

**ФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА И ДАННЫЕ О ПРОСАДОЧНОСТИ  
ЛЁССОВИДНЫХ ОТЛОЖЕНИЙ КЕМЕРОВСКОГО  
И БЕЛОВСКОГО РАЙОНОВ КУЗБАССА**

Ф. П. НИФАНТОВ

(Представлено научным семинаром кафедры гидрогеологии и инженерной геологии)

**Введение**

В составе четвертичной толщи Кузнецкой котловины широко распространены покровные, местами просадочные, лёссовидные отложения. Ими покрыты невысокие плоские водоразделы, пологие склоны и террасы рек, за исключением пойм. Данные породы часто служат основаниями промышленных и гражданских сооружений. В тех случаях, когда строительство проводится без соответствующих инженерно-геологических исследований и необходимых инженерных мероприятий, нередко происходят неравномерные дополнительные осадки (просадки) и деформации сооружений. Впервые осадки и деформации крупных зданий появились в Кузбассе в 1929—1932 годах [1, 2, 3]. Позднее, несмотря на прогрессивный рост строительства, просадки сооружений несколько сократились, что объяснялось более всесторонними исследованиями и применением специальных мер. В последнее время просадки сооружений произошли в ряде промышленных районов Кузбасса. Так, например, в послевоенные годы деформировались некоторые надшахтные и жилые здания на шахтах Чертинских в Беловском районе. Просадки и деформации сооружений наблюдались также в Прокопьевском, Ленинском, Кемеровском и других районах Кузбасса. Учитывая дальнейшее развитие строительства в Кузбассе, ниже освещаются физические свойства и просадочность покровных лёссовидных пород Беловского и Кемеровского районов Кузбасса.

**Основные черты геологического строения  
лёссовой толщи**

Полевыми исследованиями в указанных районах выяснено неоднородное строение лёссовидных пород. По литологическим особенностям чаще всего покровная толща лёссовидных пород хорошо разделяется на три основных горизонта. Первый горизонт, распространенный непосредственно под черноземными почвами, обычно представлен подпочвенными суглинками, сформировавшимися в процессе диагенеза из подстилающих лёссовидных пород в условиях влажного климата, очевидно, одновременно с формированием черноземов. Данные суглинки отличаются отчетливо развитой макроагрегатностью, крупной макропористостью, местами до 3 мм в диаметре, наличием микротрещин и крайне слабой карбонатной насыщенностью. Мощность этого горизонта редко превышает 1,5—2,5 м. Местами суглинки просадочные. Под этими

суглинками как на террасах рек, так и водоразделах широко распространен первый горизонт типичных лёссовидных суглинков и супесей. Суглинки данного горизонта отличаются выраженным грубопылеватым составом, неравномерной насыщенностью карбонатами, интенсивно развитой макропористостью, местами микротрещиноватостью, переменной влажностью и часто просадочностью. Мощность горизонта этих суглинков меняется в широких пределах от 2—3 до 10—12 м. Местами в суглинке встречаются линзы пылеватого песка, а на террасах рек Томи и Бачат — слои погребенных почв и бурых глин. Ниже этих пород на террасах рек и водоразделах отчетливо прослеживается второй горизонт лёссовой толщи, нередко отделенный от первого погребенной почвой иногда торфяного состава. Суглинки этого горизонта характеризуются слабо развитой мелкой макропористостью, высокой и более постоянной влажностью и очень слабой просадочностью. Мощность их колеблется чаще в пределах до 5—6 м. Как правило, в зонах постоянного увлажнения, особенно ниже уровня грунтовых вод, они приобрели серую окраску и пылегато-илистый состав [5, 6].

### Состав лёссовидных пород

Лабораторные исследования показали неоднородный состав лёссовидных отложений с преобладающим содержанием пылегато-глинистых фракций, представленных зернами кварца, полевых шпатов и других минералов. Растворимые и слабо растворимые соли и органические соединения находятся в грунте в небольших количествах и, очевидно, не оказывают большого влияния на свойства суглинка.

Среди минеральных зерен, как это показали полудисперсные анализы, преобладает фракция 0,05—0,005 мм, которая составляет 56—80% и вследствие этого существенно влияет на основные свойства данных пород (табл. 1).

Таблица 1

#### Гранулометрический состав лёссовидных отложений Кемеровского и Беловского районов Кузбасса

Место взятия проб	Колич. определений	Песок 0,05 мм, %	Пыль 0,05—0,005 мм, %	Глина 0,005 мм, %
Кемеровский район				
1. Третья терраса р. Томи	24	1—5	56—68	13—35
2. Четвертая терраса р. Томи	5	1—1,5	63—65	26—33
Беловский район				
1. Террасы р. Бачат, Ини, Уроп	13	1—8	64—79	17—28
2. Водоразделы	15	1—8	59—80	17—34

Примечание: Монолиты для анализов отобраны из первого горизонта на глубинах 2—9 м. Анализы выполнены при полудисперсном способе подготовки.

Параллельные анализы, проведенные для одних и тех же проб с дисперсным и полудисперсным методами подготовки, не показали большой разницы в количестве глинистых и пылеватых частиц (рис. 1). Оказалось, что пылеватые частицы существенно представлены отдель-

ными зернами, а не микроагрегатами, как это предполагают некоторые исследователи. В то же время суглинки, особенно первого горизонта, легко распадаются на крупные столбчатые агрегаты, хорошо выделяющиеся агрегатными анализами (рис. 1).

Песчаные частицы в суглинках обычно представлены мелким песком 0,25—0,05 мм. В преобладающем числе проб данная фракция не превышает 7—8% и лишь в редких монолитах достигает 15—18%. С увеличением песчаных и грубопылеватых частиц сцепление между частицами падает, и увеличивается скорость размокания и просадки суглинков.

Количество глинистых частиц в том и другом горизонте суглинков изменяется в больших пределах и составляет 13—35% (табл. 1). Несмотря на достаточно высокий процент, глинистая фракция не обеспечивает существенной связности, как это наблюдается в нелёссовидных глинистых грунтах. Данное явление можно объяснить двумя причинами:

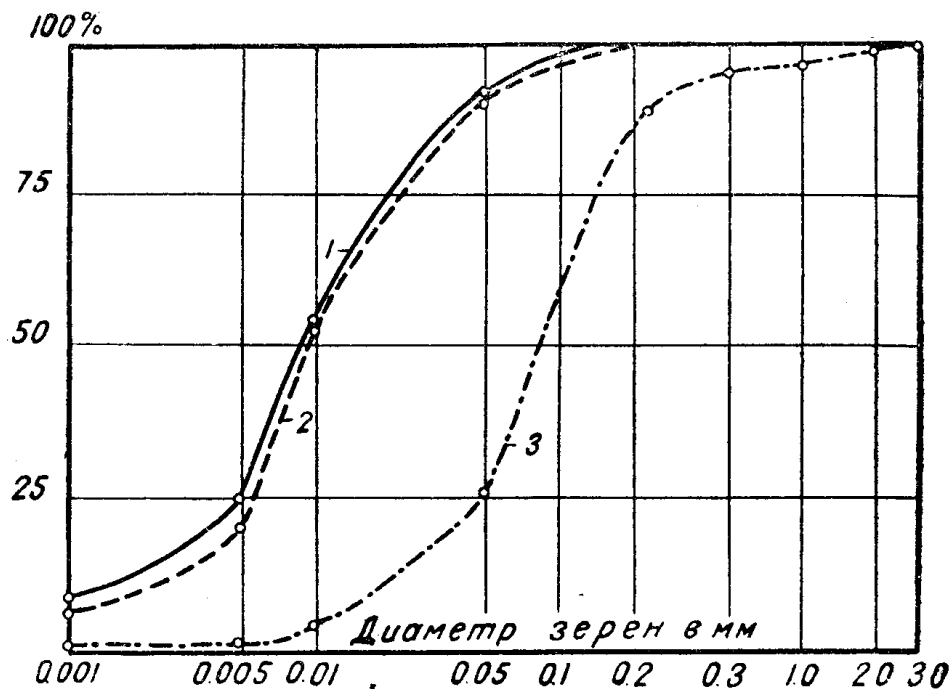


Рис. 1. Графики дисперсного (1), полудисперсного (2) и агрегатного (3) состава лёссовидного суглинка первого горизонта.

прежде всего, высоким содержанием среди глинистой фракции крупных глинистых частиц (0,005—0,001 мм), представленных существенно кварцем и полевыми шпатами, и недостаточным содержанием типичных глинисто-коллоидных частиц и минералов, составляющих в грунте не более 9—14%.

Таким образом, по гранулометрическому составу лёссовидные суглинки исследованных районов относятся к типичным пылеватым грунтам, имеющим незначительное количество тонких глинисто-коллоидных частиц. Пылеватость и низкое содержание глинисто-коллоидных частиц и минералов, наряду с рыхлой макропористой и макроагрегатной структурой, резко понижают прочность и водостойкость данных грунтов. Эти свойства, кроме того, зависят от минералогического состава суглинков. Оказалось, что пылеватые и тонкопесчаные частицы существенно представлены малоокатанными зернами кварца (12—50%), плагиоклаза (34—44%), ортоклаза и мироклина (18—30%) и в мень-

шей степени магнетита (3—5%), роговой обманки (до 2%), кальцита (до 1%), эпидота (до 2%) и отдельными зернами циркона, турмалина, апатита, граната и других более редких минералов. С поверхности многие зерна перечисленных минералов покрыты сплошными или разорванными корочками углекислого кальция, иногда глины, окиси железа и органического вещества. Некоторые зерна, особенно представленные полевым шпатом, роговой обманкой и турмалином, достаточно глубоко затронуты выветриванием. Глинистая фракция по минералогическому составу отчетливо разделяется на первичные минералы (кварц, полевые шпаты и др.), представленные часто более крупными частицами, и на вторичные глинистые минералы, преимущественно представленные каолинитом, гидрослюдами и бейделитом.

Углекислые и другие соли, существенно кальция и магния, содержание которых по данным 2,5%-ных солянокислых вытяжек колеблется от 4,40 до 18,20%, очевидно, не оказывают большого влияния на повышение прочности структуры суглинков, как это иногда отмечается в литературе. В сухих суглинках корочки солей чаще всего неравномерно покрывают поверхности пылеватых и песчаных частиц, накапливаясь большей частью в микротрещинах и по стенкам макропор. Местами карбонаты собраны в конкреции, журавчики или рассеяны по всей массе грунта отдельными кристаллами, слабосвязанными с глинисто-пылеватыми частицами.

Наблюдения под микроскопом не показали плотной концентрации углекислых солей в контактах между частицами и агрегатами. В естественных условиях, при значительной влажности и наличии свободной углекислоты в грунте, углекислые соли частично переходят в растворимые бикарбонаты, в связи с чем понижается прочность структуры суглинков.

### Пористость суглинков

Выше отмечено, что лёссовидные суглинки, особенно первого горизонта, отличаются развитой микротрещиноватостью и макропористостью. Под микроскопом отчетливо наблюдается рыхлое нагромождение пылеватых частиц, собранных как бы в гроздь, и густая сеть мелких пор. Неплотное нагромождение частиц подчеркивается высокой общей пористостью, достигающей в первом горизонте суглинков 43—54%, во втором — 44—49% (табл. 2). Некоторое снижение максимальной пористости во втором горизонте объясняется уплотнением и уменьшением количества размера макропор до 0,1—0,6 мм в диаметре. Коэффициенты макропористости, полученные путем замачивания и уплотнения естественно влажных грунтов под нагрузками 3 кг/см<sup>2</sup>, в первом горизонте достигают до 0,09, во втором не превышают 0,04.

Учитывая, что при общей пористости выше 46% грунты обладают рыхлыми структурами и при коэффициентах макропористости более 0,04 — просадочностью, лёссовидные суглинки по общей пористости и макропористости можно разделить на четыре категории.

Первая категория — это суглинки с высокой общей пористостью (выше 46%) и высокими коэффициентами макропористости более 0,04. Грунты данной категории при степени влажности менее 0,7 обычно просадочные и хорошо уплотняющиеся под надгрузкой во влажном состоянии. Вторая категория — суглинки с общей пористостью более 46% и с коэффициентами макропористости менее 0,04, слабопросадочные, но хорошо уплотняющиеся во влажном состоянии. Суглинки третьей категории, с общей пористостью менее 46% и с коэффициентами макропористости больше 0,04, слабовлажные — просадочные, влажные — среднесжимаемые. Суглинки четвертой категории, с пористостью менее 46% и с коэффициентом макропористости менее 0,04, слабопроса-

дочные и среднесжимаемые. К первым двум категориям чаще всего относятся лёссовидные суглинки первого горизонта, к третьей и четвертой — обычно суглинки второго горизонта.

Таблица 2

**Удельный вес, объемный вес, пористость и коэффициент пористости лёссовидных суглинков**

Глубина отбора монолитов в м	Количество определений	Удельный вес $t/m^3$	Объемный вес влажного грунта $t/m^3$	Объемный вес скелета грунта $t/m^3$	Пористость, %	Коэффициент пористости
Кемеровский район, первый горизонт						
1,7—8,0	21	2,61—2,75	1,67—1,87	1,31—1,55	43,4—53,5	
Беловский район, первый горизонт						
2,0	12	2,69—2,73	1,55—1,74	1,33—1,45	46,1—52,2	0,84—1,09
Беловский район, второй горизонт						
5,0—8,15	12	2,69—2,72	1,68—1,87	1,37—1,53	43,8—49,3	0,78—0,97

**Влияние влажности на устойчивость и просадочность лёссовидных суглинков**

Прочность структуры и устойчивость лёссовидных суглинков резко меняются с изменением количества и состояний естественной влажности. В свою очередь, естественная влажность, особенно в первом горизонте суглинков, находящихся в зоне аэрации, не остается постоянной. К сожалению, стационарные наблюдения за изменением влажности грунтов в Кузбассе еще не проводятся. Вместе с тем отдельные наблюдения подчеркивают значительные изменения естественной влажности суглинков в зоне аэрации, особенно во время освоения строительных площадок, где проходит большое количество котлованов и траншей. В этих случаях несущие грунты во время строительства оказываются значительно влажнее, чем отмечается в инженерно-геологических отчетах. Поэтому данные, полученные в период исследований, обязательно должны проверяться перед закладкой фундаментов сооружений, так как с изменением естественной влажности существенно меняются многие свойства и устойчивость несущей толщи лёссовидных грунтов. Естественная влажность суглинков первого горизонта, определенная главным образом в летние периоды года, в преобладающем числе проб изменяется от 14 до 26%, во втором горизонте — 17—35%, соответственно степень влажности — 0,43—0,90 и 0,55—1,0 (табл. 3).

В отмеченных условиях увлажнения прочность структуры и просадочность суглинков первого горизонта изменяется в широких пределах в зависимости от условий местности, глубины и времени года. В тех случаях, когда степень влажности поднимается выше 0,7—0,8, данные суглинки, несмотря на наличие развитой макропористости, теряют свойство просадочности и переходят в категорию малопросадочных, хорошо сжимаемых грунтов. Влажные и насыщенные суглинки второго горизонта оказались непросадочными, но сжимаемыми грунтами (табл. 3).

Таким образом, типичные просадочные суглинки не пользуются широким распространением в Кузбассе. Они встречаются лишь на сухих дренированных площадях, где степень влажности не поднимается выше 0,7, и уровень грунтовых вод находится глубоко от дневной поверхности.

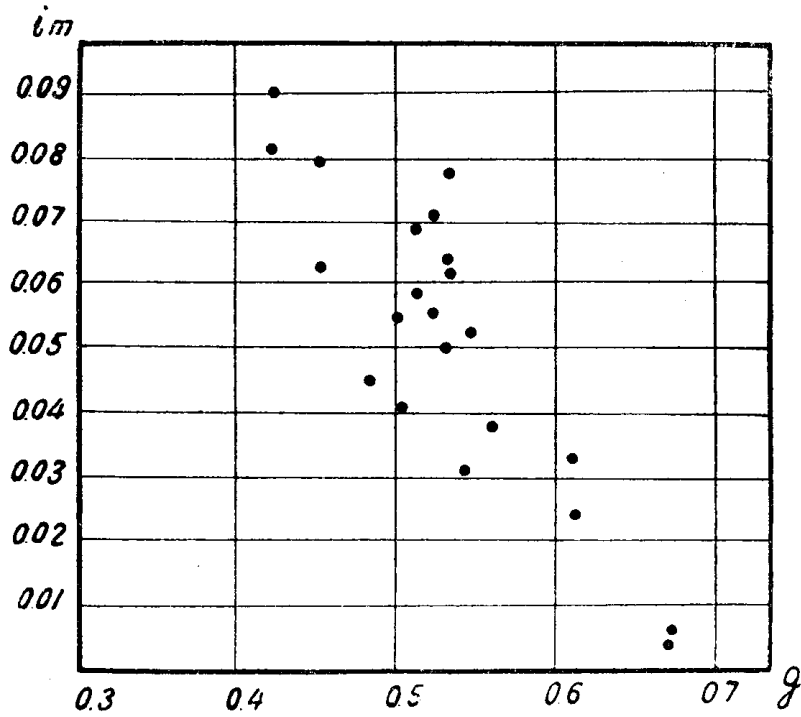


Рис. 2. График зависимости коэффициента просадочности от степени естественной влажности  $q$  суглинков.

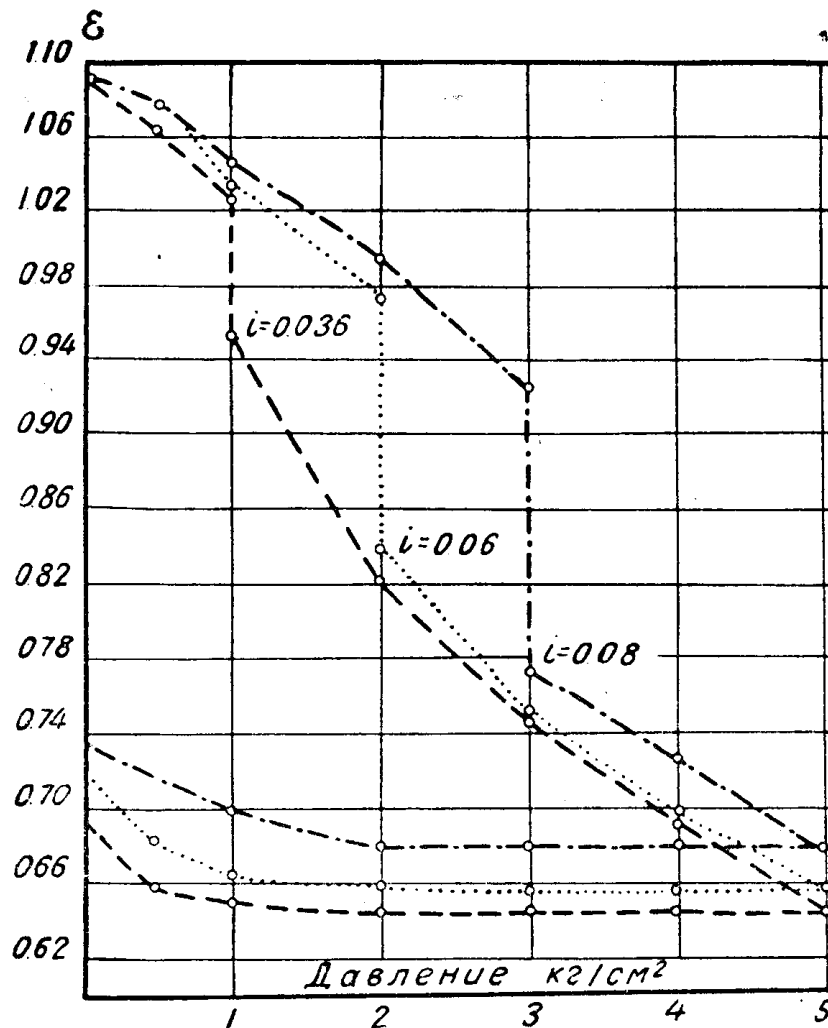


Рис. 3. Компрессионные кривые лёссовидного суглинка первого горизонта. Беловский район, шурф 7, глубина 4 м.

Следует особенно подчеркнуть, что с изменением естественной влажности просадочность суглинков изменяется в довольно широких пределах, поэтому величина относительной просадки, являющаяся расчетной характеристикой, не остается стабильной для каждого просадочного слоя грунта на различных геоморфологических элементах и, кроме того, меняется с течением времени.

Таблица 3

Естественная влажность, пределы пластичности и коэффициенты просадочности лёссовидных суглинков по характерным монолитам

Глубина отбора монолитов в м	Количество определений	Естественная влажность в % к сухому грунту	Степень естественной влажности	Верхний предел пластичности	Нижний предел пластичности	Число пластичности	Коэффициент просадочности при нагрузке 3 кг/см <sup>2</sup>
Кемеровский район. Суглинки первого горизонта							
2,2—3,20	18	14,0—26,0	0,43—0,90	26—37	17—23	7—16	0,003—0,078
Беловский район. Суглинки первого горизонта							
2,0—5,15	12	16,4—26,4	0,42—0,72	28—38	17—22	11—19	0,00—0,085
Беловский район. Суглинки второго горизонта							
5,0—8,15	12	17,2—34,7	0,55—1,00	31—39	16—23	9—18	0,00—0,02

#### Изменение просадочности суглинков при разных влажностях и нагрузках

Чтобы выяснить, как изменяется величина относительной просадки грунта в зависимости от изменения влажности и нагрузки, проведена серия опытов с естественно влажными грунтами, имеющими ненарушенную структуру, взятыми из первого горизонта. В результате исследований получены разные величины относительной просадочности для одних и тех же грунтов при разных влажностях и нагрузках (рис. 2 и 3). Максимальную просадку показали слабовлажные очень макропористые суглинки, с высокой общей пористостью 47—52%. Но те же грунты при степени влажности выше 0,7, несмотря на высокую пористость и макропористость, оказались слабопросадочными или совсем не показали просадки. В этом случае получились обычные компрессионные кривые с большими коэффициентами сжимаемости [4, 5]. Кроме отмеченной зависимости выяснено, что просадочность значительно возрастает с увеличением нагрузки, при которой производится замачивание грунта.

Отмеченные зависимости просадки от нагрузки и влажности хорошо согласуются с данными, полученными по другим районам нашей страны, и указывают на необходимость коренной перестройки методики исследования и оценки просадочности лёссовидных пород.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Абелев Ю. М. Практика строительства на лёссовидных грунтах по опыту Кузнецкстроя. ОНТИ, 1934.
2. Абелев Ю. М. Основы проектирования и строительства на макропористых грунтах. Стройвоенмориздат, Москва, 1948.
3. Воронцев Г. А. Опыт строительства Кемеровского коксохимического завода. Журнал «Кокс и Химия», № 9, 1933.
4. Нифантов Ф. П. Геология рыхлых отложений и физические свойства пористых лёссовидных пород Кемеровского района Кузбасса. Томск, 1951.
5. Нифантов Ф. П. Определение просадки сооружений на лёссовидных суглинках Кузбасса. Известия Томского политехнического института, Том 90, 1958.
6. Нифантов Ф. П. Инженерно-геологическая характеристика лёссовидных пород Беловского района Кузбасса. Труды Томского инженерно-строительного института, том VII, 1960.