

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ  
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«СЕВЕРО-КАВКАЗСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»  
(СКФУ)**

*На правах рукописи*

*Галай*

**ГАЛАЙ ОЛЕГ БОРИСОВИЧ**

**ИНЖЕНЕРНАЯ ЗАЩИТА ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ ПРИ  
СТРОИТЕЛЬСТВЕ НА ПРОСАДОЧНЫХ ГРУНТАХ БОЛЬШОЙ  
МОЩНОСТИ (НА ПРИМЕРЕ Г. БУДЁННОВСКА  
СТАВРОПОЛЬСКОГО КРАЯ)**

Специальность 1.6.7 – инженерная геология, мерзлотоведение и  
грунтоведение

**А В Т О Р Е Ф Е Р А Т**  
диссертации на соискание ученой  
степени кандидата геолого-  
минералогических наук

Москва, 2023 г.

Работа выполнена на кафедре Строительство ФГАОУ ВО «Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Северо-Кавказский федеральный университет» (СКФУ) Министерства образования и науки Российской Федерации.

**Научный руководитель:** **Стешенко Дмитрий Михайлович**  
кандидат технических наук, доцент кафедры строительства Инженерного института СКФУ

**Официальные оппоненты:** **Лаврусевич Андрей Александрович**  
доктор геолого-минералогических наук, профессор, ведущий научный сотрудник, федерального государственного бюджетного учреждения Всероссийский научно-исследовательский институт по проблемам гражданской обороны и чрезвычайных ситуаций (Федеральный центр науки и высоких технологий) (ФГБУ ВНИИ ГОЧС (ФЦ))

**Григорьева Ия Юрьевна**  
кандидат геолого-минералогических наук, доцент кафедры инженерной и экологической геологии Московского государственного университета имени М. В. Ломоносова

**Ведущая организация:** ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный технический университет». Кафедра «Гидротехнических и земляных сооружений»

Защита диссертации состоится «15» февраля 2024 г. в 14:30 часов на заседании диссертационного совета 24.2.364.01 при ФГБОУ ВО «Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе» (МГРИ) по адресу: 117997, г. Москва, ул. Миклухо-Маклая, д. 23, зал диссертационных советов (ауд. 473).

С диссертацией можно ознакомиться в научной библиотеке МГРИ и на сайте Российского государственного геологоразведочного университета имени Серго Орджоникидзе (МГРИ) по адресу: 117997, г. Москва, ул. Миклухо-Маклая, д. 23, <http://mgri.ru/>

Автореферат разослан « \_\_\_ » \_\_\_\_\_ 202\_ г.

Учёный секретарь диссертационного совета 24.2.364.01 к.г.-м.н., доцент



Горобцов Д.Н.

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность темы.** На Северном Кавказе просадочные лёссовые грунты занимают 85 % площади, т.е. являются основным типом оснований для зданий и сооружений. В районе г. Буденновска их мощность достигает 100-120 м, а мощность просадочной толщи (до 55 м) превышает все известные в мире лёссовые разрезы (В.Т. Трофимов и др., 2001; 2008; Грунтоведение, МГУ, 2005, с. 633), в т.ч. лёссы Китая с просадочной толщиной до 30 м (Lin Zaiguan et al., 1987).

На лёссовых грунтах Буденновска возведены взрывоопасные объекты крупнейшего в России химического комплекса ООО «Ставролен» Лукойла, построены самые крупные на Юге России военный городок и элеватор, ведется массовое строительство жилых и общественных зданий. Здесь впервые в мировой практике были построены очистные сооружения на просадочных грунтах мощностью 50 м. Просадочные лёссы осложнили восстановление Буденновской больницы после террористического акта 1995 года.

В Буденновске опробованы практически все известные методы строительства на просадочных грунтах. В отличие от г. Волгодонска, где массовые деформации завода «Атоммаш», жилых домов и общественных зданий рассмотрены на Всесоюзной конференции (1984) и в книге (М.П. Коханенко и др., 1990), удачный и неудачный опыт строительства на более просадочных грунтах г. Буденновска не получил известность в научной литературе.

Актуальность работы обусловлена необходимостью изучения просадочных грунтов г. Буденновска для нового строительства, а также в связи с оценкой состояния построенных, реконструируемых и аварийных зданий и сооружений на территории этого крупного промышленного центра Ставропольского края.

**Объектом исследования** являются лёссовые просадочные грунты, здания и сооружения г. Буденновска.

**Предметом исследования** являются особенности лёссовых грунтов и их влияние на новое строительство и существующую застройку г. Буденновска.

**Степень разработанности темы исследования.** Большой вклад в исследование лёссовых грунтов Северо-Кавказского региона внесли Ю.М. Абелев, М.Ю. Абелев, В.П. Ананьев, Л.Г. Балаев, В.С. Быкова, А.Н. Богомоллов, В.А. Васильев, А.А. Величко, В.Е. Воляник, Н.В. Воляник, Б.Ф. Галай, Я.Д. Гильман, А.А. Григорян, А.В. Гридневский, Н.Я. Денисов, Г.А. Дербинян, Е.С. Дзекцер, А.А. Дорджиев, В.П. Дыба, Э.В. Запорожченко, Р.С. Зиангиров, В.А. Зурнаджи, Н.И. Кригер, С.В. Кузнецова, С.Н. Коптелова, В.И. Коробкин, В.А. Королев, М.П. Коханенко, В.И. Крутов, А.К. Ларионов, А.В. Минервин, О.И. Мозговой, Ю.И. Олянский, В.И. Осипов, Л.В. Передельский, А.И. Полищук, И.В. Попов, В.А. Пшеничкина, В.И. Рево, В.Н. Синяков, Г.М. Скибин, В.Н. Соколов, В.Т. Трофимов, Н.М. Хансivarова, А.Н. Хуртин, П.В. Царев, М.И. Черкасов, Я.Е. Шаевич, Ю.И. Шпильберг и др. Их исследования создали теоретическую базу строительства на просадочных грунтах региона. Но остаются слабо изученными наиболее просадочные лёссы г. Буденновска, где ведется массовое гражданское и промышленное строительство и обнаружено много аварийных объектов.

**Цель работы** – дать оценку просадочным грунтам г. Буденновска как градостроительного фактора, показать их влияние на городскую застройку, оценить эффективность применяемых противопросадочных мероприятий и разработать рекомендации по изысканиям, проектированию, строительству, реконструкции и эксплуатации зданий и сооружений на просадочных грунтах большой мощности.

В соответствие с поставленной целью решались следующие **задачи**:

1. Изучить инженерно-геологические условия и просадочные грунты как градостроительный фактор, влияющий на новое строительство и реконструкцию существующей застройки г. Буденновска.
2. Выполнить анализ причин деформаций зданий и сооружений, построенных на просадочных грунтах г. Буденновска.
3. Выполнить анализ нормативной и научной литературы по строительству на просадочных грунтах.
4. Изучить положительный и неудачный опыт строительства зданий и сооружений, построенных на просадочных грунтах г. Буденновска.
5. Разработать рекомендации по применению противопросадочных мероприятий для зданий и сооружений г. Буденновска.

**Соответствие диссертации паспорту научной специальности.** Работа выполнена в рамках паспорта специальности 1.6.7. «Инженерная геология, мерзлотоведение и грунтоведение (геолого-минералогические науки)»: п.п. 1, 2, 7, 13, 14, 15.

**Научная новизна данной работы заключается в следующем:**

1. Выявлены специфические особенности состава, структуры и свойств лёссовых грунтов г. Буденновска, которые не учитывают действующие строительные нормативы.
2. В связи с неразработанностью строительных нормативов и недооценкой специфических свойств просадочных грунтов в г. Буденновске наблюдаются деформации многих зданий и сооружений, для исправления которых требуются значительные средства.
3. Выявлены причины деформаций зданий и сооружений, построенных на просадочных грунтах большой мощности.
4. Для выбора противопросадочных мероприятий составлена схематическая карта просадочности грунтов г. Буденновска.
5. Рекомендованы и опробованы новые эффективные технологии укрепления просадочных грунтов в основаниях строящихся и аварийных зданий и сооружений.

**Теоретическая и практическая значимость работы.** Показаны недостатки нормативов по изысканиям и проектированию зданий и сооружений на просадочных грунтах большой мощности. Составлены схематическая карта просадочности грунтов и рекомендации по изысканиям, проектированию, строительству и реконструкции зданий и сооружений на просадочных грунтах г. Буденновска. Выполненные исследования могут быть использованы при разработке нового Генерального плана и Экологического паспорта г. Буденновска.

**Методология и методы исследования.** Для решения поставленных задач автор изучил историю развития г. Буденновска, проанализировал более 100

изыскательских отчетов на его территории, обследовал основные объекты города, выяснил причины их деформаций и принял участие в разработке и реализации противодеформационных мероприятий, выполнил анализ просадочных грунтов России и зарубежных стран, нормативы и рекомендаций НИИ и ВУЗов РФ.

**Информационная база исследования.** Фактический материал получен автором в период обучения в аспирантуре (2017–2021 гг.) с обследованием проблемных объектов г. Буденновска, бурением скважин с отбором проб грунта, изучением монолитов опорных скважин в лабораторных условиях. При выполнении исследований были использованы официальные нормативы, научные публикации, фондовые материалы НИИ, проектно-изыскательских и строительных организаций региона, результаты собственных исследований.

**Основные результаты и положения, выносимые на защиту:**

1. В г. Буденновске распространены самые просадочные лёссы России, требующие детального научного изучения при строительстве зданий и сооружений.

2. Строительные нормативы недостаточно учитывают специфические особенности просадочных грунтов г. Буденновска.

3. Незавершенность нормативов, слабая изученность просадочных грунтов Буденновска и неэффективность противопросадочных мероприятий привели к аварийным деформациям многих зданий и сооружений, для исправления которых потребовались значительные средства.

4. Новое строительство и реконструкция существующей городской застройки на просадочных грунтах Буденновска требуют совершенствования действующих нормативов.

5. Рекомендации по инженерным изысканиям, проектированию и строительству на просадочных грунтах г. Буденновска.

**Достоверность полученных результатов.** В исследовании использован большой объем фактического материала, полученные результаты сопоставлены с теоретическими представлениями и подтверждены практикой строительства в г. Буденновске с большой экономией средств.

**Личный вклад.** Автор впервые провел комплексный анализ инженерно-геологических условий г. Буденновска, выполнил обследование основных объектов, выявил причины их деформаций, принимал личное участие в разработке проектов противопросадочных мероприятий и укреплении просадочных оснований строящихся и аварийных зданий и сооружений.

**Апробация работы.** Работа выполнена в рамках научного направления кафедры «Строительство» Инженерного института СКФУ: «Изыскания, проектирование, строительство, реконструкция и эксплуатация зданий и сооружений в сложных природных условиях Северного Кавказа». Основные результаты работы были представлены на конференциях: Актуальные проблемы строительства, транспорта, машиностроения и техносферной безопасности: V ежегодная научно-практическая конференция СКФУ. Ставрополь, 2017; Наука XXI века: взгляд в будущее: IV Международная научно-практическая конференция, Ставрополь, 2019; Международная научно-техническая конференция «Фундаментальные и прикладные вопросы геотехники: новые материалы,

конструкции, технологии и расчеты», «Geotechnics Fundamental and Applications in Construction (GFAC, 2019)», Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет, РААСН, РОМГГФ, 2019; Региональный этап международного конкурса Falling Walls Lab Stavropol, 2019; Международная научно-практическая конференция «Инновационные перспективы Донбасса» (Донецк, 2019), семинар «Геоэкологические проблемы техногенного этапа истории Земли» (МГСУ, 2019), XXVII Международная конференция студентов, аспирантов и молодых ученых «Ломоносов» (МГУ, 2020), IX Международная научная конференция молодых ученых «Молодые – Научкам о Земле» (МГРИ, 2020), докладывались и обсуждались на заседаниях кафедры «Строительство» Инженерного института СКФУ.

**Внедрение результатов исследования.** Администрация г. Буденновска и основная строительная организация Буденновска – ООО «ПМК-777» отмечают активное участие автора в подготовке оснований при новом строительстве и восстановлении аварийных объектов с большим экономическим эффектом. Институт географии РАН благодарит за помощь в изучении опорных лёссовых разрезов Северного Кавказа.

**Публикации.** По теме диссертации опубликовано 24 работы, в том числе 2 монографии, 4 статьи в научных изданиях, рекомендованных ВАК РФ, и 1 статья в библиографической и реферативной базе данных Scopus.

**Структура и объем работы.** Диссертационная работа, общим объемом 234 машинописных страниц, состоит из введения, пяти глав, заключения и списка использованной литературы из 162 наименований, включает 34 иллюстрации, 14 таблиц и 13 Приложений на 79 страницах.

**Благодарности.** Автор выражает искреннюю благодарность научному руководителю, к.т.н., доценту Стешенко Дмитрию Михайловичу за поддержку в процессе работы над диссертацией. Автор признателен сотрудникам кафедры «Строительство» СКФУ, Администрации г. Буденновска, ОАО «Ставропольгражданпроект», ОАО «СтавропольТИСИЗ», Северо-Кавказскому инженерно-геологическому Центру (бывший Северо-Кавказский филиал ПНИИИС Госстроя СССР) за помощь в период подготовки диссертации.

## СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

### Глава 1. Инженерно-геологические условия г. Буденновска

На территории Прикумья и современного Будённовска люди селились с незапамятных времён: обнаружены следы майкопской археологической культуры (II тыс. до н. э.); киммерийцы (VIII век до н.э.), скифы (VII век до н.э.), сарматы (VI-II века до н.э.), аланы (I-IV века н.э.), гунны (II-IV века), хазары (IV-932 г.), половцы (1055-1111 гг.). В XIII веке на месте Буденновска был крупнейший город Золотой Орды (Маджар). В городе жили тюрки, русские, аланы, евреи. В советский период Буденновск становится *третьим* в Ставропольском крае промышленным центром, после Ставрополя и Невинномысска; включен в список *исторических городов* России.

**Геоморфология и рельеф.** Город расположен на левом берегу р. Кумы, в которую впадает р. Мокрая Буйвола. Территория относится к пологому склону

водораздела и высокой надпойменной террасе. Абсолютные отметки изменяются от 89,6 м (урез воды оз. М. Буйвола) до 135,4 м (западная части города).

**Климат** континентальный, засушливый. Среднегодовые температуры: воздуха – +10,2<sup>0</sup>С (от -36<sup>0</sup> до +43<sup>0</sup>С), января – -4,8<sup>0</sup>С, июля – +24<sup>0</sup>С. Осадки за год – 391 мм (от 350 до 424 мм). Среднегодовая скорость ветра 4,2 м/с. Зимой восточные сухие ветры иногда достигают силы шторма и даже урагана. Пыльные бури возникают летом и в бесснежные зимы.

**Геологическое строение и гидрогеологические условия.** Буденновск расположен в западной части Терско-Кумской впадины, где выделены: палеозойский фундамент и мезо-кайнозойский чехол из 5-ти толщ: 1) *лессовые грунты* мощностью до 100-120 м; 2) красноватые глины ( $N_2^3-Q_1$ ) мощностью до 30 м; 3) *песчано-гравийные отложения* в долинах Кумы и М. Буйволы мощностью до 40 м; 4) *глины апшерона и акчагыла* ( $N_2^3ap, Nak$ ) мощностью 25-130 м; 5) *известняки-ракушечники* сармата и акчагыла ( $N_1^3s - N_2^3ak$ ) мощностью 40-120 м, основной водоносный горизонт региона. Лёссовая толща в районе очистных сооружений достигает 100 м ( $H_{sl}$ =до 55 м); на высоких отметках Буденновска (мясокомбинат, ж/д вокзал, элеватор) – до 40 м ( $H_{sl}$  до 30-35 м); на склонах к р. Куме и М. Буйволе – до 10-20 м. Считается, что мощность лёсса в Предкавказье не превышает 70 м (Инженерная геология СССР, т. 8, 1978).

**Грунтовые воды** в р-не Буденновска залегают на глубине до 92 м, что превышает указанную в (Инженерная геология, т. 8, 1978) глубину залегания грунтовых вод в Предкавказье – до 30 м. Грунтовые воды города разгружаются в оз. Буйвола.

**Опасные геологические процессы** связаны со спецификой лёссовых грунтов. На площади Ленина, на территории автовокзала, центральной больницы, в районе очистных сооружений автор обнаружил *просадочные блюдца* (рис. 1). В долине р. Кумы образуются *оползни-обвалы*, на лёссовых склонах наблюдаются *промоины и овраги*, переходящие в *суффозионные полости и воронки* с признаками псевдокарста (А.А. Лаврусевич, В.П. Хоменко, И.А. Лаврусевич, 2012, 2013).



Рис. 1. Просадочные блюдца на площади Ленина (с трещиной в асфальте после аварии водопровода) и на территории автовокзала.

**Сейсмичность г. Буденновска.** СП 14.13330.2011 установил сейсмичность для «средних» грунтов Буденновска 7 баллов. С учетом III категории лёсса по сейсмическим свойствам, *расчетная сейсмичность* площадок – 8 баллов. В.А. Пшеничкина и др. (2017) обнаружили в Буденновске 286 домов, требующих



усиления конструкций и укрепления просадочных грунтов. Взрывоопасные объекты ООО «Ставролен» на сваях стали несейсмостойкими по новому СП.

**Инженерно-геологическое районирование Буденновска.** На основе анализа более 100 изыскательских отчетов автор составил *карту просадочности лёссовых грунтов г. Буденновска* (рис. 2), на которой указаны мощность просадочной толщи и величина просадки от собственного веса грунта. Большая часть Буденновска попадает в просадочную и сильно просадочную зоны (Ю.М. и М.Ю. Абелевы, 1968; В.Т. Трофимов, 2008). Карта предназначена для выбора противопросадочных мероприятий.

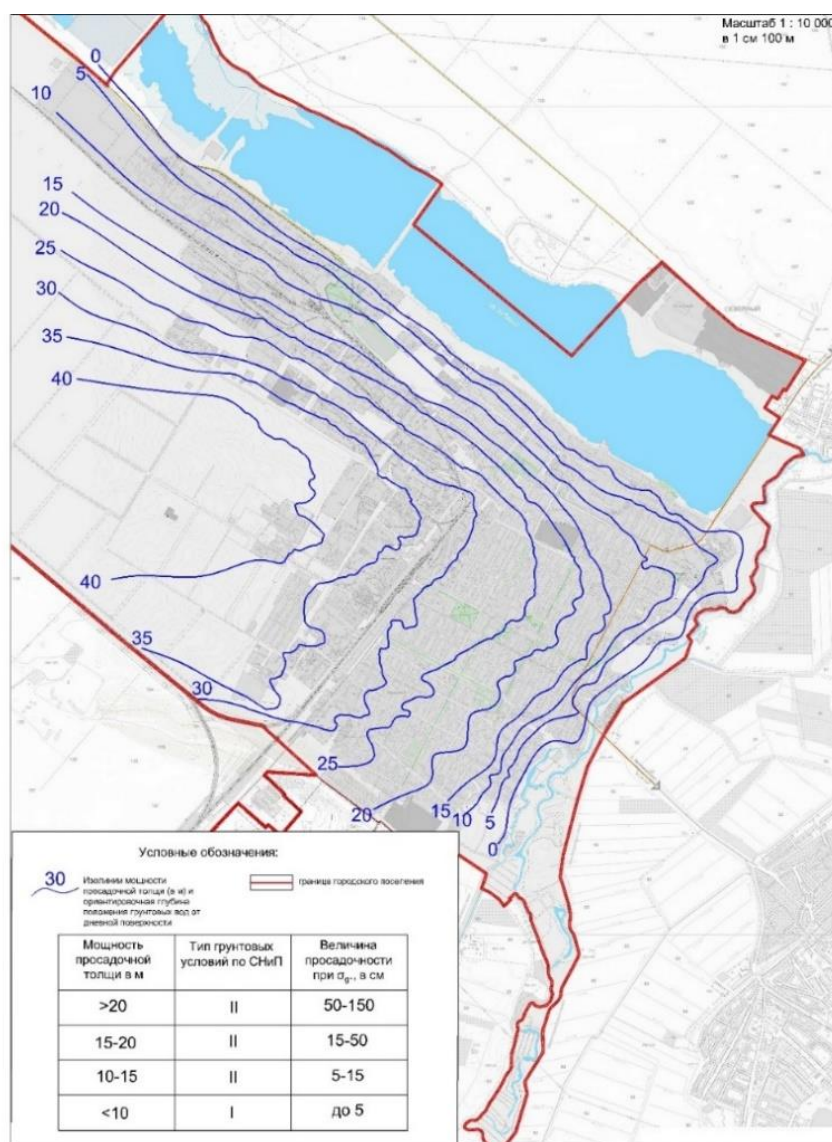


Рис. 2. Схематическая карта просадочности лёссовых грунтов г. Буденновска.

**Условия формирования и стратиграфия лёссовых толщ.** И.В. Мушкетов (1895) и Н.Я. Денисов (ДАН, 1940) считали, что лёсс Предкавказья имеет *эоловый генезис*. Палеогеография Европы (1984), А.А. Свиточ (1987), А.А. Величко (1987) показали, что лёсс региона формировался в эпохи оледенений, в условиях «тундростепи», за счет пыли из Прикаспийской низменности. Местные изыскатели указывают, что лёсс региона имеет *эолово-делювиальный генезис*. Стратиграфия лёссов основана на том, что лёсс – продукт ледниковых эпох, а ископаемые почвы отражают межледниковья.



**Экология Буденновска** рассмотрена в связи со строительством очистных сооружений на просадочных лёссах (50 м) и многолетней проблемой обустройства полигона твердых бытовых отходов (О.Б. Галай, 2019).

**Химический состав лёсса Буденновска:**  $\text{SiO}_2=62,5-65,7$  %,  $\text{Al}_2\text{O}_3=12,5-13,2$  %,  $\text{Fe}_2\text{O}_3=4,1-5,4$  %,  $\text{CaO}=5,7-6,8$  %,  $\text{MgO}=1,2-2,1$  %,  $\text{SO}_3=0,2-0,73$  %. В составе легкорастворимых солей (0,05-1,5 %) доминирует  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ , а  $\text{NaCl}$  и  $\text{MgSO}_4$  не превышают  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ . Гипс  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  обычно находится ниже ископаемых почв, содержание  $\text{CaCO}_3$  7-11 %.

**Породообразующие минералы:** кварц (42,8%), полевые шпаты (8%), слюды (8,3%), обломки пород (38,9%); глинистые минералы: гидрослюда (40-60%), монтмориллонит (6-17%), каолинит (25-45%).

**Гранулометрический состав** лёссов Буденновска не соответствует критериям СП 11-105-97. Фракция 0,05-0,005 мм не превышает 50 %, а глинистая фракция превышает 15 % и 16 % (Грунтоведение, МГУ, 2005, с. 633) Преобладает «лёссовая» фракция (0,1-0,01мм), принятая основной в классификации МГУ (Грунтоведение, МГУ, 2005).

Указание ГОСТ 12536-2014 «грунт кипятить с добавлением аммиака» ошибочное, т.к. не дает предельную диспергаию грунта, которую рекомендовал Е.М. Сергеев (1978) для грананализа. Лучше диспергирует растирание лёсса с пирофосфатом натрия (П.Ф. Мельников, 1956; В.И. Осипов, 1973; В.Т. Трофимов, В.А. Королев, 2008). К лёссам не применима классификация В.В. Охотина, где супесь содержит 3-10 %, а суглинок – 10-30 % глинистых частиц (Справочник геотехника, 2016, с. 49). Ареометрический и пипеточный методы для лёсса дают близкие результаты.

Вопреки СП 11-105-97, лёсс Буденновска обычно без макропор. Отсутствие макропор в лёссах отметили Ю.М. Абелев (1948, с. 16) и А.А. Григорян (1984, с. 5). СП 11-105-97 игнорирует лёссовидные просадочные пески Северного Кавказа.

В табл. 1 дана классификация лёссовых грунтов Северного Кавказа на основе анализа грансостава и пластичности.

Таблица 1. Классификация лёссовых грунтов региона

Название Породы	Содержание (%) фракций, размер в мм			Показатели пластичности, %	
	0,10 – 0,01	< 0,005	< 0,002	$I_p$	$W_L$
Лёссовидный песок	не нормируется	до 10	до 8	-	-
Лёсс	60-85	10-30	8-24	0-8	До 25
Легкий лёссовидный суглинок	50-60	30-40	24-32	8-10	25-28
Средний лёссовидный суглинок	38-50	40-50	32-40	10-13	28-32
Тяжелый лёссовидный суглинок	28-38	50-60	40-48	13-17	32-36
Лёссовидная глина	менее 28	более 60	более 48	более 17	более 36

Для характеристики состава лёссовых грунтов, вслед за Н.Я. Денисовым (1951, с. 183) и Ю.М. и М.Ю. Абелевыми (1979, с. 23), использована граница текучести. В классификации пылеватая (0,1-0,01 мм) и глинистая (<0,005 мм) фракции и показатели пластичности коррелятивно связаны между собой. Для лёссовых грунтов формула  $I_p = 0,75W_L - 11,0$  близка к формуле Казагранде  $I_p = 0,73W_L - 14,6$  (ГОСТ 25100-2011). Расхождение объясняется тем, что в РФ  $W_L$  определяют конусом, а в США – старым чашечным методом.

**Структурные связи в лёссах.** Лёсс относится к очень прочным грунтам, т.к. сопротивление пенетрации  $R > 2$  МПа (Руководство по проектированию оснований, 1978). Замачивание лёсса переводит его в разряд среднечерных ( $R = 0,05-0,1$  МПа) и очень слабых грунтов ( $R < 0,05$  МПа). Структурная прочность снижается до 300 раз. Лёсс является исключительно чувствительным грунтом, близким к норвежским плейстоценовым глинам с коэффициентом снижения прочности до 500 раз (Н.Я. Денисов, 1956, с. 34; L. Bjerrum, 1954).

**Модуль деформации.** Компрессионный модуль *просадочных* лёссов изменяется в пределах 5,8-10,3 МПа, а штамповый – в пределах 4,8-15,9 МПа; коэффициент  $m_k$  изменяется в пределах 0,72-2,2, что значительно меньше значений, рекомендуемых для непросадочных грунтов (СП 22.13330.2016, т. 5.1). Использование «нормативного»  $m_k$  дает занижение расчетной осадки зданий и сооружений в условиях г. Буденновска.

На основе обработки более 400 паспортов составлена табл. 2 для предварительной оценки *компрессионного* модуля деформации *замоченных* лёссов Буденновска, для которых принят  $m_k = 1,0$ , что согласуется с данными Ю.М. и М.Ю. Абелевых (1979, с. 28), Б.И. Далматова и др. (1984) и А.В. Васильева (1986), которые для слабых грунтов установили равенство компрессионного и штампового модулей деформации.

Таблица 2. Нормативные значения компрессионного модуля деформации (Ек, МПа) замоченных лёссовых грунтов г. Буденновска

$W_L, \%$	$I_p, \%$	Коэффициент пористости $e$ , д.е.				
		0,56-0,64	0,64-0,72	0,72-0,82	0,82-0,92	0,92-1,04
20-24	1-7	8,9	6,1	4,2	2,9	1,9
24-28	7-12	10,4	7,1	4,7	3,2	2,1

**Прочностные характеристики** замоченного лёсса Буденновска при консолидированно-дренированном сдвиге даны в табл. 3.

Таблица 3. Нормативные значения прочностных характеристик лёссовых грунтов г. Буденновска

$W_L, \%$	$W, \%$	Коэффициент пористости $e$ , д.е.							
		0,64-0,72		0,72-0,82		0,82-0,92		0,92-1,04	
		$C, \text{кПа}$	$\varphi, \text{град}$	$C, \text{кПа}$	$\varphi, \text{град}$	$C, \text{кПа}$	$\varphi, \text{град}$	$C, \text{кПа}$	$\varphi, \text{град}$
20-24	18-21	26	26	15	25	10	24	8	23
	21-24	17	24	10	-	-	-	-	-
24-28	18-21	26	27	18	26	13	25	10	24
	21-24	16	25	13	24	10	23	9	22

Повышение влажности лёссов снижает  $C$  и  $\phi$ , а увеличение плотности увеличивает сцепление в 2-3 раза и слабо влияет на  $\phi$ .

### **Просадочность лёссовых грунтов г. Буденновска.**

СП 11-105-97, часть III рекомендует оценивать просадочность по влажности, коэффициенту пористости и давлению, игнорируя литологию грунта. «Нормативная» таблица дает нереальные значения просадочности: при  $e=0,5-0,6$  ( $\rho_d=1,80-1,69$  г/см<sup>3</sup>) лёсс обладает просадочностью 0,021-0,031, что противоречит п.п. 3.83, 3.104, 3.152 Пособия (1986). По СП при  $W=24$  % и  $e=0,8$  грунт имеет  $Sr=0,81$  и просадочность 0,011, что противоречит п. 2.40 Пособия (1986). Для оценки просадочности лёссов Северного Кавказа вместо таблицы СП рекомендуются графики (рис. 3).

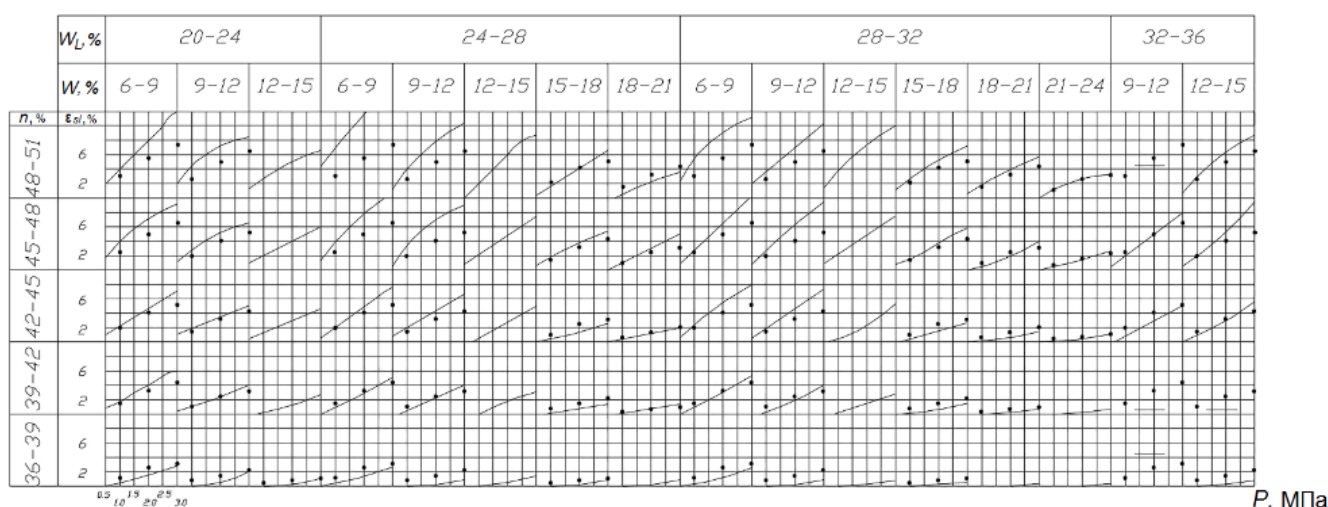


Рис. 3. Графики для оценки просадочности лёссовых грунтов Северного Кавказа; точки указаны по СП 11-105-97.

Относительная просадочность  $\varepsilon_{sl}$  получена в результате обработки 5000 паспортов грунта. В качестве характеристики состава принята граница текучести (Лабораторные работы по грунтоведению, 2008, с. 272). Просадочность по графикам близка к лабораторным методам, а СП в целом занижает просадочность и относит лёсс к слабо- и среднепросадочным грунтам ( $\varepsilon_{sl} < 0,07$ ). Лёсс Буденновска является сильно- и чрезвычайно просадочным грунтом (ГОСТ 25100-2011).

## **Глава 2. Аварийные деформации зданий и сооружений, построенных на просадочных грунтах г. Буденновска**

Большинство деформированных жилых домов и общественных зданий находится в центральной части Буденновска, где просадочная толща составляет 25-30 м. Жилые дома по ул. П. Лумумбы, 189 и 205; Буровой, №№ 198 и 200; Дзержинского, 196; Октябрьской, 69 и 85; № 9 в 262 квартале; пер. Новый, 1 и 5; общежитие по ул. Л. Толстого, 16 имели трещины от 10-30 мм до 80 мм после замачивания просадочных грунтов атмосферными и техногенными водами.

Попытки закрепить лёсс силикатизацией или обжигом не дали результатов из-за высокой стоимости и большой просадочности.

*Здания школ №№ 1, 4, 5 и 6* имели трещины до 30 мм. Их основания укрепили буронабивными грунтовыми сваями без усиления конструкций.

*Дом детского творчества* на площади Ленина в 1995 году сожгли террористы. При восстановлении не укрепили просадочные грунты (рис. 4). Здание находится в предаварийном состоянии.



Рис. 4. Памятник архитектуры – Дом детского творчества

*Дом культуры* имел трещины в стенах до 20 мм. Грунты укрепили буронабивными грунтовыми сваями.

*Широкоформатный кинотеатр на 800 мест* строили более 10 лет, грунты пытались закрепить силикатизацией, но ограничились водозащитными мероприятиями.

*Здание Центрального Банка РФ* было аварийным, грунты укрепили буронабивными грунтовыми сваями, усилили конструкции.

*Здание медучилища* – памятник архитектуры – во время боевых действий в 1995 г. получило повреждения, требуется укрепление грунтов, фундаментов и стен.

*Здание РОВД* пострадало во время боя с террористами. Стены усилили тяжами, которые не остановили просадку здания.

*Здание Федеральной пожарной службы*, построенное на трамбованной подушке, имеет многочисленные трещины.

*Главный и административно-бытовой корпуса и котельная автозавода* после сдачи просели на 40 см. Их стены усилили тяжами.

*Главный корпус мясокомбината.* После ввода в эксплуатацию в стенах появились трещины до 30 мм, сместились перекрытия. Буроинъекционные сваи Фундаментпроекта до 25 м не применили из-за высокой стоимости.

*Завод железобетонных изделий.* Главный корпус сразу после строительства опустился на 50 см, а после «организованного» замачивания провалился до 180 см. Не помог опыт «организованного» замачивания в г. Грозном (А.П. Пшеничкин, В.А. Пшеничкина, 2009), рассчитанный на грунты I типа просадочности. Замачивание ЖБИ описали В.П. Ананьев (1976) и Абелевы Ю.М. и М.Ю. (1979).

*Завод крупнопанельного домостроения* испытал деформации в процессе строительства. Для закрепления грунтов предложили *силикатизацию* (2200 тонн жидкого стекла), от которой отказались из-за высокой стоимости работ.

*Молочный завод.* Все здания имеют трещины (рис. 5).





Рис. 5. Аварийные деформации Молочного завода.

*Элеватор* из 8 силкорпусов был крупнейшим в России (рис. 6). Грунтовая подушка не остановила их просадку до 2,5 м с отклонением от вертикали до 2,2 м. Один силкорпус выправили односторонним замачиванием основания.



Рис. 6. Аварийные пустые силкорпуса элеватора.

*Военный городок «Северный»*, построенный для 1000 семей военнослужащих из ГДР, с *частичным* устранением просадочности (Ю.А. Багдасаров, С.Л. Фингеров, 1994), сразу испытал деформации (рис. 7), которые будут усиливаться по мере износа водонесущих коммуникаций. СевКавПНИИИС и проф. С.Н. Чернышев (МГСУ) предложили уплотнить грунты взрывами, от которых отказались по непонятным причинам.



Рис. 7. Аварийные деформации зданий военного городка «Северный».

### Глава 3. Критический анализ нормативов по строительству на просадочных грунтах в условиях г. Буденновска

Применение свай в Буденновске ограничивают: большая мощность просадочных толщ (до 30-50 м); отсутствие надежного несущего слоя; сейсмичность 8 баллов; недостаточная разработанность нормативов по проектированию свайных фундаментов на просадочных грунтах; необходимость длительных и дорогих испытаний свай с замачиванием котлованов; высокая стоимость свайных работ. Против висячих свай в просадочных грунтах в сейсмических районах выступили Ю.М. и М.Ю. Абелевы (1979, с. 142).

**Тяжелые трамбовки и грунтовые подушки** при оптимальной влажности дают коэффициент уплотнения  $k_{com} = 0,95-0,98$ , но сильно зависят от погодных условий. Лёсс с  $I_p \sim 7\%$  изменяет консистенцию от твердой до текучей при изменении влажности в пределах 5-8 %.

**Грунтовые сваи**, рекомендуемые нормами, на Юге России не применяются. Взрывы удлиненных зарядов для расширения скважин или их пробивка снарядом массой 3-5,5 тонн практически невозможны в городских условиях; используется малопроизводительный станок БС-1; остается «буферный» слой толщиной до 3,0 м; влажность грунта должна быть оптимальной; не должно быть переувлажненного грунта. Скептическое отношение к грунтовым сваям выразили Н.Я. Денисов (1951, с. 163; 1963; 1972, с. 225), Б.Н. Ржаницын (1962), А.А. Григорян (1984, с. 137).

**Предварительное замачивание** котлованов в Буденновске показало, что для устранения просадочности требуется в 2-4 раза больше воды, рекомендуемой в СП 45.13330.2017, п. 17.1.8. Обводненные котлованы строители назвали «лягушатниками». Их осушение надолго задерживает строительство, а верхний слой (5-7 м) невозможно доуплотнить однослойным трамбованием на глубину 2-3 м.

**Гидровзрывной метод** по СП 45.13330.2017 не применяют, т.к. одновременный взрыв зарядов многократно увеличивает безопасное расстояние до охраняемых объектов и не позволяет контролировать отказы. Выполнение взрывов сразу после полного замачивания превращает котлован в тот же «лягушатник». В мощных лёссовых толщах не удается выдернуть остатки взрывных труб (рис. 8).



Рис. 8. Просадка (до 2,75 м) после гидровзрывного уплотнения лёссов на стройбазе Буденновска и неудачная попытка выдернуть 3000 пог. метров труб, разорванных взрывами.



**Силикатизация просадочных грунтов** на многих объектах края (Буденновск и др.) оказалась неэффективной (Б.Ф. Галай, В.В. Сербин, О.Б. Галай, 2018). Неудачный опыт силикатизации лёссовых грунтов Одесского оперного театра описали Ю.М. и М.Ю. Абелевы (1979, с. 243).

**Термическое закрепление лёсса** опробовали в 1975 году при строительстве винзавода. После этого строители от обжига отказались.

Обзор нормативных методов строительства на просадочных грунтах показал их несовершенство в условиях Буденновска.

#### **Глава 4. Успешный опыт строительства и восстановления аварийных зданий и сооружений на просадочных грунтах г. Буденновска**

При строительстве жилья опытные забивные сваи длиной 16 м под нагрузкой 20 т после замачивания котлованов провалились до 44,8 см, а просадка грунта составила 23,8 см. Это противоречит А.А. Григорян (1984, с. 115), утверждающей, что *«общая осадка свай никогда не может превзойти осадки грунтовой толщи»*.

От ненадежных свай отказались. Уплотнение грунтов выполнили новым гидровзрывным методом и буронабивными грунтовыми сваями. На уплотненных грунтах были построены: 7-этажная поликлиника, 5-9-этажные дома (рис. 9), общежития, хлебозавод, СТО на 800 машин, стройбаза завода Пластмасс, очистные сооружения города, военный городок для контрактников, Газоперерабатывающий завод. Всего взорвали более 12 тыс. зарядов массой 3-12 кг на глубине 3-10 м. Для взрывов потребовалось более 100 тонн водостойкого аммонита.



Рис. 9. Общий вид 7-го микрорайона. Вдали Буйвола и Военный городок. Дома, построенные на лёссе, уплотненном глубинными взрывами и буронабивными грунтовыми сваями.

Просадка после взрывов в 2-4 раза превышала расчетную просадку от собственного веса грунта и достигала **2,75 м**.

Применение взрывов позволило сэкономить за счет отказа от ранее запроектированных свайных фундаментов миллиарды рублей в нынешних ценах. Уплотнение взрывами просадочной толщи мощностью 50 м позволило сдать в срок очистные сооружения, запроектированные немецкой фирмой «Линда».

**Прикумский завод пластмасс (ныне ООО «Ставролен»**, рис. 10) – крупнейший в мире комплекс по производству этилена, пропилена, бензола и полиэтилена сначала запроектировали на 20 тыс. забивных сваях без учета

негативного трения. Испытание свай с замачиванием грунтов показало их низкую несущую способность. Все сваи удлиннили на 3 м, забили дубли свай и усилили их ростверки.



Рис. 10. Общий вид завода ООО «Ставролен» ПАО «Лукойл»

**Газоперерабатывающий завод ООО «Ставролен»** построили на просадочных грунтах (28 м), уплотненных 2562 взрывами и буронабивными грунтовыми сваями диаметром до 90 см, с экономией 888 млн. рублей (рис. 11).

**Спортивно-оздоровительный комплекс** сначала запроектировали на буронабивных ж/б сваях, а затем уплотнили грунты буронабивными грунтовыми сваями с экономией 146 млн. рублей.

**Система противопожарной защиты.** Лёсс уплотнили буронабивными грунтовыми сваями.

**Военный городок для контрактников** построили, применив 594 глубинных взрыва и буронабивные грунтовые сваи.



Рис. 11. Уплотнение просадочных грунтов на площадке строительства Газоперерабатывающего завода: гидровзрывным способом, буронабивными грунтовыми сваями.

**Восстановление аварийных зданий районной больницы после террористического акта 1995 года.** Буденновск первый в России испытал нападение террористов. 1500 местных жителей и больных в течение шести дней были заложниками в главном корпусе больницы, 146 из них погибли и более 500



*человек ранено.* В процессе боевых действий были разрушены водонесущие коммуникации, произошли деформации зданий. Президент Б.Н. Ельцин поручил мэру Москвы Ю.М. Лужкову срочно восстановить все здания больницы. Были задействованы лучшие фирмы Москвы (Москапстрой, Мосспецпромстрой, институт МНИИПОКОСЗ и др.). Изыскания и укрепление просадочных грунтов и фундаментов аварийных зданий выполнил СевКавПНИИС.

**Главный корпус больницы**, построенный на ленточных фундаментах, имел многочисленные трещины *до 20 мм*. Грунты укрепили грунтовыми сваями.

**Недостроенное здание роддома (терапевтический корпус)** на забивных сваях длиной 22 м считалось надежным. Уплотнение грунтов не произвели. В здании появились трещины (рис. 12).



Рис. 12. Главный и терапевтический корпуса больницы. На терапевтическом корпусе надпись: «Москва – Буденновску».

**Одноэтажная пристройка к роддому** была запроектирована на забивных ж/б сваях длиной 22 м. Уплотнение грунта позволило исключить негативное трение и возвести два дополнительных этажа.

**Травматологический корпус** (бывший Мамай-Маджарский монастырь, 1888 г.) усилили тяжами с уплотнением лёсса буронабивными грунтовыми сваями.

**Котельную** с трещинами 50 мм укрепили швеллерами и грунтовыми сваями.

**Часовня**, фундамент которой заложил Б.Н. Ельцин в 1996 г., сейчас имеет трещины (рис. 13).



Рис. 13. Часовня, заложенная Б.Н. Ельциным, с трещинами

На территории больницы обнаружены просадочные блюдца до 1,0 м, а просадка по данным СтавропольГИСИЗ и др. составляет 24 см.

## **Глава 5. Рекомендации по инженерной защите зданий и сооружений при строительстве на просадочных грунтах г. Буденновска**

### **5.1. Рекомендации по инженерным изысканиям**

**5.1.1.** При изысканиях в г. Буденновске следует выполнять требования действующих строительных нормативов (СНиП 11-02-96, СП 47.13330.2016 и др.).

**5.1.2.** Глубина выработок должна быть на 3-5 м ниже просадочной толщи, для свайных фундаментов – на 5 м ниже концов свай, на 15 м – при свайных полях. Отбор монолитов выполнить тонкостенными или обуривающими грунтоносами [Справочник геотехника, 2016, с. 466], при этом следует учитывать возможное уплотнение грунта и ошибочный перевод II типа грунтовых условий в I тип.

**5.1.3.** Литологическое описание грунтов должно соответствовать требованиям СП 47.13330.2016, с выделением ИГЭ и стратиграфических комплексов.

**5.1.4.** Для оценки величины просадочной толщи и типа просадочности рекомендуется карта просадочных грунтов г. Буденновска (рис. 2).

**5.1.5.** Лёссовые грунты следует классифицировать по числу пластичности и гранулометрическому составу (табл. 1). Гранулометрический состав определять растиранием с пирофосфатом натрия.

**5.1.6.** Для предварительной оценки модуля деформации лёсса Буденновска предлагается табл. 2 с коэффициентом  $m_k=1,0$ , а прочностные характеристики рекомендуется определять по табл. 3.

**5.1.7.** Для предварительной оценки просадочности лёсса предлагаются графики (рис. 3), опубликованные в (Инженерные изыскания, 2016, № 14, с.18-23).

**5.1.8.** Отчет по изысканиям в Буденновске должен содержать рекомендации по противопросадочным мероприятиям (СНиП 11-02-96, п. 6.10) с учетом особенностей сооружения и методов выполнения работ по подготовке оснований.

**5.1.9.** На стадии строительства при выполнении контроля качества инженерной подготовки оснований дать характеристики прочностных и деформационных свойств уплотненных грунтов [СП 47.13330.2012, п. 6.2.2.2].

**5.1.10. Изыскания в период эксплуатации зданий и сооружений.** Отчет должен содержать сведения об изменении гидрогеологических условий, состава и свойств грунтов основания; необходимо дать прогноз дальнейших деформаций и рекомендации для проектирования противопросадочных мероприятий.

**5.1.11.** Обследование оснований существующих зданий и сооружений выполняется с учетом требований ГОСТ Р 53778 (СП 47.13330.2012, п. 6.3).

### **5.2. Рекомендации по проектированию противопросадочных мероприятий при новом строительстве и реконструкции зданий и сооружений на просадочных грунтах г. Буденновска**

**5.2.1.** Проектирование фундаментов на просадочных грунтах всегда сопряжено с риском, а *«ошибки, допущенные при проектировании и возведении фундаментов, могут привести к проведению дополнительных мероприятий, значительно превышающих стоимость фундаментов»* (Справочник геотехника, 2016, с. 80). При проектировании фундаментов на просадочных грунтах в г. Буденновске необходимо учитывать местный опыт строительства (СНиП 2.02.01-83\*).

**5.2.2. Применение свайных фундаментов** в условиях Буденновска ограничивают факторы, указанные в главе 3. В соответствии с СП 24.13330.2011, п. 9.2, при просадке более 30 см следует уплотнить просадочные грунты.

**5.2.3. Гидровзрывной метод.** Для устранения просадочности мощных (15-50 м) лёссовых толщ Буденновска наиболее эффективным, а иногда и безальтернативным, является гидровзрывное уплотнение, успешному применению которого способствуют: легкий гранулометрический состав лёсса (супесь, легкий суглинок); слабая водостойкость структурных связей и быстрое размокание лёсса; однородность литологического состава по глубине и по простиранию; отсутствие прослоев малопроницаемых пород; высокая пористость грунтов и, соответственно, их высокая водопроницаемость; быстрый сброс избыточной гравитационной воды после взрывов и стабилизация послевзрывной просадки в течение 15-25 дней.

В Буденновске получила распространение более простая технология гидровзрывного уплотнения просадочных грунтов, которая отличается следующими особенностями: замачивание производят напуском воды в котлованы с дренажно-взрывными скважинами, которые бурят диаметром до 200 мм и глубиной до 6,0 м (это обеспечивает камуфлетность взрывов, независимо от мощности просадочной толщи); заряды водостойкого аммонита бЖВ в герметичной упаковке опускают в сухие скважины (без обсадных труб) с двумя проводами водостойкого детонирующего шнура ДШЭ-12; после опускания зарядов скважины заполняют дренирующим материалом (ПГС, гравий); замачивание производят на глубину  $0,75H_{sl}$  (нижняя часть просадочной толщи после взрывов замачивается водой, стекающей вниз из верхней части толщи, и уплотняется весом вышележащего грунта); взрывы выполняют через 3-5 дней после впитывания воды и осушения верхнего (2-4 м) слоя с интервалом 5 сек, начиная с контурных зарядов, чтобы «оторвать» замоченную часть массива от окружающего грунта, а затем оставшиеся внутри котлована. Этапы производства работ показаны на рис. 14.



Рис. 14. Технологическая схема производства взрывных работ с размещением зарядов ВВ в скважинах до замачивания грунтов. 1 – дренажно-взрывные скважины; 2 – уплотняемый массив грунта; 3 – котлован; 4 – детонирующий шнур (ДШЭ-12); 5 – заряды ВВ; 6 – замоченный массив грунта.

Эта технология исключила обводнение котлована, в 3-4 раза снизила сроки и стоимость уплотнения просадочных грунтов. Для массового применения взрывов, в том числе на застроенных территориях, с участием автора составлено Пособие (2016), согласованное с Госгортехнадзором РФ и ОАО «Кавказвзрывпром».

**5.2.4. Бурунабивные грунтовые сваи.** Справочник геотехника (2016, с. 169, 180) указывает способы устройства свай из инертных материалов (грунтовые, песчаные, грунто-известковые, щебеночные) статическим продавливанием, раскатыванием, вибрационным продавливанием, пробивкой. Достоинства этих технологий имеют также рекомендуемые грунтовые сваи, технологическая схема устройства которых показана на рис. 15.

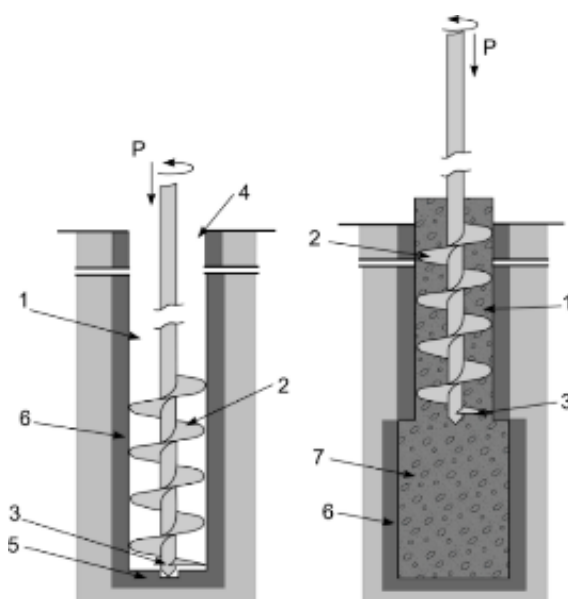


Рис. 15. Технологическая схема устройства бурунабивных грунтовых свай: 1-й этап – подготовка скважины с прямым или обратным вращением шнеков; 2-й этап – подача рабочего материала в скважину с обратно вращающимися шнеками и реактивное их выталкивание вверх с формированием снизу-вверх бурунабивной сваи диаметром, превышающим диаметр шнеков. На этом этапе под нижним витком шнековой колонны образуется «ядро» из напессованного рабочего материала. Завершение набивки скважины в пределах верхнего, т.н. «буферного» слоя происходит с выпором окружающего грунта вверх. 1 – скважина, пробуренная или продавленная «левыми» шнеками в слабых грунтах без извлечения грунта; 2 – шнековая колонна; 3 – пята шнековой колонны; 4 – устье скважины; 5 – забой скважины; 6 – уплотненная зона при погружении шнеков обратным вращением; 7 – рабочий материал (*местный суглинок, песок, гравий, бетонная смесь, негашеная известь и др.*);  $P$  – давление на шнеки.

Бурунабивные грунтовые сваи применяются с целью:

- устранить просадочность лёссовых и насыпных грунтов;
- уплотнить просадочные и слабые грунты вокруг ж/б свай;
- уплотнить слабые песчано-глинистые грунты, в том числе лёссовые грунты после предварительного замачивания и гидровзрывного уплотнения;
- создать противодиффузионную завесу из уплотненного глинистого грунта;
- уплотнить насыпные грунты обратных засыпок (СН 536-81);
- для снижения категории грунтов по сейсмическим свойствам (в глинистых грунтах с  $I_L \leq 0,5$  при  $e \geq 0,9$  для глин и суглинков и  $e \geq 0,7$  - для супесей).



Диаметр буронабивной грунтовой сваи достигает 1,0 м и зависит от нагрузки на шнеки, диаметра шнеков и деформируемости грунта в массиве. Тяжелые буровые установки могут дать диаметр свай до 2,0-2,5 м, недостижимый пробивным способом.

В теле грунтовых свай достигается степень уплотнения  $K_{com}=0,98-1,0$ .

Для практического применения этой технологии с участием автора составлены Рекомендации (2016), согласованные с НИИ оснований и Главгосэкспертизой РФ.

**5.2.5. Уплотнение обводненных лёссовых грунтов песчаными, известковыми и грунтоцементными сваями** (Ю.М. Абелев М.Ю., 1973; Справочник геотехника) можно выполнить без обсадных труб и трамбовок весом 400 кг шнековыми буровыми установками согласно Рекомендациям (2016). Это даст возможность применить серийные изыскательские шнековые установки для производства строительных работ.

**5.2.6.** По заданию СоюзморНИИпроекта и МГСУ рекомендуемая технология была опробована в 2013 г. при проектировании Морского комплекса в г. Темрюк на грунтах, аналогичных Керченскому проливу. Заведующие кафедрами МГСУ, д.т.н. З.Г. Тер-Мартirosян и д.т.н. И.Г. Кантарджи в проекте указали: *«Рассмотрев существующие варианты закрепления и уплотнения слабых грунтов, а также проанализировав опыт реализации рассмотренных технологий в РФ и мире, авторы пришли к выводу, что в данных инженерно-геологических условиях оптимальным методом уплотнения слабого ила будет являться использование песчаных свай-дрен, которые не только эффективно повышают механические характеристики слабого грунта, но и значительно сокращают время уплотнения (консолидации) преобразованного основания».*

Высокую оценку буронабивным грунтовым сваям дали специалисты Автодора и Института «Гипростроймост–Санкт-Петербург» при рассмотрении возможного укрепления слабых грунтов Керченского пролива: *«Метод укрепления слабых грунтов в основании сооружений способом грунтовых буронабивных свай широко распространен в транспортном строительстве. В ходе проектирования Транспортного перехода через Керченский пролив проектировщиком рассматривается вариант укрепления основания насыпи по косе Тузла методом буронабивных свай. Конкретная технология их устройства, а также материал заполнения свай будут определены на основе расчетов, исходя из данных инженерно-геологических изысканий и определения несущей способности грунтов естественного залегания, и выбрана на основе технико-экономического сравнения вариантов».*

**5.2.7.** Комплексование глубинных взрывов и буронабивных грунтовых свай открывает дорогу свайным фундаментам при строительстве на мощных (более 20 м) просадочных толщах Буденновска и Северного Кавказа.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. В работе впервые дана комплексная характеристика наиболее просадочных лёссовых грунтов России в районе Буденновска – крупного промышленного и исторического города Ставропольского края. Лёссовые грунты мощностью до 100-120 м, с просадочной толщей до 55 м и просадкой до 2,5 м, с сейсмичностью до 8

баллов, осложняют новое строительство и реконструкцию существующей застройки, вызвали деформации многих зданий и сооружений.

2. Для анализа успешного и неудачного опыта строительства потребовалось детально изучить состав, структурные особенности и специфические свойства опорных лёссовых разрезов города и района, а также критически рассмотреть практически все методы строительства на просадочных грунтах. Анализ действующих нормативов показал ограниченность, а иногда и ошибочность их применения для условий г. Буденновска.

3. В условиях Буденновска просадочные лёссы и отсутствие надежного несущего слоя ограничивают применение свайных фундаментов, в том числе для взрывоопасных сооружений крупнейшего в России завода ООО «Ставролен».

4. Гидровзрывное уплотнение и грунтовые сваи для уплотнения лёсса в условиях Буденновска подверглись существенной корректировке, а замачивание котлованов, силикатизация и обжиг исчезли из практики строительства.

5. Для укрепления просадочных лёссов наиболее эффективными стали гидровзрывное уплотнение и буронабивные грунтовые сваи, имеющие многоцелевое применение.

### **Перспективы дальнейшей разработки темы**

1. Продолжить дальнейшее изучение лёссовых грунтов для научного обоснования новых методов инженерной подготовки оснований.

2. С Администрацией Буденновска продолжить наблюдение за состоянием объектов, провести паспортизацию жилья и систем жизнеобеспечения города.

3. Составить Экологический паспорт Буденновска с учетом действующих экологических нормативов и крупного химзавода (ООО «Ставролен»).

4. В соответствии с № 384-ФЗ, проверить сваи под взрывоопасными сооружениями ООО «Ставролен», находящиеся в агрессивной грунтовой воде.

### **Основные публикации по теме диссертации**

#### **Публикации в изданиях, включенных в перечень ВАК**

1. Галай, О.Б. Критические замечания к положениям нормативных документов по оценке просадочности лёссовых грунтов по их физическим характеристикам / Б.Ф. Галай, В.В. Сербин, В.С. Плахтюкова, О.Б. Галай //Инженерные изыскания, 2016, № 14, с.18-23.

2. Галай, О.Б. Генетический анализ покровных суглинков г. Ставрополя / Б.Ф. Галай, В.В. Сербин, В.С. Плахтюкова //Наука. Инновации. Технологии. Научный журнал Северо-Кавказского федерального университета, Выпуск № 1, 2016, с. 93-106.

3. Галай О.Б. Лёссовые грунты Северного Кавказа и Крыма (сравнительный анализ) /Б.Ф. Галай, В.В. Сербин, В.С. Плахтюкова, О.Б. Галай //Наука. Инновации. Технологии. – 2017. – № 2. – С. 97-108.

4. Галай, О.Б. Опыт уплотнения просадочных грунтов на Северном Кавказе /Б.Ф. Галай, В.В. Сербин, О.Б. Галай //Геотехника, 2018, № 5-6, с. 45-52.

#### **Публикации в других научных журналах и изданиях**

5. Галай, О.Б. Уплотнение просадочных лёссовых грунтов методом глубинных взрывов //О.Б. Галай, М.В. Стародубцева //Актуальные проблемы нефтегазовой отрасли Северо-Кавказского федерального округа. Материалы II-й научно-практической конференции Северо-Кавказского федерального университета «Университетская наука – регионы», Ставрополь: ООО ИД «ТЭСЭРА», 2014, с. 4-6.

6. Галай, О.Б. Оценка сейсмичности при строительстве жилых домов Кавказского пограничного округа в г. Сочи / Б.Ф. Галай, В.В. Сербин, В.С. Плахтюкова, О.Б. Галай //Инженерная геология Северо-Западного Кавказа и Предкавказья: современное состояние и основные задачи. Материалы первой региональной научной конференции 29-31 октября 2014 г., г. Геленджик: Кубанский государственный университет, «Российский фонд фундаментальных исследований», 2014, с. 100-103.

7. Галай, О.Б. Ископаемые почвы и просадочность лёссовой формации Юга России /Б.Ф. Галай, В.С. Плахтюкова, О.Б. Галай //Эволюция и деградация почвенного покрова: сборник научных статей по материалам IV Международной научной конференции (13-15 октября 2015 года). Ставрополь: Ставропольский гос. аграрный ун-т, 2015, с. 9-11.

8. Галай, О.Б. Генетический и палеогеографический анализ лёссовой формации Юга России / Б.Ф. Галай, В.В. Сербин, В.С. Плахтюкова, О.Б. Галай //Инженерная геология Северо-Западного Кавказа и Предкавказья: современное состояние и основные задачи. Сб. научных трудов. – Краснодар: Кубанский гос. университет, Просвещение-Юг, 2015, с. 12-16.

9. Галай, О.Б. Уплотнение слабых грунтов при строительстве морского комплекса в г. Темрюк и Керченского моста /Б.Ф. Галай, В.В. Сербин, В.С. Плахтюкова, О.Б. Галай //Инженерная геология Северо-Западного Кавказа и Предкавказья: современное состояние и основные задачи. Сб. научных трудов. – Краснодар: Кубанский гос. университет, Просвещение-Юг, 2015, с. 135-137.

10. Галай, О.Б. Нормативная оценка просадочности лёссовых грунтов по их физическим характеристикам (критические замечания к СП 11-105-97 и ГОСТ 25100-95) /Б.Ф. Галай, В.В. Сербин, В.С. Плахтюкова, О.Б. Галай, А.Г. Пономаренко //Актуальные проблемы строительства, транспорта, машиностроения и техносферной безопасности: материалы IV-й ежегодной научно-практической конференции Северо-Кавказского федерального университета «Университетская наука – региону». Ставрополь: ТЭСЭРА, 2016, с. 104-111.

11. Галай, О.Б. О деформациях жилых домов в г. Невинномысске /Б.Ф. Галай, В.В. Сербин, В.С. Плахтюкова, О.Б. Галай //Актуальные проблемы строительства, транспорта, машиностроения и техносферной безопасности: материалы IV-й ежегодной научно-практической конференции Северо-Кавказского федерального университета «Университетская наука – региону». Ставрополь: ТЭСЭРА, 2016, с. 111-123.

12. Галай, О.Б. Рекомендации по проектированию и устройству буронабивных грунтовых свай, изготовленных шнековым способом в просадочных и слабых грунтах. 3-е изд., доп. /Б.Ф. Галай, Б.Б. Галай, О.Б. Галай, В.В. Сербин. Ставрополь: Северо-Кавказский федеральный университет, 2016, 96 с.

13. Галай, О.Б. Пособие по уплотнению просадочных лёссовых грунтов глубинными взрывами в условиях Северного Кавказа (изыскания, проектирование, производство работ) /Б.Ф. Галай, Б.Б. Галай, О.Б. Галай, В.В. Сербин. Ставрополь: Северо-Кавказский федеральный университет, 2016, 142 с.

14. Галай, О.Б. Аварии зданий и сооружений в г. Кисловодске /Б.Ф. Галай, В.С. Плахтюкова, В.В. Сербин, О.Б. Галай //Инженерная геология Северо-Западного Кавказа и Предкавказья: современное состояние и основные задачи: сб. науч. трудов. Краснодар: Просвещение: Юг, 2016, с. 71-76.

15. Галай, О.Б. К 20-летию восстановления аварийных зданий Буденновской больницы (после террористического акта 1995 года) /Б.Ф. Галай, В.С. Плахтюкова, В.В. Сербин, О.Б. Галай //Инженерная геология Северо-Западного Кавказа и Предкавказья: современное состояние и основные задачи: сб. науч. трудов. Краснодар: Просвещение: Юг, 2016, с. 77-81.

16. Галай, О.Б. Экономия 150 миллионов рублей при строительстве крупного объекта Лукойла //Актуальные проблемы строительства, транспорта, машиностроения и техносферной безопасности: материалы V-й ежегодной научно-практической конференции Северо-Кавказского федерального университета «Университетская наука – региону». – Ставрополь: ТЭСЭРА, 2017, с. 145-150. Б.Ф. Галай, В.В. Сербин, В.С. Плахтюкова, М.В. Стародубцева.

17. Галай, О.Б. О деформациях здания Городского суда в г. Невинномысске /Б.Ф. Галай, В.В. Сербин, В.С. Плахтюкова, О.Б. Галай, М.В. Стародубцева //Актуальные проблемы строительства, транспорта, машиностроения и техносферной безопасности: материалы V-й ежегодной научно-практической конференции Северо-Кавказского федерального университета «Университетская наука – региону». – Ставрополь: ТЭСЭРА, 2017, с.151-156.

18. Галай, О.Б. Восстановление аварийных зданий Буденновской больницы после террористического акта 1995 года: монография /Б.Ф. Галай, Б.Б. Галай, О.Б. Галай. – Ставрополь: ФГБОУ ВО «Северо-Кавказский федеральный университет, 2018. – с. 172.

19. Галай, О.Б. Уплотнение просадочных грунтов глубинными взрывами / Б.Ф. Галай, В.В. Сербин, О.Б. Галай // Материалы 5-й международной научно-практической конференции. Инновационные перспективы Донбасса, г. Донецк, 21-23 мая 2019 г. – Донецк: ДонНТУ, 2019, с. 163-167.

20. Galay, O.B. Disadvantages of standards for construction on collapsible soils / B.F. Galay, V.V. Serbin & O.B. Galay // Geotechnics Fundamentals and Applications in Construction: New Materials, Structures, Technologies and Calculations: Proceeding of the international conference on geotechnics. fundamentals and applications in construction: new materials, structures, technologies and calculations (GFAC 2019), Saint Petersburg, Russia, 6-8 February 2019. – p. 69-73.

21. Галай О.Б. Полигон твердых бытовых отходов на просадочных грунтах в г. Буденновске Ставропольского края // Геоэкологические проблемы техногенного этапа истории Земли [Электронный ресурс] : сборник материалов семинара (г. Москва, 11 октября 2019 г.) / Министерство науки и высшего образования Российской Федерации, Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет, кафедра инженерных изысканий и геоэкологии. — Электрон. дан. и прогр. (3,9 Мб). — Москва : Издательство МИСИ – МГСУ, 2019.

22. Галай О.Б. Просадочные грунты как градостроительный фактор г. Буденновска Ставропольского края // Новые идеи в науках о Земле : в 7 т. Материалы IX Международной научной конференции молодых ученых «Молодые - Научкам о Земле»– Т. 3 : Развитие новых идей и тенденций в науках о Земле: геология, геотектоника, геодинамика, региональная геология, палеонтология / ред. коллегия: В.А. Косьянов, В.Ю. Керимов, В.В. Куликов. - М. : Издательство Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе, 2020. – с. 294-296.

23. Галай О.Б. Специфические грунты и опасные геологические процессы как градостроительный фактор в городах Ставропольского края / О.Б. Галай, В.В. Сербин // Материалы Международного молодежного научного форума «ЛОМОНОСОВ-2020» [Электронный ресурс] / Отв. ред. И.А. Алешковский, А.В. Андриянов, Е.А. Антипов. – Электрон. текстовые дан. (1500 Мб.) – М.: МАКС Пресс, 2020. – Режим доступа: [https://lomonosov-msu.ru/archive/Lomonosov\\_2020/index.htm](https://lomonosov-msu.ru/archive/Lomonosov_2020/index.htm), свободный – Материалы Международного молодежного научного форума «ЛОМОНОСОВ-2020» Секция «Геологи», подсекция «Инженерная геология»