Л № 1788

ПОЧВОВЕДЕНИЕ

ПОД РЕДАКЦИЕЙ

В. Р. Вильямса, Д. Г. Виленского, А. А. Ярилова

PEDOLOGY

EDITORS

Prof. Dr. W. Williams, Prof. Dr. Vilensky, Prof. Dr. A. Yarilov

1934 № 2

22 АВГ 1934

Ленинградский ... институт ... им. М. Горького ... им. А. С. Бубнова

BOARD OF UNIVERSITIES AND RESEARCH INSTITUTIONS OF THE PEOPLE'S COMMISSARIAT FOR EDUCATION

STATE TECHNICAL-THEORETICAL EDITORIAL OFFICE

ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СОЛОНЦОВ И ИХ ИЗМЕНЕНИЕ ПРИ ДЕЙСТВИИ СОЛЕЙ

В. В. Охотин и *О. Ф. Смирнова* (Ленинград)

Трудами акад. К. К. Гедройца выяснена громадная роль в почве поглощающего комплекса и состава его поглощенных оснований.

Замена в комплексе почвы одного основания на другое сопровождается глубоким изменением всего строения почвы, а вместе с этим должны происходить большие изменения и в ее физических и механических свойствах. Особенно сильно должны изменяться эти свойства почвы, насыщенной Ca, при замене последнего на Na, т. е., когда почва из чернозема превращается в солонец, так как при этом сильно изменяется гранулометрический состав, от которого существенно зависят физико-механические свойства почвогрунтов.

Насколько изменяется гранулометрический состав почвы, насыщенной кальцием при замещении последнего натрием, видно из анализов, произведенных Гедройцем[1] с естественным черноземом, насыщенным Ca и отчасти Mg и с тем же черноземом после насыщения его натрием. При этих анализах оказалось (табл. 1), что количество в черноземе тонких глинистых частиц после насыщения натрием значительно увеличилось.

ТАБЛИЦА 1 — TABLE 1

Диаметр частиц в *мм* Diameter of particles in *mm*	0,25—0,01	0,01—0,005	0,005—0,001	< 0,001
Чернозем естествен. Natural chernozem	15,2%	26,3%	15,6%	37,9%
Чернозем, насыщенный Na. Chernozem saturated with Na	13,0%	19,2%	15,6%	57,2%

Для выяснения влияния состава поглощенных оснований на физические и механические свойства почвогрунтов нами был взят обыкновенный чернозем б. Тульской губ. (гор. А с глубины 10—40 *см*) и пермская бескарбонатная глина из-под Вятки (образец с глубины 4 *м*), не содержавшая гумуса. Последняя была взята в целях выяснения значения алюмосиликатного поглощающего комплекса на физико-механические свойства почвогрунтов. В обоих образцах был определен состав поглощенных оснований, емкость поглощения, гранулометрический состав и изучены свойства прилипания, пластичности, размокания в воде, сопротивление раздавливанию и сопро-

тивление вдавливанию. Все свойства определялись как в естественных образцах, так и в образцах, насыщенных натрием. Натрием образцы насыщались путем обработки их 1 *n* раствором хлористого натрия, избыток которого (NaCl) после полного насыщения удалялся диализом.

Чернозем и глина в их поглощающем комплексе, как видно из табл. 2, содержали только Ca и Mg, причем Mg содержался в значительно меньших количествах, чем Ca. Емкость поглощения у глины оказалась больше, чем у чернозема, отсюда можно думать, что у почв очень существенное значение в процессах физико-механической поглотительной способности имеет минеральная ее часть и что в грунтах, так же как и в почвах, величина поглощающего комплекса и состав его поглощенных оснований будет сильно влиять на их физико-механические свойства, а следовательно, и на их строительные качества.

ТАБЛИЦА 2 — TABLE 2

Наименование образца Name of sample	% Ca по отношен. к весу почвы. Proportion of Capercentage to weight of soil	% Mg по отношен. к весу почвы 0/0 of Mg as related to weight of soil	Емкость поглощения в Ca по отнош. к весу почвы в % Absorbtion capacity of Ca as related to the w ight of soil in per cents	Емкость поглощ. в *м-экв* Absorbtion capacity in milliequinalents.
Чернозем . . . . . Chernozem	0,52	0,066	0,63	31.5
Вятск. глина . . . . Clay from Viatka . .	0,557	0,147	0,801	40,1

При определении гранулометрического состава образцов естественных и образцов, насыщенных натрием, результаты получились те же (табл. 3), что и в опытах акад. К. К. Гедройца, т. е. количество глинистых частиц после насыщения образцов натрием значительно увеличилось. Так, если чернозем в естественном виде представлял собой средний пылеватый суглинок, то после насыщения натрием по классификации [2], принятой в дорожном деле, он должен быть отнесен к тяжелым пылеватым суглинкам. Глина вятская, в естественном состоянии являющаяся пылеватым суглинком, после насыщения натрием должна быть отнесена к глинам.

В связи с существенным изменением гранулометрического состава образцов, не менее существенно изменились и их физико-механические свойства—липкость, пластичность, размокание в воде и сопротивление раздавливанию.

Липкость естественного чернозема, как видно из диаграммы (рис. 1), значительно меньше липкости того же чернозема после насыщения его поглощающего комплекса натрием. Если взять максимальную величину прилипания, то она в черноземе, насыщенном натрием, в два слишком раза больше, чем в естественном, в первом она равняется 212,6 *г/см*², во втором только 99,2 *г/см*². Не менее существенно изменился и интервал влажностей, в котором грунт обладает прилипанием более 80 *г/1 см*². Этот интервал назван нами „интервалом вредных влажностей“ в отношении прилипания, так как грунты в этом интервале при проезде по дороге налипают на колеса повозок. Интервал вредных влажностей в естественном черноземе

ТАБЛИЦА 3 — TABLE 3

Наименование образца Name of sample	0,5—0,25 *мм*	0,25—0,05 *мм*	0,05—0,01 *мм*	0,01—0,005 *мм*	0,005—0,001 *мм*	<0,001 *мм*
Чернозем естественный . . . Natural chernozem	—	3,46%	51,19%	26,66%	8,60%	7,31%
Тот же чернозем, насыщенный натрием The same chernozem saturated with Na	—	2,26	50,03	7,65	2,55	24,74
Глина из-под Вятки . . . . . Clay from Viatka	3,86	24,65	19,14	24,14	4,57	13,05
Та же глина, насыщенная натрием . . . . . The same clay saturated with Na	4,77	23,80	12,75	10,33	3,24	41,01

равняется 6% (при содержании в нем воды от 19,5 до 25,5%), в черноземе же, насыщенном натрием, он увеличился до 15,5% (от 17 до 32,5%), т. е. увеличился вдвое. Следовательно, чернозем, при переходе его в солонец, в распутицу значительно дольше будет являться липким и липкость его будет значительно большая.

Не менее существенно изменилось свойство прилипания и в глине из-под Вятки, как это видно на той же диаграмме. Максимальное прилипание в естественной глине равнялось 345 *г/см²*, у глины же, насыщенной натрием, оно поднялось до 661 *г/см²*, т. е. почти вдвое, причем нужно отметить, что этой величины прилипание не достигает даже в такой тяжелой глине, как глуховский каолин (максимальное прилипание каолина равно 540 *г/см²*). Интервал вредных влажностей увеличился в данном случае также сильно, как и в черноземе, а именно, он возрос с 25% у естественной глины до 33% у глины, насыщенной натрием. Большое увеличение прилипания чернозема и глины после насыщения их натрием указывает на то, что микроструктура их при этом уничтожается, и глинистые частицы в большой степени увеличивают свою дисперсность, а вместе с этим и удельную поверхность.

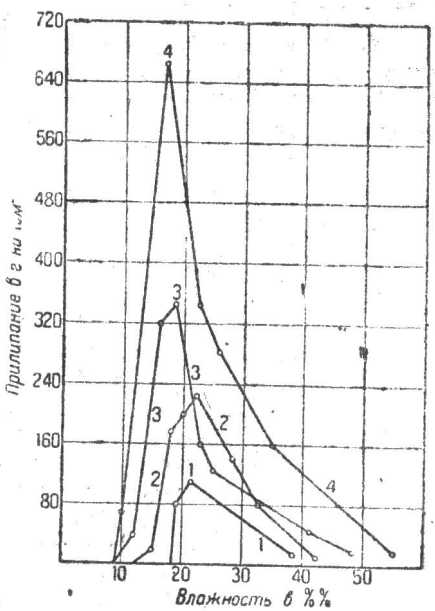

Рис. 1. Прилипание чернозема и глины из-под Вятки: *1* — естественный чернозем, *2* — насыщенный, *3* — естественная вятская глина, *4* — насыщенная.

Сильно увеличилось у чернозема и глины из-под Вятки и свойство пластичности при насыщении их натрием (табл. 4), что также указывает на увеличение дисперсности их глинистой части. Особенно большое увеличение пластичности наблюдается у чернозема. По Аттербергу естественный чернозем должен быть отнесен к 3-му классу пластичности, после же насыщения его натрием он относится к грунтам 1-го класса пластичности.

ТАБЛИЦА 4 — TABLE 4

Наименование образца Name of sample	Нижняя граница текучести Lower limit of fluidity	Граница раскатывания в проволоку Limit of roleing in to wire form	Число пластичности Plasticity number
Чернозем естественный . . . Natural chernozem	22,53	15,80	6,73
Чернозем, насыщенный натрием . . . . . . Chernozem saturated with Na	26,97	9,99	16,98
Глина из-под Вятки естественная . . . . . . Clay from Viatka natural . . .	28,11	11,93	16,18
Та же глина, насыщенная натрием . . . . . . The same clay saturated with Na	30,73	10,18	20,55

В черноземе и глине при насыщении их поглощающего комплекса натрием изменялась также и способность противостоять размывающему действию проточной воды. При изучении размокания из образцов готовились цилиндрики, имевшие площадь основания 2 *см*^{2}

ТАБЛИЦА 5 — TABLE 5

Наименование образца Name of sample	Время размокания в минутах Time of getting soft from soaking, in minutes
Чернозем естественный . . . Natural chernozem	16 мин.
Тот же чернозем, насыщенный натрием . . . . . . The same chernozem saturated with Na	57 м. 30 с.
Глина из-под Вятки естественная . . . . . . Clay from Viatka, natural . .	11 м. 30 с.
Та же глина, насыщенная натрием . . . . . . The same clay saturated with sodium (Na)	30 м. 12 с.

и высоту 2 *см*. Эти цилиндрики испытывались в приборе Охотина [2]. Времени для размокания образцов, насыщенных натрием, потребовалось как при испытании чернозема, так и глины из-под Вятки в три раза больше, чем для образцов естественных, как это видно из табл. 5.

При насыщении образцов натрием увеличилась также и их связность в сухом состоянии, как это можно видеть из цифр сопротивления раздавливанию, приведенных в табл. 6. (Сопротивление раздавливанию изучалось на кубиках 2 × 2 × 2 *см*, высушенных при 105° С.)

ТАБЛИЦА 6 — TABLE 6

Наименование образца Name of sample	Сопротивление раздавливанию в *кг/см²* Resistance to crushing in kg/cm²
Чернозем естественный . . . Natural chernozem	44,0
Тот же чернозем, насыщенный натрием . . . . . . The same chernozem saturated with Na	65,7
Вятская глина естественная . Clay natural from Viatka	135,0
Та же глина, насыщенная натрием . . . . . . The same clay saturated with Na	146,0

Изучение сопротивления вдавливанию образцов при разных содержаниях влажности показало, что это свойство не изменилось в черноземе и в вятской глине при насыщении их натрием, как это видно из диаграммы (рис. 2). Это явление объясняется тем, что в грунтах, при увеличении содержания глинистых частиц свыше 15% сопротивление вдавливанию не увеличивается, а иногда даже уменьшается [3].

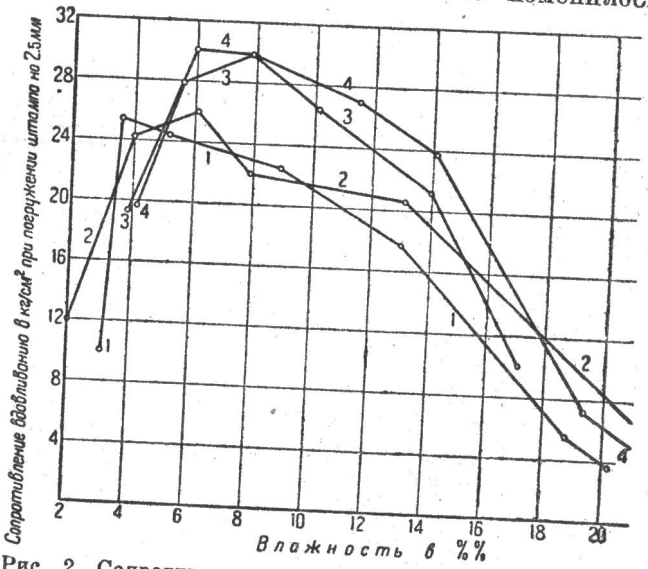

Рис. 2. Сопротивление вдавливанию вятской глины и чернозема: *1* — естественный чернозем, *2* — насыщенный натрием чернозем, *3* — естественная вятская глина, *4* — насыщенная натрием глина.

Таким образом свойства почвогрунтов, имеющие большое значение как в дорожном деле, так и в агротехнике — пластичность, липкость, сопротивление раздавливанию, размокание — в большой степени обусловливаются составом обменных оснований поглощающего комплекса почвогрунта.

Изменение физических свойств почвогрунтов в зависимости от степени насыщения их натрием

Природные солонцы с поглощающим комплексом, целиком насыщенным натрием, встречаются сравнительно редко, в большинстве

случаев натрий составляет только часть оснований, однако такие почвы являются уже по своему строению типичными солонцами и потому представляет значительный интерес выяснить, как изменяются свойства почвогрунтов с увеличением насыщения их поглощающего комплекса натрием.

ТАБЛИЦА 7 — TABLE 7

Число обработок чернозема 0,1 *n* раствором NaCl Number of dressings of chernozem with a 0,1 *n* solution of NaCl	1	2	3	5	8	До полного вытеснения кальция Until complete displacement of calcium
Содержание Na от веса взятой почвы в % Content of Na from weight of soil taken in %	0,0669	0,0808	0,856	0,2197	0,2709	0,3843
% содержания Na в поглощающем комплексе Percentage of Na content in the absorbing complex	17,4	21,0	22,3	57,0	70,4	100

Для выяснения данного вопроса был взят чернозем ЦЧО, и обработан хлористым натрием следующим образом. Брались отдельные навески в 100 *г* и в течение 1 мин. взбалтывались с 1 *л* 0,1 *n* раствора хлористого натрия. После отстаивания раствор отфильтровывался, а почва снова обливалась таким же количеством раствора хлористого натрия и т. д. По окончании обработки содержащийся в образцах избыток хлористого натрия удалялся диализом. Таким образом был приготовлен ряд образцов, с разным числом повторных обработок; в зависимости от количества обработок содержание натрия в образцах было следующее (см. табл. 7).

ТАБЛИЦА 8 — TABLE 8

Наименование образца Name of sample	Нижняя граница текучести Lower limit of fluidity	Граница раскатывания в провол ку Limit of rolling into wire form	Число пластичности Plasticity number
Чернозем естественный Natural chernozem	27,63	13,46	14,17
Чернозем, обработанный NaCl 1 раз Chernozem dressed with NaCl once	30,53	13,68	16,85
То же 2 раза The same, twice	29,21	11,87	17,34
То же 5 раз The same, five times	29,33	11,07	18,26
То же 8 раз The same, eight times	30,48	12,26	18,22

Во всех образцах после доведения их до воздушно-сухого состояния были определены: пластичность, объемная усадка и сопротивление раздавливанию.

Пластичность чернозема при последовательных обработках его хлористым натрием наиболее существенно увеличилась только после первой обработки, т. е. когда натрия содержалось 17,4% в поглощающем комплексе, дальнейшее же повышение его содержания большого изменения в свойстве пластичности не вызывало, как это видно из табл. 8

При излучении прилипания в тех же образцах оказалось, что величины максимальных прилипаний увеличиваются значительно и более или менее равномерно, когда содержание натрия в поглощающем комплексе возрастает до 57%, при дальнейшем же насыщении чернозема натрием увеличение максимального прилипания хотя и наблюдается, но более медленное. Что касается интервала влажностей, при которых почвогрунт имеет прилипание более 80 *г/см²*, то этот интервал при содержании натрия, равном 17%, сильно увеличивается по сравнению с тем, что дает естественный чернозем, а именно — он возрастает с 9 до 22%, дальнейшее же насыщение поглощающего комплекса натрием на увеличение этого интервала сказывается слабо. Данные изменения прилипания приведены в табл. 9, а для некоторых образцов также и в виде кривых на диаграмме (рис. 3).

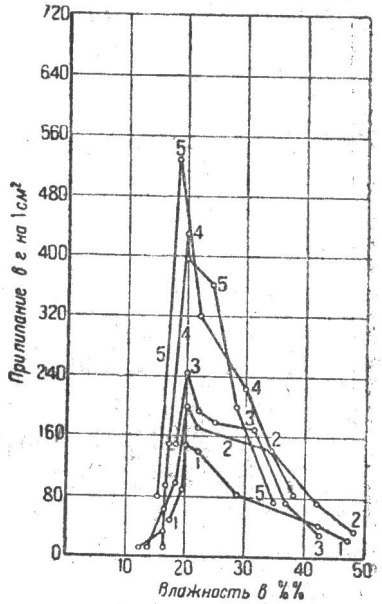

Рис. 3. Прилипание чернозема при разных степенях насыщенности натрием: *1* — чернозем естественный, *2* — чернозем, обработанный NaCl 1 раз, *3* — чернозем, обработанный NaCl 2 раза, *4* — чернозем, обработанный NaCl 5 раз, *5* — чернозем, обработанный NaCl до полного насыщения Na.

Объемная усадка образцов изучалась на кубиках 3 × 3 × 3 *см*. Кубики готовились при нижней границе текучести и затем просыхали сначала при комнатной температуре до воздушно-сухого состояния, а затем в сушильном шкафу, при 105° С. Усадка определялась на приборе Богданова [4]. Результаты испытаний приведены на табл. 10.

Как видно из полученных результатов, увеличение усадки наблюдается при содержании 17,4% натрия в поглощающем комплексе, дальнейшее же увеличение его содержания почти не увеличивает усадки. В этом отношении поведение образцов подобно тому, что наблюдалось при изучении пластичности и липкости в отношении интервала вредных влажностей,

Сопротивление раздавливанию в образцах также изменилось и при этом оно возрастало с увеличением степени насыщенности натрием более или менее равномерно и только при полном насыщении натрием оно понизилось, как это видно из табл. 11.

Это понижение сопротивления раздавливанию объясняется тем, что данное свойство зависит не только от содержания в грунте глинистых частиц, но также от количественных соотношений в нем более крупных частиц, при соотношениях, дающих малую пористость, сопротивление раздавливанию больше, при других же комбинациях, дающих большую пористость, оно значительно уменьшается.

ТАБЛИЦА 9 — TABLE 9

Естествен. чернозем Natural chernozem		Черноэем, обработанный NaCl 1 раз Chernozem, once dressed with NaCl		Черноэем, обработанный NaCl 2 раза Chernozem twice dressed with NaCl		Черноэем, обработанный NaCl 3 раза Chernozem dressed with NaCl three times		Черноэем, обработанный NaCl 5 раз Chernozem five times dressed with NaCl		Черноэем, в котором все основания замещены на натрий Chernozem all bases are replaced by sodium	
Содержание воды в % Content of water in %	Прилипание в г/см² Adhesion in g/cm²	Содержание воды в % Content of water in %	Прилипание в г/см² Adhesion in g/cm²	Содержание воды в % Content of water in %	Прилипание г/см² Adhesion in g/cm²	Содержание воды в % Content of water in %	Прилипание в г/см² Adhesion in g/cm²	Содержание воды в % Content of water in %	Прилипание в г/см² Adhesion in g/cm²	Содержание воды в % Content of water in %	Прилипание в г/см² Adhesion in g/cm²
17,51	42,9	11,9	3,3	13,5	3,8	9,7	2,8	12,8	0	14,1	1,0
19,5	93,7	14,6	6,1	16,9	34,8	12,5	15,7	15,1	4,2	16,2	77,9
20,8	157,4	17,8	78,1	18,9	156,9	14,4	21,3	16,6	4,2	17,1	228,1
—	—	18,7	119,3	—	—	—	—	17,1	54,4	18,7	528,5
22,8	115,0	20,0	177,1	20,9	239,8	16,2	144,4	17,5	94,4	20,4	395,4
25,3	117,4	20,5	202,1	22,6	181,8	17,5	118,6	18,5	150,3	24,6	365,0
28,9	80,3	22,5	172,3	25,4	178,0	19,4	237,8	19,5	171,2	—	—
42,2	54,0	34,8	140,0	3 ,1	168,8	19,7	251,8	20,0	430,0	28,9	200,0
47,8	32,6	39,8	75,6	38,7	71,6	28,1	180,7	21,3	318,8	36,4	72,9
—	—	49,0	45,6	42,1	25,1	34,1	112,7	30,5	227,1	—	—
—	—	—	—	—	—	39,3	65,9	38,4	38,3	—	—

Таким образом большинство физико-механических свойств в почвогрунте изменяется наиболее сильно с увеличением содержа-

ТАБЛИЦА 10 — TABLE 10

	Чернозем. естествен. Natural chernozem	Чернозем. обработан NaCl 1 раз Chernozem once dressed with NaCl	Чернозем. обработан. NaCl 2 раза Chernozem twice dressed with NaCl	Чернозем. обработан. NaCl 5 раз Chernozem five times dressed with NaCl	Чернозем. обработан. NaCl 8 раз Chernozem eight times dressed with NaCl	Чернозем, обработан. до полного насыщения Chernozem dressed until complete saturation
Усадка объемн. в % Volume shrinkage in %	27,7	30,6	30,6	30,9	30,9	30,9

ТАБЛИЦА 11 — TABLE 11

	Естествен чернозем Natural chernozem	Чернозем, обработан. NaCl 1 раз Chernozem once dressed with NaCl	Чернозем, обработан. NaCl 2 раза Chernozem twice dressed with NaCl	Чернозем, обработан. NaCl 5 раз Chernozem five times dressed with NaCl	Чернозем, обработан. NaCl 8 раз Chernozem eight times dressed with NaCl	Чернозем, обработан. NaCl до полного насыщения Na Chernozem dressed with NaCl until complete saturation
Временное сопротивл. раздавливанию *кг/см²*	79	92	101	112	120	101

ния обменного натрия в его поглощающем комплексе до 17%, дальнейшее же его насыщение натрием изменяет эти свойства сравнительно мало.

Изменение физико-механических свойств солонцов добавками солей

Если насыщение в той или другой степени поглощающего комплекса почвогрунта натрием усиливает глинистые его свойства, то наличие в нем солей и других соединений, способных электролитически диссоциировать, должно действовать в обратном направлении, уничтожая диспергирующее влияние гидроксильного иона, возникающего в почвогрунте при переходе катиона натрия из поглощающего комплекса в раствор.

Наличие солей, если их концентрация выше их электролитического порога, коагулирует суспензии, причем, так как главная масса тонких частиц в почвогрунте заряжена отрицательно, коагулятором является катион. В качестве коагулятора могут быть применены как соли с одновалентными основаниями, так и с двухвалентными и трехвалентными.

Чтобы выяснить, как влияет наличие солей с одновалентным катионом на физико-механические свойства почвогрунтов, содержащих в поглощающем комплексе натрий (солонцов), была взята глина

из-под Вятки, предварительно насыщенная натрием, и к ней было прибавлено 4% хлористого натрия. Прилипание глины, насыщенной натрием, после прибавления к ней хлористого натрия, как видно из рис. 4, снизилось очень существенно, а именно: максимальное прилипание с 660 *г/см²* упало до 320, интервал влажностей, в котором прилипание больше 80 *г/см²*, сузился с 32,5 до 25%, и в общем, кривая прилипания получилась очень близкой к кривой прилипания естественной глины, насыщенной кальцием и магнием.

Не менее существенно изменилась в сторону уменьшения и пластичность глины, а именно, — число пластичности по Аттербергу упало с 20,55 до 15,65, т. е. оно получилось даже несколько меньше, чем у естественной глины, число пластичности которой равно 16,18.

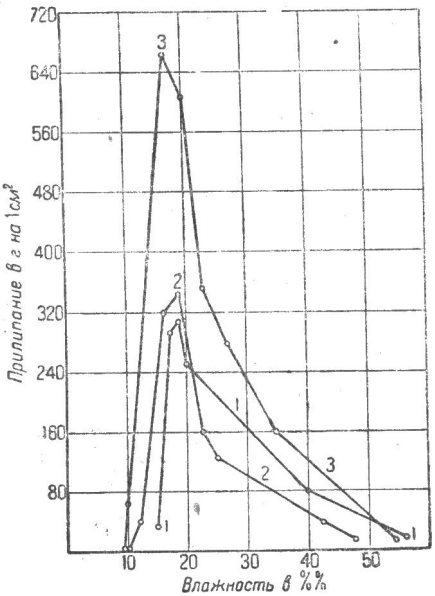

Рис. 4. Прилипание вятской глины с добавлением NaCl: *1*—вятская глина, насыщенная Na + 4% NaCl, *2*—естественная вятская глина, *3*—вятская глина, насыщенная Na.

Что касается размокания, то глина с хлористым натрием размокает быстрее даже естественной глины. Возможно на размокание влияет в данном случае наличие растворимой соли: в грунте образуются пустоты и создается более свободный доступ воды в грунт.

Далее, уменьшилось в грунте сопротивление раздавливанию, а именно: оно оказалось равным 85,5 *кг/см²*, тогда как естественная глина давала 135 *кг/см²* и глина, насыщенная натрием, — 146 *кг/см²*.

На основании этих опытов можно притти к выводу, что в натриевых солончаках, поглощающий комплекс которых содержит в значительных количествах натрий, физические свойства будут существенно отличны от солонцов и в дорожном отношении они будут более благоприятны, до тех пор пока они остаются солончаками, т. е. содержат заметные количества солей, — тонкодисперсные частицы, обусловливающие большую липкость и пластичность, будут скоагулированы.

Хотя прибавки солей с одновалентными основаниями существенно изменяют физические свойства солонцов, но все же внесение их в дорожную одежду будет нецелесообразно. Эти соли, являясь легко растворимыми, при выпуклом и приподнятом профиле полотна дороги, легко будут вымываться из него даже в местности с малым количеством выпадающих осадков, после же их вымывания все вредные свойства солонцов проявятся в полной мере, так как тогда в почвогрунте не будет коагулятора. Поэтому наиболее рациональными являются прибавки солей с двухвалентными основаниями, которые, вызывая коагуляцию тонких частиц грунта, в то же время вступают в обменную реакцию с поглощающим комплексом солонца, вытесняя из него натрий; если соли будет дано в соответствующем количестве, при достаточной степени ее растворимости, натрий со временем целиком будет вытеснен из поглощающего комплекса; вследствие чего,

после вымывания добавленной соли из почвогрунта, последний не сделается солонцеватым, так как поглощающий комплекс его будет насыщен двухвалентным основанием, а поэтому и вредные свойства солонцов не восстановятся.

Для выяснения влияния солей с двухвалентным основанием на физические свойства солонцов были взяты хлористый кальций и гипс, а также гидрат кальция, вносившийся в виде известкового молока; эти вещества прибавлялись в разных количествах к вятской глине после насыщения ее поглощающего комплекса натрием.

Хлористый кальций является солью легко растворимой и потому обменная реакция между ним и поглощающим комплексом почвогрунта должна быстро привести к полному замещению натрия в комплексе на кальций. Однако вследствие большой растворимости хлористого кальция (в 100 частях холодной воды растворяется 166,7 частей безводного $CaCl_2$) значительная часть его будет из почвогрунта бесполезно вымываться, кроме того, эта соль является сравнительно дорогой. Эти обстоятельства ограничивают ее применение и она может иметь практическое значение только местное, при получении ее как отброса, например, при содовом производстве. Растворимость гипса — небольшая ($CaSO_4 2H_2O$ при 18° С растворяется 0,205 на 100 частей воды) и эта соль будет вымываться из дорожного полотна значительно меньше; действие ее будет продолжительное, и при внесении ее в соответствующих количествах с течением времени (хотя и несравнимо медленнее, чем при внесении хлористого кальция), натрий поглощающего комплекса в почвогрунте будет замещен кальцием. К преимуществам этой соли перед хлористым кальцием нужно отнести и ее меньшую стоимость и то, что этой соли для замещения натрия нужно вносить меньше. Что касается извести, то растворимость ее несколько больше, чем гипса (из обожженного мрамора растворимость CaO при 0°—0,138 %), однако в почвогрунте растворимость ее будет уменьшаться, так как часть гидрата под действием углекислоты почвенного воздуха будет переходить в карбонат кальция, малорастворимый в воде (растворимость $CaCO_3$ в воде, насыщенной CO_2, около 0,1 *г/л*). Благодаря сравнительно лег-

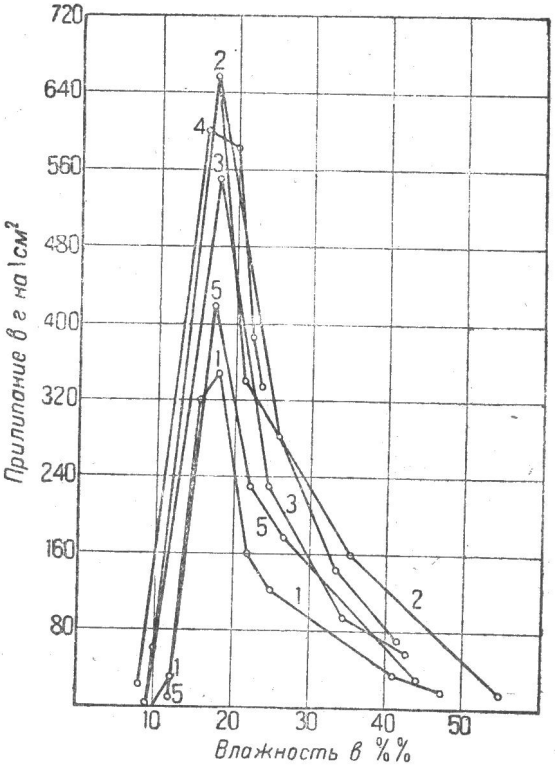

Рис. 5. Прилипание вятской глины с добавкой $CaCl_2$: *1*—естественная вятская глина, *2*—глина, насыщенная Na, *3*—глина, насыщенная Na + + 0,05% $CaCl_2$, *4*—глина, насыщенная Na + 0,1% $CaCl_2$, *5*—глина, насыщенная Na + 1% $CaCl_2$.

кому получению извести она имеет большое практическое значение, тем более, что известь не только замещает натрий поглощающего комплекса на кальций, но внесенная в достаточном количестве цементирует всякий грунт в заметной степени и уменьшает его глинистые свойства, как это выяснено работами Яновского [5].

При изучении влияния добавок хлористого кальция к вятской глине, насыщенной натрием, хлористый кальций вносился в количе-

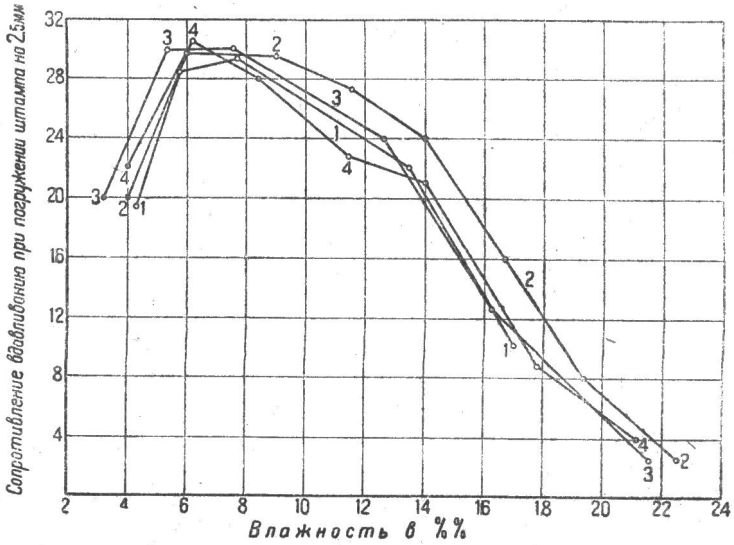

Рис. 6. Сопротивление вдавливанию вятской глины с добавками $CaCl_2$: *1*—вятская глина естественная, *2*—вятская глина насыщенная Na, *3*—вятская глина, насыщенная Na + 0,05% CaCl, *4*—вятская глина, насыщенная Na + 0,1% $CaCl_2$.

ствах 0,05, 0,1 и 1% от веса грунта. Для лучшего смешения хлористого кальция с глиной, он вносился в виде очень разбавленного раствора, так что при смешении его с грунтом масса получалась

ТАБЛИЦА 12 — TABLE 12

Наименование грунта Name of ground	Максимальное прилипание в г/см² Maximum adhesion in g per cm²	Число пластичности Plasticity number	Время размокания в мин. Time of getting soft from soaking	Сопротивление раздавливани в кг/см² Resistance to crushing in kg/cm²
Глина, насыщенная Na Clay saturated by Na	661,2	20,55	30,2	146,2
Та же глина + 0,05% $CaCl_2$ The same clay + 0,05% $CaCl_2$	556,0	17,30	—	—
Та же глина + 0,1% $CaCl_2$ The same clay + 0,1% $CaCl_2$	605,0	16,7	12,5	99,8
Та же глина + 1,0% $CaCl_2$ The same clay + 1,0% $CaCl_2$	415,0	16,58	—	—
Глина естественная Natural clay	345,5	16,18	11,5	135,0

в полужидком состоянии. Затем масса высушивалась при частом помешивании на водяной бане и высушенная просеивалась через сито в 1 *мм*. Таким же образом производилась подготовка и при добавках

гипса. Изменение физических свойств глины при добавках к ней хлористого кальция приведено в табл. 12, а также на диаграммах (рис. 5, 6, 7)

Как видно из полученных результатов, прилипание глины, насыщенной натрием, при добавках к ней хлористого кальция в 0,05% и 0,1%, хотя и уменьшается, но все же оно значительно больше, чем в естественной глине; при следующей добавке хлористого кальция в 1,0% оно очень близко как в отношении максимальной величины, так и в отношении интервала вредных влажностей к тому, что дает естественная глина. Если принять во внимание величину поглощающего комплекса данного грунта, сумма оснований которого при перечислении на Ca равна 0,801%, то данные добавки не могли за-

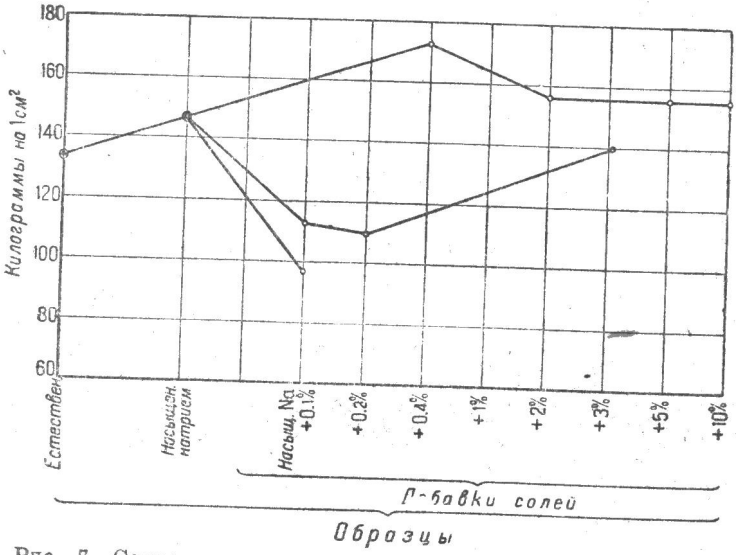

Рис. 7. Сопротивление раздавливанию. Добавки: 1) гипса, 2) хлоркальция, 3) извести.

местить всего натрия на кальций и все же наличие кальция в растворе почвогрунта, равное 45% емкости поглощения (что имеет место при добавке 1% $CaCl_2$ к вятской глине), уже существенным образом уменьшает вредные свойства солонца и приближает их к тем величинам, какие получаются в почвогрунте при полном насыщении его кальцием.

Пластичность глины уменьшается существенно уже при малых добавках хлористого кальция и при внесении его в количестве, равном 0,1%, пластичность уменьшается до величины, наблюдаемой в естественной глине.

Что касается сопротивления вдавливанию, то оно от добавок хлористого кальция не изменилось, как это видно из диаграммы (рис. 6).

Для выяснения влияния добавок гипса на физико-механические свойства солонца, бралась та же вятская глина, предварительно насыщенная натрием и потом продиализованная. Гипс прибавлялся в количествах 0,05%, 0,1%, 0,2%, 0,4%, 1,0%, 2,0%, 5,0%, и 10,0% от веса взятого грунта.

Изменение прилипания глины в зависимости от добавок гипса

ТАБЛИЦА 13

Прилипание глины с добавками гипса

TABLE 13

Adhesion of clay with additons of gypsum

Глина естествен. Natural clay		Глина, насыщен. натрием Clay saturated with Na		Глина, насыщенная натрием с добавками: Clay, saturated with Na with additions of: 0,05% гипса 0,05% gypsum		0,1% гипса 0,1% gypsum		0,2% гипса 0,2% gypsum		0,4% гипса 0,4% gypsum		1% гипса 1% gypsum		2% гипса 2% gypsum		5% гипса 5% gypsum	
% воды % of water	прилипание на 1 см² в г Adhesion per cm² in g.	% воды % of water	прилипание на 1 см² в г Adhesion per cm² in g.	% воды % of water	прилипание на 1 см² в г Adhesion per cm² in g.	% воды % of water	прилипание на 1 см² в г Adhesion per cm² in g.	% воды % of water	прилипание на 1 см² в г Adhesion per cm² in g.	% воды % of water	прилипание на 1 см² в г Adhesion per cm² in g.	% воды % of water	прилипание на 1 см² в г Adhesion per cm² in g.	% воды % of water	прилипание на 1 см² в г Adhesion per cm² in g.	% воды % of water	прилипание на 1 см² в г Adhesion per cm² in g.
10,6	1,5	11,0	0	10,1	0	9,5	0	—	—	11,3	33	11,5	33	7,4	1,5	8,7	4,8
13,8	40,9	12,4	60	12,3	31,0	13,3	53,4	13,7	47,9	12,5	52,2	13,9	194,2	12,5	12,4	10,8	10,2
14,3	82,4	13,1	64	14,6	155	16,9	307,8	16,5	172,6	13,3	214,6	14,3	207,9	14,2	164,3	12,7	69,8
14,4	135,3	15,0	176	15,2	391	18,5	502,1	17,6	542,4	15,0	497,8	16,0	564,8	16,2	503,2	16,8	337,1
15,4	249,0	16,6	324	17,5	482	19,6	463,9	18,6	394,1	17,5	538,5	16,2	580,5	17,9	539,8	18,1	397,5
17,8	328	17,4	661	20,5	403	22,0	315,5	22,1	297,1	19,5	437,0	18,2	397,2	20,4	303,7	18,6	335,2
19,1	345	19,9	451	23,7	308	25,8	269,9	24,8	264,4	23,1	228,7	21,3	335,2	23,5	226,6	20,4	263,7
19,7	309	20,9	423	26,1	259	28,6	230,6	27,5	261,0	27,6	210,2	22,4	235,8	27,7	180,6	24,1	193,3
20,4	246	21,8	371	28,4	238	31,6	184,6	31,4	202,1	308	192,5	26,0	207,5	30,3	173,1	27,7	181,0
22,8	158	22,7	326	32,0	140	34,7	106,4	35,2	111,2	34,5	156,5	28,4	201,5	33,3	149,1	33,5	116,1
24,7	133	23,6	313	34,9	125	38,4	65,4	40,0	87,0	36,4	135,2	32,0	178,2	38,8	101,7	37,9	106,2
33,2	132	25,6	278	38	90	41,7	52,2	—	—	—	—	36,0	123,3	45,1	63,3	—	—
41,3	40,9	27,3	260	41	72	—	—	41,5	80	41,3	80	41,1	105,2	—	—	41,4	80
47,95	21,2	29,1	278	43	47	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
—	—	30,7	210	—	—	—	—	—	—	—	—	44	80	—	—	—	—
—	—	32,1	198	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
—	—	33,3	182	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
—	—	36,6	150	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
—	—	38,5	194	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
—	—	42	110	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
—	—	46	80	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
—	—	47	74,5	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
—	—	51	17,3	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

приведено в табл. 13 и для некоторых концентраций на диаграмме (рис. 8).

Как видно из приведенных данных, добавка гипса в количестве 0,05% значительно снизила как величину максимального прилипания (в глине без гипса оно равно 661,2 *г/см*², с гипсом — 482,2), так и интервала вредных влажностей (который с 32,5 упал до 27%). Дальнейшие добавки гипса до 2% изменения прилипания не вызывали и только при добавках в 5% наблюдается дальнейшее уменьшение прилипания. При этой добавке гипса прилипание глины приближается к тому, что дает и природная глина. Повидимому, снижение прилипания при таких добавках обусловливается цементирующей способностью самого гипса. Нужно отметить, что 5%-ная добавка гипса дала такое же снижение прилипания, как и 1%-ная добавка хлористого кальция.

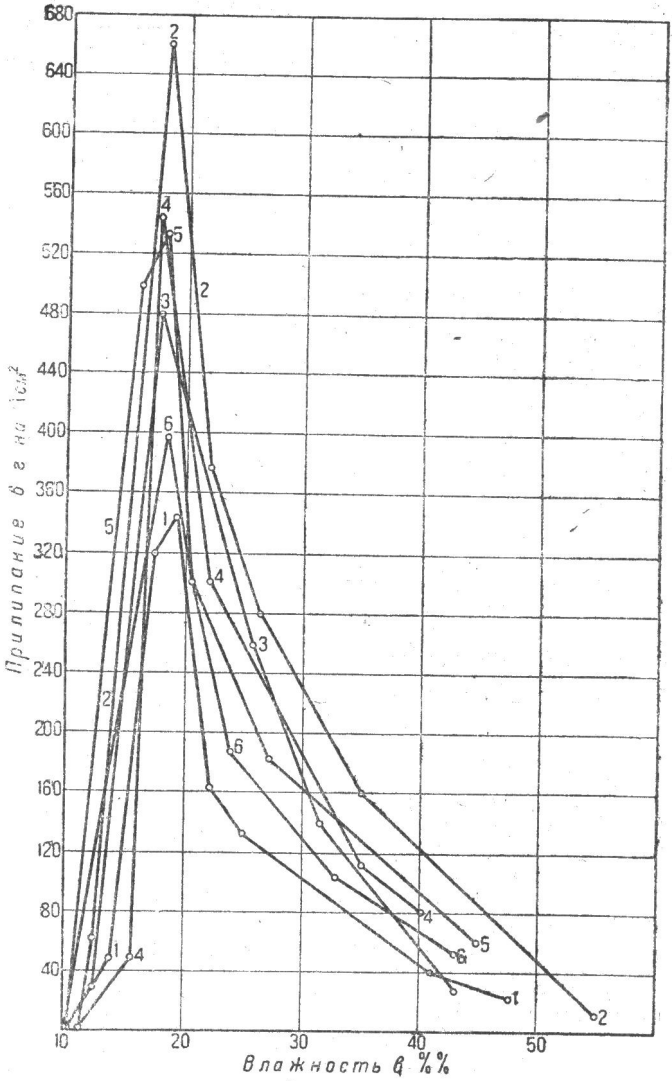

Рис. 8. Применение вятской глины с добавками гипса: *1*—вятская глина естественная, *2*—вятская глина, насыщенная Na, *3*—вятская глина, насыщенная Na + 0,05% $CaSO_4$, *4*—вятская глина, насыщенная Na + 0,2% $CaSO_4$, *5*—вятская глина, насыщенная Na + 2% $CaSO_4$, *6*—вятская глина, насыщенная Na + 5% $CaSO_4$.

Пластичность глины, как видно из табл. 14, уменьшается равномерно с увеличением добавок гипса до 0,4%, при следующей добавке до 1% пластичность, хотя несколько и уменьшается, но значительно меньше, чем при предыдущих добавках и, наконец, дальнейшие добавки в 5 и 10% практически совсем не изменяют пластичности.

Что касается скорости размокания в текучей воде, то небольшие добавки гипса несколько уменьшают время размокания, при добавках же в 2% и выше время размокания то же, что и в глине, не содержащей этой соли (табл. 15).

Временное сопротивление сжатию при всех добавках солей было несколько больше, чем в глине, но это увеличение очень незначительное (табл. 15 и рис. 7).

ТАБЛИЦА 14 — TABLE 14

Наименование грунта Name of ground	Нижняя граница текучести Lower limit of fluidity	Граница раскатывания в проволоку Limit of rolling into wire form	Число пластичности Plasticity number
Вятская глина, насыщенная Na Clay from Viatka saturated with Na	30,75	10,18	20,55
Та же глина + 0,05% гипса The same clay × 0,05% gypsum	30,69	10,51	20,18
Та же + 0,1% гипса	29,93	10,82	19,81
„ + 0,2% „	30,39	11,54	18,85
„ + 0,4% „	28,36	10,39	17,97
„ + 1,0% „	28,30	11,09	17,21
„ + 5,0% „	27,59	11,11	16,48
„ + 10,0% „	28,11	11,63	16,48
Глина естественная Natural clay	28,11	11,93	16,18

ТАБЛИЦА 15 — TABLE 15

Наименование грунта Name of ground	Время размокания в мин. Time of getting soft from soaking in minutes	Сопротивление раздавливанию в *кг/см*² (кубики 2 × 2 × 2 *см*) Resistance to crushing in kg./cm.² (cubes of 2 × 2 × 2 cm.)
Глина, насыщенная Na Clay saturated with Na	30 мин.	146,2
Та же глина + 0,05% гипса The same clay + 0,05% of gypsum	20 „	—
Та же глина + 0,40% гипса	26 „	174,0
Та же глина + 2,0% гипса	28 „	157,0
The same clay + 2,0% of gypsum	32 „	156,0
Та же глина + 5,0% гипса	33 „	157,0
Та же глина + 10,0% гипса		
Глина естественная Natural clay	11 м. 30 с.	135,0

Сопротивление вдавливанию при всех добавках сернокислого кальция, как это видно из диаграммы (рис. 9), осталось такое же как в естественной глине, так и в глине, насыщенной натрием.

При выяснении влияния добавок гидрата кальция на изменения физико-механических свойств солонцов известь в виде неконцентрированного известкового молока прибавлялась к вятской глине, предварительно обработанной хлористым натрием до полного замещения кальция и затем продиализированной. Добавки извести давались в таких количествах, что окиси кальция по отношению к весу грунта содержалось: 0,1, 0,2, 0,4, 1,0, 3,0 и 10%.

Прилипание вятской глины уже при малых добавках (до 1,0%) извести снизилось существенно и приблизилось по величине к тому,

что давала естественная глина. Добавки извести в 3% еще более понизили величину прилипания, максимальное прилипание было меньше прилипания естественной глины на 40 *г/см*², несколько снизился и интервал влажностей, в котором прилипание более 80 *г/см*², как это видно из табл. 16 и диаграммы (рис. 10). Еще более существенное уменьшение прилипания проявилось при 10%-ной прибавке извести. Максимальная величина прилипания понизилась до 159,7 *г/см*², что ниже таковой у естестественной глины более чем в два раза. Сузился значительно и интервал вредных влажностей, с 18% до 13%. При добавке 3% извести, кальция было внесено в грунт больше того, что необходимо для полного вытеснения поглощенного натрия, поэтому уменьшение липкости глины при добавках извести от 3 до

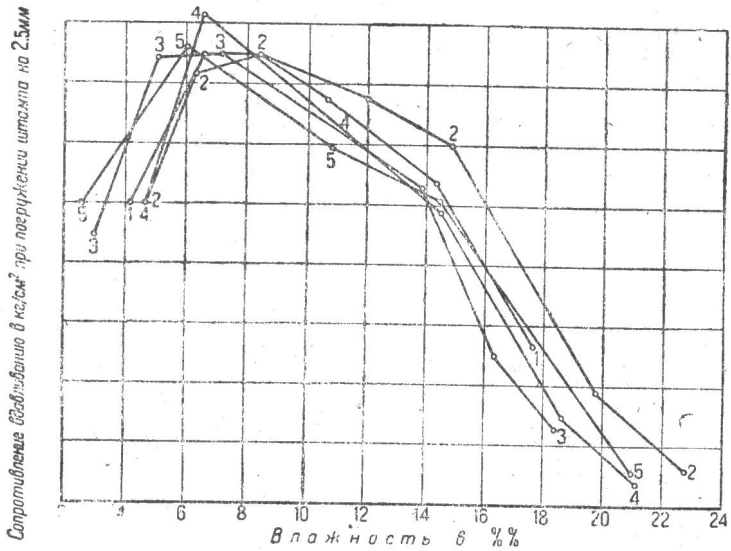

Рис. 9. Сопротивление вдавливанию вятской глины с добавками гипса: *1*—вятская глина естественная, *2*—вятская глина, насыщенная Na, *3*—вятская глина, насыщенная Na + 0,2% $CaSO_4$, *4*—вятская глина, насыщенная Na + 2% $CaSO_4$, *5*—вятская глина, насыщенная Na + 5% $CaSO_4$.

10% объясняется, очевидно, тем, что внесенная в этих количествах в грунт, она начинает действовать как цемент и тем сильнее, чем больше (до известного предела) ее внесено; она склеивает тонкие частицы в более крупные и вследствие этого как бы опесчанивает грунт. Такое действие извести наблюдается на всех грунтах, независимо от состава их поглощенных оснований. Так, при испытании на опытной дорожке глинистых участков [6] из кембрийской глины, естественной и известкованной, оказалось, что при проезде тележки по участкам с естественной глиной во влажном состоянии она очень сильно налипала и по ней, при некоторых влажностях, невозможно было протащить тележку. Участок с известкованной глиной во влажном состоянии, хотя и прорезывался колесами тележки, но налипания не было при всех влажностях.

Существенным образом уменьшается от добавок извести и пластичность солонцов. Так, в опытах при внесении 0,1% извести к вятской глине, насыщенной натрием, число ее пластичности снизилось с 20,55 до 17,4, а при добавках в 0,4% — оно упало до 16,15,

ТАБЛИЦА 16

Прилипание глины, насыщенной натрием, с добавками извести

TABLE 16

Adhesion of clay saturated with sodium with additions of lime

+ 0,1% $Ca(OH)_2$		+ 0,2% $Ca(OH)_2$		+ 0,4% $Ca(OH)_2$		+ 1% $Ca(OH)_2$		+ 3% $Ca(OH)_2$		+ 10% $Ca(OH)_2$	
% воды % of water	Прилипание в г/см² Adhesion in g. per 1 cm.²	% воды % of water	Прилипание в г/см² Adhesion in g. per 1 cm.²	% воды % of water	Прилипание в г/см² Adhesion in g. per 1 cm.²	% воды % of water	Прилипание в г/см² Adhesion in g. per 1 cm.²	% воды % of water	Прилипание в г/см² Adhesion in g. per 1 cm.²	% воды % of water	Прилипание в г/см² Adhesion in g. per 1 cm.²
12,3	49,9	8,5	2,6	10,1	2,1	12,7	14,31	6,6	1,3	13,5	13,5
14,9	291,2	10,5	3,3	11,8	96,0	14,5	270,2	11,7	1,8	16,5	71,7
15,9	398,1	13,1	39,3	13,3	261,5	16,3	376,9	13,4	80,5	19,5	108,7
17,9	467,3	14,5	355,3	14,3	295,8	17,6	307,8	16,1	145,8	20,6	124,7
19,21	373,2	15,7	367,1	15,6	375,2	21,1	352,0	16,6	289	21,3	145,8
22,4	240,5	18,3	355,7	20,3	416,0	25,1	250	19,9	301,7	23,2	159,7
27,2	163,6	21,6	274,7	24,6	248,2	35,3	125,8	22,9	190,4	24,8	129,5
31,8	104,3	28,1	139,2	28,5	229,5	41,8	72,3	25,8	107,6	29,3	86,9
39,4	66,7	31,6	92,9	32,4	140,5			33,3	97	35,6	79,9
		39,8	60,3	36,1	60,2			41,8	52,6	38,9	71,7
		46,1	30,7	41,8	35,5						

ТАБЛИЦА 17 — TABLE 17

Наименование грунта Name of ground	Нижняя граница текучести Lower limit of fluidity	Граница раскатывания в проволоку Limit of rolling into wire form	Число пластичности Plasticity number
Глина вятская, насыщенная Na . . Viatka clay saturated with Na . . .	30,73	10,18	20,55
Та же глина + 0,1% CaO . . . . The same clay + 0,1% CaO	28,63	11,2	17,40
Та же глина + 0,2% CaO . . . . The same clay + 0,2% CaO	27,57	10,62	16,95
Та же глина + 0,4% CaO . . . . The same clay + 0,4% CaO	27,96	11,81	16,15
Та же глина + 3,0% CaO . . . . The same clay + 3,0% CaO	26,84	14,3	12,47
Та же глина + 10,0% CaO . . . . The same clay + 10,0% CaO	26,85	14,9	11,93
Глина естественная . . . . . . Natural clay	28,11	11,91	16,18

т. е. до величины, наблюдаемой в естественной глине, как это видно из табл. 17 и диаграммы (рис. 11). Дальнейшая добавка извести, равная 3%, еще более понизила пластичность глины и она благодаря этой добавке из глин первого класса пластичности перешла во второй класс.

Время размокания в текучей воде изучено было только с малыми добавками извести, а именно с 0,4% и 1,0%. При этих добавках время размокания приблизилось ко времени размокания естественной глины; время размокания при добавке 0,4% снизилось с 20,2 мин. до 15,5 мин., а при добавке 1,0% до 13 мин., каковая величина очень близка к скорости размокания естественной глины равна 11,5 мин. При добавках извести в 5% размокание замедляется весьма сильно и образцы неделями стоят в воде, не изменяя своей формы (Яновский).

Сопротивление глины раздавливанию при малых добавках извести уменьшалось, при добавке же в 3% оно снова повышалось и достигало величины, близкой для глины, насыщенной натрием, как это видно из табл. 18 и рис. 7.

Понижение в глине сопротивления раздавливанию при малых добавках извести объясняется созданием в ней микроструктуры, под

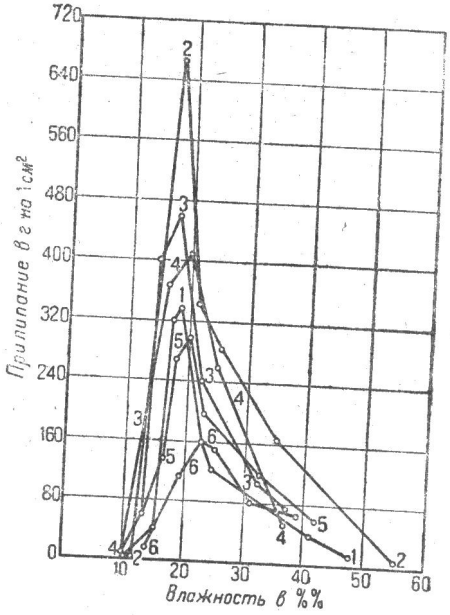

Рис. 10. Прилипание вятской глины, насыщенной Na с добавлением Ca $(OH)_2$: *1*—вятская глина естественная, *2*—вятская глина, насыщенная Na, *3*—вятская глина, насыщенная Na + 0,1% Ca $(OH)_2$, *4*—вятская глина, насыщенная Na + +0,4% Ca $(OH)_2$, *5*—вятская глина, насыщенная Na + 3% Ca $(OH)_2$, *6*—вятская глина, насыщенная Na + 10% Ca$(OH)_2$.

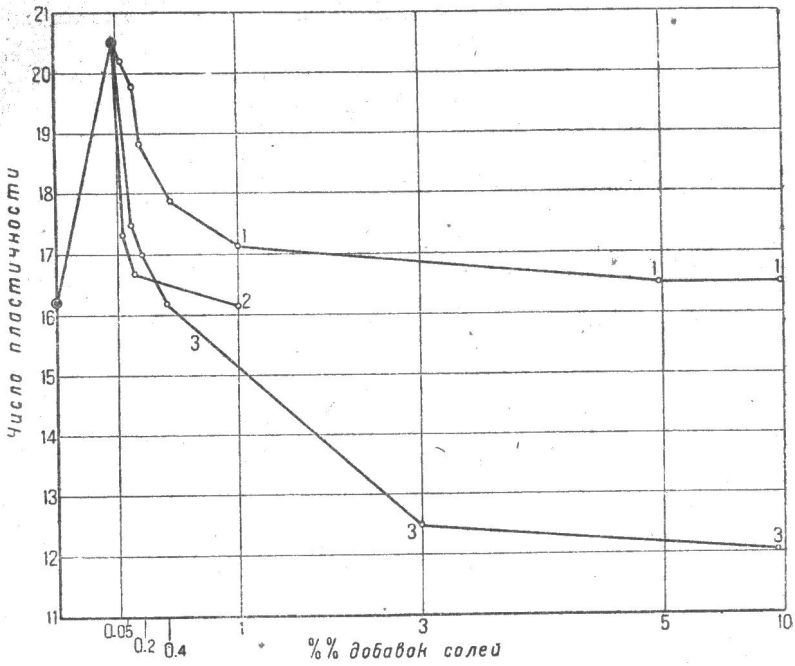

Рис. 11. Пластичность вятской глины, насыщенной Na с добавками солей: *1*—глина с добавками $CaSO_4$, *2*—глина с добавками $CaCl_2$, *3*—глина с добавками $Ca(OH)_2$.

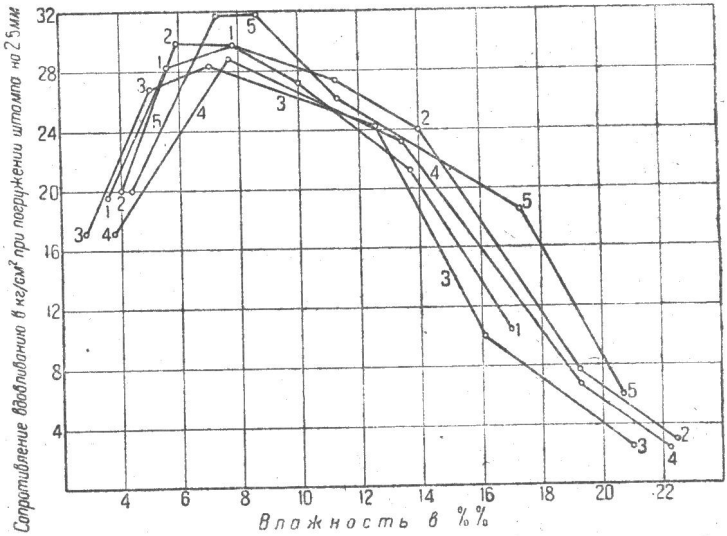

Рис. 12. Сопротивление вдавливанию вятской глины с добавками $Ca(OH)_2$: *1*—вятская глина естественная, *2*—вятская глина, насыщенная Na, *3*—вятская глина, насыщенная Na + 0,1% $Ca(OH)_2$, *4*—вятская глина, насыщенная Na + 1% $Ca(OH)_2$, *5*—вятская глина, насыщенная Na + 3% $Ca(OH)_2$.

влиянием катиона кальция, повышение же сопротивления при больших добавках извести зависит от цементирующих свойств последней, которые при малых добавках не имели практического значения.

ТАБЛИЦА 18 — TABLE 18

Наименование грунта Name of ground	Временное сопротивление *кг/см²* Temporary resistance to compression in kg/cm²
Вятская глина, насыщенная Na . . Viatka clay saturated with Na . . .	146,2
Та же глина + 0,1% CaO . . . . The same clay + 0,1% CaO	110,7
Та же глина + 0,2% CaO	100,2
Та же глина + 0,4% CaO	115,0
Та же глина + 3,0% CaO	140,5

Сопротивление вдавливанию глины, насыщенной натрием, при малых добавках к ней извести до 1,0%, не вызывало никаких изме-

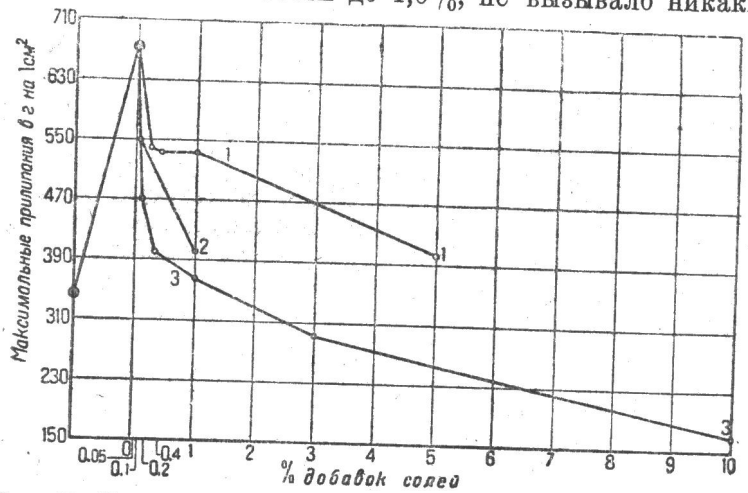

Рис. 13. Максимальные прилипания вятской глины с добавками солей: *1*—глина + $CaSO_4$ *2*—глина + $CaCl_2$, *3*—глина + $Ca(OH)_2$.

нений. При добавке 3% извести сопротивление вдавливанию несколько увеличивается (рис. 12), и может быть объяснено цементацией частиц глины известью.

Выводы

На основании проделанных опытов, можно притти к следующим выводам:

1. Насыщение поглощающего комплекса почвогрунта натрием значительно увеличивает свойства липкости, пластичности и набухания, сопротивление вдавливанию не изменяется.

2. Наиболее существенное усиление глинистых свойств в почвогрунте наблюдается при первых замещениях кальция на натрий, когда содержание последнего равняется 17% от емкости поглощения;

дальнейшее увеличение содержания натрия в поглощающем комплексе усиливает глинистые свойства его медленно и сравнительно мало.

3. Добавки растворимых солей к почвам (солонцы), поглощающий комплекс которых насыщен натрием, уменьшает глинистые свойства — пластичность, липкость, сопротивление раздавливанию, размокание в воде, сопротивление же вдавливанию остается прежним и повышается только при добавках извести.

4. При улучшении солонцов наиболее целесообразным является введение солей кальция: а) ион кальция обладает большой коагулирующей способностью и потому при малых добавках этих солей к солонцам глинистые свойства последних существенно уменьшаются, б) при внесении соли кальция в солонец между нею и поглощающим комплексом происходит обменная реакция, при которой комплекс насыщается кальцием; вследствие этого отрицательные свойства солонца не восстанавливаются и после того как соли будут вымыты, если только кальция внесено количество, достаточное для полного замещения им поглощенного натрия; в) при внесении в солонец соли с одновалентными основаниями, после удаления последней, свойства солонца восстановятся в прежней мере и даже некоторые из них в большей.

5. Соли кальция для улучшения физико-механических свойств солонцов должны вноситься в таких количествах, чтобы весь натрий поглощающего комплекса был замещен на кальций. При внесении меньших количеств, хотя свойства солонцов улучшаются, но после вымывания солей вновь восстанавливаются.

6. Внесение хлористого и сернокислого кальция сверх того, что необходимо для замещения натрия поглощающего комплекса на кальций, является нецелесообразным, так как эти добавки практически не вызывают изменения физико-механических свойств почвогрунта. Увеличение же добавок извести сверх того, что необходимо для полного вытеснения натрия и доведение общего их содержания до 10%, вызывает новое существенное понижение глинистых свойств солонца и в дорожном деле может быть применено для улучшения дорог, пролегающих по солонцам.

7. Внесение солей кальция в дорожную одежду на солонцах дает возможность получения однородной песчано-глинистой смеси и уменьшает количества песчаных добавок.

8. Соли кальция вносить в солонцы рационально, с точки зрения использования соли, не в один прием, а в несколько. При этом нужно следить, чтобы концентрация соли в почвогрунте была достаточна для коагуляции тонкодисперсных частиц.

Грунтовая лаборатория Центрального научно-исследовательского института автогужевых дорог и дорожных сооружений.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гедройц К. К. акад., Учение о поглотительной способности почв, изд. 2, 1929.

2. Охотин В. В., Гранулометрическая классификация грунтов на основе их физических и механических свойств, изд. ЦДОРНИИ, 1933.

3. Охотин В. В., Сопротивление грунтов вдавливанию в зависимости от их механического состава, Сборник ЦУМТ № 19, 1928.

4. Охотин и Богданов, Методика определения нижней границы текучести, сопротивления раздавливанию и усадки, Бюллетень ЦДОРНИИ № 5, 1933.
5. Яновский В. К., Влияние прибавок извести и мела на физико-механические свойства грунтов, Сборник ЦУМТ № 19.
6. Охотин. В. В., Испытание грунтов на опытной дорожке, Сборник ЦУМТ № 19.

THE PHYSICO-MECHANICAL PROPERTIES OF ALKALI SOILS AND THEIR MODIFICATION UNDER THE INFLUENCE OF SALTS

V. Okhotin and *O. F. Smirnova* (Leningrad)

(Summary)

Saturation of the soil's adsorbing complex by one or other base affects essentially its physico-mechanical properties. A particularly marked alteration of these properties occurs when in a soil, the adsorbing complex of which is saturated with calcium, the latter is displaced by sodium, i. e. when soil of a chernozem type turns into an alkali one (solonetz).

The alteration of the soil's physico-mechanical properties in this case is determined by the alteration of the soil's granulometric composition: the degree of dispersion increases strongly, as may be seen in Table 3.

The increase of the degree of dispersion after displacement of calcium by sodium takes place not only in soils, but also in grounds, which are not affected by the processes of soil formation, because their absorbing complex may reach dimensions equalizing the total dimensions of the chernozem soils absorbing complex, i. e. of the absorbing complex of the richest in replaceable cations soils (see Table 2).

At the displacing of absorbed calcium and magnesium in soils by sodium such quite essential both for agrotechnics and for road building physico-mechanical properties of the soil, as adhesion, plasticity, water soaking, resistance to pressure, are affected.

According to our experiments the maximum value of adhesion in chernozem and Viatka clay increased twofold (see Fig. 1). Plasticity of soil grounds also was greatly increased, particularly that of chernozem (see Table 4).

Quite considerable was also the increase in the resistance to the leaching effect of water: the time needed for soaking running water in had risen threefold for chernozem and clay (see Table 5).

To an appreciable degree increased also the resistance of soil to crushing (see Table 6). As to the resistance to pressing in, it remained practically unchanged (see Fig. 2).

At the displacing of absorbed calcium in soil grounds by sodium most of their physico-mechanical properties are altered when the sodium contents of the absorbing complex reaches approximately one sixth of the total absorbed cations; further increase of sodium contents produces a weaker effect. Thus in our experiments with chernozem, when we gradually displaced its absorbed cations by sodium (see Table 7) the plasticity values rose considerably when the sodium contents reached 17% (see Table 8), while further saturation with sodium produced no appreciable effect. The same may be observed in respect

to the moisture limits between which adhesion is greater than 80 g. per 1 cm². and may be considered as harmful in unpaved roads (see Table 9 and Fig. 3); also in respect of volume decrease due to settling (see Table 10). As to the maximum value of adhesion, its sharpest increase was observed at the rise of sodium contents to 57% (see Table 9 and Fig. 3), while resistance to crushing rose more or less proportionally with the increase of sodium contents and fell again only after complete saturation (see Table 11).

The physico-mechanical properties of alkali soils are altered after introduction of salts and other compounds, capable of electrolytic dissociation and consequently of eliminating the dispersing influence of the hydroxil ion, arising in the soil grounds when the absorbed sodium passes from the soil's absorbing complex into solution, if the concentration of the salt's cation in the soil ground solution is higher than the electrolytic limit.

Thus in our experiments the introduction of 4% of NaCl to Viatka clay, previously saturated with sodium, decreased the maximum value of adhesion from 660 g. to 320 g. per 1 cm²., the moisture interval in which adhesion surpassed 80 g. per 1 cm². from 32,5% to 15,65%; the rate of soaking was considerably raised, and, finally, resistance to crushing fell from 146 kg. per 1 cm². to 85 kg. per 1 cm².

Though introduction of salts with monovalent cations affects considerably the physico-mechanical properties of alkali soils, it does not answer our purpose, as these salts, being easily soluble, will be soon leached out, particularly so on roads, raised above the surrounding country, and after they are leached out the former properties of the alkali soils will return in full force. Therefore introduction of salts containing bivalent cations, such as calcium salts, is to be recommended, as these salts will replace sodium of the absorbing complex by calcium, and after leaching, if these salts have been introduced in quantities sufficient for a total replacement of sodium, the properties of alkali soils will not be restored.

In studying the effect of the introduction of calcium salts, we experimented with calcium chloride, calcium sulphate and slaked lime, which we added to Viatka clay, previously saturated with sodium and dialysed.

Introduction of calcium chloride, even in quantities insufficient for completely replacing the clay's sodium by calcium, affected strongly the physical properties of the clay altering them in the direction of diminishing its clay character. Such properties as plasticity, adhesion, soaking water in, decreased to their values in natural clay, when its absorbing complex was saturated with calcium and partly with magnesium; while resistance to crushing was even lower, as may be gathered from Table 12. As to resistance to pressing in, it was not affected by the introduction of calcium chloride (see Fig. 6). Introduction of calcium sulfate had a similar effect; small quantities of this compound, though, decreased the clayish properties less than this was done by similar quantities of calcium chloride. Introduction of gypsum over and above what was necessary for the total replacement of sodium in the absorbing complex did not produce any effect on the physico-mechanical properties of clay (see Tables 13, 14, 15 and Fig. 8, 9).

Introduction of slake lime in small quantities decreased the clayish properties of clay to a greater degree than that of corresponding quantities of gypsum, but somewhat less than that of calcium chloride.

This finds its most marked expression in the alterations experienced by the plasticity value, which may be determined with greater precise ness than the values of other physico-mechanical properties of soil. By adding slake lime in excess of what was needed for a complete replacement of sodium a further decrease in the clayish properties was achieved (this, as mentioned above, was not observed in the case of gypsum). Adhesion fell to half the value of that of natural clay saturated with calcium; the value of plasticity fell considerably, while resistance both to pressing in and to crushing increased (see Tables 16, 17, 18 and Fig. 10, 11, 12, 13 and 7). Added in greater quantities slake lime acts evidently as cement, this explains the further decrease in the clayish characteristics of the soil ground and the increase in its cohesiveness.

Although at the introduction of calcium salts in quantities insufficient for a complete replacement of sodium the physico-mechanical properties of alkali soils are altered, after the salts are leached ont of the soil these properties are restored. This general rule is confirmed by our experiment with chernozem, in which plasticity reached a high value after its saturation with sodium, fell sharply after addition of 0,5% of calcium chloride, and returned back to its original value after the dialysation of calcium chloride.

The following conclusions may be reached on the ground of our experiments:

1. Saturation of the soil ground's absorbing complex with sodium increases considerably its adhesion, plasticity, resistance to soaking water in, while it leaves resistance to pressing in unchanged.

2. The main increase in clayish properties of the soil ground occurs after the initial replacements of calcium by sodium, when the contents of the latter reach 17% of the total absorption capacity; further increase in sodium contents of the absorbing complex intensifies the soil ground's clayish characteristics but slowly and relatively not much.

3. The introduction of soluble salts to soils (solonetzs), the absorbing complex of which is saturated with sodium, decreases their clayish characteristics — plasticity, adhesion, resistance to crushing, soaking water in, while their resistance to pressing in remains unchanged and increased only after introduction of lime.

4. For the improvement of alkali soils (solonetzs) introduction of calcium salts answers the purpose best of all:

a) the calcium ion possesses a considerable coagulating capacity; therefore the addition of even small quantities of these salts to alkali soils decreases considerably the clayish characteristics of the latter;

b) when a calcium salt is introduced into alkali soil, an exchange reaction takes place between it and the soil's absorbing complex resulting in the saturation of the latter with calcium; thanks to this the negative characteristics of the alkali soil are not restored even after the salt is leached out of it, if the quantity introduced was sufficient for a total replacement of the absorbed sodium by calcium;

c) at the introduction into alkali soils of salts with monovalent cations, solonetz characteristics are restored in full and some of them even are aggravated after the elimination of the salt.

5. For the improvement of the physico-mechanical properties of the alkali soils calcium salts should be introduced in quantities securing the total replacement of the sodium in the absorbing complex by calcium. Although the introduction of lesser quantities improves the

properties of alkali soils, their original characteristics return after the salts are leached out.

6. Introduction of calcium chloride and calcium sulphate in excess of what is needed for the replacement of sodium by calcium in the absorbing complex of the soil does not answer this purpose, as it produces practically no alteration in the physico-mechanical properties of the soil ground. The increase of lime quantities introduced into soil in excess of what is needed for such a replacement, and raising the amount of lime introduced to 10% of the total weight of the soil, produce a further and essential decrease in the clayish characteristics of the alkali soils. This may be utilized in road building for the improvement of roads over solonetz tracts of land.

7. Introduction of calcium salts into the road cover on alkali grounds makes it possible to obtain a uniform sand-clay mixture and diminishes the amount of sand to be added.

8. From the viewpoint of full utilization of the calcium salts it is more rational to introduce them into alkali soil not at once but by portions. In doing this one must watch the concentration of salt in the soil ground. This concentration must be high enough for the coagulation of finely dispersed particles.