

ВЛИЯНИЕ ОТДЕЛЬНЫХ ФАКТОРОВ НА ФИЗИКОМЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ГЛИНИСТЫХ ЧАСТИЦ

Проф. В. В. Охотин

Всю совокупность грунтов можно разделить на две группы:

- 1) грунты сыпучие и
- 2) грунты связные.

Типичные представители этих двух групп резко различаются по своим физико-механическим свойствам, и это различие прежде всего обусловливается глинистыми частицами: сыпучие грунты не содержат глинистых частиц, в грунтах связных всегда имеется значительное количество их, и в общем, чем больше в грунте глинистых частиц, тем сильнее выражена его связность.

Однако свойства глинистых частиц в различных грунтах неодинаковы, и это различие можно объяснить:

- 1) их различным минералогическим составом,
- 2) неодинаковым составом их обменных оснований и
- 3) неодинаковой степенью их дисперсности.

Для установления влияния минералогического состава глинистых частиц на их физико-механические свойства нами были взяты глины — кембрийская и часовъянская, которые по минералогическому составу являются различными. Часовъянская глина каолинитово-слюдисто-кварцевая, в ней содержится 18—27% кварца, 40—50% каолинита и 25—30% слюды; кембрийская же глина другого состава; частицы, составляющие кембрийскую глину, принадлежат главным образом к полевым шпатам и хлоритоподобным минералам, частью — к слюде и к мелким зернам кварца.

Из этих глин были отмыты частицы $<0,0023$ мм, которые на основании произведенного определения их гранулометрического состава методом непрерывного анализа оказались имеющими одного порядка удельную * активную (микроструктурную) поверхность.

К частицам $<0,0023$ мм из часовъянской и кембрийской глины прибавлялись постепенно увеличиваемые количества фракции 0,1—0,05 мм, и в смесях определялась пластичность.

Полученные результаты [1] приведены в табл. 1.

Из приведенных в табл. 1 результатов видно, что в смесях как кембрийской, так и часовъянской глины при одинаковом содержании глинистых частиц числа пластичности получаются очень близкими, расхождение лежит

* Под удельной поверхностью разумеется поверхность единицы объема твердой фазы грунта.

Таблица 1

Состав смеси		Смеси часовъярской глины	Смеси кембрийской глины
% частич 0,1—0,05 мм	% частич глинистых < 0,0023 мм	Число пластичности	Число пластичности
—	100	25,94	27,29
20	80	—	23,56
25	75	23,84	—
30	70	—	20,10
40	60	17,75	17,76
50	50	14,99	16,05
60	40	11,73	11,95
70	30	9,86	8,97
80	20	0,06	0,0

в пределах ошибки опыта. Так как кембрийская глина и часовъярская по минералогическому составу различны, а по активной поверхности близки, то, следовательно, величина пластичности определяется главным образом активной поверхностью. Минералогический же состав оказывает влияние на величину пластичности только постольку, поскольку он способствует увеличению удельной поверхности. Так, глинистые частицы, состоящие в главной массе из пластинчатых зерен, будут иметь поверхность большую, чем глинистые частицы, состоящие из зерен, развитых в разных направлениях более или менее одинаково. Например, пластинки слюды могут иметь значительные размеры по плоскости спайности и чрезвычайно малые в направлении перпендикулярном. Зерна кварца при таком же видимом диаметре будут иметь большую толщину и относительно меньшую поверхность, нежели поверхность слюды.

Насколько сильно могут отличаться по физическим свойствам грунты одного и того же гранулометрического состава (но частицы которых имеют различную форму), можно видеть из данных таблиц 9, 10, 11 и 12. Раздробленный образец талька имеет гранулометрический состав (табл. 9), очень близкий к гранулометрическому составу андрадита (табл. 11), однако пластичность первого минерала примерно в три раза выше пластичности второго, а линейная усадка в пять раз больше (ср. табл. 10 и 12). Это явление, очевидно, объясняется тем, что тальк, кристаллизующийся в моноклинической системе, при раздроблении дает пластинки, в то время как андрадит, образуя хорошо выраженные кристаллы полигранного класса кубической системы, дробится на частицы, имеющие более или менее одинаковые размеры по всем трем взаимно перпендикулярным направлениям. Следовательно, при одном и том же эффективном диаметре с тальком андрадит имеет удельную поверхность значительно меньшую. Что касается влияния обменных оснований на физико-механические свойства почв и грунтов, то рядом исследователей (акад. Гедроиц, Панков, Охотин и др.) было доказано их большое влияние на эти свойства.

Так, опытами Охотина [2] было установлено, что в грунтах, при насыщении их натрием, в сильной степени увеличивается прилипание, время

размокания в воде и временное сопротивление сжатию. Результаты этих опытов приведены в табл. 2.

Таблица 2

Наименование грунта	Число пластичности	Максимальное прилипание, в $\text{г}/\text{см}^2$	Время размокания в проточной воде	Сопротивление сжатию, в $\text{кг}/\text{см}^2$
Чернозем естественный . . .	6,73	99,2	16 м. 0 с.	44,0
Тот же чернозем, насыщенный Na	16,98	216,6	57 м. 0 с.	65,7
Пермская глина, естественная .	16,18	345,0	11 м. 30 с.	135,0
Та же глина, насыщенная Na .	20,55	661,0	30 м. 12 с.	146,0

Вместе с изменением физико-механических свойств грунтов при насыщении их натрием изменяется и их гранулометрический состав. Это ясно видно из табл. 3, в которой приведен гранулометрический состав тех же грунтов, в которых были определены и физико-механические свойства.

Таблица 3

Наименование грунта	Диаметр, в мм	Величины частиц			
		0,05—0,01	0,01—0,003	0,0023—0,001	< 0,001
Чернозем естественный . . .	51,2 %	26,7 %	8,6 %	7,3 %	
Тот же чернозем, насыщенный Na	50,0	7,7	2,6	24,7	
Глина пермская	19,1	24,1	4,6	13,1	
Та же глина, насыщенная Na .	12,8	10,3	3,3	41,0	

В данном случае, как и во всех последующих, подготовка образцов к анализу состояла в одн часовом кипячении, тщательном растирании и пятиминутном взбалтывании. Грунты, поглощающий комплекс которых насыщен двухвалентными основаниями (естественный чернозем, естественная пермская глина), являются микроагрегатами; эти микроагрегаты очень устойчивы при физико-механических на них воздействиях, и физико-механические свойства таких грунтов обусловливаются этими микроагрегатами и не зависят от дисперсности первичных элементарных минеральных частиц, образующих эти микроагрегаты. Грунты, поглощающий комплекс которых насыщен натрием, не содержат микроагрегатов, они распадаются на составляющие их элементарные частицы, и их физико-механические свойства обусловливаются этими элементарными частицами.

Как видно из таблицы, при насыщении грунтов натрием их дисперсность сильно возрастает вследствие уничтожения микроагрегатности. Так, например, глина пермская, в естественном состоянии являясь средним суглинком, при насыщении ее натрием превратилась в глину.

Так как в грунтах с изменением гранулометрического состава изменяются и их физико-механические свойства, то установить в вышеприведенных опытах, который из двух факторов — изменение ли состава обменных оснований в грунте, или изменение гранулометрического состава — влияет на изменение физико-механических свойств, невозможно.

Вопрос о влиянии природы обменных оснований на свойства почвогрунтов не всеми исследователями трактуется одинаково. Митчерлих, изучая гигроскопичность почв, пришел к выводу, что гигроскопичность (при одинаковой упругости паров) пропорциональна поверхности почвенных частиц. Рядом исследователей это положение оспаривается. Так, Фачегар утверждает, что это предположение Митчерлиха является правильным лишь в очень ограниченной степени. Он говорит: «Так как степень гидратации отдельных ионов весьма различна, то поглощение коллоидной солью воды очень мало зависит от характера поверхности, а всецело обусловливается числом и родом ионов, сорбированных грунтом».

Однако это утверждение Фагелера не подтверждается опытами. Гигроскопичность часовъянской глины как насыщенной кальцием, так и насыщенной натрием, если только это определение вести без возможности конденсации водяных паров, одна и та же^[3], т. е. природа обменных оснований не влияет на гигроскопичность.

При изучении грунтов разного минералогического состава и грунтов, насыщенных разными основаниями, было установлено, что количество поглощенной воды при набухании и максимальная молекулярная влагоемкость являются функцией их микроагрегатной или элементарной (если грунт не образует агрегатов) поверхности.

Относительная удельная поверхность, вычисленная по гранулометрическому составу, а также относительное содержание воды при набухании и максимальная молекулярная влагоемкость, по нашим опытам^[3], получились такие (табл. 4):

Таблица 4

Наименование образца	Относительная удельная поверхность вычислена по гранулометрическому составу	Относительное содержание воды при набухании	Относительная величина максимальной молекулярной влагоемкости
Часовъянская глина, насыщенная Ca	1	1	1
Та же глина, насыщенная Na . . .	2,45	2,31	2,33
Кембрийская глина (естественная) .	0,94	0,96	0,92
Глуховский каолин (естественный) .	2,16	2,39	—
Латинская глина (естественная) . .	1,1	1,01	1,08

Тот факт, что количество пленочной воды в глине, насыщенной натрием, по сравнению с глиной, насыщенной кальцием, увеличилось примерно во столько же раз, во сколько в ней увеличилась дисперсность, указывает на то, что толщина пленки воды при изменении в грунте состава обменных оснований заметно не изменяется.

Это, в свою очередь, приводит к мысли, что и физико-механические свойства грунтов и глинистых частиц не столько зависят от природы обменных оснований, сколько от дисперсности грунтов. Обменные основания влияют на физико-механические свойства глинистых грунтов только потому, что вместе с изменением их состава изменяется и степень дисперсности грунта.

Чтобы установить это положение прямыми опытами, нами взяты были минералы, не содержащие в своем составе щелочных металлов (хлоритовый сланец — хлоритовый алюмосиликат ряда клинохлора, тальк, андрадит, спессартин). Эти минералы раздроблялись в тонкий порошок, и в одной части такого порошка непосредственно определялись физические свойства, другая же часть предварительно обрабатывалась раствором хлористого натрия до полного замещения натрием всех оснований с последующим отмыванием избытка хлористого натрия, и после этого в ней определялись те же физические свойства, что и в первой половине.

Для опытов взяты были минералы, не содержащие щелочных металлов, из следующих соображений: если такой минерал раздробить в порошок и насыщать этот порошок натрием, то натрий не сможет увеличить дисперсность элементарных частиц, из которых состоит этот порошок, не сможет и уменьшить его дисперсность вследствие коагуляции, так как ион натрия не является коагулятором. Вследствие этого гранулометрический состав порошка, естественного и насыщенного натрием, должен оставаться одинаковым, и таким образом влияние фактора дисперсности в опытах будет устранено.

Взятый образец хлоритового сланца содержал очень малые количества щелочных металлов, а именно — содержание в нем K_2O равнялось 0,07% и Na_2O — 0,15%, т. е. количества ничтожные, а поэтому и в обменные реакции K^+ и Na^+ из раздробленного естественного минерала могли вступать в весьма малых количествах. Часть раздробленного порошка затем была насыщена Na путем обработки его нормальным раствором поваренной соли ($NaCl$) и затем избыток соли был отмыт на фильтре до исчезновения реакции на Cl^- . В полученных таким образом образцах был определен гранулометрический состав, пластичность (по Аттербергу), максимальная молекулярная елаляемость и линейная усадка.

Гранулометрический состав приведен в табл. 5.

Таблица 5

Наименование образца	Диаметр частиц, в мм	0,01—0,0023	0,0023—0,001	< 0,001
Образец естественный		39,6 %	2,4 %	Следы
Образец, насыщенный Na		37,1 %	1,2 %	Следы

Примечание. Частицы, крупнее 0,01 мм, не определялись.

Как видно из таблицы, гранулометрический состав обоих образцов является одинаковым; те расхождения, которые имеют место, можно отнести к ошибке опыта.

Результаты испытаний физических свойств обоих образцов приведены в табл. 6.

Таблица 6

Наименование образца	Число пластичности, по Аттенбергу	Максимальная молекулярная влагоемкость	Линейная усадка
Образец естественный	7,19	14,81 %	0,66 %
Образец, насыщенный Na	6,43	15,06 %	0,66 %

Примечание. Молекулярная влажность определяется на центрофуге при 40 000 об/мин.

Как видно из данных таблицы, величины всех изученных физических свойств в образце естественном и в образце, насыщенном натрием, одни и те же. Незначительные расхождения лежат в пределах ошибки опыта.

Так как взятый образец был раздроблен недостаточно, то оставшийся и не подвергавшийся испытаниям порошок вновь растирался в агатовой ступке. Часть вновь раздробленного минерала была насыщена натрием с последующим отмыванием NaCl. В естественном образце и в насыщенном натрием затем определялись гранулометрический состав и физические свойства.

Результаты гранулометрического анализа приведены в табл. 7.

Таблица 7

Наименование образца	Диаметр частиц, в мм	0,05—0,02	0,02—0,01	0,01—0,005	0,005—0,002	0,002—0,001	0,001—0,0005	0,0005—0,0002	< 0,0002
Образец естественный	26,5 %	31,3 %	21,5 %	6,5 %	5,5 %	1,0 %	1,8 %	10 %	
Образец, насыщенный Na	32,7"	34,8"	15,7"	6,3"	4,0"	0,7"	1,0"	0,5"	

Если сравнить в исследованных образцах содержание глинистых частиц ($<0,002$ мм) как суммарное, так и по отдельным фракциям, то оно в обоих образцах почти одинаково. Несколько меньше глинистых частиц содержится в образце, насыщенном натрием, что возможно объяснить тем, что некоторое количество их было потеряно в процессе отмывания избытка хлористого натрия.

Поскольку в раздробленном минерале при насыщении его натрием не изменился гранулометрический состав, то не изменились и физические

свойства, а именно число пластичности и линейная усадка остались почти теми же самыми, как это видно из табл. 8.

Таблица 8

Наименование образца	Пластичность			Линейная усадка	
	нижняя граница текучести	раскатывание в проволочку	число пластичности		
Образец естественный	32,08% / 31,64	20,45 / 20,00	20,23%	11,63	4,75
Образец, насыщенный Na	34,44%		21,69%	12,75	3,84

Подобные же исследования были произведены с тальком. Образец талька нам был предоставлен А. А. Владимирским из его коллекции, собранной на Южном Урале.

Гранулометрический состав раздробленного талька * как в естественном состоянии, так и после насыщения его натрием приведен в табл. 9.

Таблица 9

Наименование образца	Диаметр частиц, в мм	0,05—0,07	0,02—0,01	0,01—0,005	0,005—0,002	0,002—0,001	0,001—0,0005	0,0005—0,0002	< 0,0002
		0,05—0,07	0,02—0,01	0,01—0,005	0,005—0,002	0,002—0,001	0,001—0,0005	0,0005—0,0002	< 0,0002
Образец естественный	13,9	21,9	22,2	17,0	7,4	4,5	1,6	2,5	
Образец, насыщенный Na	14,3	20,7	22,6	19,0	8,4	5,0	1,7	1,9	

Как видно из приведенных данных, гранулометрический состав образца естественного и образца, насыщенного натрием, один и тот же.

Результаты исследования физических свойств образцов талька даны в табл. 10.

Таблица 10

Наименование образца	Пластичность			Линейная усадка	Максимальная молекулярная влагоемкость	
	нижняя граница текучести	граница раскатывания в проволоку	число пластичности			
Образец естественный	34,00 / 34,26	26,02 / 25,65	25,84	8,29	4,47	12,69
Образец, насыщенный Na	32,02 / 32,88	24,91 / 25,78	25,35	7,1	5,0	11,73

Примечание. Максимальная молекулярная влагоемкость определялась по методу пленочного равновесия на приборе Мартынова.

* Емкость поглощения частиц < 0,002 мм талька равнялась 146,6 м/экв. (аналитик А. Мясникова).

Как видно из таблицы, изменения физических свойств порошка талька при насыщении его натрием не произошло, так же как и при насыщении натрием хлоритового алюмосиликата.

Кроме хлоритового алюмосиликата и талька, были исследованы минералы, раздробленные в порошок, андрадит и спессартин. Образец андрадита был любезно предоставлен нам проф. С. М. Курбатовым из коллекций минералогического кабинета Ленинградского государственного университета.

Гранулометрический состав андрадита приведен в табл. 11.

Таблица 11

Наименование образца	Диаметр частиц, в мм	0,05—0,02	0,02—0,01	0,01—0,005	0,005—0,002	0,002—0,001	0,001—0,0005	0,0005—0,0002	< 0,0002
Образец андрадита, естественный	29,1	20,2	13,2	11,9	8,3	4,0	0,4		1,9
Образец андрадита, насыщенный Na	25,6	19,7	15,8	12,6	6,2	3,8		0,5	

В данном случае, как и во всех предыдущих, гранулометрический состав порошка андрадита после его насыщения натрием остался без изменений. Не изменились при этом и физические свойства образца, как это видно из табл. 12.

Таблица 12

Наименование образца	Пластичность			Линейная усадка	Максимальная молекулярная влагоемкость
	нижняя граница текучести	граница раскатывания в проволоку	число пластичности		
Образец андрадита, естественный	13,13 { 13,26	9,7 { 10,4	10,05	3,15	0,8
Образец андрадита, насыщенный натрием . . .	13,82 { 13,85	11,08 { 11,36	11,22	2,62	0,4

Примечание. Максимальная молекулярная влагоемкость определялась по методу пленочного равновесия в приборе Мартынова.

Как видно из приведенных цифр, число пластичности, линейная усадка и максимальная молекулярная влагоемкость как в образце андрадита, испытанного без предварительной обработки натрием, так и в образце, насыщенном натрием, имеют одну и ту же величину.

Гранулометрический состав спессартина приведен в табл. 13.

Таблица 13

Наименование образца	Диаметр частиц, в мм	0,05—0,01	0,01—0,005	0,005—0,002	0,002—0,001	0,001—0,0005	0,0005—0,0002	< 0,0002
Образец спессартина, естественный.	52,0	13,7	11,8	4,9	5,0	1,2	0,9	
Образец спессартина, насыщенный Na	54,1	14,6	10,6	5,2	4,2		1,3	

Физические свойства порошка спессартина приведены в табл. 14.

Таблица 14

Наименование образца	Пластичность			Линейная усадка	Объемная усадка	Максимальная молекулярная влагоемкость	
	нижняя граница текучести	граница раскатывания в проволоку	число пластичности				
Образец спессартина, естественный	15,03 14,59 15,00	14,89 9,78 9,20	9,49	5,41	0,7	1,03	11,44
Образец спессартина, насыщенный Na	14,66 15,09 14,69	14,81 9,29 9,56 9,80	9,55	5,26	0,6	2,85(?)	11,20

В данном случае, как и во всех предыдущих, насыщение порошка спессартина натрием не изменило его гранулометрического состава. Неизменными остались и физические свойства — нижняя граница текучести, граница раскатывания в проволоку, максимальная молекулярная влагоемкость и линейная усадка. Произошло значительное увеличение относительной величины объемной усадки, но если принять во внимание малую величину абсолютной величины, а также и то, что линейная усадка не изменилась, то это увеличение скорее нужно отнести к ошибке опыта.

Таким образом из приведенного экспериментального материала вытекает, что связные грунты, полученные путем дробления минералов, при насыщении их натрием не изменяют своих физических свойств или изменяют их настолько незначительно, что уловить эту разницу современными методами испытания не удается.

В грунте связь между отдельными частицами в основном осуществляется через водную оболочку, и эта связь будет тем сильнее, чем тоньше оболочка, что зависит от различия свойств воды в грунте, находящейся на различных расстояниях от поверхности частицы. Поскольку при всех испытаниях грунты содержали такое количество воды, которое

отвечало их или твердому, или пластичному состоянию, то в этих пределах влажности грунт, насыщенный натрием (при сохранении неизменными всех других условий), имеет ту же толщину водной оболочки, что и при насыщении его другим основанием — кальцием, магнием, водородом. Когда грунт будет находиться в жидкотекучем состоянии или представлять собою суспензию, тогда возможно, что его физические свойства будут существенно различны при насыщении различными основаниями, так как в этих условиях вполне может проявиться различие в гидратации грунтовых частиц, насыщенных щелочно-земельными или щелочными основаниями.

На основании всего вышеизложенного можно высказать следующее положение: физико-механические свойства глинистых частиц главным образом обусловливаются их удельной поверхностью, минералогический же их состав и состав обменных оснований влияют на эти свойства постольку поскольку от них зависит величина удельной поверхности.

Методы определения удельной поверхности

Поскольку величина удельной поверхности существенным образом определяет физико-механические свойства как глинистых частиц, так и связных грунтов в целом, то представляет интерес рассмотреть методы ее определения.

До настоящего времени удельная поверхность грунтов определялась по их гранулометрическому составу. При вычислении удельной поверхности на основании этих данных результаты будут тем ближе к действительности, чем на большее число фракций разделен грунт, т. е. чем ближе анализ приближается к непрерывному, когда мы имеем бесконечное число фракций. Однако и в этом случае вычисленная поверхность будет отличаться от действительной, так как при вычислении все частицы принимаются за шары и, очевидно, чем форма частиц больше отличается от шара, тем больше будет ошибка. Гранулометрическим анализом грунты могут быть разделены на фракции до 0,0002 мм, в громадном большинстве случаев ограничиваются разделением частиц до 0,002 мм (верхняя граница глинистых частиц). В последнем случае все глинистые частицы объединяются в одну фракцию, и определение величины удельной поверхности получается грубо приближенным. При определении удельной поверхности по гранулометрическому составу с разделением частиц до 0,0002 мм результаты получаются значительно точнее, но производство такого анализа является очень длительным (больше месяца), что для массовых анализов неприемлемо.

Мы попытались характеризовать удельную поверхность грунтов по уменьшению объема системы грунт + вода и по величине максимальной молекулярной влагоемкости грунтов, определяемой, по Лебедеву, методом центрофугирования.

Если взять определенные объемы твердой фазы грунта и воды в отдельности, то после смешения объем системы грунт + вода будет меньше.

Буюкоз [5], исследуя уменьшение объема системы почва + вода, брал образцы разного гранулометрического и химического состава. Величина сжатия в куб. сантиметре на 100 г абсолютно сухой почвы колебалась в больших пределах, в общем увеличиваясь с увеличением содержания в почвах глинистых частиц.

Особенно большое уменьшение объема имело место при исследовании образцов, богатых органическим веществом.

По данным Буюкова, песок на 100 г давал уменьшение 0,033 см³, в глинах же уменьшение доходило до 2,533 см³ и, наконец, в навозе и в фуллеровой земле соответственно до 4,666 и 4,266 см³.

К сожалению, в работе Буюкова нет данных о гранулометрическом составе испытанных образцов, и поэтому сопоставить количественно величину уменьшения объема с дисперсностью грунта не представляется возможности.

Воскресенский М. Н.^[6] изучал уменьшение системы грунт + вода путем определения удельного веса грунта в воде и керосине. Четыре исследованные им грунты имели такой гранулометрический состав и сжатие (табл. 15):

Таблица 15

Объект	Диаметр частиц в мм	% содержания частиц					Поверхность 1 см ³ твердой фазы грунта, в м ⁻²	Сжатие в см ³ на 100 г грунта
		0,25	0,25—0,05	0,05—0,01	0,01—0,005	0,005—0,002		
Шушары	10,37	16,01	32,66	13,44	10,94	16,58	1,363	0,051
Олонец	2,82	5,75	7,84	23,51	24,29	35,79	4,617	0,306
Войто	6,47	4,63	18,76	17,73	21,45	30,96	4,012	0,661
Осоавиахимовец	0,07	—	12,70	23,49	19,30	44,44	5,371	1,111

Примечание. Скорость падения частиц взята по Стоксу. Поверхность грунтов вычислена по данным анализа гранулометрического состава.

На основании полученных данных М. Н. Воскресенский пришел к выводу, что величина сжатия почво-грунта увеличивается с увеличением степени дисперсности. Однако этот вывод можно принять только в самом общем виде. Никаких количественных соотношений между величиной сжатия и степенью дисперсности из приведенных данных сделать нельзя, так как гранулометрический анализ был произведен с разделением частиц до 0,002 мм, что, как указывалось выше, дает только грубое приближенное представление об удельной поверхности.

Нами исследования производились на грунтах разного гранулометрического состава, из которых каждый, кроме того, насыщался различными основаниями. Все грунты любезно нам были даны Ш. Ф. Бутц.

Определение уменьшения объема системы грунт + вода мы производили методом Буюкова. В дилатометр Буюкова загружался грунт (10 г), предварительно высушенный при 105° С до постоянного веса, и заливался четыреххлористым углеродом. Затем в течение 30 мин. для удаления воздуха грунт кипятился с четыреххлористым углеродом и охлаждался. В охлажденный дилатометр поверх четыреххлористого углерода наливалась вода в таком количестве, чтобы она вошла в боковую трубку, и ее мениск находился бы в верхней части шкалы. После этого дилатометр ставился в водянную ванну, имевшую температуру 30° С, и оставался в ней, пока не принимал той же температуры, что и ванна. Когда температура дилатометра доходила до 30° С, то высота мениска воды определялась на шкале с точностью до 0,005 см³. После этого дилатометр вынимался из ванны и наклонялся так, чтобы вода могла притти в соприкосновение с грунтом. Дилатометр приводился затем в вертикальное положение, ставился в водянную ванну и снова нагревался до температуры 30° С, после этого производился отсчет высоты мениска воды в боковой трубке.

Понижение мениска давало возможность определить уменьшение объема системы грунт + вода с точностью до $0,005 \text{ см}^3$.

Результаты испытаний приведены в табл. 16.

Таблица 16

Наименование грунта		Основания, насыщающие грунт					
		грунт естественный	H	Ca	Mg	Na	K
Чернозем	Поверхность 1 см^3 твердой фазы, в м^2 . . .	6,41	5,15	6,11	5,26	27,48	9,26
	Уменьшение объема системы грунт + вода, в см^3 на 100 г	0,9	0,6	0,85	0,65	1,0	0,7
Серозем	Поверхность 1 см^3 твердой фазы, в м^2 . . .	5,69	7,29	6,18	6,41	16,96	10,06
	Уменьшение объема системы грунт + вода, в см^3 на 100 г	0,5	1,15	0,35	0,45	0,5	0,25
Суглинок	Поверхность 1 см^3 твердой фазы, в м^2 . . .	1,54	—	1,69	1,89	5,49	—
	Уменьшение объема системы грунт + вода, в см^3 на 100 г	0,55	—	0,55	0,35	0,55	—
Часовъянская глина	Поверхность 1 см^3 твердой фазы, в м^2 . . .	8,66	—	—	—	24,56	—
	Уменьшение объема системы грунт + вода, в см^3 на 100 г	0,5	—	—	—	0,4	—
Латинская глина	Поверхность 1 см^3 твердой фазы, в м^2 . . .	15,09	—	9,76	—	16,56	10,99
	Уменьшение объема системы грунт + вода, в см^3 на 100 г	0,6	—	0,45	—	0,4	0,65
Кембрийская глина	Поверхность 1 см^3 твердой фазы, в м^2 . . .	7,14	—	—	—	—	—
	Уменьшение объема системы грунт + вода, в см^3 на 100 г	1,05	—	—	—	0,6	—

Примечание. Поверхность 1 см^3 твердой фазы вычислена на основании анализов гранулометрического состава, проведенных Ш. Ф. Бутц с разделением фракций до 0,0001 мм.

Как видно из приведенных экспериментальных данных, уменьшение объема системы грунт + вода не является функцией поверхности грунта, нельзя установить и какой-либо зависимости ее изменения от природы оснований, насыщающих грунт. Отсюда можно думать, что уменьшение системы грунт + вода не является функцией поверхности грунта, но и от других причин.

Раковский и Полянский [7], изучая уменьшение объема системы крахмал + вода, пришли к выводу: 1) что молекулы воды внедряются внутрь молекул крахмала с частичным расширением последнего и 2) что происходит сольватация крахмала, причем в адсорбированной воде имеется другое равновесие между молекулами $(H_2O)_3$, $(H_2O)_2$ и H_2O , чем в свободной воде.

Возможно, что те же причины вызывают уменьшение и системы глинист + вода, вследствие чего нельзя установить простых соотношений между уменьшением объема системы и величиной поверхности твердой фазы грунта в единице объема.

Второй способ определения дисперсности грунтов, примененный нами, был — определение пленочной воды в грунтах методом центрифугирования.

Под пленочной водой А. Ф. Лебедев [8] разумеет воду, удерживаемую молекулярными силами сцепления между частицами грунта и воды.

Соответственно современным представлениям о строении грунтовых мицел под пленочной водой надо разуметь интрамицелярную жидкость.

На основании своих опытов Лебедев пришел к выводу, что максимальная молекулярная влагоемкость пропорциональна поверхности почвенных частиц. Как выяснено работами Охотина [3], физико-механические свойства грунта зависят главным образом от микроструктурной поверхности, и максимальная молекулярная влагоемкость является функцией этой же поверхности. Отсюда вытекает, что по максимальной молекулярной влагоемкости можно судить и о физико-механических свойствах грунтов, как, например, пластичность, прилипание и др.

По данным Лебедева, максимальная молекулярная влагоемкость отдельных фракций такова (табл. 17):

Таблица 17

Размеры фракций, в мм	1—0,5	0,5—0,25	0,25—0,1	0,1—0,05	0,05—0,005	< 0,005
Максимальная молекулярная влагоемкость, в %	1,57	1,6	2,73	4,75	10,18	44,55

Лебедев считает, что полученные им цифры являются преувеличенными, так как грубые фракции не были полностью отделены от глинистых частиц, — в особенности это относится к фракциям пылеватым.

Нами также была определена максимальная молекулярная влагоемкость для отдельных фракций естественных грунтов, причем грунты предварительно, для уничтожения их микроструктурности, обрабатывались много-кратно хлористым натрием до полного насыщения их поглощающего комплекса натрием, затем промывались дестиллированной водой до исчезнове-

ния реакции на хлор ион и после этого разделялись на фракции. Максимальная молекулярная влагоемкость получилась такая (табл. 18):

Таблица 18

Диаметр фракций, в мм	1—0,5	0,5—0,25	0,25—0,1	0,1—0,05	0,05—0,01	0,01—0,0023
Максимальная молекулярная влагоемкость, в %	0,19	0,42	1,05	1,70	2,97	7,05

Примечание. В таблице приведены средние величины.

Из экспериментальных данных видно, что в связанных грунтах главная масса пленочной воды приходится на глинистые частицы, и поэтому максимальная молекулярная влагоемкость может служить показателем величины активной поверхности грунта, в целом, а также и степени дисперсности глинистых частиц.

Это дает возможность с большей точностью, чем по одному гранулометрическому составу, характеризовать грунты в отношении его физико-механических свойств.

Для установления связи между гранулометрическим составом грунта и его молекулярной влагоемкостью был исследован ряд грунтов.

Как видно из полученных результатов, максимальная молекулярная влагоемкость увеличивается с увеличением содержания в грунтах глинистых частиц и ее средняя величина и средние отклонения для отдельных групп грунтов такие (табл. 19):

Таблица 19

Наименование грунтов	Средняя величина максимальной молекулярной влагоемкости	Среднее отклонение	Примечание
Глина	29,2	± 2,4	Средние из 17 обр.
Тяжелый суглинок . . .	19,7	± 3,2	22 "
Средний " . . .	14,3	± 1,4	15 "
Легкий "	10,3	± 1,7	30 "
Тяжелая супесь	6,33	± 2,2	17 "

Если эти данные усреднить, то величины максимальной молекулярной влагоемкости для отдельных групп грунтов можно принять такими (см. табл. 20):

Таблица 20

Наименование грунта	Максимальная молекулярная влагоемкость, в %
Глина	> 24
Тяжелый суглинок	24—16
Средний „	16—12
Легкий „	12—8
Тяжелая супесь	8—4
Легкая супесь и песок	< 4

Легкая супесь и песок нами объединяются вместе, так как в этих группах глинистые частицы, вследствие малого их содержания, не оказывают или оказывают очень малое влияние на физико-механические свойства, и последние обусловливаются в них не столько удельной поверхностью, сколько величиной частиц, их формой и взаимным соотношением фракций разной крупности.

Для того чтобы определить максимальную молекулярную влагоемкость глинистых частиц ($<0,002$ мм) грунта, нужно воспользоваться цифрами табл. 18.

На основании этих данных средняя величина максимальной молекулярной влагоемкости отдельных разностей и среднее отклонение, а также усредненные пределы колебаний для разностей будут такие (табл. 21):

Таблица 21

Наименование грунта	Средняя величина максимальной молекулярной влагоемкости	Среднее отклонение \pm	Пределы максимальной молекулярной влагоемкости (усредненные)
Глина	26,3	$\pm 3,4$	> 22
Тяжелый суглинок	16,3	$\pm 3,0$	22—14
Средний „	11,6	$\pm 1,5$	14—10
Легкий „	8,0	$\pm 1,8$	10—6
Тяжелая супесь	4,5	$\pm 1,9$	6—3
Легкая „			< 3

Выводы

1. Глинистые частицы грунтов обладают неодинаковыми физико-механическими свойствами.

Это различие может обуславливаться их различным минералогическим составом, различным составом обменных оснований и различной дисперсностью.

2. На основании опытов по определению пластичности в глинистых частицах кембрийской и часовъянской глины, а также на основании опытов по определению пластичности и усадки в тонкораздробленных минералах (тальк и андрит) можно утверждать, что минералогический состав глинистых частиц обуславливает их свойства постольку, поскольку от него зависят форма частиц и связанная с этой формой удельная поверхность.

3. При насыщении часовъянской глины разными основаниями содержание в ней воды при набухании и максимальная молекулярная влагоемкость изменялись пропорционально изменению их удельной поверхности.

Пластичность, максимальная молекулярная влагоемкость и усадка тонко раздробленных минералов (хлоритовый сланец, тальк, андрит, спессартин) оставались неизменными после насыщения их натрием. Неизменным оставался и их гранулометрический состав.

Следовательно, состав обменных оснований влияет на физико-механические свойства глинистых частиц постольку, поскольку от него зависит величина удельной поверхности.

4. Удельная поверхность грунтов в целом и глинистых частиц может быть определена: по гранулометрическому составу, по уменьшению системы грунт + вода и по максимальной молекулярной влагоемкости.

Определение удельной поверхности по гранулометрическому составу с разделением частиц до 0,002 мм является грубо ориентировочным.

При разделении грунта на фракции до 0,0002 мм результаты получаются более точные, но такое разделение на фракции требует очень длительного времени и для массовых определений не может быть применено.

Определять величину удельной поверхности грунта по уменьшению объема системы грунт + вода не представляется возможным, так как изменение объема системы зависит не только от удельной поверхности, но и от других факторов.

Наиболее удобно и точно удельная поверхность грунта (и глинистых частиц) определяется в относительных величинах по максимальной молекулярной влагоемкости.

5. Максимальная молекулярная влагоемкость отдельных гранулометрических разностей может быть принята такой:

Гранулометрическая разность грунта

Максимальная молекулярная влагоемкость, в процентах

Глина	> 24
Тяжелый суглинок	24—16
Средний "	16—12
Легкий "	12—8
Тяжелая супесь	8—4
Легкая супесь и песок	< 4

Кафедра грунтоведения

ЛИТЕРАТУРА

[1] Охотин В. В. Гранулометрическая классификация грунтов на основе их физических и механических свойств. Изд. ДОРНИИ, 1934.

[2] Охотин В. В. и Смирнова О. Ф. Физико-механические свойства солонцов и их изменение при действии солей. Журн. „Почвоведение“, № 2, 1934.

- [³] Охотин В. В. Физические и механические свойства грунтов в зависимости от их минералогического состава и степени дисперсности. 1937.
- [⁴] Фагелер П. Режим катионов и воды в минеральных почвах. 1938.
- [⁵] Бончусов. The phenomena of contraction and expansion of Soils when-wetted with water. Soil Science, 1927.
- [⁶] Воскресенский М. Н. К вопросу о сжатии системы вода + почва Сборн. по агрохимии и физике почв СНИИГМ, 1938.
- [⁷] Раковский и Полянский. Сжатие при адсорбции воды коллоидами Ж. Ф. Х. т. II, в. 15, 1931.
- [⁸] Лебедев А. Ф. Почвенные и грунтовые воды. 1936.