

Б  
А 39

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО  
ОБРАЗОВАНИЯ УЗБЕКСКОЙ ССР

ТАШКЕНТСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

Л. Ф. СТУПАКОВА

ИССЛЕДОВАНИЕ  
СТРУКТУРНО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ  
ЗАСОЛЕННЫХ ГРУНТОВ С ЦЕЛЬЮ  
ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ИХ  
В ДОРОЖНОМ СТРОИТЕЛЬСТВЕ

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Ташкент — 1967



МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО  
ОБРАЗОВАНИЯ УЗБЕКСКОЙ ССР

ТАШКЕНТСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

Л. Ф. СТУПАКОВА

ИССЛЕДОВАНИЕ  
СТРУКТУРНО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ  
ЗАСОЛЕННЫХ ГРУНТОВ С ЦЕЛЮ  
ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ИХ  
В ДОРОЖНОМ СТРОИТЕЛЬСТВЕ

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Научный руководитель —  
канд. хим. наук, доц.  
**Л. Б. СМОЛИНА**  
Консультант —  
канд. тех. наук, доц.  
**Г. З. ЧАХВАДЗЕ**

Ташкент — 1967

Библиотека  
АНЭИОНЕНА



---

---

Директивами XIII съезда КПСС предусмотрено в текущем пятилетии оросить около 2,6 миллиона гектаров земель. Основными объектами орошения под хлопковые севообороты станут пустынные земли Голодной степи, в зоне Каракумского канала, крупный массив в Каршинской степи.

Освоение новых земель, а также развитие промышленности, связано в первую очередь со строительством автомобильных дорог.

Дорожное строительство в условиях Средней Азии требует максимального использования местных засоленных грунтов.

Засоленные грунты чаще всего содержат легкорастворимые соли в количестве от 0,2 до 13% ( $\text{NaCl}$ ,  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ,  $\text{MgCl}_2$ ,  $\text{MgSO}_4$ ,  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ,  $\text{NaHCO}_3$  и др.).

Кроме легкорастворимых солей в грунтах встречается большое количество карбонатов — 10—25%. На территории Средней Азии, наряду с грунтами, содержащими легкорастворимые соли, широко распространены гипсированные грунты, содержащие от 3 до 60%, а иногда и более, гипса.

В настоящее время возможность использования засоленных и гипсированных грунтов для сооружения земляного полотна дорог определяется качественным характером и степенью их засоления. Действующая классификация грунтов по характеру засоления была заимствована из почвоведения (Е. Н. Иванова и А. И. Розанов, 1939), в основу которой положено влияние солей на произрастание растений, и перенесена в дорожное строительство с небольшими изменениями. Использование этой классификации в дорожном строительстве нецелесообразно, так как она не отражает специфических свойств и поведение засоленных грунтов в земляном полотне автомобильных дорог.



Существующими нормативными документами (ВСН-47-60 и ВСН-97-60) ограничивается использование сильно-, избыточнозасоленных и гипсированных грунтов. Так грунты, содержащие более 5% солей при хлоридно-сульфатном и сульфатном и 8% при хлоридном и сульфатно-хлоридном характере засоления (избыточнозасоленные) считаются непригодными для возведения устойчивого земляного полотна и их рекомендуется заменять привозными незасоленными грунтами или обходить участки трассой.

Содержание гипса в грунтах, применяемых для возведения земляного полотна не должно превышать 10% (помимо легкорастворимых солей). Это ограничение было вызвано, главным образом, отсутствием детальных исследований свойств засоленных грунтов, а также опыта строительства и эксплуатации дорог в районах их распространения.

Наши многолетние исследования (1959—1963 гг.) показали, что при наличии битумно-минерального покрытия, земляное полотно автомобильных дорог в Бухарской, Хорезмской областях, Каракалпакской АССР и Голодной степи, возведенное из сильно-, и избыточнозасоленных и гипсированных грунтов, вопреки существующим техническим требованиям, сохраняет достаточную устойчивость.

Однако, научное решение весьма важного для народного хозяйства вопроса о применении засоленных грунтов в дорожном строительстве, требует глубокого и детального изучения их физико-механических свойств, а также проведения систематических натурных наблюдений за участками дорог, построенных в районах распространения этих грунтов.

Изучению этих вопросов и посвящена диссертационная работа.

Исследование структурно-механических свойств засоленных грунтов проводили, используя основные положения и методы физико-химической механики — новой пограничной области науки, развиваемой П. А. Ребиндером и его школой.

Исследованию свойств засоленных грунтов и их применению, как строительного материала посвящены работы Безрука В. М., Рождественского Е. Д., Овчаренко Ф. Д., Мотылева Ю. Л., Грот А. И., Чахвадзе Г. З., Шульгиной В. П., Талжиева Ф. Х., Иерусалимской М. Ф. и других авторов.

Работа выполнена в Среднеазиатском филиале СоюзДорНИИ в 1959—1966 гг. и состоит из 5 глав с общим объемом 283 стр., 61 таблицы, 42 рисунков и списка использованной литературы из 281 наименований.

## Глава I. — ЛИТЕРАТУРНЫЙ ОБЗОР.

Приводятся данные о распространении засоленных и гипсированных грунтов и источниках соленакопления в них, а также обзор литературы по вопросам влияния солей на характерные влажности, максимальную молекулярную влагоемкость (ММВ), оптимальную влажность и максимальную плотность, пластическую прочность, сопротивление сдвигу, сжимаемость и деформационные свойства грунтов, состояние и свойства воды в грунтах, влияние поглощенных оснований на свойства грунтов.

## Глава II. — ЛАБОРАТОРНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ВЛИЯНИЯ ЛЕГКОРАСТВОРИМЫХ СОЛЕЙ И ГИПСА НА ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ГРУНТОВ.

В этой главе изложены результаты исследований автора о влиянии легкорастворимых солей и гипса на физические и структурно-механические свойства легкого пылеватого суглинка. Параллельно приводятся данные о свойствах естественнозасоленных и гипсированных грунтов, отобранных из земляного полотна участков наблюдений на автомобильных дорогах Узбекистана и Каракалпакской АССР. Модели засоленных грунтов готовились из грунта взятого под Ташкентом (41 км дороги Большого Узбекского тракта) и легко- или труднорастворимых солей—1—13% хлористого и сернокислого натрия, 5—13% сернокислого магния и две модификации гипса (мелкокристаллический, с размерами частиц  $< 0,14$  мм и крупнокристаллический — 1—2 мм). Легкорастворимые соли вносили в грунт в виде насыщенных растворов. Смесь грунта с солью просушивали на воздухе и растирали в фарфоровой ступке деревянным пестиком. Количество вносимой соли относили к сухому грунту. Характеристика исследованных естественнозасоленных грунтов приводится в табл. I.

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

### Методика исследований

Определение характерных влажностей, ММВ, оптимальной влажности и максимальной плотности модельных и естественнозасоленных грунтов проводили по общепринятой методике для незасоленных грунтов.



Характер, степень засоления и водно-физические свойства естественнозасоленных грунтов.

№ п/п	Место отбора образцов	Содержание легкорастворимых солей, %	Содержание гипса, %	Характер засоления	Степень засоления	Пределы пластичности, %		Число пласти-ности	Оптимальная влажность, %	Максимальная плотность, г/см <sup>3</sup>
						верхний	нижний			
1	Хорезмская область	5,11	—	Сульфатно-хлоридный	Сильнозасоленный	27	20	7	15,35	1,82
2	Каракалпакская АССР	7,0	—	"	"	30	22	8	16,20	1,72
3	"	6,30	—	Хлоридно-сульфатный	Избыточно-засоленный	33	23	10	20,00	1,71
4	Бухарская область	7,43	—	"	"	28	18	10	15,60	1,81
5	Каракалпакская АССР	12,85	—	"	"	29	19	10	16,50	1,77
6	Голодная степь	2,74	29,3	Сульфатный	Сильнозасоленный	32	21	11	20,50	1,72
7	"	2,04	30,3	"	"	34	—	—	22,00	1,60
8	"	1,95	37,7	"	Среднезасоленный	29	23	6	17,60	1,77
9	"	2,70	46,2	"	Сильнозасоленный	29	—	—	21,00	1,68
10	Бухарская область	2,70	49,1	"	"	31	20	11	24,60	1,68
11	"	1,34	60,0	"	Среднезасоленный	25	—	—	29,50	1,50

Влияние легкорастворимых солей и гипса на «пластическую прочность», сопротивление сдвигу, деформационные и компрессионные свойства грунтов определяли при оптимальной влажности и максимальной плотности.

Предельное напряжение сдвигу изучено двумя методами: 1 метод — консисометром Геплера, приспособленным для работы с конусом по методу П. А. Ребиндера. Погружение конуса в концентрированную пасту грунта практически заканчивается через 3 мин. Отсчет глубины погружения производили с точностью до 0,01 мм.

«Пластическая прочность» ( $P_m$ ) рассчитывалась по известной формуле:

В исследованиях был использован конус с углом  $45^\circ$ .  $K_\alpha = 0,416$  (по Н. Н. Агранат и М. П. Воларовичу, 1957);

2 метод — на сдвиговом приборе «Гидропроект» по общепринятой методике (Е. Г. Чаповский, 1958).

Влияние легкорастворимых солей и гипса на деформационные свойства легкого пылеватого суглинка изучали также на приборе «Гидропроект» по методике, заимствованной у Ф. Д. Овчаренко с сотрудниками.

Исследование влияния солей на компрессионные свойства грунтов проводили по общепринятой методике при нагрузках 0,5; 1,0; 2,0 и 3,0 кг/см<sup>2</sup>. При определении влияния солей на сжимаемость грунтов под нагрузкой в условиях капиллярного увлажнения (просадочность грунтов) минерализованную воду подавали снизу после стабилизации осадки грунта.

Влияние капиллярного увлажнения на плотность засоленных и гипсированных грунтов исследовалось при помощи стальных колонок, в которых грунты с различной плотностью увлажняли минерализованной (52 г/л) и неминерализованной водой.

### 1. Влияние солей на характерные влажности легкого пылеватого суглинка.

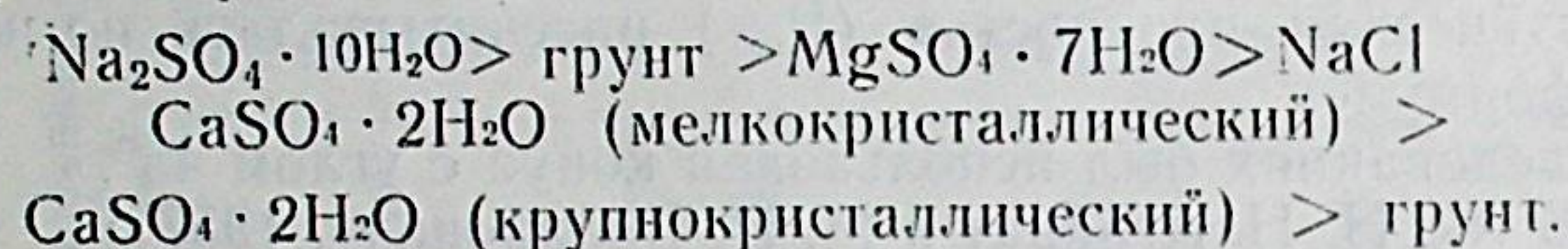
По характеру влияния на величины нижнего и верхнего пределов пластичности исследованные соли можно разделить на группы: 1—NaCl и MgSO<sub>4</sub>·7H<sub>2</sub>O понижают характерные влажности.

2—Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>·10H<sub>2</sub>O и CaSO<sub>4</sub>·2H<sub>2</sub>O повышают их.

Понижение характерных влажностей грунта происходит благодаря присутствию ионов натрия и магния, уменьшающих в системе количество связанной воды. В присутствии

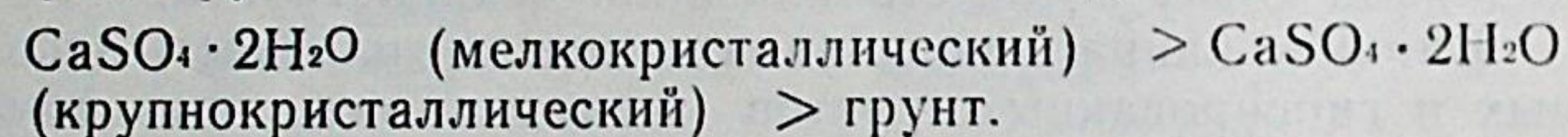


сульфат-ионов в системе грунт—соль увеличивается ее количество. На основе отношения между нижним и верхним пределами пластичности —  $(W_p/W_T)$  И. М. Горькова выделила породы с различными типами структур. Наши исследования показали, что искусственнозасоленные грунты с хлоридным и сульфатным характером засоления относятся к коагуляционно-кристаллизационному типу структур. Соли, по их влиянию на характерные влажности пределов пластичности, в интервалах изученных концентраций можно расположить в следующий ряд:



## 2. Влияние солей на максимальную молекулярную влагосемкость легкого пылеватого суглинка.

Добавка хлористого и сернокислого натрия до 1%, а сернокислого магния до 13% незначительно понижает ММВ. Добавка 10—13%  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  увеличивает ММВ. При содержании гипса в грунте до 50% ММВ возрастает в 1,5 раза по сравнению с незасоленным грунтом за счет связывания воды. Такие же закономерности наблюдаются и для естественно-засоленных грунтов. По влиянию на ММВ соли располагаются в следующий ряд: грунт  $> \text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O} > \text{NaCl} > \text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$



## 3. Влияние солей на оптимальную влажность и максимальную плотность грунта.

Хлористый натрий способствует повышению объемного веса скелета грунта и понижению его оптимальной влажности. Последнее объясняется денатурацией частиц грунта, благодаря чему значительно возрастает их число в единице объема.

У грунтов, содержащих водный сернокислый натрий, оптимальная влажность повышается при параллельном снижении объемного веса скелета грунта. Повышение оптимальной влажности грунта связано с тем, что сульфат-ион увеличивает в системе количество связанной воды.

Сернокислый магний в количестве 5—8% от веса грунта понижает оптимальную влажность и повышает объемный вес скелета грунта, т. е. ведет себя подобно хлористому натрию.

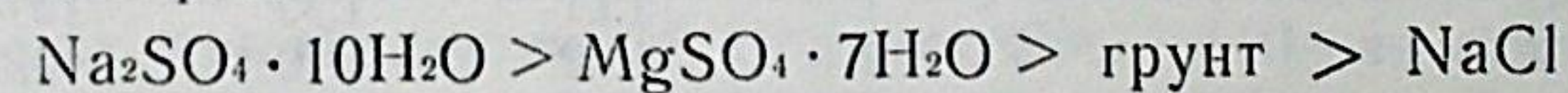
С увеличением количества сульфата магния в грунте до 13% оптимальная влажность повышается, а объемный вес скелета грунта понижается. В этом случае сернокислый магний по своим свойствам близок к сернокислому натрию.

Мелкокристаллический гипс в количестве 30% и выше увеличивает оптимальную влажность за счет поверхности на 26—43% по сравнению с незасоленным грунтом; объемный вес снижается на 2—5%. Крупнокристаллический гипс мало влияет на объемный вес скелета грунта; оптимальная влажность грунта увеличивается в присутствии этой формы гипса на 10—13%.

Невысокая оптимальная влажность у грунтов, содержащих до 13% хлористого натрия дает возможность эффективно уплотнять эти грунты при меньшей влажности. Это имеет особое значение для засушливой У дорожно-климатической зоны. Что касается сернокислых солей натрия и магния, то их содержание в грунте должно быть ограничено — 8%, т. к. при большем количестве солей резко снижается объемный вес скелета засоленного грунта по сравнению с незасоленным.

Содержание труднорастворимой соли-гипса в грунтах, отсыпаемых в насыпь, может быть повышено до 40%.

По влиянию на оптимальную влажность грунтов, изученные соли при их содержании 8—13%, располагаются в следующий ряд:



$\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  (мелкокристаллический)  $> \text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  (крупнокристаллический)  $> \text{грунт}$ .

## 4. Влияние солей на «пластическую прочность» легкого пылевого суглинка.

Анализ кривых  $P_m = f(w)$  искусственно- и естественнозасоленных грунтов (паст) с прочностью в пределах  $P_m$  от 1 до 18 кг/см<sup>2</sup> позволяет выделить три характерные зоны:

1-я зона — дисперсная система содержит преимущественно адсорбционно-связанную воду, количество которой недостаточно для полного развития гидратных оболочек. В таких условиях развиваются конденсационно-кристаллизационные структуры. ( $P_m = 8—18$  кг/см<sup>2</sup>).



2-я зона — дисперсная система содержит достаточное количество воды для развития гидратных оболочек (зона оптимальных влажностей). В этих условиях грунт характеризуется максимальным объемным весом скелета грунта и конденсационно-кристаллизационная структура переходит в коагуляционно-конденсационную (табл. 2).

Таблица 2

Влияние солей на  $P_m$  грунта при оптимальной влажности и максимальной плотности (2-я зона)

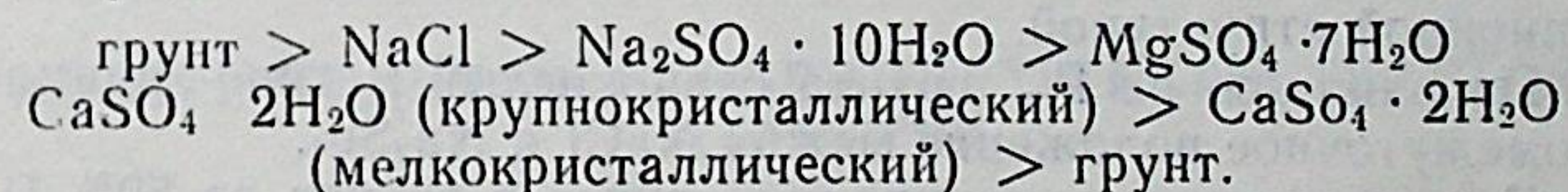
Соль	Дозировка соли, %	Оптимальная влажность, %	Максимальный объемный вес скелета грунта, г/см <sup>3</sup>	$P_m$ , кг/см <sup>2</sup>	
Незасоленный грунт NaCl	—	15,0	1,79	10,0	
	0,5	15,0	1,79	10,0	
	1	15,1	1,79	10,0	
	2	15,2	1,79	9,7	
	3	14,6	1,80	7,9	
	4	14,6	1,84	6,8	
	5	13,4	1,83	7,0	
	8	13,2	1,85	6,4	
	10	12,9	1,85	5,8	
	13	12,8	1,83	5,6	
	Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> · 10 H <sub>2</sub> O	0,5	15,0	1,79	10,0
		1	15,1	1,79	10,0
		2	15,2	1,79	10,1
3		15,4	1,79	7,9	
4		15,7	1,78	7,7	
5		16,1	1,78	6,8	
8		19,2	1,68	6,1	
10		22,2	1,61	4,5	
13		26,0	1,52	4,0	
MgSO <sub>4</sub> · 7H <sub>2</sub> O		5	13,4	1,90	4,8
		8	14,9	1,85	4,5
		10	16,5	1,78	3,2
		13	19,5	1,72	2,2
	Мелкокристаллический CaSO <sub>4</sub> · 2H <sub>2</sub> O	10	15,3	1,83	10,1
30		19,1	1,76	9,9	
40		20,7	1,69	11,7	
50		21,5	1,70	9,1	
Крупнокристаллический CaSO <sub>4</sub> · 2H <sub>2</sub> O		10	15,5	1,82	10,7
	30	16,9	1,81	13,1	
	40	17,3	1,80	14,0	
	50	17,6	1,78	13,5	

3-я зона — влажность на 2—3% выше оптимальной влажности. Избыток воды снижает «пластическую прочность» и объемный вес скелета грунта, т. к. взаимодействие между минеральными частицами ослабляется за счет развития водно-коллоидных сольватных оболочек. В такой системе образуется коагуляционная структура, с «пластической прочностью» равной 1—2 кг/см<sup>2</sup>. Кривые  $P_m = f(w)$  дают возможность проследить изменение прочностных свойств засоленных и гипсированных грунтов на различных стадиях структурообразования.

Упрочнение структуры происходит, главным образом, в течение первых 2 суток. В дальнейшем «пластическая прочность» изменяется незначительно. Установлено, что «пластическая прочность» грунтов, содержащих 8% хлористого и 5% сернокислого натрия при оптимальной влажности и максимальной плотности незначительно отличается от  $P_m$  тех же грунтов с предельно допустимым содержанием солей (4%).

Величина «пластической прочности» указывает возможность использования таких грунтов в качестве материала для возведения земляного полотна автомобильных дорог в V дорожно-климатической зоне.

10—50% гипса (мелкокристаллического) оказывает незначительное влияние на  $P_m$ ; крупнокристаллический гипс повышает «пластическую прочность» грунта по сравнению с незасоленным. Увеличение  $P_m$  грунта связано с влиянием катиона кальция и сульфат-ионом, а также усилением трения между отдельными элементами скелета, обусловленного присутствием крупных кристаллов гипса. Величины  $P_m$  (10—14 кг/см<sup>2</sup>) гипсированных грунтов (30—40% гипса) указывают на возможность их использования для строительства земляного полотна. Изученные соли по их влиянию на  $P_m$  при оптимальной влажности максимальной плотности грунта располагаются в следующий ряд:



Наиболее резкие изменения  $P_m$  грунта в зависимости от вида и содержания солей наблюдаются при постоянной влажности незасоленного грунта (15%), табл. 3.

С увеличением содержания хлористого натрия «пластическая прочность» грунта уменьшается в 2—5 раз. Это объясняется тем, что хлористый натрий понижает оптимальную



влажность и, следовательно, определение  $P_m$  при его содержании более 2% в грунте, фактически проводится при влажности выше оптимальной, т. е. в системе, где имеется и свободная вода.

Таблица 3

Изменение «пластической прочности» засоленных грунтов при влажности 15%

Соль	Дозировка соли, %	$P_m$ , кг/см <sup>2</sup>	Соль	Дозировка соли, %	$P_m$ , кг/см <sup>2</sup>	Соль	Дозировка соли, %	$P_m$ , кг/см <sup>2</sup>
NaCl	1	9,9	Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> · 10H <sub>2</sub> O	1	10,0	MgSO <sub>4</sub> · 7H <sub>2</sub> O	5	1,6
	2	9,8		2	10,0		8	4,6
	3	6,9		3	9,8		10	6,4
	4	6,3		4	9,7		13	9,2
	5	6,2		5	9,5		10	10,1
	8	2,3		8	9,5		30	13,1
Незасоленный грунт	10	2,1	CaSO <sub>4</sub> · 2H <sub>2</sub> O (мелкокристаллический)	10	10,2	40	13,4	
	13	2,1		13	14,7	50	13,9	
		10,0		10	10,7	30	12,8	
				40	13,9	40	13,9	
			CaSO <sub>2</sub> · H <sub>2</sub> O (крупнокристаллический)	50	14,6	50	14,6	

В присутствии сернокислого натрия  $P_m$  возрастает по мере увеличения концентрации соли. Повышение  $P_m$  системы в этом случае объясняется гидрофильностью сульфата-иона, связывающего часть воды, а у скоагулированных низкодисперсных частиц грунта возникает большее количество сухих контактов, образуется система с конденсационно-кристаллизационной структурой.

По влиянию на  $P_m$  грунта сернокислый магний занимает промежуточное положение между NaCl и Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>.

С увеличением содержания гипса в грунте до 50%  $P_m$  возрастает на 28—46% по сравнению с незасоленным. «Пластическая прочность» избыточнозасоленных грунтов с сульфатным характером засоления при влажности 15% не ниже, чем у слабо- и средnezасоленных. Следовательно, при одинаковых условиях, сульфаты натрия оказывают менее отрицательное влияние на структурно-механические свойства грун-

та, чем хлориды. «Пластическая прочность» грунтов со смешанным характером засоления изменяется в зависимости от соотношения хлорида- и сульфат-ионов. Последнее дало возможность автору работы положить в основу классификации засоленных грунтов по характеру засоления в целях использования в дорожном строительстве закономерности изменения их «пластической прочности» в зависимости от соотношения указанных анионов (рис. 1).

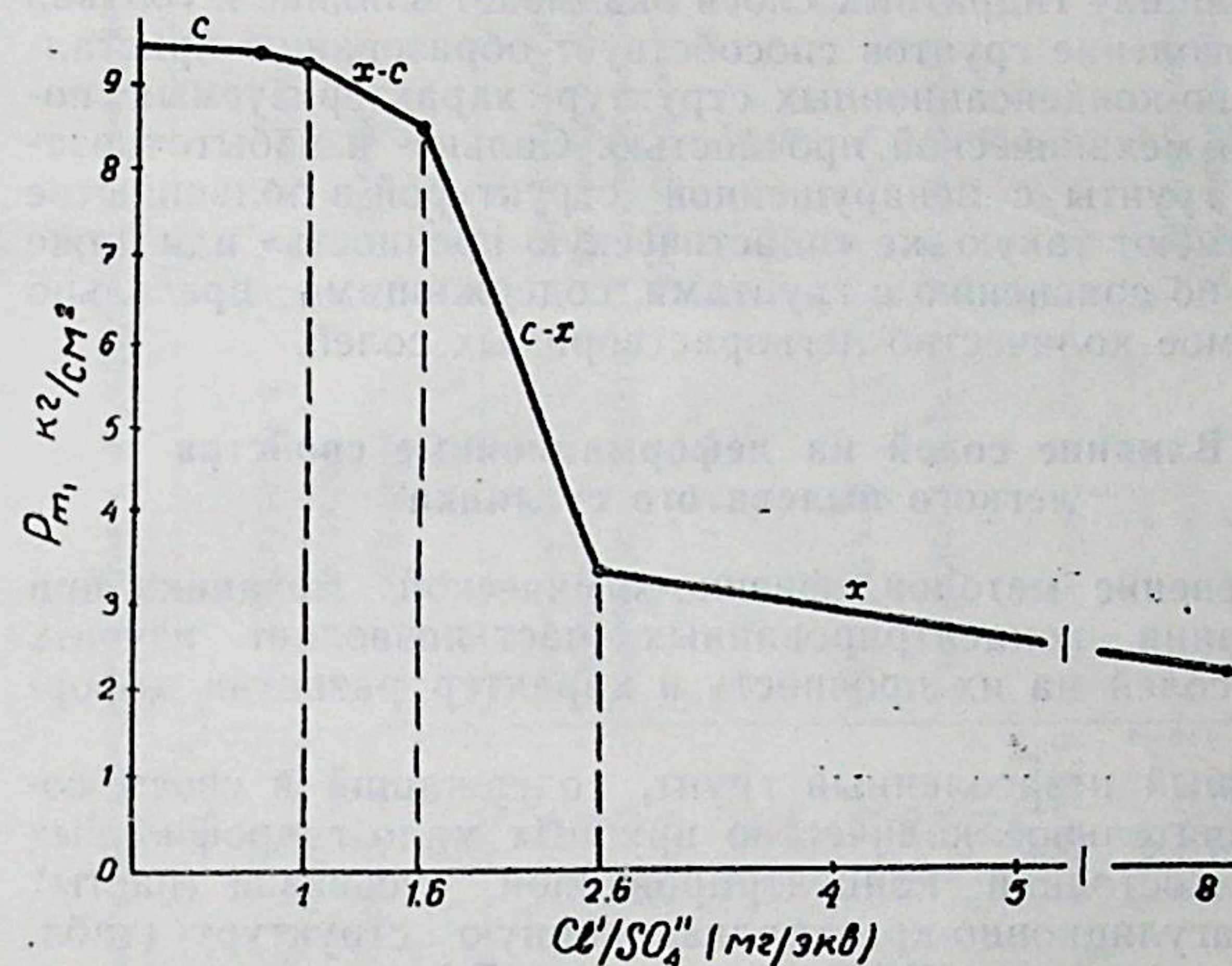


Рис. 1. Влияние качественного характера засоления на пластическую прочность грунта

с - сульфатный  
 х-с - хлоридно-сульфатный  
 с-х - сульфатно-хлоридный  
 х - хлоридный

### ОТЛИЧИТЕЛЬНЫЕ ОСОБЕННОСТИ ЕСТЕСТВЕННЫХ СТРУКТУР

«Пластическую прочность» грунтов с ненарушенной структурой, отобранных из земляного полотна, построенного из сильно-, избыточнозасоленных и гипсированных грунтов определяли в полевых условиях. «Пластическая прочность» естественнозасоленных грунтов с ненарушенной структурой при одинаковой влажности и объемном весе скелета грунта



в 1,5—12 раз больше, чем у тех же грунтов с нарушенной структурой (табл. 4). Увеличение «пластической прочности» естественнозасоленных грунтов обуславливается процессами старения и синерезиса, свойственными всем коллоидным системам. Под влиянием молекулярных сил происходит переориентация и сближение частиц грунта с одновременным уменьшением толщины гидратных слоев в местах контактов частиц.

На толщину гидратных слоев оказывает влияние и солевая среда. Засоление грунтов способствует образованию кристаллизационно-конденсационных структур, характеризующихся повышенной механической прочностью. Сильно- и избыточнозасоленные грунты с ненарушенной структурой в большинстве случаев имеют такую же «пластическую прочность» или даже большую по сравнению с грунтами, содержащими предельно допустимое количество легкорастворимых солей.

### 5. Влияние солей на деформационные свойства легкого пылеватого суглинка

Применение методов физико-химической механики при исследовании концентрированных паст позволяет изучить влияние солей на их прочность и характер развития деформаций.

Исходный незасоленный грунт, содержащий в своем составе значительное количество крупных мало гидрофильных частиц, в состоянии концентрированной суспензии (пасты) имеет коагуляционно-кристаллизационную структуру (табл. 5). Модули быстрых ( $E_1$ ) и медленных ( $E_2$ ) эластических деформаций этих систем невелики, но  $E_2 > E_1$ .  $P_k$  (условный статический предел текучести) у них мал, система легко переходит в вязкое и текучее состояние. Наибольшая пластическая вязкость ( $\eta_1$ ) велика из-за преобладания в глинистой части грунта гидрослюды. Система характеризуется медленным процессом релаксации. В суглинке при оптимальной влажности и максимальной плотности развивается сравнительно прочная структура с преобладанием быстрых эластических деформаций при меньшем развитии эластических и особенно пластических деформаций. Система относится к нулевому структурно-механическому типу (по Ничипоренко-Комской) (рис. 2).

Под влиянием хлористого натрия модуль медленно эластических деформаций падает, уменьшаются наибольшая пласти-

Таблица 4

Пластическая прочность естественнозасоленных грунтов с нарушенной и ненарушенной структурой.

Место взятия образцов на участках наблюдений	Глубина отбора образцов от дна корыта, см	Содержание солей, %	Качественный характер засоления	Степень засоления	$P_m$ грунта, кг/см <sup>2</sup>	
					с ненарушенной структурой	с нарушенной структурой
1. Халкабад—Кегейли, км 3	0—10	7,74	Сульфатный	Сильнозасоленный	10,6	3,9
2. Нукус—Халкабад	0—10	3,10	Хлоридный	Среднезасоленный	61,5	5,0
3. Нукус—Халкабад	0—10	4,69	Хлоридно-сульфатн.	Сильнозасоленный	32,0	7,0
4. Ходжейли—Шуманай, км 5	10—20	5,19	"	Избыточнозасол.	7,8	2,2
5. Ходжейли—Шуманай, км 5	0—10	5,27	"	"	32,0	4,4
6. Халкабад—Чимбай, км 14,8	20—40	6,25	"	"	9,0	2,2
7. Халкабад—Чимбай, км 14,8	0—10	5,15	Сульфатный	"	32,0	2,8
8. Бируни—Нукус	10—30	16,46	"	"	6,8	2,8
9. Бируни—Нукус	0—10	4,03	Хлоридно-сульфатн.	Сильнозасоленный	31,5	7,3
10. Янги-Ер, совхоз 6	20—30	3,24	"	"	10,6	2,2
11. Янги-Ер, совхоз 6	0—20	2,67/29,1*	"	"	44,2	12,8
12. Янги-Ер—совхоз "Мирзачуль", км 34	20—40	3,23/25,9	"	"	6,5	2,8
13. Янги-Ер—совхоз "Мирзачуль", км 34	0—20	2,60/41,7	"	"	17,4	10,2
14. Обручево—Янги-Ер	0—20	1,96/34,2	"	Среднезасоленный	42,3	7,2
15. Янги-Ер—Джизак, км 28,3	20—40	2,33/37,7	"	Сильнозасоленный	6,9	3,6
16. Янги-Ер—Джизак, км 28,3	0—20	1,67/44,4	"	Среднезасоленный	6,5	3,2

\* ) Числитель содержание легкорастворимых солей; Знаменатель—гипса.







1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
13	Легкий пылеватый суглинок	CaSO <sub>4</sub> ·2H <sub>2</sub> O (мелкокристаллический)	40	20,7	1,72	0,250	1,202	3872	11,7	2,6	68,3	0,72	0
14	Легкий пылеватый суглинок	CaSO <sub>4</sub> ·2H <sub>2</sub> O (крупнокристаллический)	40	17,3	1,82	0,218	0,427	8675	14,0	3,5	95,9	0,82	0
15	Хорезмская обл.	Легкоразрешимые	5,1	15,3	1,85	0,289	0,472	7650	5,0	1,7	73,0	0,73	0
16	Бухарская обл.	"	7,0	15,6	1,84	0,397	0,500	6160	5,7	2,8	56,4	0,61	0
17	Каракалпакская АССР	"	12,8	16,5	1,82	0,357	0,805	3320	4,6	2,3	68,0	0,59	0
18	Голодная степь	CaSO <sub>4</sub> ·2H <sub>2</sub> O	37,7	17,6	1,80	0,211	0,417	6980	29,0	11,6	75,2	0,81	0
19	"	"	46,2	21,0	1,73	0,291	0,567	5320	17,0	6,8	68,2	0,70	0
20	Бухарская обл.	"	49,1	24,6	1,62	0,294	1,000	5500	19,0	3,8	66,7	0,76	0

\* Характеристика естественнозасоленных грунтов дана в таблице 1.

Примечание:  $\lambda$  — эластичность;  $\gamma$  — пластичность;  $\theta_1$  — период истинной релаксации;  $\frac{P_k}{\epsilon}$  — коэффициент устойчивости коагуляционной структуры;  $E_{усл}$  — условный модуль деформации;  $K_u$  — коэффициент устойчивости коагуляционной структуры.

сивнее развиваются пластические деформации. Система с 8% MgSO<sub>4</sub> остается в рамках нулевого структурно-механического типа, а при 10% соли переходит в третий структурно-механический тип.

Крупнокристаллический гипс снижает модуль быстро эластических деформаций грунтовой пасты, резко увеличивает модуль медленно эластических деформаций, наибольшую пластическую вязкость, период истинной релаксации и прочность системы.

Мелкокристаллический гипс уменьшает наибольшую пластическую вязкость и период истинной релаксации, увеличивает развитие пластических деформаций. Система грунт-гипс относится к нулевому структурно-механическому типу.

Естественнозасоленные грунты, содержащие 5—13% легкоразрешимых солей и 34—49% гипса, характеризуются структурно-механическими свойствами, аналогичными модельным грунтам (рис. 3). На основании изучения комплекса структурно-механических, характерных прочностных и деформационных свойств грунтовых паст установлены структурно-механические критерии для засоленных и гипсированных грунтов, пригодных для возведения земляного полотна.

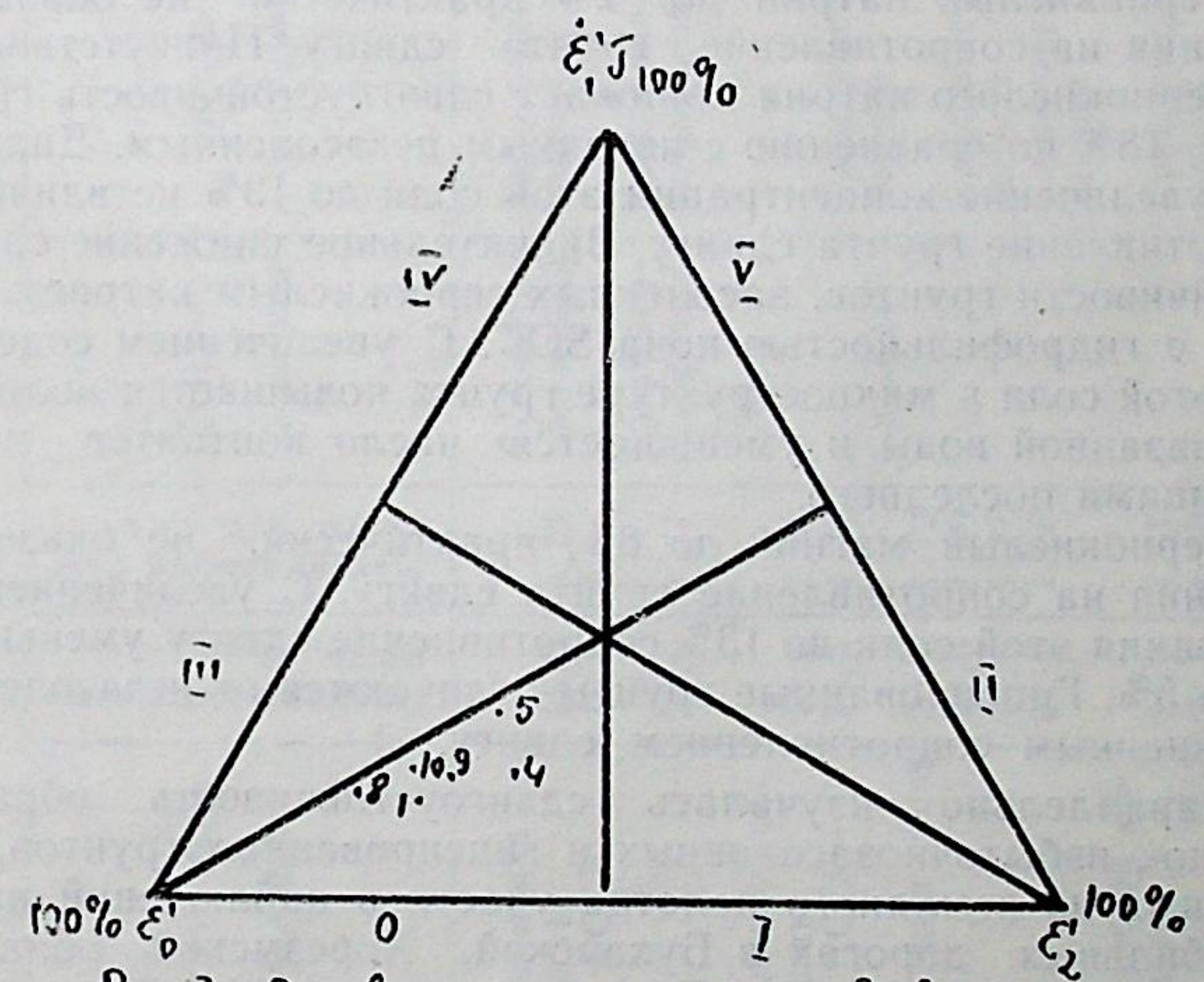


Рис. 3 Развитие деформаций в естественно-засоленных грунтах (Условные обозначения в табл. 1)



Характеристика	Грунты, засоленные легкорастворимыми солями	Грунты, содержащие гипс
Эластичность, $\lambda$	0,30—0,40	0,20—0,30
Пластичность, $R_{KI}/r_{II}$	0,30—0,92	0,40—1,20
Период истинной релаксации, $\theta_1$	> 3400	> 3800
Коэффициент устойчивости, $K_y$	0,55—0,65	0,70—0,85

### 6. Влияние солей на сопротивление сдвигу лессовых грунтов в условиях вертикальных нагрузок.

В результате опытов было установлено, что хлористый натрий в малых концентрациях (до 1%) увеличивает сопротивление грунтов сдвигу на 10%. С увеличением содержания хлористого натрия в грунте с 3 до 13% сопротивление сдвигу уменьшается на 4—8% по сравнению с незасоленным грунтом.

Сернокислый натрий до 2% практически не оказывает влияния на сопротивление грунта сдвигу. Присутствие 3—5% сернокислого натрия понижает сдвигоустойчивость грунта на 4—18% по сравнению с исходным незасоленным. Дальнейшее увеличение концентрации этой соли до 13% не влияет на сопротивление грунта сдвигу. Значительное снижение сдвигоустойчивости грунтов, засоленных сернокислым натрием, связано с гидрофильностью иона  $SO_4^{--}$ . С увеличением содержания этой соли в микроструктуре грунта повышается количество связанной воды и уменьшается число контактов между частицами последнего.

Сернокислый магний до 8%, практически, не оказывает влияния на сопротивление грунта сдвигу. С увеличением содержания этой соли до 13% сопротивление сдвигу уменьшается на 5%. Гипсированные грунты отличаются от незасоленных повышенным сопротивлением сдвигу.

Параллельно изучалась сдвигоустойчивость образцов сильно-, избыточнозасоленных и гипсированных грунтов, отобранных из земляного полотна участков наблюдений на автомобильных дорогах в Бухарской, Хорезмской областях, Каракалпакской АССР и Голодной степи (табл. 6).

Сдвигающие усилия, сцепление и угол внутреннего трения грунтов, засоленных легкорастворимыми солями, незначительно

Таблица 6

Сопротивление сдвигу естественнозасоленных грунтов

№ п/п	Место отбора образцов	Оптимальная влажность, %	Максимальный объемный вес, г/см <sup>3</sup>	Характер засоления	Степень засоления	Содержание легкорастворимых солей, %	Содержание гипса, %	Наименование грунта по гранулометрическому составу	При нормальном давлении 3 кг/см <sup>2</sup>		
									сдвигающее усилие, кг/см <sup>2</sup>	сцепление, кг/см <sup>2</sup>	угол внутреннего трения, град.
1	Хорезмская область	15,3	1,82	Сульфатно-хлоридный	Сильнозасоленный	5,11	—	Суглинок легкий пылеватый	2,17	0,35	32
2	КК АССР	16,2	1,7	"	Избыточнозасоленный	7,00	—	"	2,06	0,20	32
3	"	20,0	1,71	"	"	6,30	—	"	1,94	0,10	32
4	Бухарская область	15,6	1,81	"	Сильнозасоленный	7,49	—	"	2,25	0,17	35
5	КК АССР	16,5	1,77	"	"	12,85	—	"	2,57	0,27	38
6	Голодная степь	20,5	1,72	Сульфатный	"	2,74	29,3	Пески пылеватые	2,24	0,47	31
7	"	22,0	1,60	"	"	2,04	30,3	"	2,45	0,33	36
8	"	17,6	1,77	"	Среднезасоленный	1,95	37,7	Супеси тяжелые пылеватые	3,20	0,67	41
9	"	21,0	1,68	"	Сильнозасоленный	2,70	46,2	Непластичный	2,50	0,38	32
10	Бухарская область	24,6	1,61	"	Среднезасоленный	2,70	49,1	Суглинок легкий пылеватый	3,25	0,58	39
11	"	29,5	1,50	"	"	1,34	60,0	Непластичный	2,62	0,20	38



отличаются от искусственнозасоленных грунтов с содержанием 3—5% хлоридов и сульфатов натрия, т. е. от грунтов с допускаремым содержанием солей. Для природных гипсированных грунтов, также как и для искусственных моделей, характерно повышенное сопротивление сдвигу.

Результаты исследований одного из наиболее важных свойств грунтов — сопротивления сдвигу, позволяют считать, что засоленные грунты, содержащие до 10% легкорастворимых солей с сульфатно-хлоридным, до 8% с хлоридно-сульфатным характером засоления и гипсированные, содержащие 30—40% гипса, могут быть использованы для отсыпки земляного полотна автомобильных дорог.

### 7. Влияние солей на компрессионные свойства лессовых грунтов

Влияние хлористого натрия на сжимаемость грунтов при нагрузке 3 кг/см<sup>2</sup> начинает проявляться при его содержании 10—13%. Коэффициент пористости уменьшается на 5—6% по сравнению с исходным засоленным грунтом до приложения нагрузки.

Сернокислый натрий оказывает большее влияние на сжимаемость грунтов. Грунты, содержащие 4—5% Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, сжимаются при нагрузке 3 кг/см<sup>2</sup> на 7% и с дальнейшим повышением количества этой соли с 8% до 13%, сжимаемость увеличивается, а коэффициент пористости снижается на 8—10%. Гипсированные грунты, содержащие 40% мелкокристаллического гипса при нагрузке 2 кг/см<sup>2</sup> сжимаются на 4%, а при 3 кг/см<sup>2</sup> — на 7%. Большой практический интерес представляют результаты изучения сжимаемости под нагрузкой естественнозасоленных грунтов. При нагрузке 1—2 кг/см<sup>2</sup> сильно-, избыточно-засоленные и гипсированные грунты сжимаются незначительно. С увеличением нагрузки до 3 кг/см<sup>2</sup> эти грунты сжимаются на 3—6%, т. е. также как грунты с допускаремым содержанием солей.

И. М. Горькова (1965 г.) по изменению плотности при нагрузке относит грунты к сильно-, или к слабосжимаемым. Все исследуемые грунты, за исключением грунтов, содержащих 10—13% сернокислого натрия и 13% сернокислого магния, относятся по классификации И. М. Горьковой к слабосжимаемым.

### 8. Влияние солей на сжимаемость грунтов под нагрузкой в условиях капиллярного увлажнения минерализованной водой

В связи с применением засоленных и гипсированных грунтов как строительного материала для возведения земляного полотна автомобильных дорог, необходимо иметь представление о характере сжатия грунта под нагрузкой в условиях капиллярного увлажнения.

Наибольшее сжатие в процессе капиллярного увлажнения при нагрузке 1 кг/см<sup>2</sup> произошло у грунтов с содержанием 10—13% сульфатов натрия и магния. Естественнозасоленные грунты, за исключением грунта, содержащего 12,8% легкорастворимых солей практически, не дают осадки.

Для характеристики просадочности автор использовал ту же методику расчета, что и для относительной просадочности (Цытович И. А., 1953).

Грунты, содержащие до 13% хлористого, до 8% сернокислого натрия, до 40% гипса, а также естественнозасоленные с 5—7,5% легкорастворимых солей и 50% гипса, уплотненные до максимальной плотности при оптимальной влажности, не обладают просадочностью и могут быть использованы как строительный материал для возведения земляного полотна автомобильных дорог.

### 9. Исследование влияния капиллярного увлажнения на плотность засоленных грунтов

Вопрос о влиянии капиллярного увлажнения на плотность грунтов имеет большое практическое значение при проектировании земляного полотна автомобильных дорог из засоленных грунтов. Это влияние необходимо учитывать при назначении высоты насыпи, установлении требуемой плотности грунтов, выборе расчетных показателей прочности.

В результате проведенных исследований было выявлено, что характер и степень изменения плотности засоленных грунтов под влиянием капиллярного увлажнения зависят от степени и качественного характера засоления, начального состояния грунта и длительности капиллярного увлажнения.

Наименее подвержены разуплотнению под действием капиллярного увлажнения слабозасоленные, средnezасоленные и сильнозасоленные грунты.

Вымывание солей происходит в большей степени при капиллярном увлажнении грунта неминерализованной водой.



При коэффициенте уплотнения грунта более 0,95, высота слоя, в котором под влиянием капиллярного увлажнения происходят заметные изменения влажности и плотности, в условиях проведенных опытов, не превышала 40—50 см от уровня воды. При меньшем коэффициенте уплотнения высота этого слоя значительно возрастает. Следовательно, при возведении земляного полотна автомобильных дорог в условиях распространения засоленных грунтов, коэффициент уплотнения грунта во всех случаях должен быть не ниже 0,98.

### Глава III. РЕЗУЛЬТАТЫ ПОЛЕВЫХ НАБЛЮДЕНИЙ ЗА ВОДНО-СОЛЕВЫМ РЕЖИМОМ И УСТОЙЧИВОСТЬЮ ЗЕМЛЯНОГО ПОЛОТНА, ВОЗВЕДЕННОГО ИЗ ЗАСОЛЕННЫХ И ГИПСИРОВАННЫХ ГРУНТОВ

Наблюдения за водно-солевым режимом и устойчивостью земляного полотна автомобильных дорог проводились на 40 участках наблюдений ежегодно 2—3 раза, обычно в периоды максимального соленакопления и влагонакопления. В течение всего периода наблюдений относительная влажность в слое грунта толщиной 0,5 м от дна корыта на большей части участков изученных дорог не превышала 64%, т. е. была близкой к оптимальной влажности грунтов. Коэффициент уплотнения колеблется в пределах 0,90—0,99. Земляное полотно, возведенное из грунтов, содержащих в верхней метровой толще до 8% и более солей, т. е. из грунтов относящихся по существующей классификации к избыточнозасоленным, обладало достаточной устойчивостью. Не наблюдалось деформаций земляного полотна, построенного из грунтов, содержащих до 40% гипса.

### Глава IV. ПРЕДЛОЖЕНИЯ ПО ИСПОЛЬЗОВАНИЮ ИЗБЫТОЧНОЗАСОЛЕННЫХ И ГИПСИРОВАННЫХ ГРУНТОВ

Результаты лабораторных и полевых исследований засоленных и гипсированных грунтов и опыт строительства земляного полотна из этих грунтов создали основу для расширения границ предельно допустимого содержания легкорастворимых солей при сульфатном и хлоридно-сульфатном характере засоления с 5 до 8%, гипса до 30—40%.

Последнее показывает, что существующая классификация

грунтов требует уточнения в смысле установления новых границ применимости этих грунтов для сооружения земляного полотна автомобильных дорог.

### Глава V. ПРЕДЛОЖЕНИЯ ПО УТОЧНЕНИЮ КЛАССИФИКАЦИИ ЗАСОЛЕННЫХ И ГИПСИРОВАННЫХ ГРУНТОВ В ДОРОЖНОМ СТРОИТЕЛЬСТВЕ

1. Использование классификации засоленных грунтов по качественному характеру засоления, принятой в почвоведении (в основу которой положено влияние солей на произрастание растений) в дорожном строительстве нецелесообразно, так как она не отражает специфических свойств и поведения засоленных грунтов в земляном полотне. Рекомендуется в основу классификации по качественному характеру засоления положить изменение прочностных свойств («пластическую прочность») от соотношения ионов  $Cl'$  и  $SO_4''$ .

2. В соответствии с установленным влиянием качественного характера засоления на «пластическую прочность» грунта, взамен принятой ранее классификации засоленных грунтов по качественному характеру засоления заимствованной из почвоведения предлагается следующая:

Наименование засоления	$Cl':SO_4''$
Хлоридное	> 2,5
Сульфатно-хлоридное	2,5—1,5
Хлоридно-сульфатное	1,5—1,0
Сульфатное	< 1,0

3. Качественную характеристику содового засоления предлагается оставить прежнюю, т. е. называть засоление содовым при содержании в грунте ионов  $CO_3''$  и  $HCO_3'$  свыше одной трети суммарного содержания ионов  $Cl'$  и  $SO_4''$ .

4. На основании данных исследования влияния солей на структурно-механические свойства грунтов и результатов многолетних наблюдений за водно-солевым режимом и устойчивостью земляного полотна дорог, построенных в условиях распространения грунтов с высокой степенью засоления, предлагается следующая классификация грунтов по степени засоления:



Наименование грунтов	Среднее суммарное содержание солей в используемом слое грунта, % по весу	
	хлоридное и сульфатно-хлоридное засоление	сульфатное и хлоридно-сульфатное засоление
Слабозасоленные	0,5—2,0	0,5—1,0
Среднезасоленные	2,0—5,0	1,0—3,0
Сильнозасоленные	5,0—10,0	3,0—8,0
Избыточнозасоленные	> 10,0	> 8,0

5. Избыточнозасоленные грунты для возведения земляного полотна дорог с усовершенствованными покрытиями не допускаются.

В виде исключения возможно использовать грунты избыточного засоления, содержащие на 1—2% солей более, чем указано в классификации (П. Ч), при возведении земляного полотна дорог V категории, при условии обеспечения водоотвода.

6. Повысить допустимое содержание труднорастворимых солей (гипса) в грунтах, отсыпаемых в насыпь, при 1 и 2 типах местности с 30 до 40%, при 3 типе — с 20 до 30%.

7. Применение предложенной классификации в дорожном строительстве, как показывают произведенные подсчеты, дает значительный экономический эффект — стоимость строительства снижается на 10—15%. (Каталог ЕР-ЕР, привязанный по рабочей силе к местным условиям УзССР и Каракалпакской АССР, Ташкент, 1960 с. 14—15).

## ОБЩИЕ ВЫВОДЫ И РЕКОМЕНДАЦИИ

1. Изучено влияние солей  $\text{NaCl}$ ,  $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ , мелко- и крупнокристаллического гипса на характерные влажности, ММВ, оптимальную влажность и максимальную плотность, структурно-механические, деформационные и компрессионные свойства легких пылеватых суглинков, а также влияние капиллярного увлажнения на плотность засоленных и гипсированных грунтов. Исследования проведены на искусственно- и естественнозасоленных грунтах.

2. По характеру влияния на величины верхнего предела пластичности и предела раскатывания соли следует разделить на 2 группы:

1 группа  $\text{NaCl}$  и  $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  понижают характерные влажности;

2 группа  $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$  и  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  повышают их.

3: По соотношению  $W_p/W_T$  незасоленный и засоленные грунты относятся к коагуляционно-кристаллизационному типу структур.

4. Легкорастворимые соли в количестве 0,5% от веса грунта не оказывают влияния на «пластическую прочность» ( $P_m$ ) грунтов. Такие грунты следует отнести к незасоленным. Хлористый и сернокислый натрий до 2% незначительно изменяют величину  $P_m$  грунтов. Последние отнесены к слабозасоленным. Грунты, содержащие более 8% сернокислого натрия или магния имеют  $P_m$ , равную 2—4,5 кг/см<sup>2</sup>, их следует отнести к избыточнозасоленным. Мелкокристаллический гипс практически не влияет на  $P_m$  грунтов. Крупнокристаллический — повышает ее по сравнению с незасоленным грунтом. «Пластическая прочность» сильно- и избыточнозасоленных грунтов с ненарушенной структурой в 1,5—12 раз выше, чем у тех же грунтов с нарушенной структурой (при одинаковой влажности и плотности).

5. Присутствие легкорастворимых солей до 3%, практически, не оказывает влияния на сопротивление грунта сдвигу; с увеличением их содержания в грунте оно падает. Грунты, содержащие 30—40% гипса, имеют показатели сопротивления сдвигу на 20—28% больше, чем у незасоленного грунта. Сдвигоустойчивость естественнозасоленных грунтов, практически, не отличается от сопротивления сдвигу грунтов с допустимым содержанием легкорастворимых солей и гипса.

6. Грунты, содержащие до 13% хлористого и до 8% сернокислого натрия, до 40% гипса, а также естественнозасоленные, уплотненные до максимальной плотности при оптимальной влажности, обладают прочной коагуляционно-кристаллизационной структурой и относятся к слабосжимаемым, непродолжительным грунтам.

7. Земляное полотно, возведенное из засоленных грунтов с содержанием до 8% и более солей, относящихся по существующей классификации к избыточнозасоленным, сохраняет устойчивость. Также не наблюдалось деформаций земляного полотна, построенного из грунтов, содержащих до 40% гипса.

8. Использование классификации засоленных грунтов по качественному характеру засоления, принятой в почвоведении (в основу которой положено влияние солей на произрастание растений) в дорожном строительстве нецелесообразно.



9. Предлагается повысить предельное допустимое содержание легкорастворимых солей при хлоридном и сульфатно-хлоридном засолении с 8 до 10% и при сульфатном и хлоридно-сульфатном с 5 до 8%, труднорастворимых солей (гипса) при 1 и 2 типах местности с 30 до 40%, при 3 типе — с 20 до 30%.

\* \*

\*

Работа была доложена на научно-техническом совещании по строительству автомобильных дорог в 1963 г., XXVII—XXXI научно-технических конференциях кафедр ТашИИТа в 1963—1967 гг., совещании по сооружению земляного полотна в сложных природных условиях и Юбилейной сессии АН УзССР, посвященной 50-летию Советской власти.

Основные разделы диссертации изложены в 17 работах: ж. Автомобильные дороги № 4, 1962; № 2, 1965; тезисы докладов конференций кафедр ТашИИТа 1963—1967; ДАН УзССР № 8, 1965; Сб. Доклады и сообщения на научно-техническом совещании по строительству автомобильных дорог. М., 1963; Исследование устойчивости земляного полотна из засоленных грунтов. Автотрансиздат, 1963; ж. «Строительство и архитектура Узбекистана» № 4, 1966; № 6, 1966; № 12, 1966; Сб. физико-химическая механика почв, грунтов, глин и строительных материалов. Изд. Фан УзССР, Ташкент, 1966; предложения по уточнению классификации засоленных грунтов для дорожного строительства. М., СоюзДорНИИ, 1966; Сб. Сооружение и эксплуатация земляного полотна в районах распространения засоленных грунтов и подвижных песков. М., Изд-во Транспорт, 1966; Труды СоюзДорНИИ № 18, 1967.

Союз ДорНИИ Средаз филиал

---

Сдано в набор 17/XI—1967 г.      Подписано к печати 27/XI—1967 г.  
Р 10969      Объем 1,75 п. л.      Заказ 2467      Тираж 250

---

Типография № 6 Государственного комитета по печати при Совете Министров УзССР  
гор. Ташкент, ул. Т. Шевченко, 52.