьев В.П., Потапов А. Д. Инженерная геология. Учеб. для строит. спец. вузов. – Москва: Изд-во Высшая школа, 2005. – 670с.
64. Алекперов Ф.Х. Расчет ленточных фундаментов каркасных зданий на просадочных грунтах второго типа: Автореферат дис. канд. технических наук АИИ. – Баку, 1984. – 27с.
65. Андрухин Ф.Л. Исследование связных грунтов: принципы компрессионных испытаний пород. – Москва, 1939. – 71 с.
66. Арясова О. В. Геодинамические процессы в литосфере и кимберлитовый магматизм: Автореф. д-ра физико-мат. наук. НАН Украины, Ин-т геофизики им. С. И. Субботина. Киев, 2016. - 32 с.
67. Ахметов Д.Д., Коновалов П.А., Епанешников Л.О. Опыт возведения зданий и сооружений на просадочных грунтах, формирующих сложный рельеф // Основания, фундаменты и механика грунтов. – 2005. – № 3. – с. 21–25.
68. Бабаевская Л.В. Инженерная защита зданий и сооружений, построенных на специфических грунтах, от опасных геологических процессов: Автореферат дис. канд. технических наук СКФУ. – Москва, 2013. – 19с.
69. Банник Г.И. Техническая мелиорация грунтов /– Киев: Вища школа, 1976. – 303с.
70. Бенерджи П., Баттерфилд Р. Методы граничных элементов в прикладных науках. М. Мир. 1984. - 494с.
71. Богдевич О.П., Исичко Е. С. Инженерно-геологическое районирование города Кахула. Бюллетень Института Геологии и Сейсмологии АНМ № 2 / 2016. с. 52-59
72. Богомоллов А.Н. и др. Особенности возведения зданий и сооружений на лессовых основаниях в Молдавии // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Строительство и Архитектура. – 2017. – т. 8, № 1. – с. 53-59.
73. Богомоллов А.Н. и др. Особенности деформационного поведения замедленно-просадочных лессовых грунтов в основаниях инженерных сооружений при техногенном обводнении // Вестник ПНИПУ, Строительство и Архитектура. – 2016. – т. 7, № 3. – с. 34-45.
74. Богомоллов А.Н. и др. Особенности оценки просадочных свойств лессовых пород при проектировании оснований и фундаментов в центральной Молдавии // Вестник ПНИПУ, Строительство и Архитектура. – 2016. – т. 7, № 3. – с. 46-53.

75. Богомолов А.Н. и др. Оценка просадочности лессовых оснований полевыми и лабораторными методами // Вестник Волгоградского гос. арх.-строит. университета. Строительство и Архитектура. – 2015. – Вып. 40 (59). – с. 98-115.
76. Богомолов А.Н. и др. Опыт прогноза подтопления лессовых территорий. В: Проблемы снижения природных опасностей и рисков. Материалы международной научно-практ. Конф. «Геориск-2012». В 2-х т. Т. 1. – Москва: РУДН, 2012, – с. 37-43.
77. Богомолов А.Н. и др. Изменение состава и свойств лессовых просадочных пород при замачивании и фильтрации воды // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Сер.: Строительство и архитектура. – 2012. – Вып. 26(45). – с. 16-25.
78. Богомолов А.Н. и др. Инженерно-геологическая характеристика лессовых пород междуречья Прут-Днестр // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Сер.: Строительство и архитектура. – 2011. – Вып. 24(43). – с. 33-45.
79. Бондарик Т.К., Горальчук М.И. Сироткин В.Г. Закономерности пространственной изменчивости лессовых пород: – М., Недра, 1976. – 238с.
80. Бребия К., Теллес Ж., Врубел Л. Методы граничных элементов. Москва: Мир, 1987. - 524с.
81. Булыгина Л.Г., Кошелев А.Г., Соколов В.Н. Влияние особенностей микростроения глинистых грунтов различного генезиса на их деформирование при компрессионных и штамповых испытаниях // Геоэкология, Инженерная геология, геокриология. Москва: Наука. – №6, 2013. – с. 552-559.
82. Буртиев Р. З. Методология оценки сейсмической опасности. LAP LAMBERT Academic Publishing, 2017. 288р.
83. Буртиев Р. З. Вероятностный анализ сейсмической опасности территории Молдовы и сопредельных районов. Геофизический журнал № 6, Т. 37, 2015, Киев. 124– 130.
84. Вовк В.М. Пространственная база данных “лессовая толща Кировоградчины” как основа прогноза просадочных процессов / Вестник ОНУ. 2013. Т.18, вып. 1(17). – с. 155-162.
85. Вопросы исследований лессовых грунтов, оснований и фундаментов / Отв. Редактор В.И. Лозовая. – Ростов-на-Дону: Издательство Ростовского университета, 1977. – 218с.
86. Вопросы исследований лессовых грунтов, оснований и фундаментов / Отв. Редактор В.П. Ананьев. – Ростов-на-Дону: Издательство РИСИ, 1972. – 116с.

- 87.** Воросы строительства гидротехнических сооружений на просадочных грунтах / Под редакцией А.А. Мустафаева. – Баку, 1969. – 338с.
- 88.** Вопросы механики просадочных грунтов / Ученые записки, том 4(12) // Под редакцией А.А. Мустафаева. – Баку, 1967. – 200с.
- 89.** Вопросы исследования лессовых грунтов, оснований и фундаментов / Отв. Редактор В.П. Ананьев. – Ростов-на-Дону: Издательство Ростовского университета, 1966. – 135с.
- 90.** Вяткина Е.И. Изменение микроструктуры лессовых просадочных грунтов приобского плато под влиянием различных механических воздействий: Автореферат дис. канд. геолого-минералогических наук АГТУ. – Барнаул, 1997. – 20с.
- 91.** Геотехника в строительстве / Вопросы строительства на просадочных грунтах, вып. 1. – М.: Издательство литературы по строительству, 1966. – 83с.
- 92.** Гильман Я.Д., Косаренко Г.И., Дежин Ю.В. Возведение фундаментов на лессовых грунтах // Рекомендации по производству работ. – Ростов-на-Дону: Ростовское книжное издательство, 1985. – 45с.
- 93.** Гончаров В.С. Инженерно-геологическая характеристика лессового покрова нижнего Приднестровья: Автореферат дис. канд. геолого-минералогических наук ОГУ. – Одесса, 1971. – 22с.
- 94.** Гончарова Л.В. Основы искусственного улучшения грунтов. – М.: Издательство МГУ, 1973. – 376 с.
- 95.** Горькова И. М. и др. Природа прочности и деформационные особенности лессовых пород. – М.: Наука, 1964. – 148с.
- 96.** Гоулдстейн Дж., Ньюбери Д., Эчлин П. Растровая электронная микроскопия и рентгеновский микроанализ: в 2-х кн.; Пер. с англ. – Москва: Мир, 1984. – 303с.
- 97.** Григорьева И.Ю. Микростроение лессовых пород. – М.: МАИГ, Наука / Интерпериодика, 2001, – 147с.
- 98.** Гринь Н.Н. Лессовые грунты территории г. Иркутска и оценка их просадочности. Автореф. дис. на соискание ученой степени канд. геол-мин. наук. Иркутск, 2007. – 20с.
- 99.** Денисов Н.Я. Строительные свойства лёсса и лессовидных суглинков. М., 1953. – 154с.
- 100.** Диденкул А.С., Куку О.С. Специальные технологии в строительстве. – Кишинэу, ТУМ, 2013. – 187с.
- 101.** Докин Д.В. Исследование взаимодействия гидротехнических сооружений и просадочных оснований с учетом инженерно-геологических особенностей лессовых

грунтов центрального Предкавказья. Автореф. дис. на соискание ученой степени канд. техн. наук. Москва, 2005, – 24с.

**102.** Долганов А.П. Инженерно-геологическое обоснование строительства зданий повышенной ответственности в сложных природных условиях (на примере Волгограда). Автореф. дис. на соискание ученой степени канд. геол-мин. наук. Волгоград, 2010, 24с.

**103.** Зенкевич О., Морган К. Конечные элементы и аппроксимации. М.: Мир. 1986.- 318с.

**104.** Журнаджи В.А. и др. Основания и фундаменты на лессовых просадочных грунтах // Ростовский инженерно-строительный институт. – Ростов-на-Дону: Издательство РДУ, 1968. – 320с.

**105.** Карелина И.В., Гумиров М.А., Швецов Г.И. Компьютерная обработка РЭМ-изображений микроструктуры лессовых грунтов // Ресурсо- и энергосбережение как мотивация творчества в архитектурно-строительном процессе. Труды годичного собрания РААСН 2003. – Казань: Изд-во КГАСА, 2003. – с. 487-489.

**106.** Клепиков С.Н., Трегуб А.С., Матвеев И.В. Расчет зданий и сооружений на просадочных грунтах. – К.: Будівельник, 1987. – 200с.

**107.** Коротеев Д.В. Возведение фундаментов зданий и сооружений на просадочных грунтах. – М. Стройиздат, 1986. – 156с.

**108.** Костик Г.Е. Опыт прогнозирования просадки лессовых пород методом аналогий. – Кишинев: Штиинца, 1978. – 43с.

**109.** Костик Г.Е. Прогноз просадки лессовых пород методом инженерно-геологических аналогий: Автореферат дис. канд. геолого-минералогических наук ОГУ. – Одесса, 1975. – 33с.

**110.** Краев В.Ф. Просадочные свойства лессовых пород правобережной части нижнего Приднестровья. – Киев: Издательство АН УССР, 1956. – 148с.

**111.** Крауч С, Старфилд Л. Методы граничных элементов в механике твердого тела. - М.: Мир, 1987. - 327с.

**112.** Кригер Н.И. Состояние вопроса об оценке просадочных свойств грунтов. – М.: ПНИИИС, 1972. – 60с.

**113.** Крутов В.И. Основания и фундаменты на просадочных грунтах. – Киев: Будівельник, 1982. – 224с.

**114.** Крутов В.И., Багдасаров Ю.А., Рабинович И.Г. Фундаменты в вытрамбованных котлованах. – М.: Стройиздат, 1985. – 164с.

- 115.** Кузнецова С.В. и др. Просадочные и послепросадочные деформации лессовых оснований при фильтрации воды // Интернет-вестник Волг ГАСУ. Сер.: Политематическая, 2013. Вып. 1(25). – 7с. [www.vestnik.vgasu.ru](http://www.vestnik.vgasu.ru).
- 116.** Лаврусевич А.А. Геоэкологическая оценка лессового псевдокарста в целях строительства. Автореф. Дис. На соискание ученой степени докт. техн. наук. Москва: МГСУ, 2012, – 39с.
- 117.** Ларионов А.К., Приклонский В.А., Ананьев В. П. Лессовые породы СССР и их строительные свойства. М.: Гос-геолтехиздат, 1959. – 200с.
- 118.** Лессовые породы СССР: В двух томах. Том I. Инженерно-геологические особенности и проблемы рационального использования / Под редакцией Е.М. Сергеева, А.К. Ларионова, Н.И. Коммисаровой. – М.: Недра, 1986. – 232с.
- 119.** Лессовые породы СССР: В двух томах. Том II. Региональные особенности / Под редакцией Е.М. Сергеева, В.С. Быковой, Н.И. Коммисаровой. – М.: Недра, 1986. – 276с.
- 120.** Литвинов И.М. Укрепление и уплотнение просадочных грунтов в жилищном и промышленном строительстве. – Киев: Будівельник, 1977. – 288с.
- 121.** Лысенко М.П. Лессовые породы. – Ленинград: Недра, 1978. – 208с.
- 122.** Макаренко Н.А. Исследования основных факторов просадочности лессовых пород и оптимизация методики её определения: Автореферат дис. канд. геолого-минералогических наук МГУ, 1979. – 20с.
- 123.** Маслов Н.Н. Основы инженерной геологии и механики грунтов. – М.: Высшая школа, 1982. – 511с.
- 124.** Маслов Н.Н. Физико-техническая теория ползучести глинистых грунтов в практике строительства. Москва: Стройиздат, 1984. – 176с.
- 125.** Маслов Н.Н. Механика грунтов в практике строительства. – Москва: Стройиздат, 1977. – 320с.
- 126.** Методические рекомендации по расчету столбчатых фундаментов в вытрамбованных котлованах в просадочных грунтах Молдавской ССР / НИИОСП им. Н.М. Герсевича. – М., 1972. – 10с.
- 127.** Минаев О.П. Основы и методы уплотнения грунтов оснований для возведения зданий и сооружений: Диссертация доктора технических наук Санкт-Петербургский ГПУ. – Санкт-Петербург, 2014. – 294с.
- 128.** Мокрицкая Т. П. Хаотические модели деградации лессов. // Электронный журнал Cloud of Science. 2014. Т. 1. № 3, С. 411-420. <http://cloudofscience.ru>

- 129.** Мокрицкая Т. П., Коряшкина Л. С. Факторы и модели деградации просадочности // Вісник Національного гірничого університету. 2013. № 4. – с. 5–12.
- 130.** Мустафаев А.А. Расчет оснований и фундаментов на просадочных грунтах: Учебное пособие для вузов. – М.: Высшая школа, 1979. – 368с.
- 131.** Олянский Ю.И. и др. Прогноз подтопления урбанизированных территорий. В: Геология, география и глобальная энергия. 2013, № 1 (48), – с. 119-129.
- 132.** Олянский Ю.И., Чарыкова С.А. Инженерно-геологические проблемы мелиорации южных районов Молдовы. В: Проблемы снижения природных опасностей и рисков. Материалы международной научно-практ. конф. «Геориск-2012». В 2-х т. Т. 1. – Москва: РУДН, 2012, – с. 192-197.
- 133.** Олянский Ю.И. и др. Опыт прогноза подтопления лессовых территорий // Проблемы снижения природных опасностей и рисков: материалы Международной научно-практической конференции “Геориск”. – М., 2012. Т.1. – с. 37-43.
- 134.** Олянский Ю.И. Закономерности развития процессов набухания и просадки неоген-четвертичных глинистых пород юго-запада русской платформы. Автореферат дис. докт. геолого-минералогических наук. – Санкт-Петербург, 2004. – 47с.
- 135.** Олянский Ю.И., Богдевич О.П., Вовк В.М. Инженерно-геологическая оценка лессовых пород на территории Молдовы // Геология: инженерная геология, гидрогеология, геокриология. – 1994, №1. – М.: Наука. – с. 65-75.
- 136.** Олянский Ю.И. Лессовые грунты юго-западного Причерноморья. – Кишинев: Штиинца, 1992. – 130с.
- 137.** Олянский Ю.И., Богдевич О.П. О дополнительном уплотнении некоторых типов лессовых пород Молдавии при фильтрации воды // Известия АН МССР. Физика и техника. 1991. №3(6). – с. 118-121.
- 138.** Осипов В.И., Соколов В.Н., Румянцева Н.А. Микроструктура глинистых пород / Под ред. Е.М. Сергеева. - М.: Недра, 1989. – 211с.
- 139.** Осипов В.И. Понятие «структура грунта» в инженерной геологии // Инженерная геология, 1985. № 3. – с. 4 -18.
- 140.** Осипов В.И. Природа прочностных и деформационных свойств глинистых пород. - М.: Издательство Московского университета, 1979. - 232с.
- 141.** Особенности проектирования оснований и фундаментов зданий и сооружений на лессовых грунтах Северного Кавказа / ПНИИИС. Ставрополь, 1970. – 214с.

- 142.** Павлоцкая Л.А. Расчет ленточных фундаментов на просадочных грунтах с учетом реологической особенности их деформирования: Автореферат дис. канд. технических наук АИСИ. – Баку, 1983. – 21с.
- 143.** Панасюк Л.Н., Таржиманов Э.А., Чантха Хо. Моделирование работы сооружений с учетом проявления неравномерных деформаций в основании. Электронный научный журнал Инженерный вестник Дона, 2011, № 4 том 18, – с. 306-311.
- 144.** Подготовка оснований зданий и сооружений, строящихся на просадочных грунтах / Тезисы докладов республиканского совещания 26-27мая 1981г. – Кининев: Госстрой МССР, 1981. – 46с.
- 145.** Полканова А., Рышковой А., Фуниеру Н. Опасные геологические процессы, способные повлиять на оценку инвестиционно-строительного проекта и его реализацию в Молдове: In: „Mediul și dezvoltarea durabilă”, materialele Conferinței științifice Naționale cu Participare Internațională, Ed. a 4-a, consacrată aniversării a 80 de ani a Facultății de Geografie, 25-28 octombrie 2018, Chișinău: US Tiraspol, 2018, pp. 45-48. ISBN 978-9975-76-253-3
- 146.** Полканов В., Кырлан А., Чебан О., Фуниеру Н. К вопросу изучения длительной прочности неоген-четвертичных глинистых грунтов Молдовы. In: Buletinul Institutului de Geologie și Seismologie al AȘM. Nr. 1, IGS al AȘM, 2016, pp. 5-14.
- 147.** Полканов В.Н. Фундаменты на просадочных грунтах. Основы проектирования и технология подготовки оснований: Учебное пособие / В.Н. Полканов, А.С. Диденкул, В.И. Топорец. Кишинэу: ТУМ, 2010. – 94с.
- 148.** Полканов В., Фуниеру Н., Рышковой А. К вопросу установления расчетных характеристик сопротивляемости глинистых грунтов сдвигу при оценке степени устойчивости склонов. In: *Revistă de proprietate intelectuală „Intellectus”*. Nr. 2, „Intellectus” AGEPI, 2018. ISSN 1810-7079 Categoria C.
- 149.** Пособие по проектированию оснований зданий и сооружений (к СНиП 2.02.01-83). – М.: Стройиздат, 1986. – 416с.
- 150.** Приходченко О.Е. Напряженно-деформированное состояние лессовых оснований в процессе влагопереноса. Автореф. Дис. На соискание ученой степени докт. Техн. Наук. Киев, 1995. – 49с.
- 151.** Просадочные деформации лессовых пород Центрального Предкавказья / Под редакцией И.В. Попова. – М.: Издательство АН СССР, 1963. – 135с.
- 152.** Руководство по проектированию и устройству фундаментов в вытрамбованных котлованах. – М.: Стройиздат, 1981. – 56с.

- 153.** Рышковой А. Устранение просадочных свойств грунтов путём устройства грунтовых свай, выполненных с помощью вибропогружателя: In: „Mediul și dezvoltarea durabilă”, materialele Conferinței științifice Naționale cu Participare Internațională, Ed. a 4-a, consacrată aniversării a 80 de ani a Facultății de Geografie, 25-28 octombrie 2018, Chișinău: US Tiraspol, 2018, pp. 40-44. ISBN 978-9975-76-253-3
- 154.** Рышковой А. Снижение расчетной сейсмичности площадки при строительстве на просадочных грунтах. In: *Revistă de proprietate intelectuală „Intellectus”*. Nr. 4, „Intellectus” AGEPI, 2018. pp. 92 - 97. ISSN 1810-7079 Categoria C.
- 155.** Рышковой А. Применение новых технологий для устранения просадочных свойств грунтов основания: In: *Mediul și dezvoltarea durabilă*, materialele Conferinței științifice Naționale cu Participare Internațională, Ed. a 3-a, consacrată aniversării a 80 ani de la nașterea prof. univ., dr. hab. Alexandru Lungu, Chișinău, 06-08 octombrie, 2016, Chișinău: US Tiraspol, 2016, pp. 57-60. ISBN 978-9975-76-170-3
- 156.** Рышковой А., Полканов В. К вопросу изучения физико-механических свойств уплотненных просадочных грунтов. VIII-я Международная научно-техническая конференция Актуальные проблемы градостроительства и благоустройства территорий 17 – 19 ноября 2016, Кишинэу. pag. 159-163. ISBN 978-9975-71-850-9.
- 157.** Рященко Т.Г., Чернышова Ю.В. Методы изучения микроструктуры дисперсных грунтов // Вестник Иркутского государственного технического университета №1 (37), 2009. – с. 34-37.
- 158.** Самарский Л.Л. Введение в численные методы. Москва: Наука, 1982. - 272с.
- 159.** Сборник трудов совещания по строительству на лессовых грунтах / Днепропетровск, 29-31 мая 1957 г., Киев: Академия строительства УССР, 1960. – 454с.
- 160.** Синяков В.Н. и др. Обеспечение экологической безопасности объектов гидромелиорации на структурно-неустойчивых грунтах в южных регионах республики Молдова // Интернет-вестник Волгасу. Сер.: Политематическая. 2013. Вып. 3(28). – 4с. [www.vestnik.vgasu.ru](http://www.vestnik.vgasu.ru)
- 161.** СНиП 2.02.01-83\*. Строительные нормы и правила. Нормы проектирования. Основания зданий и сооружений. – Введ. 1985–12–09. -М.: Стройиздат, 1985. – 62с.
- 162.** Соболев А.А. Исследования фильтрационной анизотропии лессовидных макропористых грунтов приобского плато: Автореферат дис. канд. технических наук Алтайский ГТУ. – Барнаул, 2010. – 20с.

- 163.** СП 50-101-2004. Свод правил по проектированию и строительству. Проектирование и устройство оснований и фундаментов зданий и сооружений. – Введ. 2004–03–09 – М., Госстрой России. 2005. – 137с.
- 164.** Стародуб Ю. П. Інформаційні технології в комп'ютерному моделюванні еколого-геофізичних процесів. Навчальний посібник–Львів: ЛДУ БЖД, 2013.–160 с.
- 165.** Строкова В.В. и др. Микроструктура техногенных глинистых грунтов как фактор техногенного литогенеза. // Успехи современного естествознания. – 2006, № 6. – с. 52-54.
- 166.** Струнин П.В. Напряженно-деформативное состояние грунтоцементных свай, взаимодействующих с грунтовым основанием и межсвайным пространством: Автореферат дис. канд. технических наук МГСУ. – Москва, 2013. – 23с.
- 167.** Сыродоев Г., Андреев А. Геоинформационная поддержка национальной экологической сети Молдовы. В: Географические основы формирования экологических сетей в России и Восточной Европе. 4.1. Материалы электронной конференции (1-28 февраля 2011) М: Товарищество научных изданий КМК, 2011. - с. 274-278.
- 168.** Сыродоева Н.Г. Основные закономерности формирования инженерно-геологических свойств среднесарматских глин Днестровско-Прутского Междуречья (в пределах Молдавии) / автореф. на соискание учен. степени канд. геолого-минерал. н. - Одесский гос. ун-т ИМ. И.П. Мечникова. Кишинев: КПП им. С. Лазо. 1989. -17с.
- 169.** Таллагер Р. Метод конечных элементов. Основы. Москва: Мир, 1984 - 428с.
- 170.** Тимофеева Т.А., Полканов В.Н. Исследование длительной прочности сарматских глин Молдавии // Известия вузов – Строительство, -1982. -№7-8, – с. 145-147.
- 171.** Тихонов В.Т. Теория формирования просадочности лессовых пород // МГУ. М.: ГЕОС, 2003. – 275с.
- 172.** Трофимов В.Т. Генезис просадочности лессовых пород. – М.: Издательство Московского Университета, 1999. – 271с.
- 173.** Трофимов В.Т. Теория цикличности лессов в практике инженерно-геологических изысканий.– Москва: Наука, 1985. – 168с.
- 174.** Тулаков Э.С. Деформации и устойчивость фундаментов отдельно стоящих сооружений при изменении влажности грунтов лессовых оснований с учетом сейсмического воздействия: Автореферат дис. доктора технических наук МГСУ. – Москва, 2004. – 43с.
- 175.** Фонарев П.А. Инженерно-геотехнические изыскания в транспортном строительстве: монография / П.А. Фонарев. – Москва: МАДИ, 2016. – 160с.

- 176.** Фундаменты в вытрамбованных котлованах и в пробитых скважинах / РСН 40-85. – Кишинев: Госстрой МССР, 1985. – 32с.
- 177.** Хасанов А.З. Исследование напряженно-деформированного состояния, просадочности лессовых грунтов и их строительных свойств на примере инженерно-геологических условий Зеравшанского оазиса.: Автореферат дис. доктора технических наук. – Самарканд, 2000. – 40с.
- 178.** Шагин П.П. Прочность сборных зданий на просадочных грунтах. – Ленинград, Москва: Государственное издательство литературы по строительству, архитектуре и строительным материалам, 1963. – 120с.
- 179.** Шахсуваров Г.С. Вопросы строительства крупнопанельных жилых зданий на просадочных грунтах Азербайджана. – Баку: АТИ, 1971. – 143с.
- 180.** Штоль Т.М. Технология возведения подземной части зданий и сооружений: Учебное пособие для вузов. – М.: Стройиздат, 1990. – 288с.

Результаты исследований просадочных грунтов, полученные В.С. Гончаровым

Таблица П 1.1. Основные физические характеристики лессовых пород Нижнего Приднестровья

СВОЙСТВА		ГОРИЗОНТ							
		Q <sub>IV c4</sub>	Q <sub>III b4</sub>	Q <sub>III a4</sub>	Q <sub>III c3</sub>	Q <sub>II b3</sub>	Q <sub>II a3</sub>	Q <sub>II c2</sub>	Q <sub>III-IV d</sub>
W <sub>ест</sub> , %	I	7,3-20,2	6,0-21,0	8,1-22,3	5,5-20,9	8,7-21,6	8,8-21,5	8,5-19,0	8,5-24,6
	II	15,6	15,7	15,7	15,1	14,9	16,0	15,9	17,4
ρ, г/см <sup>3</sup>	I	1,55-1,65	1,45-1,69	1,65-1,82	1,65-1,76	1,52-1,60	1,52-1,68	1,62-1,80	1,55-1,85
	II	1,60	1,54	1,71	1,70	1,57	1,63	1,68	1,68
ρ <sub>d</sub> , г/см <sup>3</sup>	I	1,35-1,56	1,28-1,51	1,42-1,51	1,42-1,50	1,30-1,39	1,39-1,57	1,42-1,55	1,35-1,62
	II	1,42	1,36	1,46	1,45	1,34	1,50	1,50	1,51
n, %	I	40-53	40-54	38-52	40-50	42-52	39-46	39-44	39-52
	II	47	49	46	42	48	43	40	44
W <sub>L</sub> , %	I	26-39	24-35	26-36	25-37	26-35	28-39	27-39	25-39
	II	32	28	30,5	30	29	31	34	33
W <sub>P</sub> , %	I	14-25	12-21	16-22	16-25	13-22	16-25	18-25	14-26
	II	19	18	18	18,5	18	19	20	20
I <sub>P</sub> , %	I	9-16	6-15	10-16	11-16	7-15	12-15	11-16	10-16
	II	12	9	12	13	10	14	15	14

I – пределы колебания характеристики

II – среднее значение

Источник: данные В.С. Гончарова [93, с. 13]

**Приложение 1 (продолжение)**

Таблица П 1.2. Общая характеристика инженерно-геологических областей Нижнего Приднестровья

<b>Область</b>	<b>Местоположение областей</b>	<b>Литологический состав</b>	<b>Мощности (преимущественные), м</b>	<b>Глубина залегания грунтовых вод, м</b>	<b>Генетические типы лессовых пород</b>
Приднестровская равнина	Западная и северо-западная части в пределах районов Криулень, Анений Ной, Кэушань	<b>Суглинки:</b> тяжелые и средние, пылеватые	5-10	2,5-20	- элювиально-делювиальные; - делювиальные
Буджакская равнина	Юго-восточная часть в пределах районов Кэушань, Штефан Водэ	<b>Суглинки:</b> тяжелые, пылеватые	2-8	5-7	- элювиально-делювиальные; - делювиальные
Долина р. Днестр	Восточная и северо-восточная части в пределах районов Дубэсарь, Тираспол, Криулень, Анений Ной, Штефан Водэ	<b>Суглинки:</b> тяжелые, средние, легкие, пылеватые <b>Супеси</b>	10-20	6-25	- эолово-делювиальные; - делювиальные

Источник: данные В.С. Гончарова [93, с. 18-19]

Приложение 1 (окончание)

Таблица П 1.3. Основные физические характеристики лессовых пород Нижнего Приднестровья

Область	Пористость, %	Влажность, %	Коэффициент относительной просадочности $\epsilon_{sl}$ , дол.ед	Пределы колебаний условной величины просадки $\Delta$ пр., см	Допускаемая нагрузка, кг/см <sup>2</sup>	Угол внутреннего трения, $\varphi^\circ$	Сцепление С, кг/см <sup>2</sup>
Приднестровская равнина	40-53	7-19	0,014-0,122	0-50 преобладают участки I типа просадочности	2,0-2,8	17-25	0,12-0,58
Буджакская равнина	41-53	9-22	0,02-0,06	0-30 I тип просадочности	1,5-2,5	14-26	0,20-0,75
Долина р. Днестр	39-53	6-20,5	0,01-0,139	0-75 I и II типы просадочности	1,5-2,5	14-23	0,19-0,85

Источник: данные В.С. Гончарова [93, с. 18-19]

Приложение 2

Результаты исследований просадочных грунтов, полученные Ю.И. Олянским

Таблица П 2.1. Гранулометрический состав лессовых грунтов

Статистическая характеристика	ОТДЕЛ АНТРОПОГЕНА							
	современный		верхний		средний		нижний	
	террасы	водораздел	террасы	водораздел	террасы	водораздел	террасы	водораздел
<b>Глина (&lt; 0,005 мм)</b>								
Среднее значение	30,6	28,0	23,3	29,5	36,7	38,0	43,0	46,8
Количество определений	45	28	60	58	17	9	7	17
	14,4-40,9	10,0-49,6	3,7-27,8	20,8-54,1	20,2-45,1	25,2-45,1	32,6-59,8	29,4-56,3
<b>Пыль (0,05-0,005 мм)</b>								
Среднее значение	42,5	45,0	45,6	40,4	48,0	48,5	38,1	43,1
Количество определений	45	28	60	58	17	9	7	17
	21,8-60,0	29,1-58,3	31,5-86,3	25,0-60,2	29,0-60,5	32,2-60,9	25,1-45,3	35,6-54,5
<b>Песок (&gt; 0,05 мм)</b>								
Среднее значение	26,9	27,0	31,7	30,1	14,6	13,5	18,9	10,1
Количество определений	45	28	60	58	17	9	7	17
	12,4-36,9	12,6-40,2	8,4-58,5	10,0-43,3	6,2-33,5	6,5-18,5	8,6-28,6	5,8-20,1

Источник: данные Ю.И. Олянского [136, с. 35]

**Приложение 2 (продолжение)**

Таблица П 2.2. Статистические характеристики природной влажности лессовых грунтов

Статистическая характеристика	ОТДЕЛ АНТРОПОГЕНА							
	современный		верхний		средний		нижний	
	террасы	водораздел	террасы	водораздел	террасы	водораздел	террасы	водораздел
Пределы колебаний	0,06-0,20	0,07-0,20	0,05-0,21	0,06-0,20	0,14-0,21	0,14-0,22	0,14-0,21	0,14-0,22
Среднее значение	0,15	0,15	0,13	0,14	0,18	0,16	0,17	0,18
Стандартное отклонение	0,031	0,030	0,051	0,028	0,021	0,019	0,034	0,030
Дисперсия	0,0010	0,0009	0,0026	0,008	0,0004	0,0004	0,0012	0,0009
Стандартная ошибка	0,0032	0,0027	0,0036	0,0017	0,0022	0,0032	0,0057	0,0045
Показатель точности	2,1	1,8	2,8	1,2	1,2	2,0	3,3	2,3
Количество определений	93	120	201	260	88	35	36	44

Источник: данные Ю.И. Олянского [136, с. 35]

Приложение 2 (продолжение)

Таблица П 2.3. Показатели пластичности лессовых грунтов генетических пород

Геоморфологический элемент	Геоморфологический индекс грунтов	ПОКАЗАТЕЛЬ ПЛАСТИЧНОСТИ								
		Предел текучести			Предел раскатывания			Число пластичности		
		W <sub>L</sub>	S	n	W <sub>P</sub>	S	n	I <sub>P</sub>	S	n
<b>Пологоувалистые равнины юга</b>										
Террасы р. Днестр	<i>d (eol) Q<sub>3-4</sub></i>	0,29	0,046	131	0,19	0,022	129	0,10	0,036	132
Водораздел	<i>ed (eol) Q<sub>3-4</sub></i>	0,30	0,037	200	0,18	0,022	200	0,12	0,025	195
Террасы р. Прут	<i>d (eol) Q<sub>3-4</sub></i>	0,26	0,039	223	0,19	0,021	224	0,07	0,030	220
<b>Центрально-Молдавская возвышенность</b>										
Склоны и водоразделы	<i>ed (p) Q<sub>3-4</sub></i>	0,27	0,030	231	0,17	0,019	231	0,10	0,032	232
<b>Пологоувалистые равнины севера</b>										
Террасы р. Днестр	<i>d Q<sub>3-4</sub></i>	0,25	0,047	112	0,17	0,030	112	0,08	0,031	112
Водораздел	<i>ed Q<sub>3-4</sub></i>	0,34	0,042	102	0,20	0,028	108	0,14	0,023	99
Террасы р. Прут	<i>d Q<sub>3-4</sub></i>	0,31	0,043	44	0,20	0,015	41	0,11	0,029	42

Источник: данные Ю.И. Олянского [136, с. 44]

**Приложение 2 (продолжение)**

Таблица П 2.4. Статистические характеристики пористости лессовых грунтов

Статистическая характеристика	ОТДЕЛ АНТРОПОГЕНА							
	современный		верхний		средний		нижний	
	террасы	водораздел	террасы	водораздел	террасы	водораздел	террасы	водораздел
Пределы колебаний	41,6-54,6	40,5-51,7	40,4-51,1	38,0-52,0	38,4-50,7	40,0-49,0	37,8-45,9	44,6-47,2
Среднее значение	47,4	46,8	45,5	44,7	46,4	44,3	40,8	40,6
Стандартное отклонение	3,6	2,9	3,1	4,2	3,9	2,6	3,7	4,6
Дисперсия	19,96	8,41	9,61	17,64	15,21	6,76	13,69	21,16
Стандартная ошибка	0,37	0,26	0,23	0,26	0,43	0,44	0,68	0,68
Показатель точности	0,8	0,6	0,5	0,6	1,0	1,0	1,7	1,7
Количество определений	93	121	177	263	82	35	30	464

Источник: данные Ю.И. Олянского [136]

Приложение 2 (продолжение)

Таблица П 2.5. Пористость лессовых грунтов генетических типов

Геоморфологический элемент	Геоморфологический индекс грунтов	СТАТИСТИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА		
		Среднее значение	Стандартное отклонение	Количество определений
<b>Пологоувалистые равнины юга</b>				
Террасы р. Днестр	$d (ed) Q_{3-4}$	47,4	3,5	74
Водораздел	$ed (ed) Q_{3-4}$	46,3	3,2	98
Террасы р. Прут	$d (ed) Q_{3-4}$	46,4	3,7	124
<b>Центрально-Молдавская возвышенность</b>				
Склоны и водоразделы	$ed (p) Q_{3-4}$	42,9	4,4	297
<b>Пологоувалистые равнины севера</b>				
Террасы р. Днестр	$d Q_{3-4}$	47,5	3,2	158
Водораздел	$ed Q_{3-4}$	45,1	3,3	135
Террасы р. Прут	$d Q_{3-4}$	47,4	3,5	200

Источник: данные Ю.М. Олянского [136, с. 51]

Приложение 2 (продолжение)

Таблица П 2.6. Плотность лессовых грунтов генетических типов

Геоморфологический элемент	Геоморфологический индекс грунтов	СТАТИСТИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА		
		Среднее значение	Стандартное отклонение	Количество определений
<b>Пологоувалистые равнины юга</b>				
Террасы р. Днестр	$d (eol) Q_{3-4}$	1,67	0,13	121
Водораздел	$ed (eol) Q_{3-4}$	1,72	0,16	214
Террасы р. Прут	$d (eol) Q_{3-4}$	1,63	0,14	165
<b>Центрально-Молдавская возвышенность</b>				
Склоны и водоразделы	$ed (p) Q_{3-4}$	1,72	0,14	369
<b>Пологоувалистые равнины севера</b>				
Террасы р. Днестр	$d Q_{3-4}$	1,66	0,13	212
Водораздел	$ed Q_{3-4}$	1,77	0,11	91
Террасы р. Прут	$d Q_{3-4}$	1,64	0,14	73

Источник: данные Ю.И. Олянского [136, с. 56]

**Приложение 2 (окончание)**

Таблица П 2.7. Относительная просадочность при давлении 0,3 МПа

и начальное просадочное давление для лессовых грунтов генетических типов

Геоморфологический элемент	Геоморфологический индекс грунтов	СТАТИСТИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА		
		Среднее значение	Стандартное отклонение	Количество определений
<b>Пологоувалистые равнины юга</b>				
Террасы р. Днестр	$d (eol) Q_{3-4}$	$\frac{0,039}{0,087}$	$\frac{0,025}{0,007}$	$\frac{197}{210}$
Водораздел	$ed (eol) Q_{3-4}$	$\frac{0,042}{0,104}$	$\frac{0,026}{0,006}$	$\frac{194}{196}$
Террасы р. Прут	$d (eol) Q_{3-4}$	$\frac{0,042}{0,088}$	$\frac{0,028}{0,006}$	$\frac{213}{208}$
<b>Центрально-Молдавская возвышенность</b>				
Склоны и водоразделы	$ed (p) Q_{3-4}$	$\frac{0,037}{0,104}$	$\frac{0,027}{0,006}$	$\frac{272}{282}$
<b>Пологоувалистые равнины севера</b>				
Террасы р. Днестр	$d Q_{3-4}$	$\frac{0,037}{0,085}$	$\frac{0,023}{0,007}$	$\frac{131}{129}$
Водораздел	$ed Q_{3-4}$	$\frac{0,026}{0,014}$	$\frac{0,016}{0,004}$	$\frac{71}{68}$
Террасы р. Прут	$d Q_{3-4}$	$\frac{0,045}{0,097}$	$\frac{0,025}{0,006}$	$\frac{34}{33}$

в числителе – относительная просадочность;

в знаменателе – начальное просадочное давление (МПа)

Источник: данные Ю.И. Олянского [136]

Графическая интерпретация исследований просадочных грунтов,  
выполненных автором

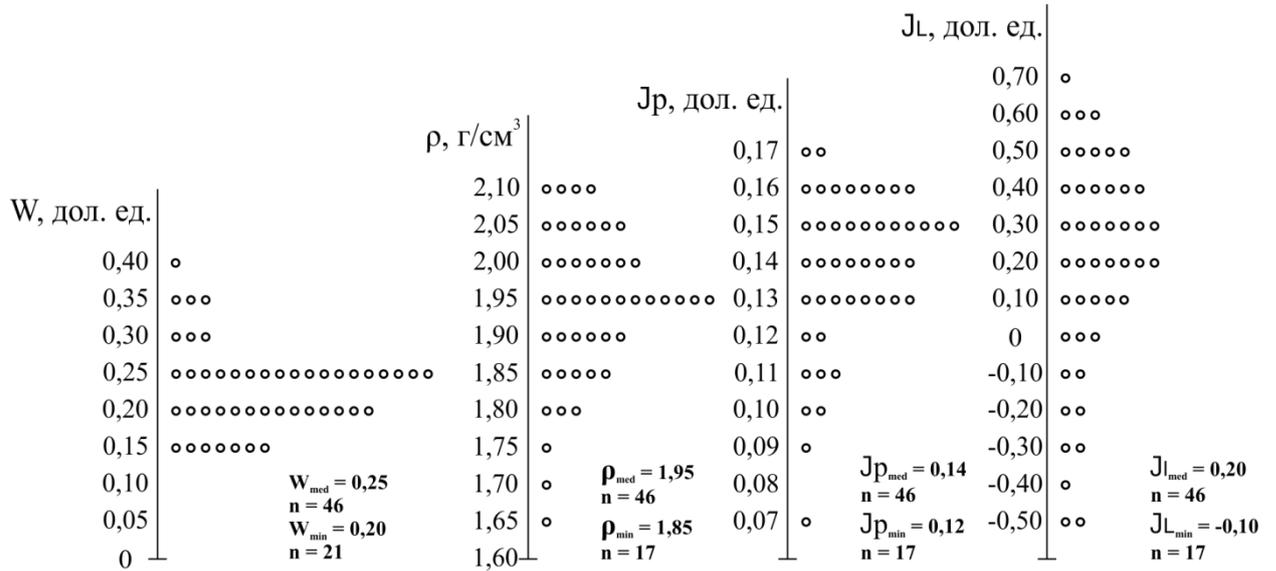


Рис. П 3.1. Графики рассеивания показателей физических свойств суглинков, отобранных в северных районах республики.

Источник: разработано автором

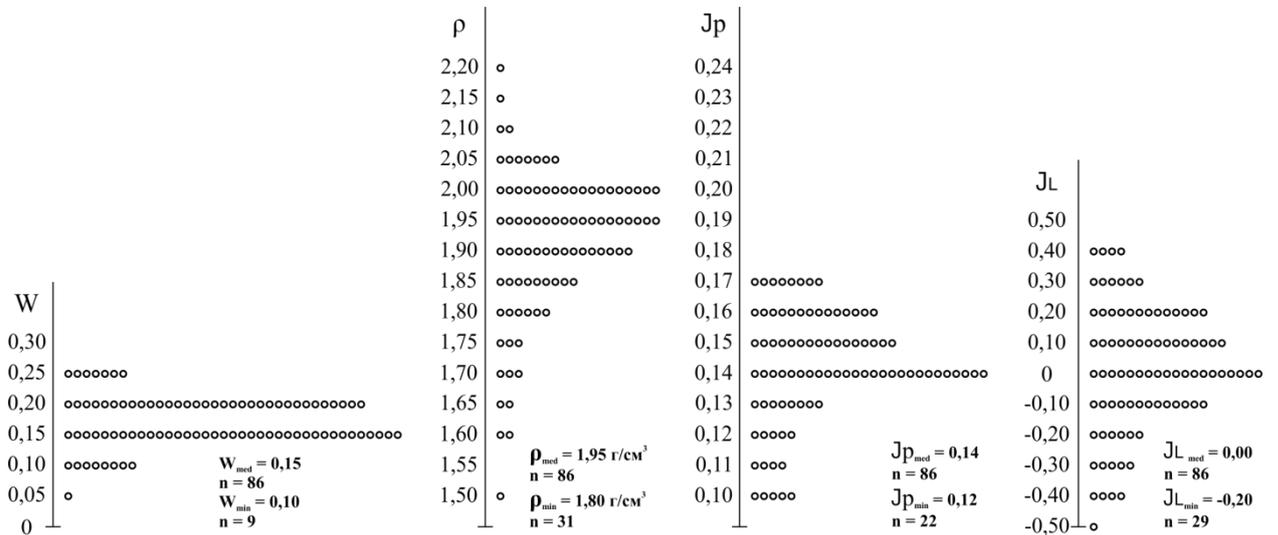


Рис. П 3.2. Графики рассеивания показателей физических свойств суглинков, отобранных в центральных районах республики

Источник: разработано автором

Приложение 3 (продолжение)

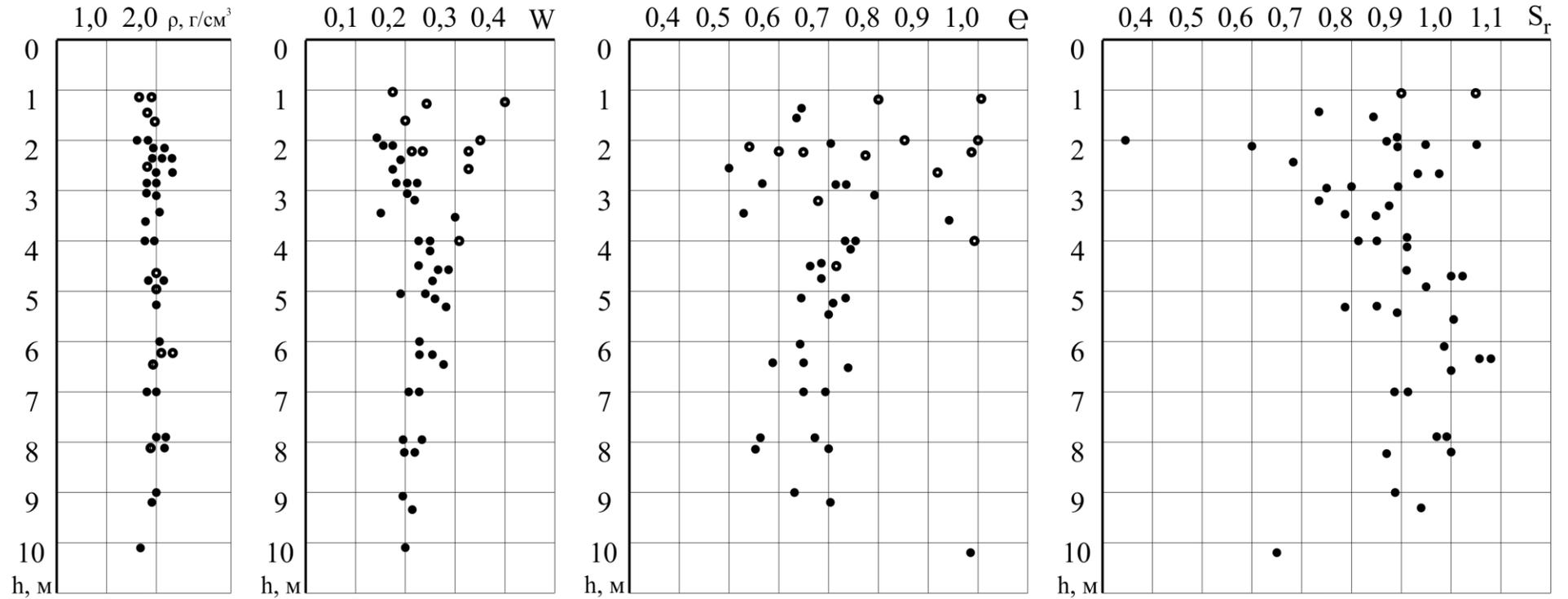


Рис. П 3.3. Графики рассеивания физических характеристик по глубине.

Суглинки, северный район

Источник: разработано автором

Приложение 3 (продолжение)

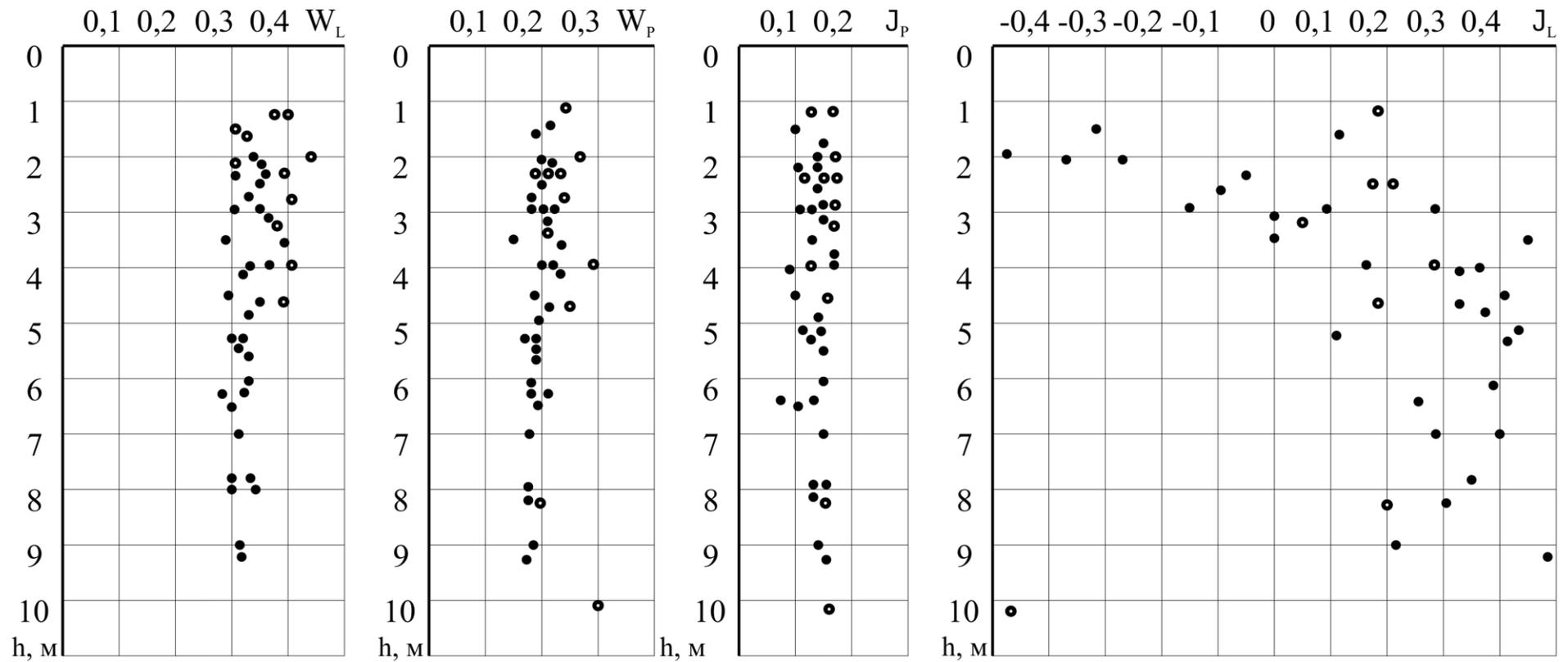


Рис. П 3.4. Графики рассеивания физических характеристик по глубине.  
Суглинки, северный район (продолжение)

Источник: разработано автором

Приложение 3 (продолжение)

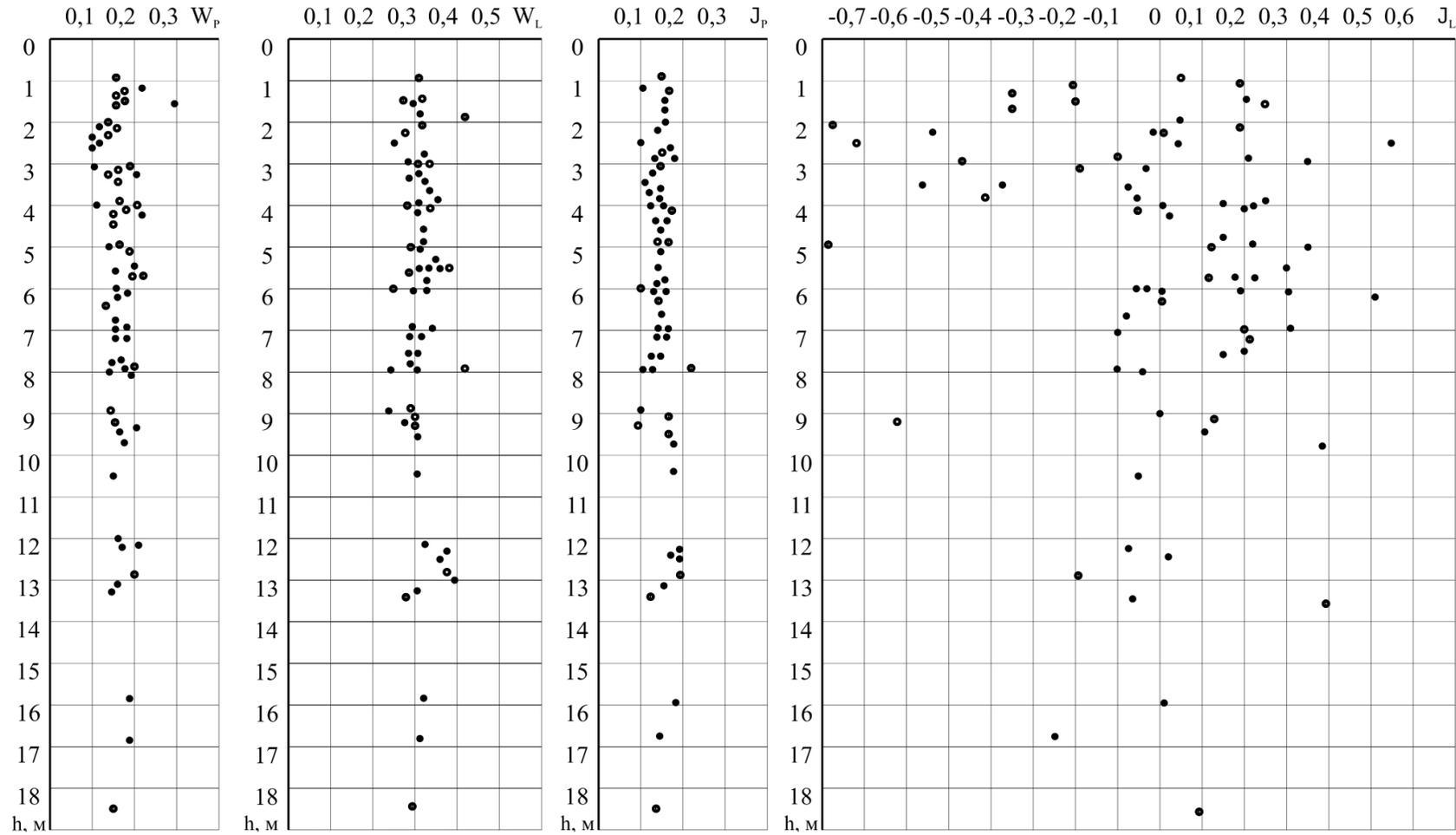


Рис. П 3.5. Графики рассеивания физических характеристик по глубине.

Суглинки, центральный район

Источник: разработано автором

Приложение 3 (продолжение)

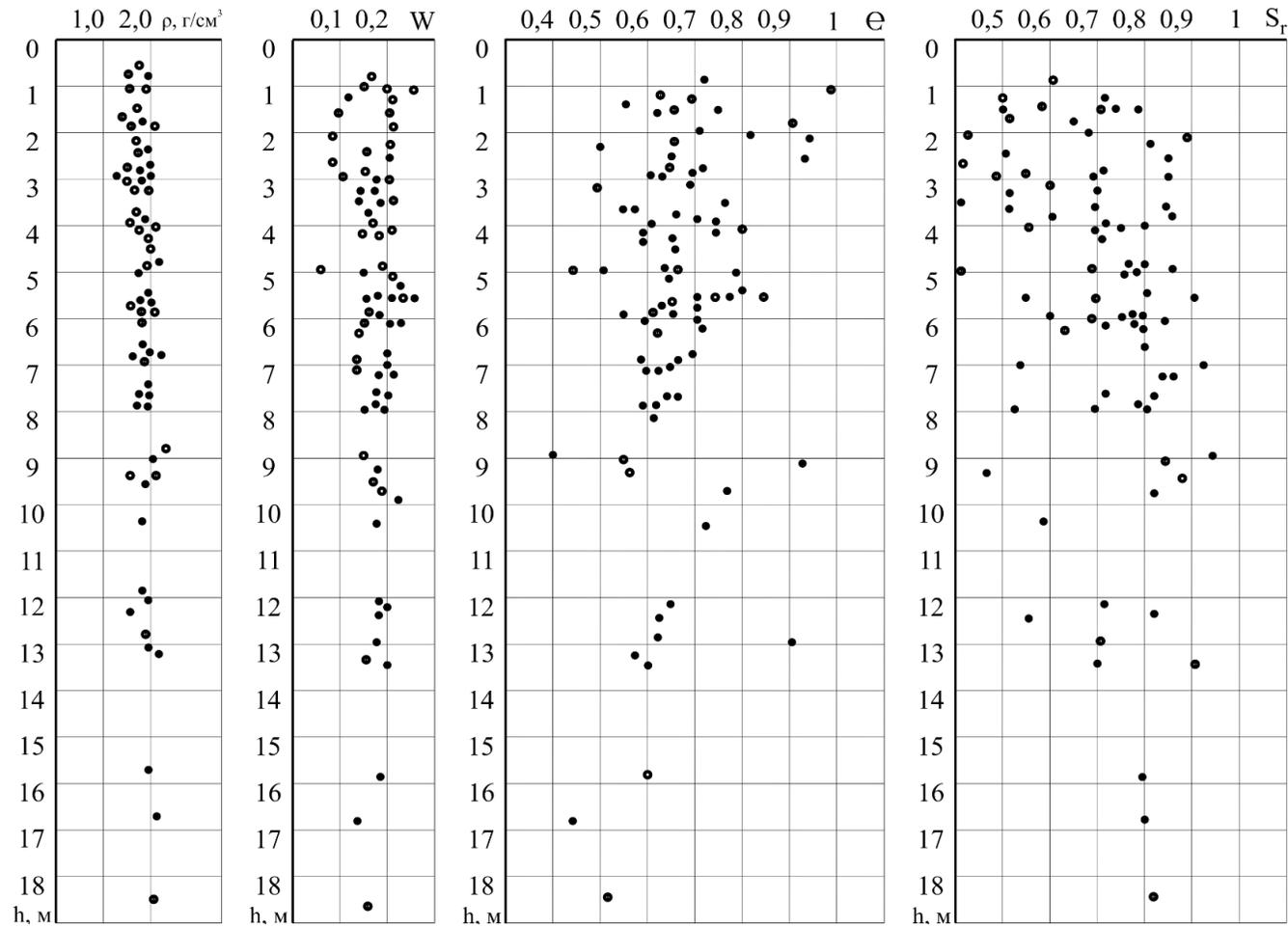


Рис. П 3.6. Графики рассеивания физических характеристик по глубине.  
Суглинки, центральный район (продолжение)

Источник: разработано автором

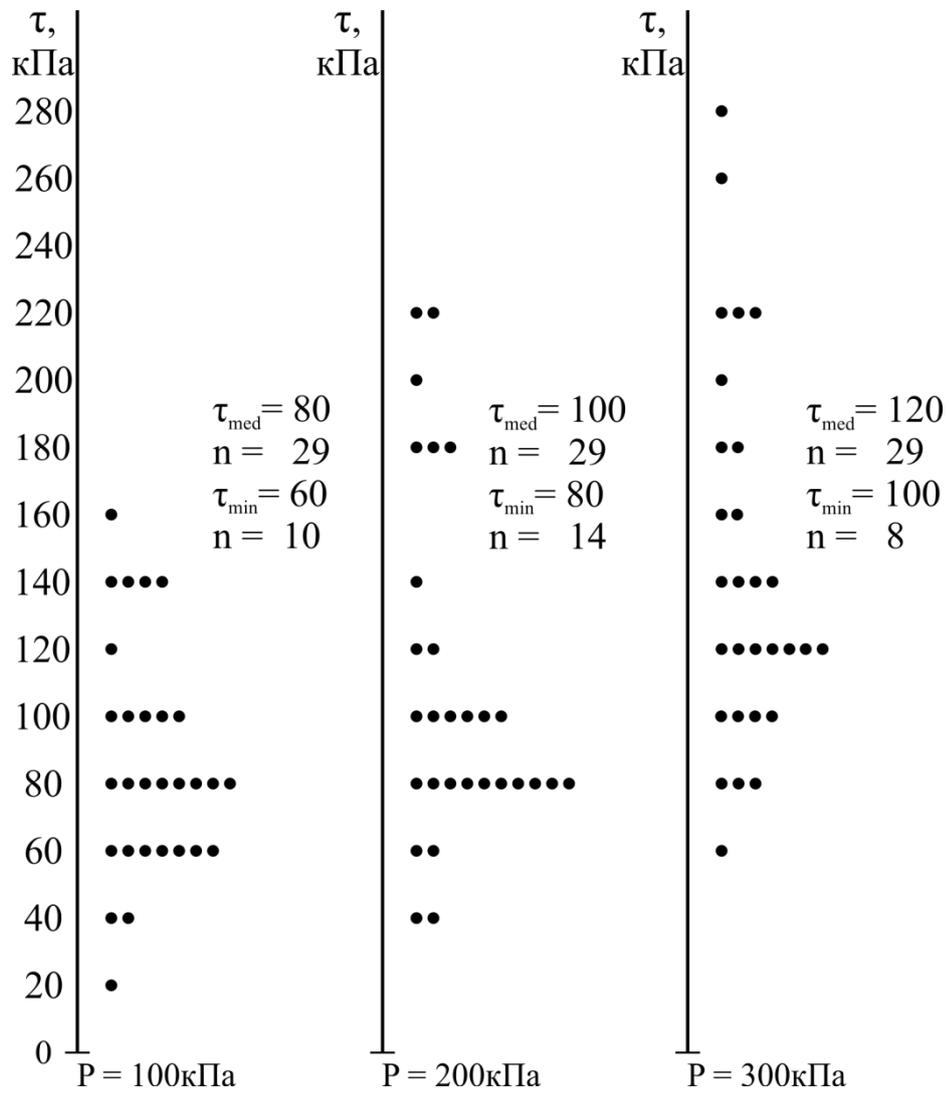


Рис. П 3.7. Графики рассеивания сопротивляемости сдвигу. Суглинки, северный район, естественная поверхность сдвига

Источник: разработано автором

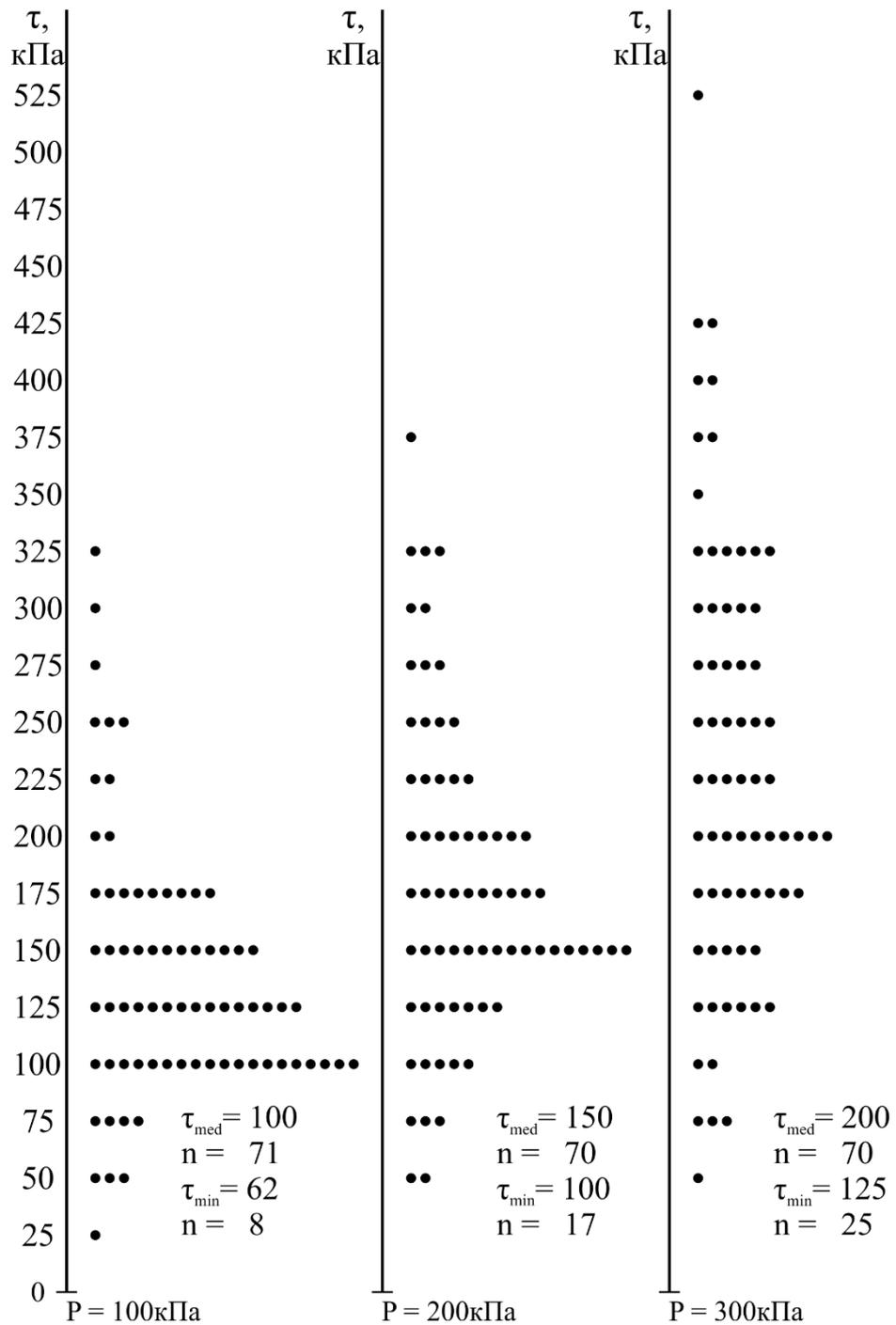


Рис. П 3.8. Графики рассеивания сопротивляемости сдвигу. Суглинки, центральный район, естественная поверхность сдвига

Источник: разработано автором

Приложение 3 (продолжение)

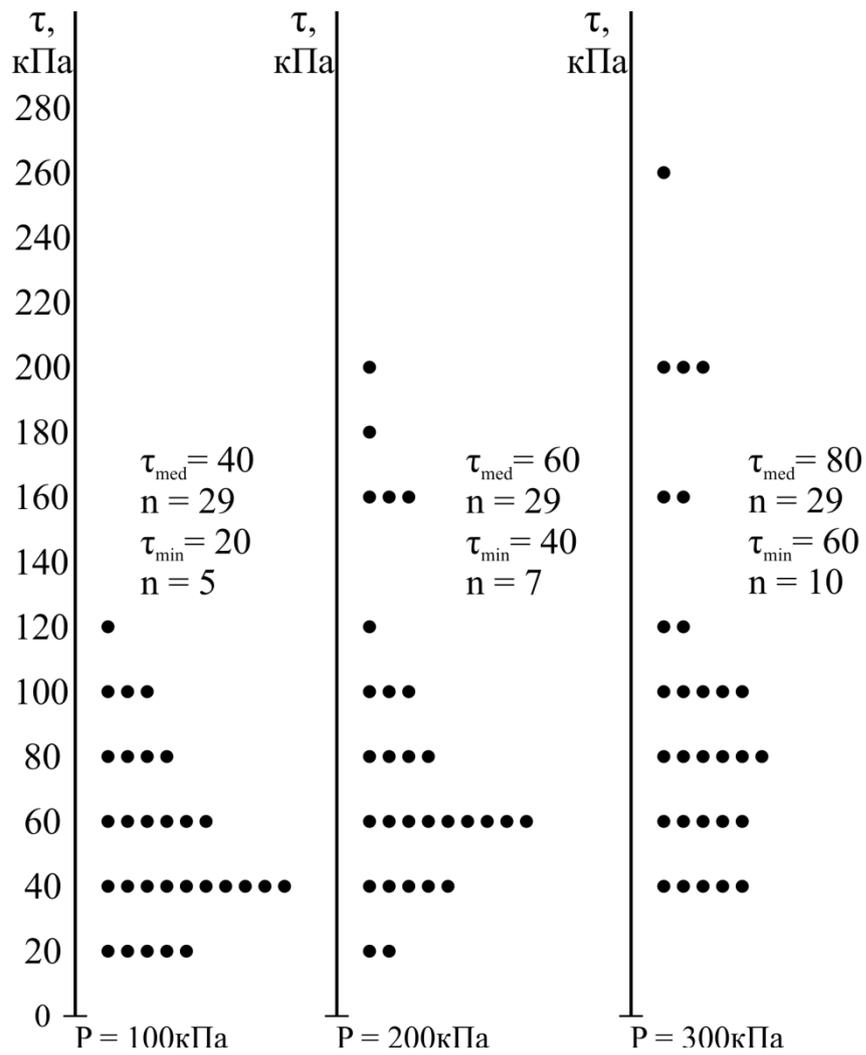


Рис. П 3.9. Графики рассеивания сопротивляемости сдвигу. Суглинки, северный район, подготовленная поверхность сдвига

Источник: разработано автором

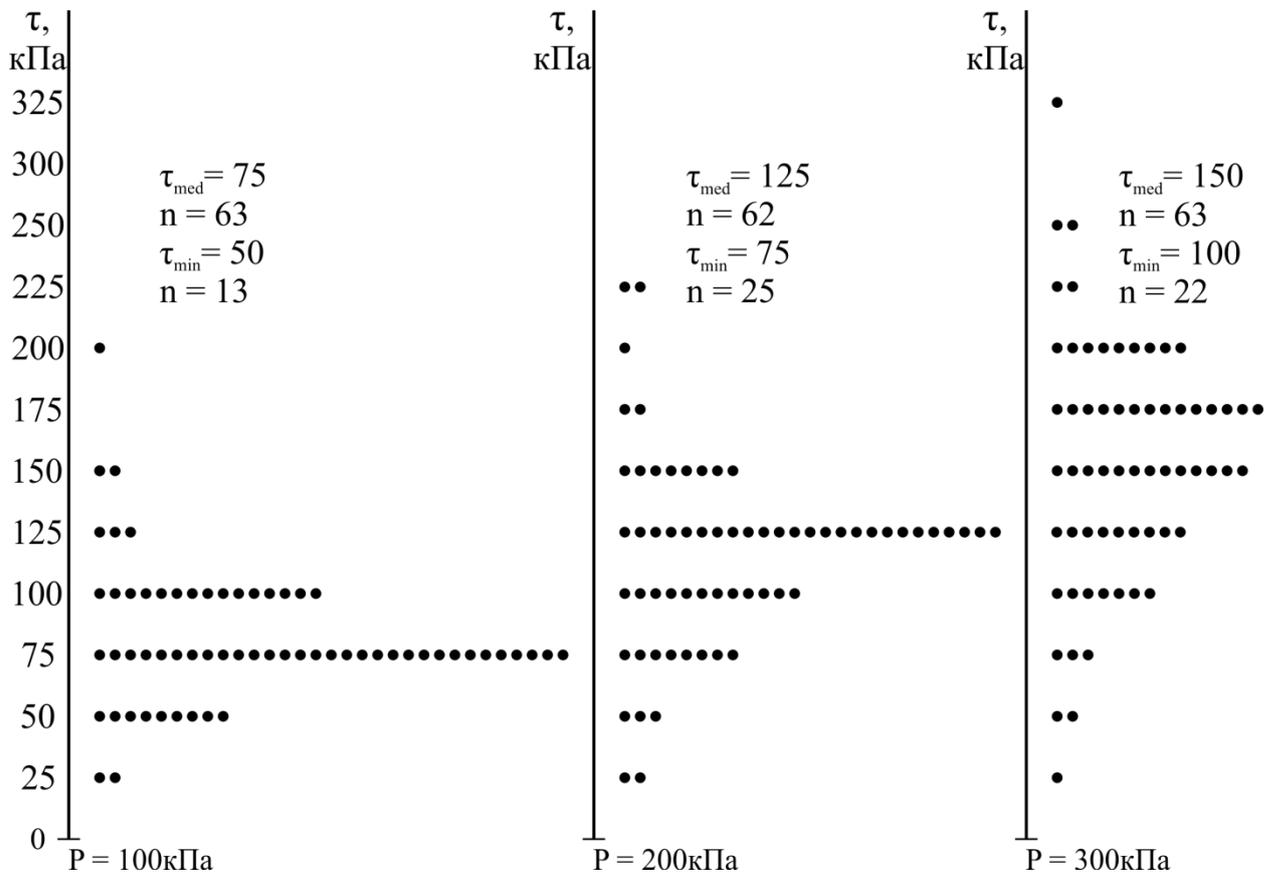


Рис. П 3.10. Графики рассеивания сопротивляемости сдвигу.  
Суглинки, центральный район, подготовленная поверхность сдвига

Источник: разработано автором

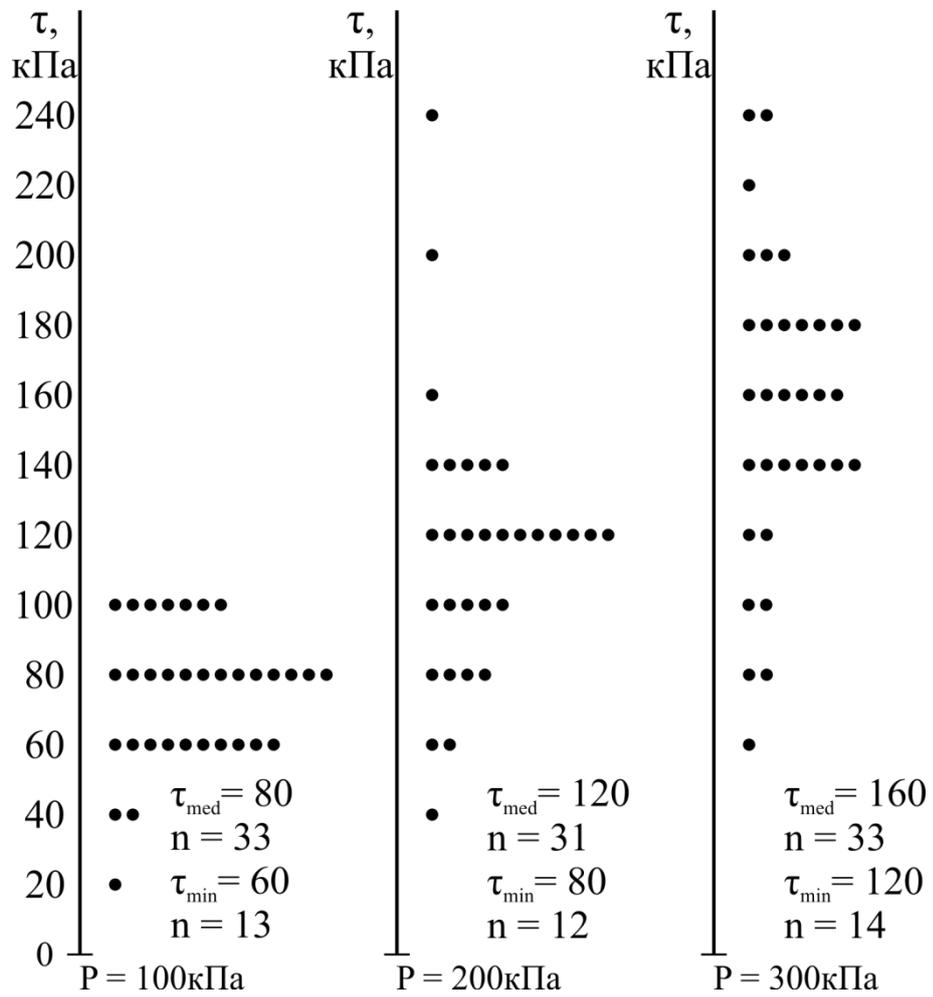


Рис. П 3.11. Графики рассеивания сопротивляемости сдвигу. Суглинки, южный район, подготовленная поверхность сдвига

Источник: разработано автором

Приложение 3 (продолжение)

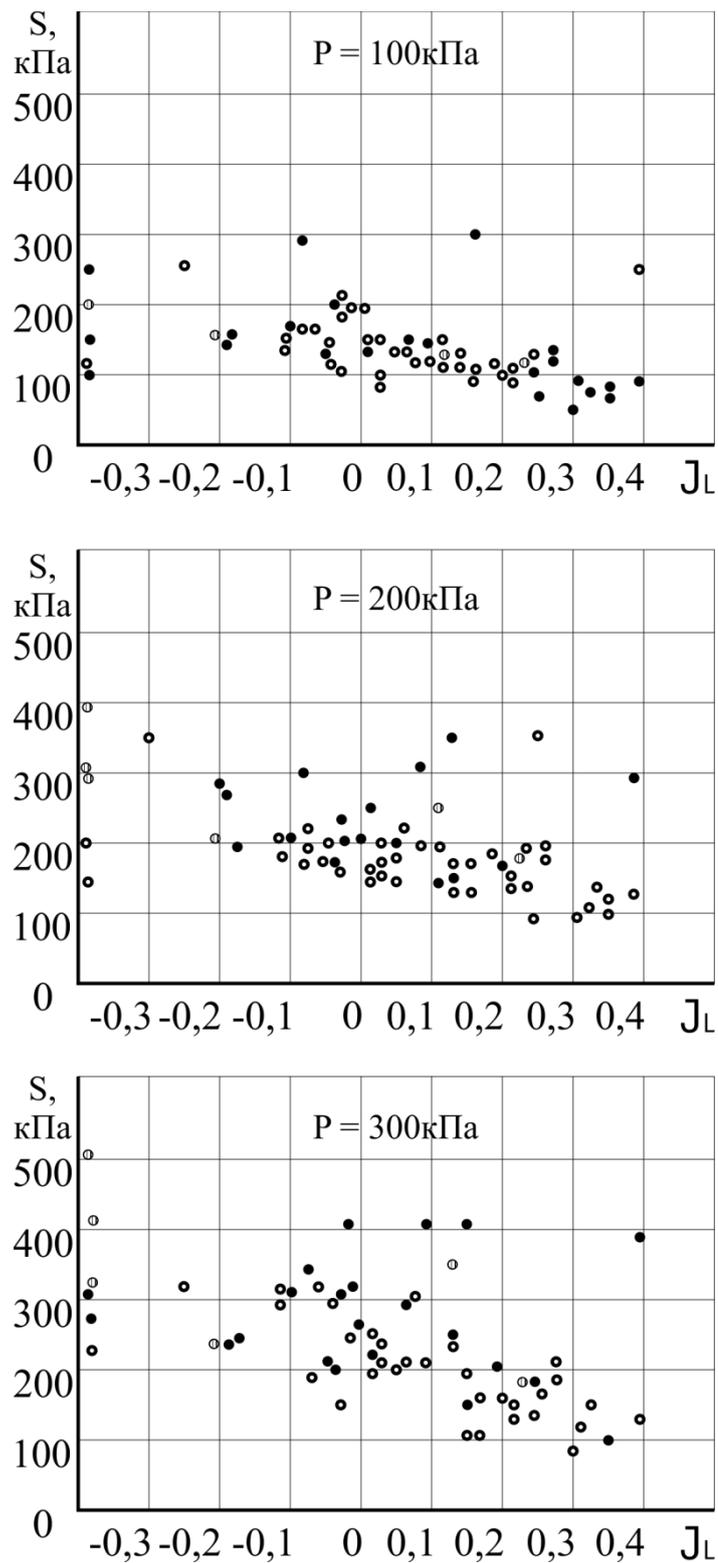


Рис. П 3.12. Графики рассеивания прочности от консистенции.  
Суглинки после дополнительного увлажнения, центральный район

Источник: разработано автором

Приложение 3 (продолжение)

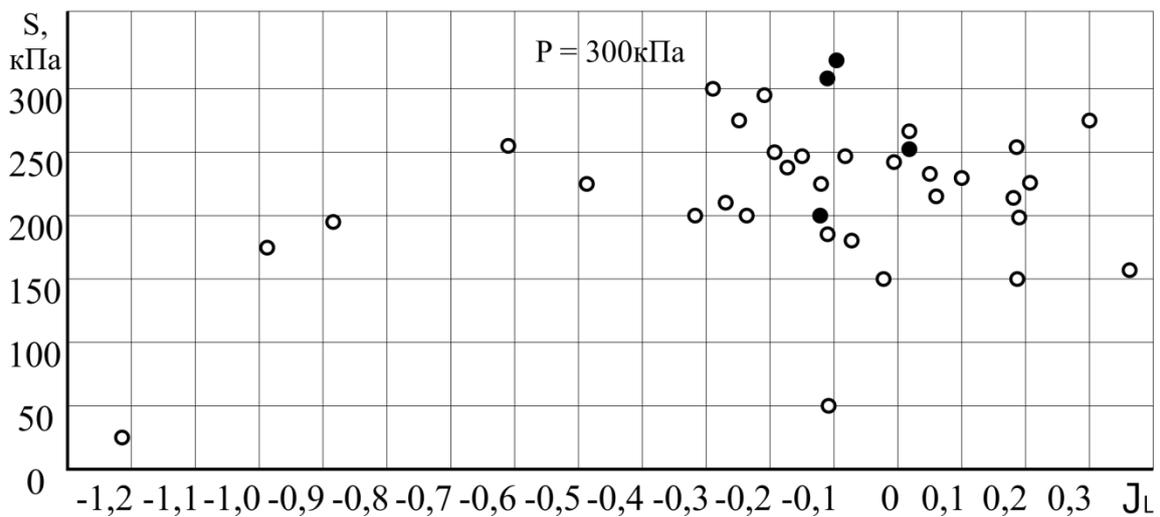
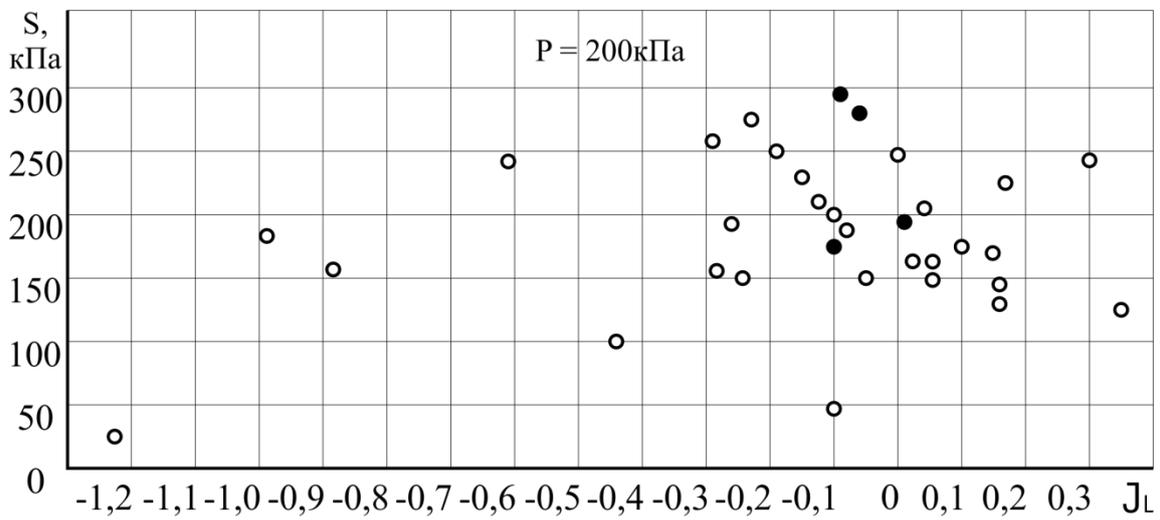
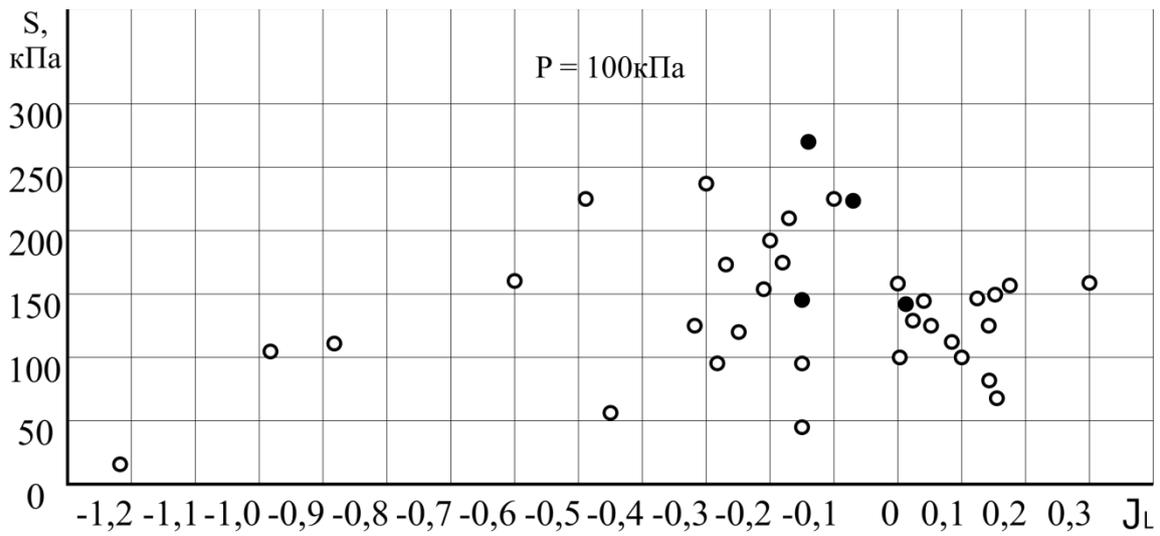


Рис. П 3.13. Графики рассеивания прочности от консистенции.  
Суглинки после дополнительного увлажнения, южный район

Источник: разработано автором

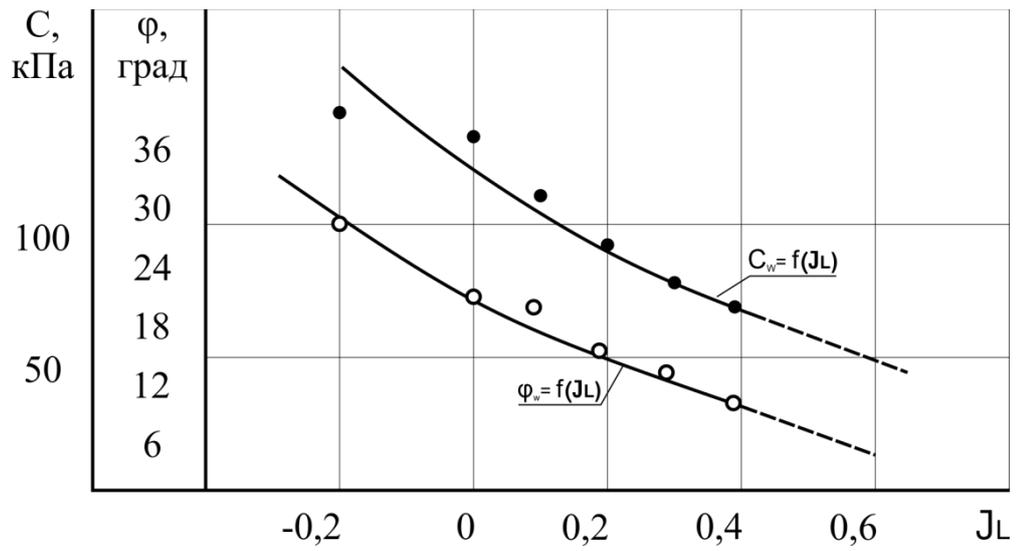


Рис. П 3.14. Зависимость параметров прочности от консистенции, полученная методом «плотности-влажности». Центральный район

Источник: разработано автором

Приложение 4

Результаты расчета характеристик физических свойств грунтов

№ п/п	№ скв.	Глубина отбора, м	Ест. влажность $W_e, \%$	Влажность на границе текучести $W_L, \%$	Влажность на границе пластичности $W_P, \%$	Число пластичности $I_P$	Показатель текучести $I_L$	Плотность, $\rho$ , г/см <sup>3</sup>				Пористость $n$	Коэффициент пористости $e$	Степень влажности $S_r$	Наименование грунта
								Природная $\rho$	Сухого грунта $\rho_d$	Водонасыщенного грунта $\rho_{sat}$	Частиц $\rho_s$				
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
1	1	1,0	20,0	25,0	19,0	6,0	0,17	1,93	1,61	2,01	2,68	39,9	0,665	0,81	Супесь пластичная
2	1	2,0	16,0	23,0	18,0	5,0	< 0	1,99	1,72	2,08	2,68	35,8	0,558	0,77	Супесь твердая
3	1	3,0	17,0	24,0	17,0	7,0	0,00	1,97	1,68	2,05	2,68	37,3	0,595	0,77	Супесь пластичная
4	1	4,0	17,0	27,0	18,0	9,0	< 0	1,88	1,61	2,02	2,71	40,6	0,683	0,67	Суглинок твердый
5	1	5,0	5,0	24,0	16,0	8,0	< 0	2,01	1,91	2,21	2,71	29,5	0,419	0,32	Суглинок твердый
6	1	6,0	14,0	24,0	16,0	8,0	< 0	2,05	1,80	2,14	2,71	33,6	0,506	0,75	Суглинок твердый
7	1	7,0	16,0	26,0	16,0	10,0	0,00	2,01	1,73	2,09	2,71	36,2	0,566	0,77	Суглинок полутвердый
8	1	8,0	14,0	27,0	16,0	11,0	< 0	2,09	1,83	2,15	2,71	32,5	0,481	0,79	Суглинок твердый
9	1	9,0	14,0	29,0	17,0	12,0	< 0	2,02	1,77	2,12	2,71	34,7	0,531	0,71	Суглинок твердый
10	1	10,0	21,0	54,0	23,0	31,0	< 0	1,91	1,58	2,01	2,75	42,5	0,741	0,78	Глина твердая
11	2	1,0	14,0	20,0	18,0	2,0	< 0	1,91	1,68	2,05	2,68	37,3	0,595	0,63	Супесь твердая

**Приложение 4 (продолжение)**

<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>	<i>7</i>	<i>8</i>	<i>9</i>	<i>10</i>	<i>11</i>	<i>12</i>	<i>13</i>	<i>14</i>	<i>15</i>	<i>16</i>
12	2	2,0	15,0	24,0	18,0	6,0	< 0	2,01	1,75	2,10	2,68	34,7	0,531	0,76	Супесь твердая
13	2	3,0	13,0	25,0	18,0	7,0	< 0	1,98	1,75	2,10	2,68	34,7	0,531	0,66	Супесь твердая
14	2	4,0	16,0	26,0	18,0	8,0	< 0	1,95	1,68	2,06	2,71	38,0	0,613	0,71	Суглинок твердый
15	2	5,0	14,0	25,0	17,0	8,0	< 0	2,06	1,81	2,14	2,71	33,2	0,497	0,76	Суглинок твердый
16	2	6,0	19,0	30,0	19,0	11,0	0,00	1,94	1,63	2,03	2,71	39,9	0,663	0,78	Суглинок полутвердый
17	2	7,0	14,0	27,0	17,0	10,0	< 0	2,07	1,82	2,15	2,71	32,8	0,489	0,78	Суглинок твердый
18	2	8,0	14,0	29,0	17,0	12,0	< 0	2,03	1,78	2,12	2,71	34,3	0,522	0,73	Суглинок твердый
19	2	9,0	15,0	30,0	20,0	10,0	< 0	2,03	1,77	2,12	2,71	34,7	0,531	0,77	Суглинок твердый
20	2	10,0	16,0	36,0	21,0	15,0	< 0	1,97	1,70	2,07	2,71	37,3	0,594	0,73	Суглинок твердый
21	3	1,0	17,0	25,0	19,0	6,0	< 0	1,97	1,68	2,05	2,68	37,3	0,595	0,77	Супесь твердая
22	3	2,0	16,0	24,0	18,0	6,0	< 0	2,00	1,72	2,08	2,68	35,8	0,558	0,77	Супесь твердая
23	3	3,0	13,0	24,0	16,0	8,0	< 0	2,03	1,80	2,14	2,71	33,6	0,506	0,70	Суглинок твердый
24	3	4,0	16,0	27,0	18,0	9,0	< 0	1,96	1,69	2,07	2,71	37,6	0,604	0,72	Суглинок твердый
25	3	5,0	13,0	24,0	17,0	7,0	< 0	2,08	1,84	2,15	2,68	31,3	0,457	0,76	Супесь твердая
26	3	6,0	11,0	22,0	16,0	6,0	< 0	2,00	1,80	2,13	2,68	32,8	0,489	0,60	Супесь твердая
27	3	7,0	15,0	27,0	17,0	10,0	< 0	2,12	1,84	2,16	2,71	32,1	0,473	0,86	Суглинок твердый
28	3	8,0	14,0	32,0	19,0	13,0	< 0	2,00	1,75	2,10	2,71	35,4	0,549	0,69	Суглинок твердый
29	3	9,0	12,0	22,0	18,0	4,0	< 0	1,92	1,71	2,07	2,68	36,2	0,567	0,57	Супесь твердая
30	3	10,0	6,0	18,0	17,0	1,0	< 0	1,83	1,73	2,08	2,68	35,4	0,549	0,29	Супесь твердая
31	4	1,0	19,0	23,0	20,0	3,0	< 0	1,80	1,51	1,95	2,68	43,7	0,775	0,66	Супесь твердая

**Приложение 4 (окончание)**

<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>	<i>7</i>	<i>8</i>	<i>9</i>	<i>10</i>	<i>11</i>	<i>12</i>	<i>13</i>	<i>14</i>	<i>15</i>	<i>16</i>
32	4	2,0	13,0	21,0	18,0	3,0	< 0	1,82	1,61	2,01	2,68	39,9	0,665	0,52	Супесь твердая
33	4	3,0	15,0	25,0	18,0	7,0	< 0	1,70	1,48	1,93	2,68	44,8	0,811	0,50	Супесь твердая
34	4	4,0	17,0	26,0	17,0	9,0	0,00	1,72	1,47	1,93	2,70	45,6	0,837	0,55	Суглинок полутвердый
35	4	5,0	18,0	27,0	18,0	9,0	0,00	1,82	1,54	1,97	2,70	43,0	0,753	0,65	Суглинок полутвердый
36	4	6,0	18,0	28,0	18,0	10,0	0,00	1,82	1,54	1,97	2,70	43,0	0,753	0,65	Суглинок полутвердый
37	4	7,0	13,0	23,0	16,0	7,0	< 0	1,86	1,65	2,04	2,69	38,7	0,630	0,56	Супесь твердая
38	4	8,0	14,0	23,0	18,0	5,0	< 0	1,99	1,75	2,10	2,69	34,9	0,537	0,70	Супесь твердая
39	4	9,0	15,0	25,0	16,0	9,0	< 0	1,99	1,73	2,09	2,70	35,9	0,561	0,72	Суглинок твердый
40	4	10,0	15,0	23,0	17,0	6,0	< 0	1,91	1,66	2,04	2,69	38,3	0,620	0,65	Супесь твердая
41	5	1,0	18,0	25,0	20,0	5,0	< 0	1,72	1,46	1,92	2,68	45,5	0,836	0,58	Супесь твердая
42	5	2,0	13,0	22,0	17,0	5,0	< 0	1,76	1,56	1,98	2,68	41,8	0,718	0,49	Супесь твердая
43	5	3,0	15,0	25,0	19,0	6,0	< 0	1,71	1,49	1,94	2,69	44,6	0,805	0,50	Супесь твердая
44	5	4,0	18,0	27,0	17,0	10,0	0,10	1,67	1,42	1,89	2,70	47,4	0,901	0,54	Суглинок полутвердый
45	5	5,0	15,0	27,0	18,0	9,0	< 0	1,77	1,54	1,97	2,70	43,0	0,753	0,54	Суглинок твердый
46	5	6,0	16,0	27,0	18,0	9,0	< 0	1,78	1,53	1,96	2,70	43,3	0,765	0,56	Суглинок твердый
47	5	7,0	11,0	21,0	16,0	5,0	< 0	1,84	1,66	2,04	2,68	38,1	0,614	0,48	Супесь твердая
48	5	8,0	14,0	23,0	17,0	6,0	< 0	1,99	1,75	2,10	2,69	34,9	0,537	0,70	Супесь твердая
49	5	9,0	15,0	25,0	16,0	9,0	< 0	2,12	1,84	2,16	2,70	31,9	0,467	0,87	Суглинок твердый
50	5	10,0	12,0	21,0	15,0	6,0	< 0	1,93	1,72	2,08	2,69	36,1	0,564	0,57	Супесь твердая

Источник: разработано автором

РЕЗУЛЬТАТЫ ЛАБОРАТОРНЫХ ИСПЫТАНИЙ НА ПРОСАДОЧНОСТЬ

Расположение объекта: \_\_\_\_\_ мун. Кишинэу \_\_\_\_\_

Шурф №: \_\_\_\_\_ Скв. №: \_\_\_\_\_ 1 \_\_\_\_\_ Глубина: \_\_\_\_\_ 1,0 м \_\_\_\_\_

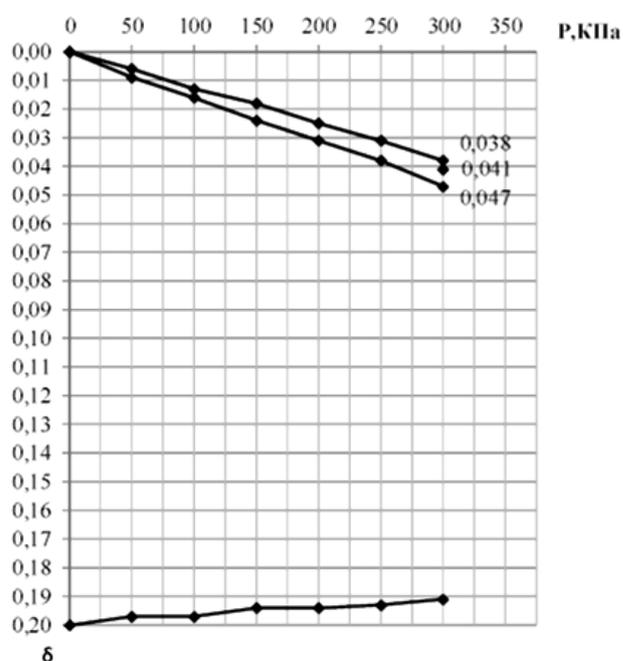
Проба №: \_\_\_\_\_ 1 \_\_\_\_\_

Физические характеристики грунта

Природная влажность, W	20,0
Плотность грунта, г/см <sup>3</sup>	1,93
Плотность сухого грунта, г/см <sup>3</sup>	1,61
Плотность водонасыщен. грунта, г/см <sup>3</sup>	2,01
Плотность частиц грунта, г/см <sup>3</sup>	2,68
Пористость, %	39,9
Коэффициент пористости, e	0,665
Степень влажности	0,81
Влажность на границе текучести	25,0
Влажность на границе пластичности	19,0
Число пластичности	6
Показатель текучести	0,17

В ненарушенной структуре

P, КПа	Природная влажность		В водонасыщ. состоянии		Относит. просад., ε
	Δh, мм	δ	Δh, мм	δ	
0	0	0	0	0	0
50	0,21	0,006	0,30	0,009	0,003
100	0,46	0,013	0,57	0,016	0,003
150	0,63	0,018	0,85	0,024	0,006
200	0,86	0,025	1,08	0,031	0,006
250	1,10	0,031	1,32	0,038	0,007
300	1,32	0,038	1,63	0,047	0,009
300	1,42	0,041			
σ <sub>zg</sub>	20				0,001
P <sub>sl</sub>	-				0,010



Определение проводилось на приборе УГПС-12М

h<sub>1</sub> = 35 мм, h<sub>2</sub> = 35 мм  
d = 71,4 мм

Источник: разработано автором

Приложение 5 (продолжение)

РЕЗУЛЬТАТЫ ЛАБОРАТОРНЫХ ИСПЫТАНИЙ НА ПРОСАДОЧНОСТЬ

Расположение объекта: \_\_\_\_\_ мун. Кишинэу \_\_\_\_\_

Шурф №: \_\_\_\_\_ Скв.ж.№: \_\_\_\_\_ 1 \_\_\_\_\_ Глубина: \_\_\_\_\_ 2,0 м \_\_\_\_\_

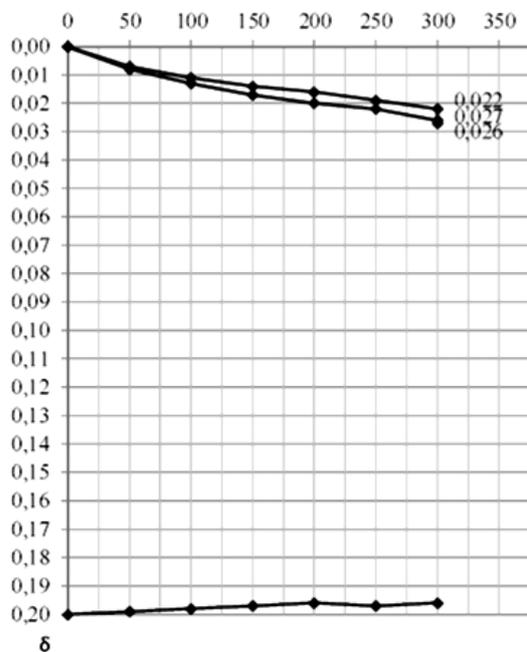
Проба №: \_\_\_\_\_ 2 \_\_\_\_\_

Физические характеристики грунта

Природная влажность, W	16,0
Плотность грунта, г/см <sup>3</sup>	1,99
Плотность сухого грунта, г/см <sup>3</sup>	1,72
Плотность водонасыщен. грунта, г/см <sup>3</sup>	2,08
Плотность частиц грунта, г/см <sup>3</sup>	2,68
Пористость, %	35,8
Коэффициент пористости, e	0,558
Степень влажности	0,77
Влажность на границе текучести	23,0
Влажность на границе пластичности	18,0
Число пластичности	5
Показатель текучести	< 0

В ненарушенной структуре

P, КПа	Природная влажность		В водонасыщ. состоянии		Относит. просад., ε
	Δh, мм	δ	Δh, мм	δ	
0	0	0	0	0	0
50	0,17	0,007	0,20	0,008	0,001
100	0,28	0,011	0,32	0,013	0,002
150	0,34	0,014	0,42	0,017	0,003
200	0,41	0,016	0,49	0,020	0,004
250	0,47	0,019	0,56	0,022	0,003
300	0,55	0,022	0,64	0,026	0,004
300	0,68	0,027			
σ <sub>zg</sub>	41				0,001
P <sub>sl</sub>	-				0,010



P, КПа

Определение проводилось на приборе УГПС-12М

h<sub>1</sub> = 25 мм, h<sub>2</sub> = 25 мм  
d = 71,4 мм

Источник: разработано автором

**Приложение 5 (продолжение)**

**РЕЗУЛЬТАТЫ ЛАБОРАТОРНЫХ ИСПЫТАНИЙ НА ПРОСАДОЧНОСТЬ**

Расположение объекта: \_\_\_\_\_ мун. Кишинэу \_\_\_\_\_

Шурф №: \_\_\_\_\_ Скв.ж.№: \_\_\_\_\_ 1 \_\_\_\_\_ Глубина: \_\_\_\_\_ 3,0 м \_\_\_\_\_

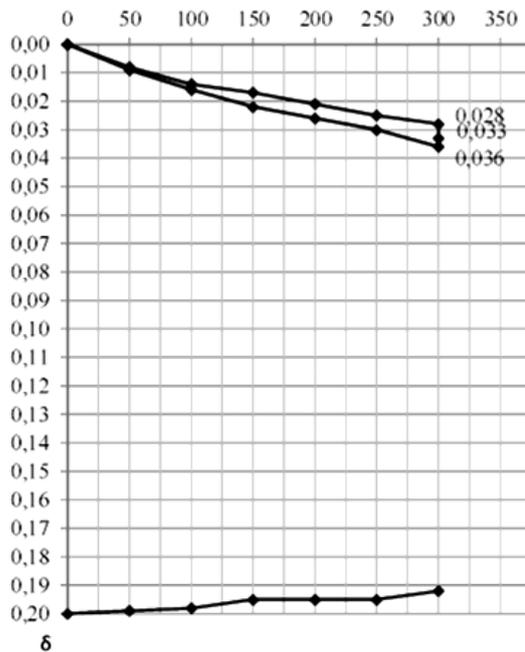
Проба №: \_\_\_\_\_ 3 \_\_\_\_\_

**Физические характеристики грунта**

Природная влажность, W	<b>17,0</b>
Плотность грунта, г/см <sup>3</sup>	<b>1,97</b>
Плотность сухого грунта, г/см <sup>3</sup>	<b>1,68</b>
Плотность водонасыщен. грунта, г/см <sup>3</sup>	<b>2,05</b>
Плотность частиц грунта, г/см <sup>3</sup>	<b>2,68</b>
Пористость, %	<b>37,3</b>
Коэффициент пористости, e	<b>0,595</b>
Степень влажности	<b>0,77</b>
Влажность на границе текучести	<b>24,0</b>
Влажность на границе пластичности	<b>17,0</b>
Число пластичности	<b>7</b>
Показатель текучести	<b>0</b>

**В ненарушенной структуре**

P, КПа	Природная влажность		В водонасыщ. состоянии		Относит. просад., ε
	Δh, мм	δ	Δh, мм	δ	
0	0	0	0	0	0
50	0,20	0,008	0,22	0,009	<b>0,001</b>
100	0,34	0,014	0,39	0,016	<b>0,002</b>
150	0,43	0,017	0,54	0,022	<b>0,005</b>
200	0,53	0,021	0,65	0,026	<b>0,005</b>
250	0,63	0,025	0,75	0,030	<b>0,005</b>
300	0,71	0,028	0,89	0,036	<b>0,008</b>
<b>300</b>	<b>0,83</b>	<b>0,033</b>			
σ <sub>zg</sub>	<b>60</b>				<b>0,001</b>
P <sub>sl</sub>	-				<b>0,010</b>



P, kPa

Определение проводилось на приборе УГПС-12М

h<sub>1</sub> = 25 мм, h<sub>2</sub> = 25 мм  
d = 71,4 мм

Источник: разработано автором

Приложение 5 (продолжение)

РЕЗУЛЬТАТЫ ЛАБОРАТОРНЫХ ИСПЫТАНИЙ НА ПРОСАДОЧНОСТЬ

Расположение объекта: \_\_\_\_\_ мун. Кишинэу \_\_\_\_\_

Шурф №: \_\_\_\_\_ Скваж.№: \_\_\_\_\_ 1 \_\_\_\_\_ Глубина: \_\_\_\_\_ 4,0 м \_\_\_\_\_

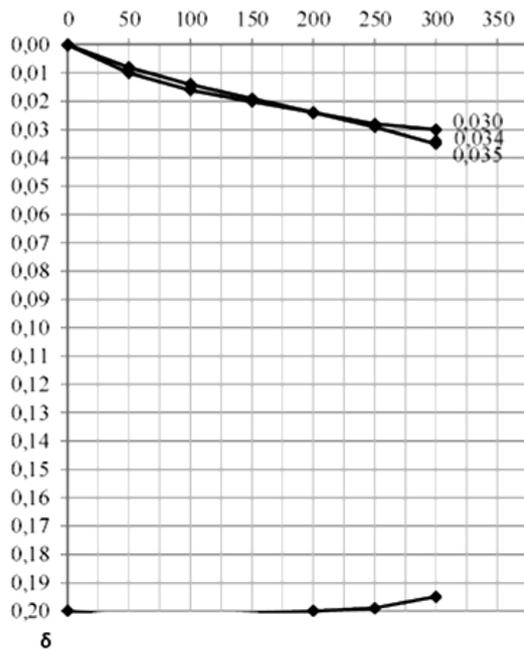
Проба №: \_\_\_\_\_ 4 \_\_\_\_\_

Физические характеристики грунта

Природная влажность, W	17,0
Плотность грунта, г/см <sup>3</sup>	1,88
Плотность сухого грунта, г/см <sup>3</sup>	1,61
Плотность водонасыщен. грунта, г/см <sup>3</sup>	2,02
Плотность частиц грунта, г/см <sup>3</sup>	2,71
Пористость, %	40,6
Коэффициент пористости, e	0,683
Степень влажности	0,67
Влажность на границе текучести	27,0
Влажность на границе пластичности	18,0
Число пластичности	9
Показатель текучести	< 0

В ненарушенной структуре

P, КПа	Природная влажность		В водонасыщ. состоянии		Относит. просад., ε
	Δh, мм	δ	Δh, мм	δ	
0	0	0	0	0	0
50	0,26	0,010	0,19	0,008	-0,002
100	0,40	0,016	0,34	0,014	-0,002
150	0,49	0,020	0,47	0,019	-0,001
200	0,59	0,024	0,61	0,024	0,000
250	0,70	0,028	0,72	0,029	0,001
300	0,74	0,030	0,87	0,035	0,005
300	0,86	0,034			
σ <sub>zg</sub>	79				-0,002
P <sub>sl</sub>	-				0,010



P, КПа

Определение проводилось на приборе УГПС-12М

h<sub>1</sub> = 25 мм, h<sub>2</sub> = 25 мм  
d = 71,4 мм

Источник: разработано автором

**Приложение 5 (продолжение)**

**РЕЗУЛЬТАТЫ ЛАБОРАТОРНЫХ ИСПЫТАНИЙ НА ПРОСАДОЧНОСТЬ**

Расположение объекта: \_\_\_\_\_ мун. Кишинэу \_\_\_\_\_

Шурф №: \_\_\_\_\_ Скв.ж.№: \_\_\_\_\_ 1 \_\_\_\_\_ Глубина: \_\_\_\_\_ 5,0 м \_\_\_\_\_

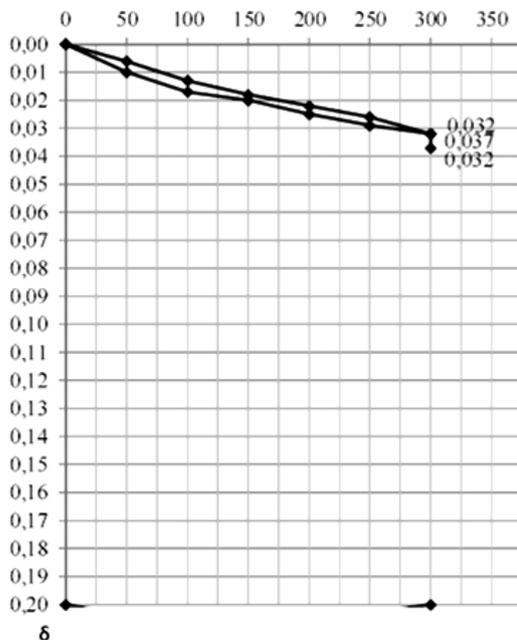
Проба №: \_\_\_\_\_ 5 \_\_\_\_\_

**Физические характеристики грунта**

Природная влажность, W	<b>5,0</b>
Плотность грунта, г/см <sup>3</sup>	<b>2,01</b>
Плотность сухого грунта, г/см <sup>3</sup>	<b>1,91</b>
Плотность водонасыщен. грунта, г/см <sup>3</sup>	<b>2,21</b>
Плотность частиц грунта, г/см <sup>3</sup>	<b>2,71</b>
Пористость, %	<b>29,5</b>
Коэффициент пористости, e	<b>0,419</b>
Степень влажности	<b>0,32</b>
Влажность на границе текучести	<b>24,0</b>
Влажность на границе пластичности	<b>16,0</b>
Число пластичности	<b>8</b>
Показатель текучести	<b>&lt; 0</b>

**В ненарушенной структуре**

P, КПа	Природная влажность		В водонасыщ. состоянии		Относит. просад., ε
	Δh, мм	δ	Δh, мм	δ	
0	0	0	0	0	0
50	0,26	0,010	0,16	0,006	-0,004
100	0,42	0,017	0,32	0,013	-0,004
150	0,50	0,020	0,45	0,018	-0,002
200	0,62	0,025	0,56	0,022	-0,003
250	0,73	0,029	0,66	0,026	-0,003
300	0,81	0,032	0,80	0,032	0,000
300	0,92	0,037			
σ <sub>zg</sub>	<b>108</b>				<b>-0,004</b>
P <sub>sl</sub>	-				0,010



P, КПа

Определение проводилось на приборе УГПС-12М

h<sub>1</sub> = 25 мм, h<sub>2</sub> = 25 мм  
d = 71,4 мм

Источник: разработано автором

## Приложение 5 (продолжение)

### РЕЗУЛЬТАТЫ ЛАБОРАТОРНЫХ ИСПЫТАНИЙ НА ПРОСАДОЧНОСТЬ

Расположение объекта: \_\_\_\_\_ мун. Кишинэу \_\_\_\_\_

Шурф №: \_\_\_\_\_ Скв.ж.№: \_\_\_\_\_ 1 \_\_\_\_\_ Глубина: \_\_\_\_\_ 6,0 м \_\_\_\_\_

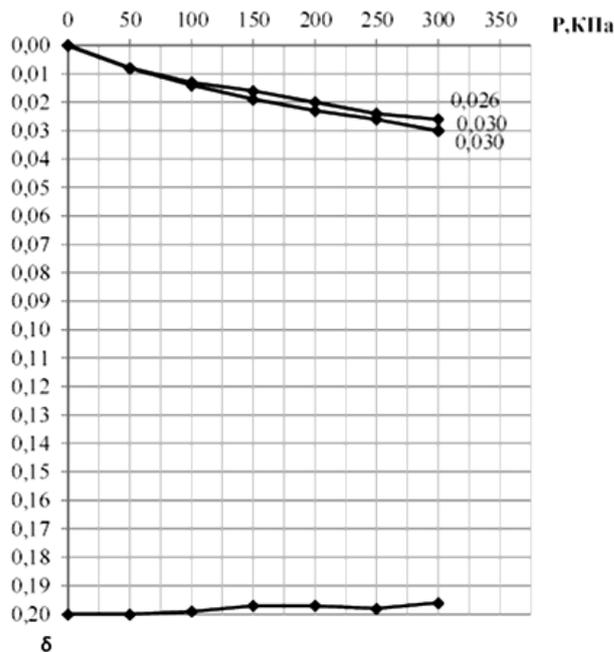
Проба №: \_\_\_\_\_ 6 \_\_\_\_\_

#### Физические характеристики грунта

Природная влажность, W	<b>14,0</b>
Плотность грунта, г/см <sup>3</sup>	<b>2,05</b>
Плотность сухого грунта, г/см <sup>3</sup>	<b>1,80</b>
Плотность водонасыщен. грунта, г/см <sup>3</sup>	<b>2,14</b>
Плотность частиц грунта, г/см <sup>3</sup>	<b>2,71</b>
Пористость, %	<b>33,6</b>
Коэффициент пористости, e	<b>0,506</b>
Степень влажности	<b>0,75</b>
Влажность на границе текучести	<b>24,0</b>
Влажность на границе пластичности	<b>16,0</b>
Число пластичности	<b>8</b>
Показатель текучести	<b>&lt; 0</b>

#### В ненарушенной структуре

P, КПа	Природная влажность		В водонасыщ. состоянии		Относит. просад., ε
	Δh, мм	δ	Δh, мм	δ	
0	0	0	0	0	0
50	0,20	0,008	0,19	0,008	<b>0,000</b>
100	0,33	0,013	0,35	0,014	<b>0,001</b>
150	0,40	0,016	0,47	0,019	<b>0,003</b>
200	0,50	0,020	0,57	0,023	<b>0,003</b>
250	0,59	0,024	0,65	0,026	<b>0,002</b>
300	0,66	0,026	0,75	0,030	<b>0,004</b>
<b>300</b>	<b>0,75</b>	<b>0,030</b>			
$\sigma_{zg}$	<b>126</b>				<b>0,002</b>
$P_{sl}$	-				0,010



Определение проводилось на приборе УГПС-12М

$$h_1 = 25 \text{ мм}, h_2 = 25 \text{ мм}$$

$$d = 71,4 \text{ мм}$$

Источник: разработано автором

## Приложение 5 (продолжение)

### РЕЗУЛЬТАТЫ ЛАБОРАТОРНЫХ ИСПЫТАНИЙ НА ПРОСАДОЧНОСТЬ

Расположение объекта: \_\_\_\_\_ мун. Кишинэу \_\_\_\_\_

Шурф №: \_\_\_\_\_ Скв.ж.№: \_\_\_\_\_ 1 \_\_\_\_\_ Глубина: \_\_\_\_\_ 7,0 м \_\_\_\_\_

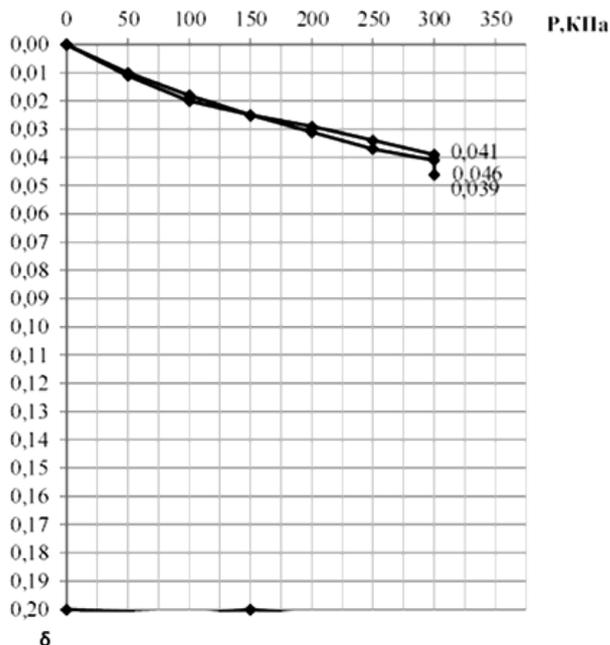
Проба №: \_\_\_\_\_ 7 \_\_\_\_\_

#### Физические характеристики грунта

Природная влажность, W	<b>16,0</b>
Плотность грунта, г/см <sup>3</sup>	<b>2,01</b>
Плотность сухого грунта, г/см <sup>3</sup>	<b>1,73</b>
Плотность водонасыщен. грунта, г/см <sup>3</sup>	<b>2,09</b>
Плотность частиц грунта, г/см <sup>3</sup>	<b>2,71</b>
Пористость, %	<b>36,2</b>
Коэффициент пористости, e	<b>0,566</b>
Степень влажности	<b>0,77</b>
Влажность на границе текучести	<b>26,0</b>
Влажность на границе пластичности	<b>16,0</b>
Число пластичности	<b>10</b>
Показатель текучести	<b>0</b>

#### В ненарушенной структуре

P, КПа	Природная влажность		В водонасыщ. состоянии		Относит. просад., ε
	Δh, мм	δ	Δh, мм	δ	
0	0	0	0	0	0
50	0,28	0,011	0,25	0,010	-0,001
100	0,50	0,020	0,46	0,018	-0,002
150	0,62	0,025	0,62	0,025	0,000
200	0,78	0,031	0,73	0,029	-0,002
250	0,93	0,037	0,84	0,034	-0,003
300	1,02	0,041	0,98	0,039	-0,002
<b>300</b>	<b>1,14</b>	<b>0,046</b>			
σ <sub>zg</sub>	<b>144</b>				<b>0,000</b>
P <sub>sl</sub>	-				<b>0,010</b>



Определение проводилось на приборе УГПС-12М

$h_1 = 25 \text{ мм}$ ,  $h_2 = 25 \text{ мм}$   
 $d = 71,4 \text{ мм}$

Источник: разработано автором

## Приложение 5 (продолжение)

### РЕЗУЛЬТАТЫ ЛАБОРАТОРНЫХ ИСПЫТАНИЙ НА ПРОСАДОЧНОСТЬ

Расположение объекта: \_\_\_\_\_ мун. Кишинэу \_\_\_\_\_

Шурф №: \_\_\_\_\_ Скваж.№: \_\_\_\_\_ 1 \_\_\_\_\_ Глубина: \_\_\_\_\_ 8,0 м \_\_\_\_\_

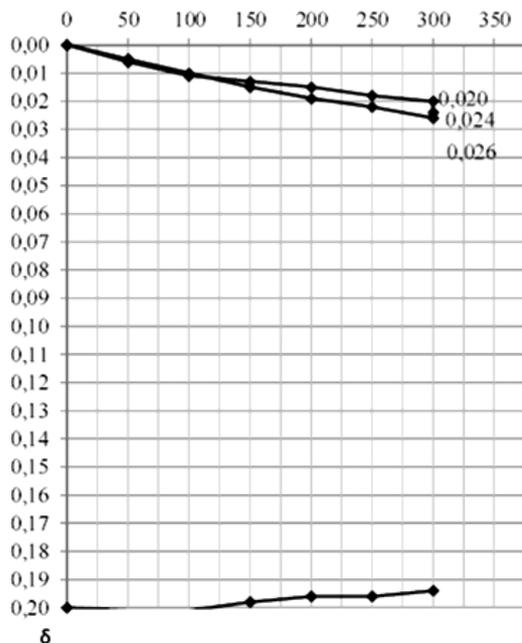
Проба №: \_\_\_\_\_ 8 \_\_\_\_\_

#### Физические характеристики грунта

Природная влажность, $W$	<b>14,0</b>
Плотность грунта, $g/cm^3$	<b>2,09</b>
Плотность сухого грунта, $g/cm^3$	<b>1,83</b>
Плотность водонасыщен. грунта, $g/cm^3$	<b>2,15</b>
Плотность частиц грунта, $g/cm^3$	<b>2,71</b>
Пористость, %	<b>32,5</b>
Коэффициент пористости, $e$	<b>0,481</b>
Степень влажности	<b>0,79</b>
Влажность на границе текучести	<b>27,0</b>
Влажность на границе пластичности	<b>16,0</b>
Число пластичности	<b>11</b>
Показатель текучести	<b>&lt; 0</b>

#### В ненарушенной структуре

P, КПа	Природная влажность		В водонасыщ. состоянии		Относит. просад., $\epsilon$
	$\Delta h$ , мм	$\delta$	$\Delta h$ , мм	$\delta$	
0	0	0	0	0	0
50	0,16	0,006	0,13	0,005	-0,001
100	0,27	0,011	0,25	0,010	-0,001
150	0,32	0,013	0,38	0,015	0,002
200	0,38	0,015	0,47	0,019	0,004
250	0,45	0,018	0,56	0,022	0,004
300	0,49	0,020	0,66	0,026	0,006
<b>300</b>	<b>0,60</b>	<b>0,024</b>			
$\sigma_{zg}$	<b>169</b>				<b>0,003</b>
$P_{sl}$	-				0,010



P, КПа

Определение проводилось на приборе УГПС-12М

$h_1 = 25$  мм,  $h_2 = 25$  мм  
 $d = 71,4$  мм

Источник: разработано автором

**Приложение 5 (окончание)**

**РЕЗУЛЬТАТЫ ЛАБОРАТОРНЫХ ИСПЫТАНИЙ НА ПРОСАДОЧНОСТЬ**

Расположение объекта: \_\_\_\_\_ мун. Кишинэу \_\_\_\_\_

Шурф №: \_\_\_\_\_ Скваж.№: \_\_\_\_\_ 1 \_\_\_\_\_ Глубина: \_\_\_\_\_ 9,0 м \_\_\_\_\_

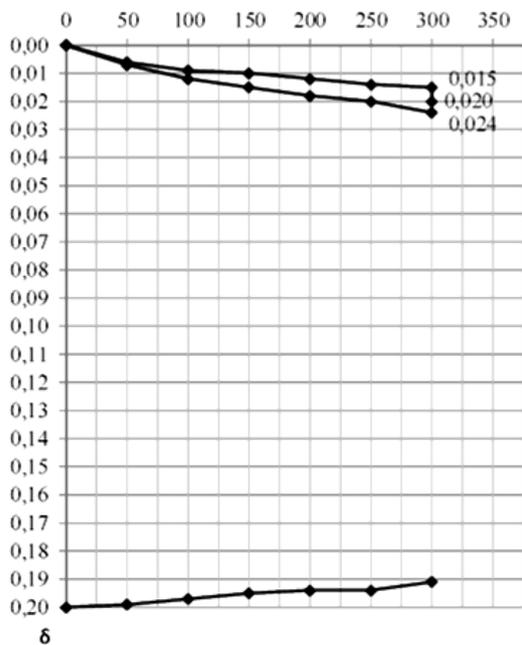
Проба №: \_\_\_\_\_ 9 \_\_\_\_\_

**Физические характеристики грунта**

Природная влажность, W	<b>14,0</b>
Плотность грунта, г/см <sup>3</sup>	<b>2,02</b>
Плотность сухого грунта, г/см <sup>3</sup>	<b>1,77</b>
Плотность водонасыщен. грунта, г/см <sup>3</sup>	<b>2,12</b>
Плотность частиц грунта, г/см <sup>3</sup>	<b>2,71</b>
Пористость, %	<b>34,7</b>
Коэффициент пористости, e	<b>0,531</b>
Степень влажности	<b>0,71</b>
Влажность на границе текучести	<b>29,0</b>
Влажность на границе пластичности	<b>17,0</b>
Число пластичности	<b>12</b>
Показатель текучести	<b>&lt; 0</b>

**В ненарушенной структуре**

P, КПа	Природная влажность		В водонасыщ. состоянии		Относит. просад., ε
	Δh, мм	δ	Δh, мм	δ	
0	0	0	0	0	0
50	0,14	0,006	0,18	0,007	<b>0,001</b>
100	0,22	0,009	0,30	0,012	<b>0,003</b>
150	0,25	0,010	0,38	0,015	<b>0,005</b>
200	0,30	0,012	0,45	0,018	<b>0,006</b>
250	0,35	0,014	0,51	0,020	<b>0,006</b>
300	0,37	0,015	0,60	0,024	<b>0,009</b>
<b>300</b>	<b>0,49</b>	<b>0,020</b>			
σ <sub>zg</sub>	<b>187</b>				<b>0,006</b>
P <sub>sl</sub>	-				0,010



P, КПа

Определение проводилось на приборе УГПС-12М

h<sub>1</sub> = 25 мм, h<sub>2</sub> = 25 мм  
d = 71,4 мм

Источник: разработано автором

Приложение 6

Результаты испытаний грунтов на неконсолидированный сдвиг

№ п/п	№ скв.	Глубина отбора, м	Тип грунта	Плотность $\rho$ , г/см <sup>3</sup>	Ест. влажность $W_e$ , %	Сопротивление сдвигу $S$ , кПа				
						Естественная структура			φ, град	С, кПа
						Вертикальное давление, кПа				
						100	150	200		
<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>	<i>7</i>	<i>8</i>	<i>9</i>	<i>10</i>	<i>11</i>
<b>1</b>	2	1,0	супесь	1,91	14,0	69,0	103,0	132,0	32,0	7,0
<b>2</b>	2	2,0	супесь	2,01	15,0	96,0	105,0	145,0	26,0	42,0
<b>3</b>	2	3,0	супесь	1,98	13,0	113,0	137,0	172,0	31,0	52,0
<b>4</b>	2	4,0	суглинок	1,95	16,0	98,0	127,0	147,0	26,0	51,0
<b>5</b>	2	5,0	суглинок	2,06	14,0	127,0	157,0	186,0	31,0	68,0
<b>6</b>	2	6,0	суглинок	1,94	19,0	78,0	100,0	120,0	23,0	35,0
<b>7</b>	2	7,0	суглинок	2,07	14,0	125,0	147,0	164,0	21,0	87,0
<b>8</b>	2	8,0	суглинок	2,03	14,0	127,0	127,0	184,0	30,0	61,0
<b>9</b>	2	9,0	суглинок	2,03	15,0	100,0	120,0	144,0	22,0	60,0
<b>10</b>	2	10,0	суглинок	1,97	16,0	76,0	108,0	110,0	19,0	47,0

Источник: разработано автором

РЕЗУЛЬТАТЫ ЛАБОРАТОРНЫХ ИСПЫТАНИЙ НА КОМПРЕССИЮ

Расположение объекта:	мун. Кишинэу
-----------------------	--------------

Шурф №:		Скваж.№:	3	Глубина:	1,0 м
Проба №:	21				

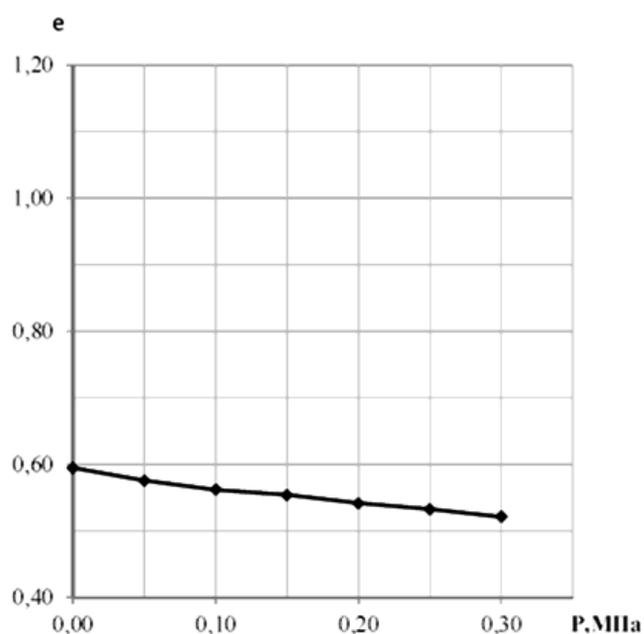
Физические характеристики грунта

Природная влажность, W	17,0
Плотность грунта, г/см <sup>3</sup>	1,97
Плотность сухого грунта, г/см <sup>3</sup>	1,68
Плотность водонасыщен. грунта, г/см <sup>3</sup>	2,05
Плотность частиц грунта, г/см <sup>3</sup>	2,68
Пористость, %	37,3
Коэффициент пористости, e	0,595
Степень влажности	0,77
Влажность на границе текучести	25,0
Влажность на границе пластичности	19,0
Число пластичности	6
Показатель текучести	< 0

В ненарушенной структуре (водонасыщенные)

P, МПа	Природная влажность		Коэффициент пористости, e
	Δh, мм	ε	
0,00	0	0	0,595
0,05	0,30	0,012	0,576
0,10	0,52	0,021	0,562
0,15	0,64	0,026	0,554
0,20	0,84	0,033	0,542
0,25	0,98	0,039	0,533
0,30	1,16	0,046	0,521

Определение проводилось на компрессионном приборе КПр-1  
 h = 25 мм  
 D = 87 мм  
 Коэффициент Пуассона  $\nu = 0,35$   
 Модуль деформации  $E_{oed} = 18,250$  МПа



Источник: разработано автором

Приложение 7 (продолжение)

РЕЗУЛЬТАТЫ ЛАБОРАТОРНЫХ ИСПЫТАНИЙ НА КОМПРЕССИЮ

Расположение объекта:	мун. Кишинэу
-----------------------	--------------

Шурф №:		Скваж.№:	3	Глубина:	2,0 м
Проба №:	22				

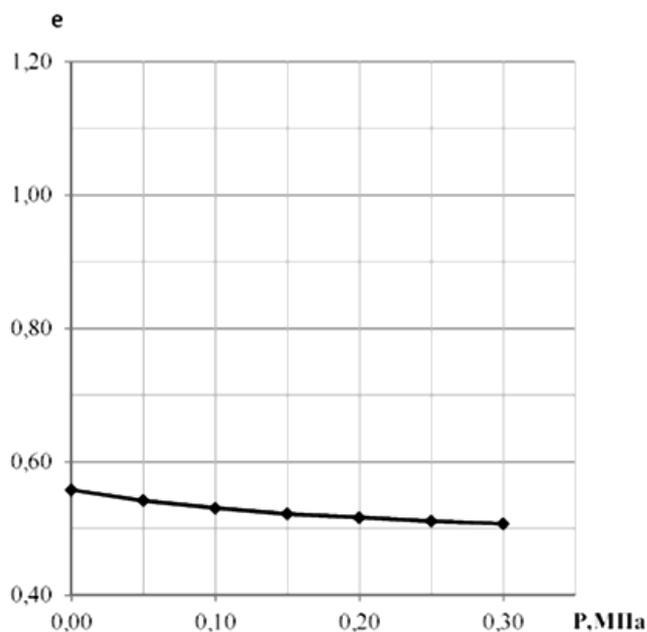
Физические характеристики грунта

Природная влажность, W	16,0
Плотность грунта, г/см <sup>3</sup>	2,00
Плотность сухого грунта, г/см <sup>3</sup>	1,72
Плотность водонасыщен. грунта, г/см <sup>3</sup>	2,08
Плотность частиц грунта, г/см <sup>3</sup>	2,68
Пористость, %	35,8
Коэффициент пористости, e	0,558
Степень влажности	0,77
Влажность на границе текучести	24,0
Влажность на границе пластичности	18,0
Число пластичности	6
Показатель текучести	< 0

В ненарушенной структуре (водонасыщенные)

P, МПа	Природная влажность		Коэффициент пористости, e
	Δh, мм	ε	
0,00	0	0	0,558
0,05	0,26	0,010	0,542
0,10	0,44	0,018	0,531
0,15	0,58	0,023	0,522
0,20	0,67	0,027	0,517
0,25	0,75	0,030	0,511
0,30	0,82	0,033	0,507

Определение проводилось на компрессионном приборе КПр-1  
 h = 25 мм  
 D = 87 мм  
 Коэффициент Пуассона  $\nu = 0,35$   
 Модуль деформации  $E_{oed} = 27,700$  МПа



Источник: разработано автором

**Приложение 7 (продолжение)**

**РЕЗУЛЬТАТЫ ЛАБОРАТОРНЫХ ИСПЫТАНИЙ НА КОМПРЕССИЮ**

Расположение объекта:	мун. Кишинэу
-----------------------	--------------

Шурф №:		Скваж.№:	3	Глубина:	3,0 м
Проба №:	23				

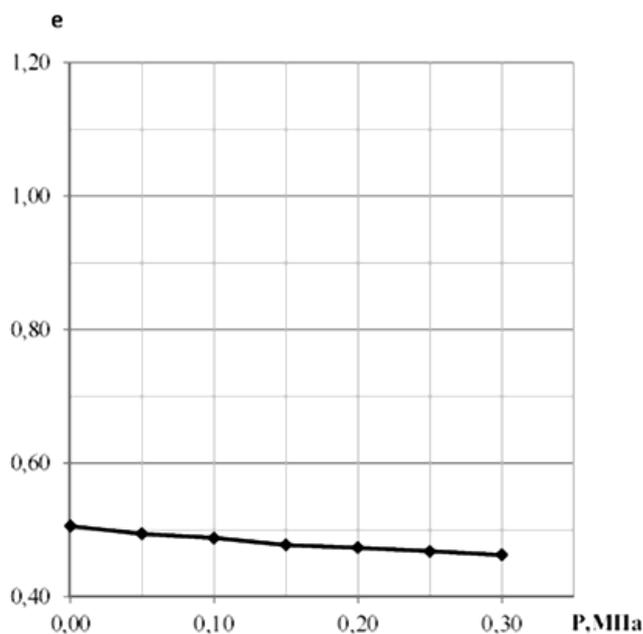
**Физические характеристики грунта**

Природная влажность, W	<b>13,0</b>
Плотность грунта, г/см <sup>3</sup>	<b>2,03</b>
Плотность сухого грунта, г/см <sup>3</sup>	<b>1,80</b>
Плотность водонасыщен. грунта, г/см <sup>3</sup>	<b>2,14</b>
Плотность частиц грунта, г/см <sup>3</sup>	<b>2,71</b>
Пористость, %	<b>33,6</b>
Коэффициент пористости, e	<b>0,506</b>
Степень влажности	<b>0,70</b>
Влажность на границе текучести	<b>24,0</b>
Влажность на границе пластичности	<b>16,0</b>
Число пластичности	<b>8</b>
Показатель текучести	<b>&lt; 0</b>

**В ненарушенной структуре (водонасыщенные)**

P, МПа	Природная влажность		Коэффициент пористости, e
	Δh, мм	ε	
0,00	0	0	0,506
0,05	0,20	0,008	0,494
0,10	0,31	0,012	0,488
0,15	0,48	0,019	0,477
0,20	0,55	0,022	0,473
0,25	0,64	0,025	0,468
0,30	0,73	0,029	0,462

Определение проводилось  
 на компрессионном приборе КПр-1  
 h = 25 мм  
 D = 87 мм  
 Коэффициент Пуассона  $\nu = 0,37$   
 Модуль деформации  $E_{oed} = 29,450$  МПа



Источник: разработано автором

Приложение 7 (продолжение)

РЕЗУЛЬТАТЫ ЛАБОРАТОРНЫХ ИСПЫТАНИЙ НА КОМПРЕССИЮ

Расположение объекта:	мун. Кишинэу
-----------------------	--------------

Шурф №:		Скваж.№:	3	Глубина:	4,0 м
Проба №:	24				

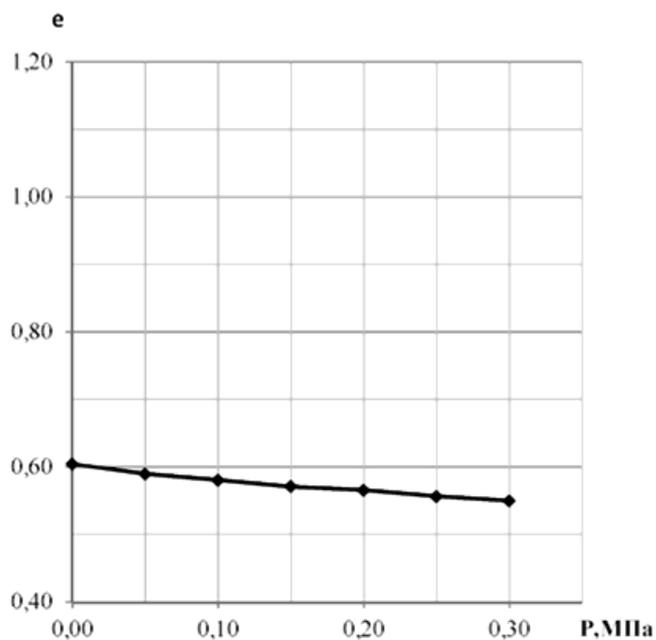
Физические характеристики грунта

Природная влажность, W	16,0
Плотность грунта, г/см <sup>3</sup>	1,96
Плотность сухого грунта, г/см <sup>3</sup>	1,69
Плотность водонасыщен. грунта, г/см <sup>3</sup>	2,07
Плотность частиц грунта, г/см <sup>3</sup>	2,71
Пористость, %	37,6
Коэффициент пористости, e	0,604
Степень влажности	0,72
Влажность на границе текучести	27,0
Влажность на границе пластичности	18,0
Число пластичности	9
Показатель текучести	< 0

В ненарушенной структуре (водонасыщенные)

P, МПа	Природная влажность		Коэффициент пористости, e
	Δh, мм	ε	
0,00	0	0	0,604
0,05	0,23	0,009	0,590
0,10	0,37	0,015	0,580
0,15	0,52	0,021	0,571
0,20	0,60	0,024	0,566
0,25	0,75	0,030	0,556
0,30	0,85	0,034	0,550

Определение проводилось  
на компрессионном приборе КПр-1  
h = 25 мм  
D = 87 мм  
Коэффициент Пуассона  $\nu = 0,37$   
Модуль деформации  $E_{\text{oed}} = 30,750$  МПа



Источник: разработано автором

Приложение 7 (продолжение)

РЕЗУЛЬТАТЫ ЛАБОРАТОРНЫХ ИСПЫТАНИЙ НА КОМПРЕССИЮ

Расположение объекта:	мун. Кишинэу
-----------------------	--------------

Шурф №:		Скваж.№:	3	Глубина:	5,0 м
Проба №:	25				

Физические характеристики грунта

Природная влажность, W	13,0
Плотность грунта, г/см <sup>3</sup>	2,08
Плотность сухого грунта, г/см <sup>3</sup>	1,84
Плотность водонасыщен. грунта, г/см <sup>3</sup>	2,15
Плотность частиц грунта, г/см <sup>3</sup>	2,68
Пористость, %	31,3
Коэффициент пористости, e	0,457
Степень влажности	0,76
Влажность на границе текучести	24,0
Влажность на границе пластичности	17,0
Число пластичности	7
Показатель текучести	< 0

В ненарушенной структуре (водонасыщенные)

P, МПа	Природная влажность		Коэффициент пористости, e
	Δh, мм	ε	
0,00	0	0	0,457
0,05	0,17	0,007	0,447
0,10	0,31	0,012	0,439
0,15	0,40	0,016	0,434
0,20	0,47	0,019	0,430
0,25	0,54	0,021	0,426
0,30	0,60	0,024	0,422

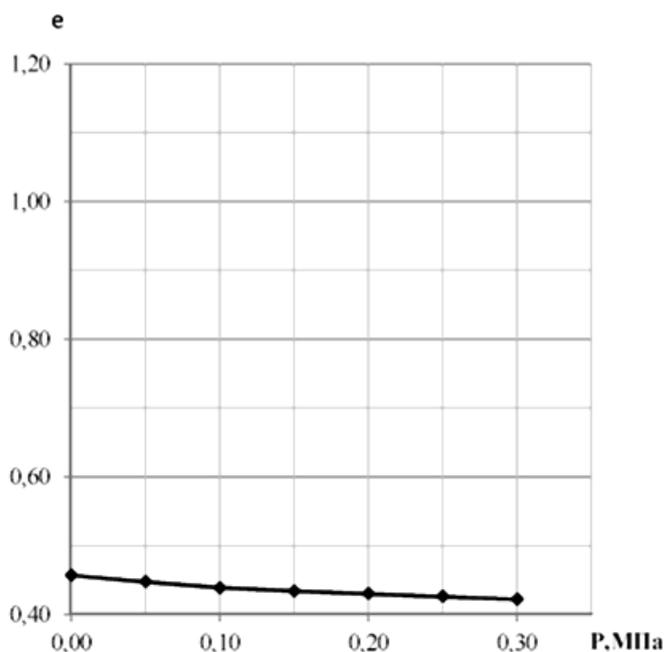
Определение проводилось на компрессионном приборе КПр-1

h = 25 мм

D = 87 мм

Коэффициент Пуассона  $\nu = 0,35$

Модуль деформации  $E_{oed} = 40,200$  МПа



Источник: разработано автором

РЕЗУЛЬТАТЫ ЛАБОРАТОРНЫХ ИСПЫТАНИЙ НА КОМПРЕССИЮ

Расположение объекта:	мун. Кишинэу
-----------------------	--------------

Шурф №:		Скваж.№:	3	Глубина:	6,0 м
Проба №:	26				

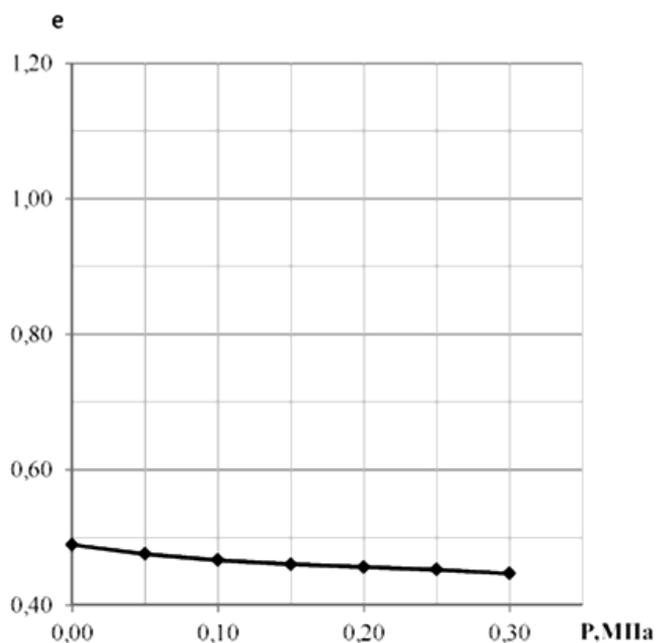
Физические характеристики грунта

Природная влажность, W	11,0
Плотность грунта, г/см <sup>3</sup>	2,00
Плотность сухого грунта, г/см <sup>3</sup>	1,80
Плотность водонасыщен. грунта, г/см <sup>3</sup>	2,13
Плотность частиц грунта, г/см <sup>3</sup>	2,68
Пористость, %	32,8
Коэффициент пористости, e	0,489
Степень влажности	0,60
Влажность на границе текучести	22,0
Влажность на границе пластичности	16,0
Число пластичности	6
Показатель текучести	< 0

В ненарушенной структуре (водонасыщенные)

P, МПа	Природная влажность		Коэффициент пористости, e
	Δh, мм	ε	
0,00	0	0	0,489
0,05	0,23	0,009	0,476
0,10	0,38	0,015	0,467
0,15	0,48	0,019	0,460
0,20	0,55	0,022	0,456
0,25	0,62	0,025	0,452
0,30	0,71	0,028	0,447

Определение проводилось  
на компрессионном приборе КПр-1  
h = 25 мм  
D = 87 мм  
Коэффициент Пуассона  $\nu = 0,35$   
Модуль деформации  $E_{oed} = 35,600$  МПа



Источник: разработано автором

## Приложение 8

Определение нормативных значений относительной просадочности лессовых грунтов

Природная влажность, %	Вертикальное давление P, МПа	Относительная просадочность ( $\varepsilon_{sl}$ ) при коэффициенте пористости (e)						
		0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	1,1
<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>	<i>7</i>	<i>8</i>	<i>9</i>
<b>8</b>	0,1	0,008	0,012	0,016	0,020	0,024	0,029	0,033
	0,2	0,016	0,024	0,032	0,041	0,049	0,057	0,066
	0,3	0,020	0,031	0,042	0,053	0,064	0,074	0,085
<b>12</b>	0,1	0,004	0,008	0,012	0,016	0,020	0,025	0,029
	0,2	0,008	0,016	0,024	0,033	0,041	0,049	0,057
	0,3	0,010	0,021	0,031	0,042	0,053	0,064	0,075
<b>16</b>	0,1	0,000	0,004	0,008	0,012	0,016	0,021	0,025
	0,2	-	0,008	0,016	0,024	0,033	0,041	0,049
	0,3	-	0,010	0,021	0,032	0,043	0,053	0,064
<b>20</b>	0,1	-	-	0,004	0,008	0,012	0,017	0,021
	0,2	-	-	0,008	0,016	0,025	0,033	0,041
	0,3	-	-	0,010	0,021	0,032	0,043	0,054
<b>24</b>	0,1	-	-	-	0,004	0,008	0,012	0,017
	0,2	-	-	-	0,008	0,017	0,025	0,033
	0,3	-	-	-	0,011	0,022	0,032	0,043

Источник: данные Приложения Б [163]

Физико-механические характеристики уплотненных просадочных грунтов Молдовы

Таблица П 9.1. Прочностные характеристики просадочных уплотненных грунтов

1	Наименование населенных пунктов и районов	I <sub>p</sub> , дол. ед.	Нормативные		Расчетные при доверительных вероятностях			
			φ <sub>н</sub> , град.	C <sub>п</sub> , кПа	α = 0,85		α = 0,95	
					φ <sub>п</sub> , град.	C <sub>п</sub> , кПа	φ <sub>п</sub> , град.	C <sub>п</sub> , кПа
2	3	4	5	6	7	8	9	
1	г. Кишинэу	0,10-0,15	22	26	21,5	24	21	23
		0,01-0,04	27	11	26	5	25	3
		0,05-0,07	28	12	27	9	27	8
2	г. Тираспол	0,08-0,15	22	30	20	24	18	17
3	г. Тигина	0,08-0,17	20	38	19	34	19	33
4	г. Бэлць	0,10-0,17	21	35	20	30	19	28
5	пгт. Тараклия и район	0,08-0,14	21	27	21	25	20	22
6	пгт. Кутузов и район	0,08-0,16	22	32	21	28	20	27
7	пгт. Криулень и район	0,08-0,16	24	26	23	22	22	17
8	г. Унгень и район	0,08-0,16	25	23	24	20	23	18
9	г. Дубэсарь и район	0,08-0,17	23	26	22	21	21	17
10	г. Рыбница и район	0,08-0,17	23	26	22	21	21	18
11	пгт. Григориопол и район	0,09-0,17	23	35	22	30	21	25
12	пгт. Анений Ной и район	0,08-0,16	20	33	19	29	18	24
13	г. Сорока и район	0,08-0,16	22	40	21	35	20	29
14	г. Орхей и район	0,09-0,17	22	35	21	29	19	22
15	г. Фэлешть и район	0,08-0,16	21	40	20	35	18	28
16	пгт. Окница и район	0,08-0,16	19	46	18	37	17	35
17	пгт. Кантемир и район	0,02-0,07	27	12	27	11	27	10
18	г. Кахул и район	0,02-0,07	27	13	26	12	25	11
		0,08-0,16	24	23	24	22	24	21

Источник: архивные данные Молдгиинтиз, 1986-1987гг.

**Приложение 9 (продолжение)**

Таблица П 9.2. Ориентировочные динамические значения прочностных характеристик грунтов

Наименование грунта	k <sub>w</sub> , дол. ед.	Физические характеристики			Прочностные характеристики и их соотношение			
		W <sub>онт.</sub> , %	W <sub>L</sub> , %	W / W <sub>L</sub> , дол. ед.	C <sub>w</sub> , кПа	Σ <sub>w</sub> , кПа	C <sub>c</sub> , кПа	φ <sub>w</sub> , град.
<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>	<i>7</i>	<i>8</i>	<i>9</i>
Суглинок легкий	1,0	13,34	24,25	0,55	52	22	30	23
	1,1	13,34	24,25	0,60	39	15,6	23,4	19
	1,3	13,34	24,25	0,71	19	8,3	10,7	12
	1,5	13,34	24,25	0,82	6,4	4,8	1,2	6
Суглинок тяжелый	1,0	14,74	26,80	0,55	51	42,5	8,5	16
	1,1	14,74	26,80	0,60	35,7	27,0	8,7	12
	1,3	14,74	26,80	0,71	16,6	9,5	7,1	6
	1,5	14,74	26,80	0,82	8,6	4,8	3,8	2
Суглинок тяжелый пылеватый	1,0	15,30	29,63	0,55	63	45,5	17,5	13
	1,1	15,30	29,63	0,60	38,5	27,8	10,7	9
	1,3	15,30	29,63	0,72	12,6	8,7	3,9	3
	1,5	15,30	29,63	0,82	4,3	3,4	0,9	1
Супесь	1,0	14,00	20,00	0,70	11,5	5,0	6	20
	1,1	14,00	20,00	0,75	0,78	0,3	0,5	19
	1,14	14,00	20,00	0,80	0,70	0,3	0,4	18

Источник: разработано автором

Приложение 9 (окончание)

Таблица П. 9.3. Физико-механические характеристики суглинков с нарушенной структурой

Наименование грунта	k <sub>w</sub> , дол. ед.	Физические характеристики				Прочностные характеристики и их соотношение						
		I <sub>p</sub> , дол. ед.	W, %	ρ <sub>w</sub> , г/см <sup>3</sup>	ρ <sub>d</sub> , г/см <sup>3</sup>	φ <sub>w</sub> , град.	C <sub>w</sub> , кПа	Σ <sub>w</sub> , кПа	C <sub>c</sub> , кПа	Σ <sub>w</sub> / C <sub>w</sub> , %	C <sub>c</sub> / C <sub>w</sub> , %	C <sub>c</sub> / Σ <sub>w</sub> , %
<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>	<i>7</i>	<i>8</i>	<i>9</i>	<i>10</i>	<i>11</i>	<i>12</i>	<i>13</i>
Суглинок легкий	1,0	8	13,3	2,13	1,88	30	61	26	35	43	57	135
	1,1	8	14,7	2,14	1,86	25	45	18	27	40	60	150
	1,3	8	17,3	2,15	1,84	17	23	10	13	44	56	130
	1,5	8	20,0	2,00	1,68	10	8	6	2	75	25	33
Суглинок тяжелый	1,0	12,6	14,7	2,08	1,87	19	60	50	10	83	17	20
	1,1	12,6	16,2	2,04	1,76	15	41	31	10	76	24	31
	1,3	12,6	19,2	2,03	1,70	9	21	12	9	57	43	75
	1,5	12,6	22,1	2,04	1,68	4	9	5	4	56	44	80
Суглинок тяжелый пылеватый	1,0	13,7	16,3	2,14	1,84	14	66	48	18	72	28	38
	1,1	13,7	17,9	2,23	1,80	12	44	32	12	73	27	38
	1,3	13,7	21,1	2,09	1,73	5	16	11	5	69	31	45
	1,5	13,7	24,4	1,98	1,60	2	5	4	1	80	20	25

Источник: разработано автором

**СПИСОК**

**отчетов по изучению инженерно-геологических условий площадок для строительства, использованных автором при написании диссертации**

1. Construcția centrului de deservire auto în extravilanul Trușeni, mun. Chișinău, nr. cadastral 8039312.040
2. Stație multicarburant de alimentare a autovehiculelor în complex cu spălătorie auto și auto-service, mun. Chișinău, sect. Botanica, str. Burebista, 112
3. Proiectarea centrului comercial din str. Alexandru cel Bun, 103, nr. cadastral 2501213069, or. Călărași, r-nul Călărași
4. Reconstrucția stației de alimentare cu combustibil și gaz din or. Telenești, r-nul Telenești, str. Șt. cel Mare și Sfint, 51
5. Proiectarea stației de alimentare a automobilelor cu produse petroliere și gaz lichefiate din str. Florilor, mun. Chișinău
6. Proiectarea stației de alimentare a automobilelor cu produse petroliere și gaz lichefiate din sect. Botanica, bd. Dacia, mun. Chișinău
7. Reconstrucția stației de alimentare cu combustibil și gaz din șos. Chișinău-Hîncești R3, A276, s. Bardar, r-nul Ialoveni
8. Proiectarea casei de locuit din str. Schinoasa, 17, com. Bacioi, mun. Chișinău
9. Proiectarea depozitului pentru cereal din s. Drăgănești, r-nul Sângerei
10. Proiectarea iazului din extravilanul s.Recea, r-nul Strășeni
11. Proiectarea iazului din com. Grătiești, mun. Chișinău
12. Reconstrucția stației de alimentare cu combustibil și gaz din str. Națională, or.Ungheni
13. Proiectarea stației de epurare din s. Cotovscoe, mun. Comrat, UTA Găgăuzia
14. Construirea obiectivului comercial (depozit cu oficiu) cu regimul de înălțime D+P+E din str-la Renașterii, 5a, or. Durlești, mun. Chișinău
15. Proiectarea complexului locative din str. Plopilor, com. Bacioi, mun. Chișinău
16. Proiectarea stației de alimentare cu combustibil și gaz din str. Independenței, 1/6, or. Dondușeni
17. Proiectarea stației de alimentare cu combustibil și gaz din s. Șirăuți, r-nul Briceni
18. Proiectarea centrului de deservire auto din str. Doinei, 191/1, sect. Rîșcani, mun. Chișinău
19. Proiectarea centrului de deservire auto din str. Calea Basarabiei, 28/5, mun. Chișinău
20. Proiectarea casei locative S+P, din str. Gagarin, nr. cadastral 5501214.182, or. Ialoveni
21. Construirea unui bloc de locuințe cu nivelul pe verticală S+P+9E, cu spații comerciale la parter și parcare auto subterană, în limitele terenului arendat cu nr. cadastral 0100512005, din str. Onisifor Ghibu, 3, mun. Chișinău
22. Proiectarea blocurilor de locuit cu spații de menire social din str. 31 August, or. Sângera, mun. Chișinău
23. Proiectarea depozitului industrial din str. Petricani, 19/5, mun. Chișinău
24. Proiectarea zonei de agreement din s. Mereni, r-ul Anenii Noi
25. Proiectarea iazului din extravilanul s.Sculeni, r-nul Ungheni

## Приложение 10 (продолжение)

26. Construirea complexului multifuncțional (blocuri de locuințe, obiective comerciale, prestări servicii, parcare auto, etc.) în limitele terenului cu nr. cadastral 0100313.508 din str. Mircea cel Bătrân, mun. Chișinău
27. Proiectarea depozitelor industriale din s. Piatra, r-ul Orhei
28. Proiectarea reconstrucției stației de alimentare cu carburanți existente din mun. Chișinău, s. Stăuceni (traseul Chișinău-Soroca-fr. Ucraina, km 11)
29. Proiectarea reconstrucției stației de alimentare cu carburanți existente din str. M.Manole, 2/1, mun. Chișinău
30. Proiectarea reconstrucției stației de alimentare cu carburanți existente din str. Calea Ieșilor, 85, mun. Chișinău
31. Proiectarea reconstrucției stației de alimentare cu carburanți existente din str. Miorița, 13, mun. Chișinău
32. Construcția elevatorului din s. Ferapontievca, r-ul Comrat, UTA Găgăuzia
33. Proiectarea blocului locativ cu parcare auto subterană din str. Mazililor, 32, mun. Chișinău
34. Proiectarea casei multifamiliale din str. A. Pușkin, 1, or. Strășeni
35. Proiectarea spălătoriei auto din extravilanul or. Ialoveni, nr. cadastral 5529102.473, r-nul Ialoveni
36. Construirea a 2 case de locuit individuale din mun. Chișinău, sect. Ciocana, cart. loc. Budești II, lot nr. 151
37. Proiectarea reconstrucției centrului comercial din bd. Moscovei, 11/8, or. Chișinău
38. Proiectarea garajelor cooperativului C.C.G. №61 din str. Uzinelor, 249/1, mun. Chișinău
39. Proiectarea stației de combustibil și gaz din str. Vadul lui Voda, mun. Chișinău
40. Proiectarea unui centru de deservire și reparație a autoturismelor cu regim de înălțime P+E, mun. Chișinău, str. C. Moșilor, nr. cadastral 0100422.038
41. Proiectarea hangarelor din s.Cristești, extravilan, nr. cadastral 6029111215, r-nul Nisporeni
42. Reconstrucția stației de alimentare cu petrol din str. Decebal, mun. Bălți
43. Proiectarea cimitirului din or. Sângera, mun. Chișinău
44. Proiectarea obiectivului comercial de pe șos. Muncești, 125/A, mun. Chișinău
45. Proiectarea complexului locative din str. Kiev, mun. Bălți
46. Proiectarea depozitului industrial de pe șos. Muncești, 801, mun. Chișinău
47. Proiectarea centrului comercial D+P+E+M din str. M. Lomonosov, 47, mun. Chișinău
48. Proiectarea zonei de agrement din str. N. Smochina, 29, mun. Chișinău
49. Proiectarea casei locative din s. Brăila, com. Băcioi, mun. Chișinău
50. Проектирование сетей ВК для жилого квартала “Когылник”, г. Чимишлия
51. Proiectarea casei de locuit din str. Lalelei, com. Trușeni, mun. Chișinău
52. Reabilitarea apeductului magistral din or. Ungheni
53. Proiectarea magazinului S+P+E din str. A. Doga, mun. Chișinău
54. Жилой комплекс в г. Кишиневе, по ул. Алба Юлия, 77
55. Proiectarea casei de locuit din str. Pescarilor, com. Trușeni, mun. Chișinău
56. Proiectarea casei de locuit din com. Trușeni, nr. cadastral 8039331.1177, mun. Chișinău

## Приложение 10 (окончание)

57. Proiectarea casei de locuit S+P+M din str. Păcii, 76, or. Durlești, mun. Chișinău
58. Construcția blocului comunal la abatorul din s. Floreni, r-nul Anenii Noi
59. Proiectarea blocului locativ S+P+4E+M din str. N.Sulac, nr. cadastral 3153212.292, com. Stauceni, mun. Chișinău
60. Construcția blocului locativ D+P+8E cu spații comerciale la parter, bd. Dacia, 65, mun. Chișinău
61. Reconstrucția stației de alimentare cu petrol din or. Vulcănești, UTA Gagauzia
62. Proiectarea construcției comerciale și prestarea serviciilor cu amenajarea teritoriului aferent din r-nul Strășeni, sat. Cojușna
63. Proiectarea casei de locuit din str. Mircești, 7, or. Durlești, mun. Chișinău
64. Construcția depozitelor din str. Uzinelor, 186, mun. Chișinău
65. Proiectarea depozitului din s. Chetrosu, r-nul Drochia
66. Proiectarea frigiderului din s. Chetrosu, r-nul Drochia
67. Construirea a spălătoriei auto din extravilanul s.Sociteni, nr. cadastral 5529102.473, r-nul Ialoveni
68. Proiectarea depozitelor industrial de pe șos. Muncești, 801, mun. Chișinău
69. Proiectarea blocului locativ S+P+8E din str. M. Sadoveanu, 15, mun. Chișinău
70. Proiectarea centrului tehnologic agricol din s. Halahora de Sus, r-nul Briceni
71. Proiectarea casei locative P+M și amenajarea teritoriului aferent din s. Filipeni, r-nul Leova
72. Proiectarea blocului locative din str. Pietrăriei, 56/1, mun. Chișinău
73. Proiectarea depozitului agroindustrial din com. Boșcana, nr. cadastral 3118104.275, r-nul Criuleni
74. Proiectarea construcției din extravilanul s.Ustia, nr. cadastral 3844121.666, r-nul Dubăsari
75. Proiectarea casei particulare din s. Rîșcova, r-nul Criuleni
76. Proiectarea reconstrucției stației de alimentare cu combustibil, UTA Găgăuzia, or. Comrat, str. Lenina 115
77. Proiectarea casei particulare din com. Băcioi, sat. Străisteni, mun. Chișinău
78. Proiectarea depozitelor-anexe pentru uzina de zahar din or. Drochia, r-nul Drochia
79. Proiectarea casei de locuit din str. G. Madan, 34, or. Chișinău
80. Proiectarea casei particulare S+P+M din str. Frumoasa, 8, mun. Chișinău
81. Proiectarea stației de alimentare cu carburanți din str. Libertății, 59, or. Lipcani, r-nul Briceni
82. Proiectarea anexei p-u blocuri sanitare la gimnaziul Ștefan cel Mare din str. M.Varlaam, 3, or. Nisporeni

### **Декларация об ответственности**

Нижеподписавшийся, заявляю под личную ответственность, что материалы, представленные в докторской диссертации *„Исследование динамики изменения просадочных свойств грунтов оснований путем устройства грунтовых свай, выполненных с помощью вибропогружателя”* являются результатом личных научных исследований и разработок. Осознаю, что в противном случае, буду нести ответственность в соответствии с действующим законодательством.

07.12.2018

Рышковой Александру

## CURRICULUM VITAE

**Numele și prenumele:** RÂȘCOVOI Alexandru Dumitru

**Data nașterii:** 19.04.1978

**Cetățenia:** Republica Moldova

### **Studii superioare:**

1. 2000 Universitatea Tehnică a Moldovei . Diplomă de studii superioare : inginer-constructor . Specialitatea: Construcții civile, industriale și agricole.
2. 2001 Studiile de masterat în cadrul instituției UTM. Diplomă de masterat, specialitatea: Construcții civile, industriale și agricole

### **Experiență profesională, stagii:**

01.08.2000 - prezent - Universitatea Tehnică a Moldovei, Departamentul Inginerie Civilă și Geodezie (fosta Catedra Tehnologia construcțiilor), în calitate de lector superior

2008 - prezent - activitatea în calitate de responsabil tehnic și diriginte de șantier (certificate de atestare tehnico-profesionale).

### **Participări la forumuri științifice naționale și internaționale:**

1. Conferința Științifică Națională cu Participare Internațională „*Mediul și dezvoltarea durabilă*,” Ed. a 3-a, consacrată aniversării a 80 ani de la nașterea prof. univ., dr. hab. Alexandru Lungu, US Tiraspol, Chișinău, 06-08 octombrie 2016
2. Conferința Tehnico-Științifică Internațională „*Probleme actuale ale urbanismului și amenajării teritoriului*”, Ed. a 8-a, UTM, Chișinău, 17-19 noiembrie 2016.
3. Conferința științifică Națională cu Participare Internațională „*Mediul și dezvoltarea durabilă*”, Ed. a 4-a, consacrată aniversării a 80 de ani a Facultății de Geografie, 25-28 octombrie 2018, Chișinău: US Tiraspol, 2018
4. The VI International Scientific Conference INTEGRATION, PARTNERSHIP AND INNOVATION IN CONSTRUCTION SCIENCE AND EDUCATION, 14th-16th November 2018. Moscow: MSUCE, 2018.

5. III International scientific and practical conference “Scientific Research Priorities – 2018: theoretical and practical value”, 27th-30th November 2018, Nowy Sącz. Poland: WSB-NLU, 2018

#### Lucrări științifice :

1. **РЫШКОВОЙ А.** Применение новых технологий для устранения просадочных свойств грунтов основания: In: „Mediul și dezvoltarea durabilă”, materialele Conferinței științifice Naționale cu Participare Internațională, Ed. a 3-a, consacrată aniversării a 80 ani de la nașterea prof. univ., dr. hab. Alexandru Lungu, 06-08 octombrie 2016, Chișinău: US Tiraspol, 2016, pp. 57-60. ISBN 978-9975-76-170-3.
2. **РЫШКОВОЙ А., ПОЛКАНОВ В.** К вопросу изучения физико-механических свойств уплотненных просадочных грунтов. VIII-я Международная научно-техническая конференция Актуальные проблемы градостроительства и благоустройства территорий 17 – 19 ноября 2016, Кишинэу. pag. 159-163. ISBN 978-9975-71-850-9.
3. **POLCANOV V., FUNIERU N., RÂȘCOVOI A., CÎRLAN A., SEBAN O.** Particularitățile manifestării proprietăților reologice ale argilelor alunecătoare neogene. In: *Meridian Ingineresc*, Nr. 1(68), UTM, 2018, pp. 67-71. ISSN 1683-853X. Categoria C.
4. **ПОЛКАНОВ В., ФУНИЕРУ Н., РЫШКОВОЙ А.** К вопросу установления расчетных характеристик сопротивляемости глинистых грунтов сдвигу при оценке степени устойчивости склонов. In: *Revistă de proprietate intelectuală „Intellectus”*. Nr. 2, „Intellectus” AGEPI, 2018. pp. 102-105. ISSN 1810-7079 Categoria C.
5. **РЫШКОВОЙ А.** Устранение просадочных свойств грунтов путём устройства грунтовых свай, выполненных с помощью вибропогружателя: In: „Mediul și dezvoltarea durabilă”, materialele Conferinței științifice Naționale cu Participare Internațională, Ed. a 4-a, consacrată aniversării a 80 de ani a Facultății de Geografie, 25-28 octombrie 2018, Chișinău: US Tiraspol, 2018, pp. 40-44. ISBN 978-9975-76-253-3.
6. **ПОЛКАНОВА А., РЫШКОВОЙ А., ФУНИЕРУ Н.** Опасные геологические процессы, способные повлиять на оценку инвестиционно-строительного проекта и его реализацию в Молдове: In: „Mediul și dezvoltarea durabilă”, materialele

Conferinței științifice Naționale cu Participare Internațională, Ed. a 4-a, consacrată aniversării a 80 de ani a Facultății de Geografie, 25-28 octombrie 2018, Chișinău: US Tiraspol, 2018, pp. 45-48. ISBN 978-9975-76-253-3

7. **РЫШКОВОЙ А.** Снижение расчетной сейсмичности площадки при строительстве на просадочных грунтах. In: *Revistă de proprietate intelectuală „Intellectus”*. Nr. 4, „Intellectus” AGEPI, 2018. pp. 92-97. ISSN 1810-7079 Categoria C.

**Cunoașterea calculatorului:**

Soft pentru analiza și proiectarea structurilor și edificiilor: AutoCAD, Axis, Plaxis.

Altele : Microsoft Office, MathCAD etc.

**Limbi cunoscute (cu indicarea gradului de cunoaștere):**

Rusă – natală

Româna – fluent

Engleza – intermediar

**Adresa, telefoane de contact, e-mail:** mun Chișinău, str. Cuza Vodă 13/3, ap. 45,

tel. mob. +37367166503; [alexrascovoi@gmail.com](mailto:alexrascovoi@gmail.com), [alexandru.rascovoi@tc.utm.md](mailto:alexandru.rascovoi@tc.utm.md)