

УДК 624.21.45.004

**ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ФИЛЬТРАЦИОННОГО ВЫЩЕЛАЧИВАНИЯ НА  
СВОЙСТВА ЗАСОЛЕННЫХ ГРУНТОВ ОСНОВАНИИ ЗЕМЛЯНОГО ПОЛОТНА**

**Д.А.Каюмов**

*Ст. преп.,(PhD)Ташкентский государственный транспортный университет  
(Ташкент, Республика Узбекистан) Dilshod\_Kayumov77@mail.ru.*

**Х.Х.Эргашев**

*Ст. преп Ташкентский государственный транспортный университет  
(Ташкент, Республика Узбекистан) husniddin.ergashev.90@mail.ru*

**Аннотация:** В последнее время в ряде районов Узбекистана наблюдается поднятие подземных вод и подтапление территорий. На этих территориях, где грунтовые основания автомобильных дорог содержат легкорастворимые соли, часто наблюдаются дополнительные сульфатные осадки, которые приводят к деформациям покрытий автомобильных дорог. Дополнительные осадки обусловлены растворением кристаллов солей при попадании влаги в процессе фильтрационного выщелачивания. В данной статье приведены результаты исследования по изучению влияния фильтрационного выщелачивания на свойства грунтов основания земляного полотна автомобильных дорог.

**Ключевые слова:** засоленные грунты, фильтрация, выщелачивания, свойства, модуль деформации и прочности грунтов.

**ВВЕДЕНИЕ**

Строительство автомобильных дорог в Узбекистане все чаще ведется в сложных инженерно-геологических условиях, в том числе на территориях, сложенных засоленными грунтами. Опыт проектирования и строительства автомобильных дорог на таких условиях показывает, что при проектировании и строительстве в зонах распространения засоленных грунтов необходимо учитывать изменчивость вещественного состава, структуры и физико-механических свойств грунтов в процессе водонасыщения и выщелачивания.

При эксплуатации автомобильных дорог на засоленных грунтах, под земляное полотно формируется техногенный горизонт подземных вод за счет естественных и искусственных факторов. Подъем уровня подземных вод и замачивание грунтов основания дорог вызывает неравномерные осадки, что приводит к неровности покрытия. Анализ деформационного состояния некоторых дорог расположенных на территориях, сложенных из засоленных грунтов Узбекистана показал, что при прогнозе изменения свойств грунтов основания дорог в недостаточной степени учитываются факторы, влияющие на физико-механические свойства, например, длительная фильтрация воды, солевой состав и др.

Постановка задачи. К настоящему времени выполнен значительный объем исследований деформационных и прочностных свойств грунтов, содержащих в основном легко- и среднерастворимые соли.

Однако во многих методических указаниях и нормативной литературе даны рекомендации по опраделению механических свойств для грунтов, засоленных легко- и среднерастворимыми солями, вопросами оценки физико-механических свойств засоленных грунтов при длительном водонасыщении и выщелачивания, т.е. фильтрации воды недостаточно исследовано.

В результате длительного воздействия пресных вод на засоленный глинистый грунт происходит вынос не только сильно- и среднерастворимых солей (хлориды, сульфаты), но также и слаборастворимых соединений (карбонаты, кремнезем, окислы железа), которые являются естественными цеменами грунтов, определяющим их прочностные и деформационные свойства. Поэтому удаление или ослабление этих естественных цементовизменяют состав и структуру грунтов и определяет изменение их свойств.

Необходимо отметить, что выяснить механизм деформирования глинистых грунтов при выщелачивании можно только учитывая особенности поведения каждого компонента грунта при его взаимодействии с водой и удалением его из структуры грунта при фильтрации воды ими растворов. Скорость выноса растворимых в воде и растворах компонент грунта определяется коэффициентом фильтрации и градиентом напора.

Основной особенностью засоленных грунтов является изменение механических свойств этих грунтов в процессе рассоления. Различают два основных вида процесса рассоления: 1) фильтрационное, при которой выщелачивание осуществляется фильтрационным потоком жидкости под градиентом напора и имеет практическое значение для грунтов, обладающих значительной проницаемостью и 2) диффузионное, при котором выщелачивание из грунта происходит в результате движения ионов за счет разности концентрации солей в растворителе и грунте и характерно для малопроницаемых глинистых грунтах.

Новизна. Разработана методика лабораторных исследований деформируемости и прочности засоленных грунтов и установлены закономерности изменения этих характеристик при замачивании и длительной фильтрации воды.

Методы исследования. Для оценки влияния процессов водонасыщения и выщелачивания на свойства засоленных грунтов были использованы образцы, отобранные из автомобильных дорог в характерных районах Бухарской области М-37 «Самарканд-Ашхабад-Туркменбаши, 321-331 км», Сырдарьинской области 4Р33 «Ульянова-Найман (Гулистон-Гагарин 20 км)» и Каракалпакской Республике 4Р161 «Ургенч-Чалиш-Беруний-Бустан, 20-22 км». Характеристика

природных засоленных грунтов, определенных в лабораторных условиях приведены в таблице 1 и 2. Лабораторные испытания грунтов выполнялись по действующим стандартным методикам. По ним были проведены статические обработки.

Таблица 1 - Характерные свойства засоленных грунтов обследованных дорог

№	Место отбора	Содержание песка, %	Верхний предел ичности, %	Нижний предел ичности, %	Число пластичности	Оптимальная влажность, %	Максимальная влажность, кг/м <sup>3</sup>	Наименование грунтов
1	Сырдарьинская область, 4Р33 «Ульянов-ман (Гулистон-Гагарин м)»	16,6	29	23	6	17,60	1770	Супеси тяжелые пылеватые
2	Бухарская область, М-37 «Самарканд-Ашхабад-менбаши 321-331 км»	19,8	31	20	11	24,60	1610	Суглинок легкий пылеватый
3	Каракалпакской Рес-ике 4Р161 «Ургенч-ш-Беруний-Бустан, 20-м»	12,1	32	21	15	20,50	1720	Суглинок пылеватый пылеватый

Таблица 2 - Содержание солей в природных грунтах, %

№ п.п.	Плотный остаток дной вытяжке	Ca(HCO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	MgSO <sub>4</sub>	NaCl	Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	CaSO <sub>4</sub>	Характерения	Степень засоления
1	5,11	0,01	0,35	3,20	0,05	1,49	Сульфатно-идный	Сильнозасоленный
2	6,30	0,08	1,09	2,25	-	2,33	Хлоридно-фатный	Избыточно-ленный
3	1,34	0,01	0,07	0,15	0,23	60,95	Сульфатный	Средне-ленный

Фильтрационные выщелачивания грунтов реализовывались в приборе Ф-1М по схеме восходящего потока. Предварительно опробованный по вышеописанной схеме образец естественного сложения помещался в прибор. Для ликвидации пристенной фильтрации боковые поверхности образца обрабатывались по методике, предложенной Петрухиным В.П. [1]. Образец

вырезался меньшим относительно кольца прибора Ф-1М ( $S=50 \text{ см}^2$ ) диаметром. На его боковые поверхности наносился тонкий слой пластичного клея, а зазор между кольцом и образцом заливался парафином. Такая обработка позволяет считать, что движение жидкости происходит исключительно через объем грунта.

Фильтрация воды осуществлялась под действием высоких градиентов напора (до  $J=100$ ), создаваемого столбом воды. При этом предельное его значение устанавливалось не одновременно, а постоянно, ступенями ( $J=10, 30, 60, 100$ ). Для определения количества выщелоченных солей в течение опыта отбирался инфильтрат, фиксировался его объем и минерализация. По окончании испытаний грунт опробовался по общей схеме.

Результатом проведения эксперимента по фильтрационному выщелачиванию грунта, явился анализ его влияния на изменения водно-физических и физическо-механических свойств исследуемых грунтов.

Для получения прочностных характеристик исследуемых грунтов были использованы одноплоскостные срезные приборы с фиксируемой плоскостью среза системы Гидропроекта. Для оценки влияния процесса выщелачивания на показатели прочности исследуемых грунтов методами консолидированного и быстрого среза были выполнены испытания предварительно выщелоченных образцов. При испытаниях грунтов срезались образцы, предварительно уплотненные одной и той же заданной нагрузкой ( $P_y=0,0; 0,1,5; 0,2; 0,3 \text{ МПа}$ ) и выщелоченных в течение 1-1,5 мес.

В процессе подготовки одновременно с замером деформаций проводился замер солей, выносимых при фильтровании дистиллированной воды через образец. Для этого был использован солемер конструкции ПНИИС.

Для получения сравнительной характеристики прочности грунтов был использован метод пенетрации лабораторным конусом с углом заострения конического индентора  $30^\circ$ . Пенетрационные испытания проводились по схеме постепенного (ступенчатого) нагружения конуса возрастающими нагрузками с одновременной регистрацией глубины погружения (с точностью  $0,1 \text{ мм}$ ).

Испытания образцов на ползучесть выполнялись в срезных приборах системы Гидропроекта по методике Н.Н.Маслова и З.М.Карауловой [2].

В лабораторных условиях модуль деформации определяли путем проведения компрессионных опытов [3, 4]. В связи с резким изменением модуля деформации грунтов при увлажнении, для получения полной характеристики деформируемости испытания проводили при двух значениях влажности: при естественной и после водонасыщении без возможности набухания.

Компрессионные испытания были выполнены по методу 2-х кривых. По одной ветви – на естественно-влажных грунтах при  $P=0,0; 0,05; 0,1; 0,15; 0,2; 0,25$  и  $0,3 \text{ МПа}$ , с насыщением при  $P=0,3$  и  $0,5 \text{ МПа}$ .

По второй ветви – с насыщением при  $P_{\text{быт}}$  с последующим доведением нагрузок до 0,3МПа.

Результаты исследования. С целью оценки и прогноза модуля деформации водонасыщенных супесчаных и суглинистых грунтов был выполнен анализ результатов компрессионных исследований. Результаты корреляционно-регрессионного анализа приведены в табл. 3.

Таблица 3 - Зависимость модуля деформации суглинков от начального коэффициента пористости

№	Диапазон давлений, МПа	Влажность	Диапазон изменения модуля деформации	Коэффициент ослабления структуры
			коэф. пористости	
1	0-0,3	естественная	3÷20 0,64÷0,94	0,10
2	0-0,3	водонасыщенная $P=0$	2,5÷9,0 0,64÷0,94	0,66
3	0-0,5	естественная	4÷20 0,78÷1,03	0,70
4	0-0,5	водонасыщенная $P=0$	2,5÷4,7 0,73÷1,00	0,71

Из приведенных данных видно, что модуль деформации водонасыщенных суглинков удовлетворительно коррелирует с величиной начального коэффициента пористости. Тогда как для суглинка естественной влажности не прослеживается зависимости модуля деформации от коэффициента пористости (для диапазона давления 0-0,3 МПа), наблюдается значительный разброс данных. Подобное обстоятельство можно объяснить тем, что водонасыщение грунта в значительной степени нивелирует особенности структуры, ослабляя структурные связи [5-7].

Для характеристики изменения модуля деформации при его водонасыщении грунта рекомендуется [8] пользоваться коэффициентом ослабления структуры, т.е. отношением модуля деформации при природной влажности и после водонасыщения:

$$K_{o.c.} = \frac{E^e}{E^3}$$

где  $E^e$  и  $E^3$  – значения модулей деформации при естественной влажности и после замачивания соответственно;

$K_{o.c.}$  – коэффициент ослабления структуры.

Коэффициент ослабления структуры грунта при водонасыщении удовлетворительно коррелирует со степенью водонасыщения (см. табл. 4).

Из табл. 4 отчетливо видно, что дополнительное водонасыщение лессового суглинка имеющего степень водонасыщения  $S_r=0,6-0,7$  не приводит к дальнейшему ослаблению структуры. Дальнейшее ослабление структуры водонасыщенных грунтов может быть обусловлено только растворением и выносом твердых элементов структуры. Таким образом, в грунтах, имеющих

степень водонасыщения  $S_r \geq 0,7$  замачивание практически не изменяет величину модуля деформации.

Таблица 4 - Зависимость коэффициента ослабления структуры суглинка от степени водонасыщения.

№	Диапазон давлений,	$S_r$	$K_{o.c.}$	Коэффициент корреляции
1	0-0,3	0,4	4,8	0,78
		0,5	2,2	
		0,6	1,2	
		0,7	1,0	
		0,8	0,8	
2	0-0,5	0,3	3,0	0,51
		0,4	2,0	
		0,5	1,5	
		0,6	1,0	
		0,7	0,9	

По данным компрессионных испытаний просадочных грунтов при естественной влажности и после водонасыщения при нулевом давлении величина коэффициента ослабления структуры показывает значительно большой разброс значений от 1 до 13-15, но если откинуть явные «отскоки», характерные для образцов некачественных, то диапазон изменения величины  $K_{o.c.}$  снижается до 1-5.

Величина коэффициента ослабления структуры грунта зависит от действующего среднего давления: при давлениях  $P < P_{стр.}$  величина  $K_{o.c.}$  изменяется для грунтов в достаточном широком диапазоне. Но после слома природных структурных связей и формирования новых структурных связей упрочнения при  $P > P_{ф.стр.}$  величина  $K_{o.c.}$  снижается и приближается к единице. Величина  $K_{o.c.}$  близка единице и для полностью водонасыщенных глинистых грунтов, если только при этом не происходит выщелачивания структурных элементов представленных растворимыми минералами.

На табл. 5 приведены изменение модуля деформации глинистых грунтов в результате водонасыщения.

Из приведенных данных табл. 5 следует, что модуль деформации глинистых грунтов в результате водонасыщения уменьшается приблизительно 2 раза. Степень уменьшения зависит от величины начального модуля деформации: чем он выше, тем значительнее его изменение.

Таблица – 5. Изменение модуля деформации грунтов в результате водонасыщения

Грунт	W, %	l	W <sub>T</sub> , %	W <sub>P</sub> , %	Модуль деформации в диапазоне давлений 0-0,3МПа		$K_{o.c.}$
					естеств. влажность	водонасыщенные	

Супесь	8	0,635	23	18	20	9,4	2,15
Суглинок легкий	13	0,84	29	19	7,7	5,2	1,48
Суглинок тяжелый	17	0,75	39	24	8,6	4,0	3,1

Результаты компрессионных исследований методом “трех кривых” суглинистых и супесчаных засоленных грунтов приведены на табл. 6. Выщелачивание производилось путем промывания дистиллированной водой в течение 25-60 суток до установления постоянного количества выносимых солей в последовательно отбираемых пробах фильтрата.

Таблица 6 - Изменение модуля деформации засоленных грунтов в результате водонасыщения и выщелачивания

Грунт	Коэффициент пористости $e$	Число пластичности	Степень выщелачивания $\beta$	Модуль деформации в диапазоне давлений 0-0,3 МПа		
				естеств. влажность	водонас.	выщелаченный
1	2	3	4	5	6	7
Супесь тяжелый пылеватый	0,65	6	0,38	22	9,3	3,7
Суглинок легкий пылеватый	0,85	11	0,31	7,9	5,4	2,6
Суглинок тяжелый пылеватый	0,75	15	0,24	8,5	4,2	3,3

Из приведенных данных следует, что модуль деформации в результате водонасыщения и выщелачивания уменьшается от 1,46 до 6,0 раза. Степень уменьшения зависит от величины начального модуля деформации: чем он выше, тем значительнее его изменение.

Необходимо отметить, что условия подготовки проведения сдвиговых испытаний позволяет в максимальной степени учесть особенности грунтов в условиях их работы в массиве. В связи с этим сдвиговые испытания грунтов выполнены по методике Н.Н.Маслова, позволяющая определить параметры прочности и ползучести грунтов и их изменений под влиянием процессов водонасыщения и выщелачивания. Результаты выполненных исследований приведены в табл. 7.

Исследование сдвиговой ползучести водонасыщенных и выщелоченных образцов свидетельствует о значительном влиянии процессов водонасыщения и выщелачивания на параметры длительной прочности и ползучести грунтов. Так, предельная прочность суглинков снижалась до 56-66%. Наблюдается снижение коэффициента вязкости и продолжительности стадии установившейся ползучести.

Таблица 7 - Изменение физико-механические свойства засоленных грунтов в результате выщелачивания

Грунт	Плотность $\rho$ , г/см <sup>3</sup>	Плотность $\rho_d$ , г/см <sup>3</sup>	Степень выщелачивания $\beta$	Сцепление, МПа	Угол внутреннего трения, град	$R_m$
1	2	3	4	5	6	7
Супесь тяжелый пылеватый	2,04	1,63	0,38	0,060	16,5	4,3
Суглинок легкий пылеватый	1,90	1,40	0,31	0,080	22,0	4,0
Суглинок тяжелый пылеватый	2,12	1,72	0,24	0,025	11,5	8,0

Необходимо отметить, что изменение свойства грунтов в процессе их выщелачивания связаны с изменением их солевого комплекса, прежде всего, с изменением количество легко- и среднерастворимых солей.

Закключение.

На основании проведенных исследований можно сделать седующее:

критерием допустимого содержания солей в основании следует принимать не только величину степени засоления, но и изменение показателей водно-химических и физико-механических свойств грунтов при замачивании и выщелачивании;

процессы водонасыщения и выщелачивания оказывают значительное влияние на модуль деформации, сцепление, угол внутреннего трения, предельную прочность, порог ползучести и коэффициент вязкости исследуемых грунтов;

степень изменения параметров деформации и прочности определяется, в первую очередь влажностью, плотностью и нарушенностью структурных связей в ходе выщелачивания исследуемых засоленных грунтов;

проектирование автомобильных дорог на засоленных грунтах должно включать два основных этапа: определение величин и характер снижения прочностных и деформационных свойств при водонасыщении в результате замачивания и при выщелачивании в результате длительной фильтрации воды; назначении комплекса мероприятий, направленных на обеспечение надежности работы земляного полотна при выщелачивании.

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. Петрухин В.П. Строительство сооружений на засоленных грунтах. –М.: Стройиздат, 1989. -264 с.

2. Маслов Н.Н. Основы инженерной геологии и механики грунтов. Учебник для вузов. –М.: Высшая школа, 1982. -511 с.
3. Дмитриев В.В., Ярг Л.А. Методы и качество лабораторного изучения грунтов: учебное пособие / В.В. Дмитриев, Л.А. Ярг. –М.: КДУ, 2008. -502 с.
4. Трофимов В.Т., Королева В.А. Лабораторные работы по грунтоведению. – М.: КДУ, Университетская книга, 2017. -654 с.
5. Трофимов В.Т. и др. Грунтоведение. –М., Изд-во МГУ, 2005. -1024 с.
6. Казарновский В.Д. Основы инженерной геологии, дорожного грунтоведения и механики грунтов (Краткий курс). –М.: 2007. -284 с.
7. Далматов Б.И. Механика грунтов, основание фундаментов. Изд-во «Лань». 2017. -416 с.
8. Крутов В.И., Кавалев А.С., Кавалев В.А. Проектирование и устройство оснований и фундаментов на просадочных грунтах. –М.: Издательство АСВ. 2016. -544 с.