

Министерство народного образования
Министерство обороны СССР
от 21/3/53г

ОБОСНОВАНИЕ МЕТОДИКИ МИКРОАГРЕГАТНОГО АНАЛИЗА ГРУНТОВ

B. V. Охотин и Г. Ф. Богданов

В связных грунтах первичные минеральные частицы, когда поглощающий комплекс грунта насыщен двухвалентными основаниями (в особенности Ca) или водородом, соединены в более крупные микроагрегаты. Эти микроагрегаты очень прочны и могут быть механически разделены на первичные частицы только путем длительного растирания грунта в состоянии пасты. В связных грунтах, насыщенных одновалентными основаниями (в особенности Na), микроагрегаты отсутствуют; такие грунты являются раздельно-частичными. Микроагрегаты грунтов соединены между собой в более сложные и более крупные частицы второго, третьего и высших порядков, которые видны простым глазом и называются агрегатами. Агрегаты при механических на них воздействиях распадаются на микроагрегаты сравнительно легко. Грунты несвязные являются всегда раздельно-частичными. Агрегатный и микроагрегатный состав грунта и состав первичных частиц в грунте по их крупности называется гранулометрическим составом.

Гранулометрический состав грунтов, несомненно, является одним из важных показателей при их классификации, в то же время он существенным образом обуславливает их многие важные физические свойства — липкость, пластичность, набухание, усадку и др. Часто по гранулометрическому составу можно судить и о генезисе песчаных грунтов. Наконец, в некоторых видах строительства, как, например, в дорожном, гранулометрический состав является важным показателем строительных свойств грунтов. Поэтому правильное определение гранулометрического состава грунтов имеет существенное значение.

Для полного суждения о гранулометрическом составе грунта необходимо производить не один, а целую серию анализов:

1) агрегатный анализ, при котором стремятся определить по возможности все агрегаты (как макро-, так и микроагрегаты)¹; 2) микроагрегатный анализ, при котором сохраняются только микроагрегаты, являющиеся наиболее устойчивыми, сохраняющимися при механических воздействиях на грунт²; 3) элементарный анализ, при котором определяется размер первичных частиц грунта.

В данной статье даются обоснования микроагрегатного анализа, как наиболее широко применяемого. Получаемые при этом результаты зависят, в основном, от трех факторов: 1) от влажности, при которой грунты анализируются, 2) от метода подготовки грунта к анализу и 3) от метода самого анализа.

Остановимся на этих трех моментах.

ВЛАЖНОСТЬ ГРУНТОВ

В настоящее время не все лаборатории делают анализы грунтов при одной и той же влажности: некоторые лаборатории анализируют грунты, высушенные при 100—105° С, большинство же лабораторий ведет анализы при воздушносухом состоянии, а некоторые лаборатории — при естественной влажности.

Если анализировать грунты, высушенные при 100—105° С, что несколько упрощает дальнейшие вычисления, то многие грунты при этом существенным образом изменяют свой состав, а именно, выход наиболее дисперсных частиц, т. е. глинистых, снижается в очень сильной степени. Как сильно изменяется гранулометрический состав грунта при его высушивании до абсолютно сухого состояния, видно из табл. 1.

Нами было проанализировано достаточное количество грунтов и из полученных данных вытекает, что анализировать грунты, высушенные при 100—105° С, нельзя.

Остаются две возможности: вести анализы грунтов при естественной влажности или в воздушносухом состоянии; нами проделан ряд анализов при том и другом состоянии грунтов, причем брались как сравнительно глубоко залегающие грунты, так и залегающие близко к поверхности или с самой поверхности. Результаты анализа приведены в табл. 2.

Из полученных данных видно, что в грунтах, особенно глубоко лежащих, а также в илах выход наиболее тонких частиц при высушивании их до воздушносухого состояния зна-

¹ Агрегатный анализ является весьма важной характеристикой почв в агрономических целях.

² Микроагрегатный анализ применяется для характеристики грунтов при возведении разного рода сооружений.

Таблица 1

Наименование образца	Влажность образца, взятого в анализ	Содержание частиц								
		Диаметры частиц в мм по шкале Стокса								
		>0,2	0,2— 0,1	0,1— 0,05	0,05— 0,02	0,02— 0,01	0,01— 0,005	0,005— 0,002	0,002— 0,001	<0,001
Глина	79,3%	0,7%	6,1%	6,7%	9,7%	8,5%	8,5%	13,0%	11,4%	35,6%
Тот же образец	Высушенный при 100— 105°C	0,5	5,9	5,9	11,1	6,1	13,4	17,6	16,2	23,5
Глина	8,3%	0,1	2,7	0,5	10,7	11,4	9,1	16,0	13,7	35,7
Тот же образец	Высушенный при 100— 105°C	—	—	0,8	13,3	15,0	13,8	19,8	12,9	24,3
Морской прибрежный ил с глубины 0,65 м	Естественная влажность	0,2	0,3	0,4	24,0			28,0%		47,1%
Тот же образец	Высушенный при 100— 105°C	16,2	15,6	2,0	32,0			22,7		10,7
Морской прибрежный ил с глубины 2 м	Естественная влажность	0,2	0,4	0,7	21,7			33,0		44,0
Тот же образец	Высушенный при 100— 105°C	16,6	7,0	0,6	28,1			22,1		15,6

Данные В. И. Савельева

Таблица 2

Наименование образца, глубина взятия (в м), составление влажности	Влажность при подго- товке к анализу	Содержание частиц				
		размеры частиц в мм по шкале Стокса				
		> 0,05	0,05— 0,01	0,01— 0,0024	0,0024— 0,0012	< 0,0012
I. Глина; скв. 19 глубина 5,0—6,45 м; естественная влажность . . .	15,84 %	21,8 %	9,7 %	26,9 %	7,3 %	34,3 %
Та же глина в воздушно-сухом состоянии . . .	3,00	22,0	11,2	30,1	10,8	24,9
II. Глина; скв. 19, глубина 8,1—8,35 м; естественная влажность . . .	17,03	30,8	10,2	27,6	6,6	24,8
Та же глина в воздушно-сухом состоянии . . .	2,24	32,0	12,3	28,0	7,8	19,9
III. Глина; скв. 19; глубина 9,35—9,8 м; естественная влажность . . .	18,07	32,0	8,4	26,6	5,6	27,4
Та же глина в воздушно-сухом состоянии . . .	2,16	34,5	9,8	30,7	7,6	17,4
IV. Тяжелый пылеватый суглинок; глубина 6,9—7,15 м; естественная влажность	12,98	29,7	11,1	29,6	5,7	23,0
Тот же грунт в воздушно-сухом состоянии . . .	2,46	24,8	12,0	33,8	8,8	20,6
V. Тяжелый пылеватый суглинок; глубина 0,3 м; естественная влажность	17,6	14,8	11,9	45,7	11,0	16,6
Тот же грунт в воздушно-сухом состоянии . . .	1,91	13,7	13,0	49,9	10,6	12,8
VI. Средний суглинок; глубина 0,3 м; естественная влажность	12,15	52,1	15,5	15,7	4,5	12,2
Тот же грунт в воздушно-сухом состоянии . . .	0,74	51,2	17,7	15,5	4,6	11,0
VII. Средний суглинок глубина 1,2 м; естественная влажность . . .	12,64	48,5	12,3	19,6	4,1	15,5
Тот же грунт в воздушно-сухом состоянии . . .	0,79	48,6	14,1	19,8	6,0	11,5
VIII. Средний суглинок; глубина 0,3 м; естественная влажность . . .	11,47	57,4	11,1	16,0	3,6	11,9
Тот же грунт в воздушно-сухом состоянии . . .	0,77	57,7	11,9	18,6	3,4	8,4
IX. Легкий пылеватый суглинок; с поверхности; естественная влажность	28,32	21,7	23,2	43,5	6,8	4,8

Продолжение табл. 2

Наименование образца, глубина взятия (в м), составление влажности	Влажность при подго- товке к анализу	Содержание частиц				
		размеры частиц в мм по шкале Стокса				
		> 0,05	0,05— 0,01	0,01— 0,0024	0,0024— 0,0012	< 0,0012
Тот же грунт в воз- душносухом состоянии	4,06	24,6	23,7	41,3	6,2	4,2
X. Легкая супесь; с поверхности, естествен- ная влажность	31,35	81,3	7,2	7,8	1,2	2,5
Тот же грунт в воз- душносухом состоянии	1,37	82,7	7,3	7,1	1,1	1,8
XI. Морской прибреж- ный ил; глубина 0,65 м; естественная влажность	Ест. вл.	0,9	24,0	28,0	47,1 %	Дан- ные В. И. Са- вель- ева
Тот же образец в воз- душносухом состоянии .	Воздушно- сух.	7,4	23,1	35,2	34,3	
XII. Морской прибреж- ный ил; глубина 2 м.	Ест. вл.	1,3	21,7	33,0	44,0	
	Воздушно- сух.	4,4	26,6	35,0	34,0	

читель но меньше, чем при анализе при естественной влажности. Для грунтов, лежащих близко к поверхности, эти расхождения будут меньше и, естественно, тем меньше, чем менее глинист грунт.

ПОДГОТОВКА ГРУНТОВ К АНАЛИЗУ

Наиболее распространенными методами для подготовки грунта к микроагрегатному анализу являются следующие: 1) растирание грунта, размоченного в воде; 2) кипячение грунта; 3) взвалтывание на том или ином приборе; 4) комбинация двух или трех вышеуказанных методов.

Растирание грунта, предварительно намоченного в воде в течение суток, приводит к уничтожению макроструктуры. Если растирание ведется тщательно и долго, то этот метод подготовки дает результаты часто не хуже, чем при часовом кипячении с растиранием. Однако, несмотря на это, рекомендовать этот метод подготовки как стандартный нельзя, так как он является в высшей степени зависящим от индивидуальности аналитика.

Второй метод — метод кипячения. Назвать этот метод только механическим неправильно. Несомненно, в грунтах глинистых и суглинистых под влиянием высокой температуры будут протекать и химические процессы, например гидролиз.

При подготовке грунтов к анализу только кипячением, как показали наши опыты, часто невозможно добиться постоянства результатов: во многих случаях при более длительном кипячении грунта получается больший выход тонкодисперсных частиц (длительность кипячения колебалась от долей часа до 48 часов). Однако одно кипячение, даже длительное, не дает полной и нужной диспергации. Мы проделывали такие опыты: отмучивали заранее глинистую фракцию (частицы $< 0,002$ мм), доводили до воздушносухого состояния, затем кипятили продолжительное время и снова определяли содержание тех же частиц; при этом выход их никогда не равнялся 100%, а был значительно меньше.

Можно опасаться, что кипячение при подготовке к анализу морских осадков приведет их к необратимой сильной коагуляции. Нами был взят морской осадок при естественной влажности и подвергался анализу, как предварительно прокипяченный в течение 6 часов, так параллельно и без кипячения, подготовленный методом растирания. В первом случае количество глинистых частиц ($< 0,002$ мм) получилось равным 33,5%, а во втором — 52,7%, т. е. при кипячении выход этих частиц снизился на 19,2%.

Третий метод подготовки — это метод взбалтывания.

В настоящее время в разных лабораториях применяются три типа болтушек: вращающаяся болтушка Вагнера, болтушка с горизонтальным ходом и диспергатор. Мешалка Вагнера и болтушка с горизонтальным ходом дают 200 оборотов в минуту, диспергатор-мешалка делает около 10 000 оборотов в минуту.

По исследованиям Тарасовой, болтушка с горизонтальным ходом при взбалтывании в течение 2 часов дает такие же результаты диспергирования, как и взбалтывание на вагнеровской болтушке в течение 4 часов, а для некоторых почв оно равноценно 8-часовому взбалтыванию на последней.

Отсюда, естественно, вытекает, что для производства массовых анализов вагнеровская болтушка не подходит, но и работа болтушкой с горизонтальным ходом, на которой нужно производить взбалтывание в течение 2 часов, является очень тяжелой.

На диспергаторе по методике, принятой в Бюро общественных дорог США, грунты, имеющие число пластичности < 5 , обрабатываются в течение 5 мин., грунты с числом пластичности 5—20 — в течение 10 мин., а грунты с числом пластичности > 20 — в течение 15 мин.

Исследованиями Зауербрея, проведенными в лаборатории инженерной геологии Института гидротехники, было выяснено,

что взбалтывание на диспергаторе супесей в течение 5 мин. и суглинков и глин в течение 10 мин. дает полное диспергирование грунтов.

Мы с своей стороны тоже проделали эту работу, так как диспергатор, когда нужно производить большое количество анализов при такой малой затрате времени на подготовку, является очень ценным. Анализы грунтов производились как с предварительной подготовкой их на диспергаторе, так и с подготовкой путем кипячения и растирания. Результаты представлены в табл. 3.

Как видно из этой таблицы, в большинстве случаев диспергатор дает несколько больший выход наиболее тонко дисперсных частиц ($< 0,0012$ мм), чем кипячение с растиранием. Но все же цифры получаются сравнимые.

Однако надо сказать, что это не всегда так. Имеются некоторые грунты, которые, при одном диспергировании, в последующем анализе начинают коагулировать (вероятно такие грунты содержат бикарбонаты кальция). Для того, чтобы определить наперед, можно ли диспергирование вести в диспергаторе, необходимо поставить предварительные испытания — пробу на коагуляцию грунта. Если грунт будет коагулировать, а последующее кипячение будет эту коагуляцию уничтожать, то метод подготовки на диспергаторе будет неподходящим. Если же коагуляция будет иметь место и после кипячения, то это, несомненно, указывает на необходимость вести анализ грунта с предварительным отмыванием солей и последующей подготовкой на диспергаторе.

При подготовке грунта на диспергаторе возникали сомнения: не будет ли этот прибор, при таком большом количестве оборотов, разбивать крупные частицы. И с одной стороны, в этих целях, а с другой — в целях установления времени, которое нужно вообще для диспергации, мы провели ряд опытов по определению состава с подготовкой грунта на диспергаторе в течение 5—10—15 мин. Результаты этих опытов показывают, что выход частиц $> 0,05$ мм (см. табл. 3) при обработке в течение 5, 10 и 15 мин. получился один и тот же. То же получилось и в отношении фракции 0,05—0,016 мм. Следовательно, разбивание частиц не происходило.

Если мы посмотрим зависимость выхода глинистых частиц от времени взбалтывания, то, оказывается, выход глинистых частиц будет один и тот же при 5, 10 и 15 мин. Таким образом, по нашим опытам, 5 мин. при подготовке грунтов, даже глинистых, на диспергаторе вполне достаточно.

Какой же метод подготовки предложить в настоящее время как наилучший? Мы считаем, что подготовка на диспер-

Таблица 3

Наименование грунта	Метод подготовки	Содержание частиц				
		Размеры в мм по шкале Стокса				
		> 0,05	0,05—0,011	0,011—0,0024	0,0024—0,0012	< 0,0012
Латинская глина	1. Кипячение 1 ч. и растирание . . .	3,7%	11,2%	37,1%	46,9%	46,9%
	2. Взбалтывание на диспергаторе в течение 5 мин.	6,8	10,0	33,8	49,0	49,0
	3. То же 10 мин.	7,2	10,8	34,8	47,2	47,2
	4. То же 15 мин.	6,9	10,6	35,0	47,2	47,2
Глина	1. Кипячение 1 ч. и растирание . . .	12,6	8,1	28,6	12,8	43,7
	2. Взбалтывание на диспергаторе в течение 5 мин.	13,2	7,6	26,7	7,7	44,9
	3. То же 10 мин.	12,5	7,3	26,4	8,6	46,2
	4. То же 15 мин.	12,0	8,1	26,2	7,9	45,3
Глина	1. Кипячение 1 ч. и растирание . . .	31,5	11,2	31,2	4,2	22,0
	2. Взбалтывание на приборе Буюкоса в течение 5 мин.	31,7	9,1	22,9	9,5	26,9
	3. То же 10 мин.	30,4	10,5	22,3	10,6	26,1
	4. То же 15 мин.	30,6	10,4	20,5	10,9	27,7

Наименование грунта	Метод подготовки	Содержание частиц				
		> 0,05	0,05—0,011	0,011—0,0024	0,0024—0,0012	< 0,0012
Тяжелая супесь	1. Кипячение 1 ч. и растирание . . .	70,4%	13,4%	8,8%	3,5%	3,9%
	2. Взбалтывание на приборе Буюкоса в течение 5 мин.	69,4	14,8	10,2	2,1	3,5
	3. То же 10 мин.	69,1	14,3	10,0	2,3	4,5
	4. То же 15 мин.	67,5	15,0	10,5	2,1	4,9
Легкая супесь	1. Кипячение 1 ч. и растирание . . .	80,2	2,5	5,9	1,4	4,0
	2. Взбалтывание на диспергаторе в течение 5 мин.	83,0	5,0	6,4	1,6	4,1
	3. То же 10 мин.	83,3	5,0	5,9	0,8	4,9
	4. То же 15 мин.	83,1	5,6	6,1	1,3	4,0
Легкая супесь	1. Кипячение 1 ч. и растирание . . .	90,2	0,8	3,7	1,0	4,5
	2. Взбалтывание на диспергаторе в течение 5 мин.	92,4	2,1	2,7	0,2	2,6
	3. То же 10 мин.	92,4	1,3	3,1	0,7	2,6
	4. То же 15 мин.	92,6	1,7	2,5	0,9	2,3

гаторе является наиболее приемлемым, однако не для тех грунтов, где имеется коагуляция, уничтожающаяся при кипячении.

Учитывая, что наиболее близким к нему будет метод подготовки грунта кипячением в течение 1 часа с последующим растиранием, можно допустить, наряду с подготовкой на диспергаторе, и последний. Что касается морских илов, то хотя в настоящее время достаточных данных не имеется, наши опыты уже показывают, что кипятить их перед анализом нельзя.

МЕТОДЫ МИКРОАГРЕГАТНОГО АНАЛИЗА ГРУНТА

При анализе грунтов анализируются отдельно частицы крупнее 0,25 мм и частицы $< 0,25$ мм.

Анализ частиц $> 0,25$. Для анализа грунт удобнее брать не по весу, а по объему. Если грунт не содержит частиц крупнее 2 мм, то, чтобы получить надежную среднюю пробу, следует взять не менее 200 см³, при наличии в грунте гравия и гальки (10—30%) не менее 2 л, а при большем содержании — не менее 3 л.

Для анализа частиц $> 0,25$ наиболее приемлемым методом является ситовой. Какие применять сита? Конференция Первой комиссии МАП по физике почв в 1934 г. в Версале постановила применять сита проволочные с квадратными отверстиями определенных марок. В Советском Союзе в настоящее время пользуются как ситами квадратными, так и круглыми штампованными. В то же время известно, что и новые сита, которые у нас в настоящее время имеются, являются совершенно не стандартными, и в них имеются отверстия значительно крупнее нормы.

Принимая это во внимание, если мы хотим разделить крупнозем на фракции более или менее правильно, необходимо отказаться от проволочных сит и применять сита только с круглыми отверстиями, штампованные. При этом надо сказать, что анализ крупных частиц должен проходить при предварительном замачивании грунта и под струей воды.

Во многих лабораториях на ситах разделяют не только частицы $> 0,25$ мм, но делят на фракции и частицы $< 0,25$ мм, применяя сита с отверстиями в 0,1 мм и даже мельче (0,08 и 0,06 мм). Однако достаточных оснований к этому не имеется. Заубербрай [2] указывает, что предельная величина зерен, до которой можно доходить путем отсеивания, — это 0,2 мм (практиковались и до 0,1 мм шелковые сита), но и при этой величине получаются уже очень грубые ошибки.

Архангельский [1] в своей работе пишет: «Исследование проволочных сит Кюнсом показало, что даже в новых, не

бывших в употреблении проволочных ситах стороны квадрата отклоняются от нормы; в ситах же, уже бывших в употреблении хотя бы и незначительное количество времени, величина квадрата сита сильно меняется, весьма значительно отклоняясь от среднего. По нашим наблюдениям, проведенным при помощи микроскопа с окулярным микрометром, сторона квадрата сит, до работы более или менее точно равнявшаяся 0,5 мм (и у другого сита 0,25 мм), после пяти дней использования их изменилась так, что сита эти пропускали частицы песка вдвое более крупные, чем сторона квадрата клеток этих сит, фиксированная в начале работы».

Не только отдельные исследователи, но и ряд научных организаций считает невозможным разделять ситовым методом частицы $< 0,2$ мм на отдельные фракции. Так, международная конференция первой комиссии МАП по физике почв в 1934 г. постановила вести разделение частиц песка на ситах в воде до 0,2 мм и высказала пожелание исследовать, возможно ли просеиванием в воде точно отделить частицы до 0,04 мм.

Приведем по этому вопросу некоторые экспериментальные данные. Короткевичем [4] анализировались порошки раздробленного известняка и мрамора. Им были получены отсеиванием без промывки на ситах фракции различной крупности и затем они были проверены методом Сабанина с разделением на частицы до 0,05 мм. Результаты этих опытов приведены в табл. 4.

Таблица 4

Диаметр частиц фракций, полученных в результате ситового анализа (в мм), проверенных по методу Сабанина. Каждая фракция принята за 100%	Определяемая фракция в результате проверки по Сабанину имеет состав		
	содержание определяемой фракции	частиц с размерами от нижней границы фракции до 0,05 мм	частиц с размерами $< 0,05$ мм
Порошок из известняка:			
2—1	74,6%	20,7 %	4,7 %
1—0,5	68,4	24,3	7,3
0,5—0,2	76,4	14,7	9,0
0,2—0,088	58,2	29,6	12,2
Порошок из мрамора:			
2—1	72,9	26,5	0,6
1—0,5	91,8	7,4	0,8
0,5—0,2	72,8	22,8	4,4
0,2—0,088	61,0	27,7	11,3

Как видно из этой таблицы, при просеивании без промывания результаты получаются грубо приближенными, и особенно большие отклонения имеют место в самой тонкой фракции (0,2—0,05 мм). Содержание частиц <0,05 мм как в порошке из известняка, так и из мрамора было больше 10%.

Мало утешительные результаты получаются и при анализе природных песков, если отсеивание вести без предварительной обработки. Нами был взят чистый по внешнему виду песок (100 г) и просеян через сите в 0,2 мм. Анализ велся таким образом: первый раз песок отсеивался в течение 30 мин., а затем отсеванные фракции взвешивались; частицы, не прошедшие через сите, снова закладывались в него, снова производилось отсеивание в течение 30 мин. и т. д. Полученные результаты приводятся в табл. 5.

Таблица 5

Размер частиц (в мм)	Процент содержания частиц через промежутки в			
	30 мин.	30 мин.	30 мин.	30 мин.
Крупнее 0,2 мм . . .	45,8%	44,3%	43,4%	42,7%
Меньше 0,2 мм . . .	53,3	54,8	55,6	56,3

Из этого опыта видно, что для более или менее удовлетворительного (для практических целей) отделения частиц на сите в 0,2 мм нужно затратить не меньше 1 часа и даже больше.

При разделении частиц на ситах более мелких результаты получаются совершенно неприемлемыми. Нами был взят пылеватый песок и просеивался через сите в 0,2, 0,08 и 0,06 мм. Опыт велся так же, как и в предыдущем случае. Для анализа были взяты новые сите немецкой фирмы «Top Industrie». Навеска равнялась 100 г. Полученные результаты приводятся в табл. 6.

Таблица 6

Размеры фракций (в мм)	Процент содержания частиц через промежутки в					
	30 мин.	30 мин.	30 мин.	1 ч. 30 мин.	1 час	1 час
>0,2	0,7%	0,7%	0,5%	Не отсеивались		
0,2—0,08	11,35	10,9	9,1	6,9%	5,8%	5,2%
0,08—0,06	41,6	40,2	39,1	37,2	33,5	31,1
<0,06	44,4	48,3	51,0	55,0	59,7	62,5

Данные, полученные в последнем случае, а также данные Короткевича показывают, что производить разделение на

фракции частиц $< 0,2$ мм без специальной подготовки нельзя. Результаты получаются настолько искаженными, что они не имеют ни практической, ни научной ценности.

В дальнейшем нами был проведен гранулометрический анализ песка с предварительной подготовкой. Песок (100 г) был прокипячен с водой в течение 1 часа, затем обработан 6 раз 1%-м раствором едкого натрия и из него были отмыты частицы $< 0,05$ мм путем последовательных сливаний до полного просветления. Остаток (частицы $> 0,05$ мм) был просушен и просеян через сита. Просеивание велось так же, как и в предыдущих опытах. Результаты анализа видны из табл. 7.

Таблица 7

Размеры фракций (в мм)	Процент содержания фракций через промежутки в			
	1 час	1 час	1 час	1 час
0,2—0,08	7,2%	5,3%	4,3%	3,7%
0,08—0,06	32,9	29,4	27,0	24,5
$< 0,06$	32,6	37,7	40,9	43,7

Как видно из этой таблицы, результаты при анализе с подготовкой получаются не более точными, чем и без подготовки. Отдельные фракции после 3-часового просеивания были исследованы под микроскопом; при этом оказалось, что во фракции $< 0,06$ мм очень много частиц в 0,08 и в 0,1 мм, а во фракции 0,08—0,06 мм частиц $> 0,1$ мм. Поэтому сказать, какие результаты более отвечают действительности, полученные ли после первого часа отсеивания, или после второго, третьего и четвертого, невозможно.

На основании всего вышеизложенного мы считаем, что разделять на фракции частицы $< 0,2$ мм на проволочных ситах невозможно, так как при этом получаются слишком грубые ошибки, и тем грубее, чем мельче фракция.

Анализ частиц $< 0,25$ мм для анализа мелких частиц существует в настоящее время три метода: декантации, пипетки и ареометрический.

Метод декантации. Метод Фадеева и Вильямса может быть и будет наиболее правильным, но необходимо учитывать то, что при этом методе отделение глинистых частиц ($< 0,002$ мм) тянется в течение недель, а иногда даже и месяцев. Поэтому данный метод не может быть принят как метод массовых анализов, да фактически от него уже и отказались.

Второй метод — это метод пипетки, который в настоящее время принят во многих лабораториях. При анализе методом пипетки весьма важно выявить, какие следует применять концентрации суспензии. В своих исследованиях мы брали на 1 л 3, 5, 10, 15, 20, 30 и 50 г грунта, а для тяжелой супеси и 100 г.

Проделанные анализы показывают (см. рисунки), что при концентрации, равной 3 г грунта на 1 л воды, результаты получаются неустойчивыми вследствие малости навески и не-

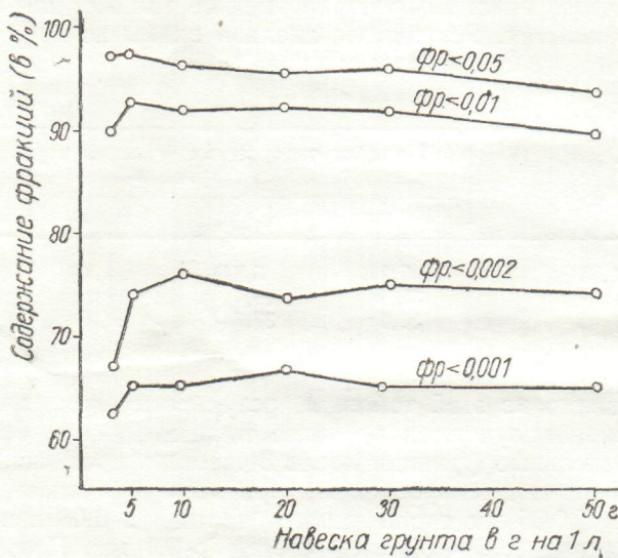


Рис. 1.

точности весов. Если же концентрации брать большие, то в пределах от 5 до 50 г на 1 л и для супеси до 100 г результаты получаются одинаковыми, и отклонения могут быть лишь очень незначительные.

Учитывая то обстоятельство, что чем больше берется грунта для анализа, тем ближе взятая проба будет отвечать действительному составу грунта, следует навеску брать не менее 50 г на 1 л. Однако чем больше берется навеска, тем больше в раствор из грунта переходит растворимых солей и тем ближе их концентрация приближается к порогу коагуляции. Вследствие этого нередко бывают случаи, что грунты, совершенно не коагулирующие при малых концентрациях суспензии, при больших явно коагулируют. На основании вышеизложенных соображений можно рекомендовать брать навеску в

10 г для глинистых и суглинистых грунтов и, вследствие малого содержания глинистых частиц в супесчаных грунтах, увеличить эту навеску для последних до 20 г.

При описываемом методе пипетка должна отвечать следующим требованиям: 1) она должна быть запаяна снизу, 2) иметь 4 боковых отверстия, 3) иметь объем, равный 20 см³; 4) иметь приспособление для ее промывания после взятия пробы и 5) иметь приспособления для плавного и равномерного, без всяких взмучиваний, набирания суспензии.

Глубины, с которых берутся пробы суспензии, могут быть разные, но не следует брать с глубины меньшей 5 см от поверхности и с глубины, лежащей от дна цилиндра на величину меньшую 5 см.

Сходимость между параллельными определениями по пипеточному методу является вполне достаточной; по нашим данным, как средняя величина из 636 определений она равна 0,6%.

Рассмотрим третий метод — метод ареометрический. Как известно, этот метод имеет уже значительное распространение и применение. Сходимость между параллельными опытами по этому методу равна, по исследованиям Зауербреха [2], 2—3%, т. е. она меньше сходимости по пипеточному методу.

Навеска грунта при ареометрическом методе рекомендуется в 30—50 г на 1 л. По нашим данным, навеска в 50 г дает больший выход глинистых частиц, чем навеска в 30 г.

Что касается сравнимости результатов по ареометрическому и пипеточному методу, то она, по литературным данным, является удовлетворительной. По данным Зауербреха, разница в выходе глинистых частиц обычно равнялась 2—3% и лишь в отдельных случаях достигала 4—5%. Такие же примерно результаты получились и у других исследователей. Нами тоже были проведены работы подобного рода. Результаты приведены в табл. 8. При ареометрическом анализе были взяты навески по 50 г на 1 л.

Как видно из приведенных опытов, среднее расхождение в выходе глинистых частиц по ареометрическому и пипеточному методам равно 2—3%, в отдельных случаях оно равно 5 и даже 7%, причем в большинстве случаев выход частиц по ареометрическому методу меньше, чем по методу пипетки.

Из всего вышеизложенного можно видеть, что метод пипетки является более точным, чем ареометрический.

При методе пипетки и ареометрическом на результаты существенным образом влияет, какую шкалу для расчета времени падения частиц мы применяем. В. В. Архангельский [1]

Таблица 8

Наименование грунта	Метод анализа	Процент содержания частиц в мм по шкале Стокса			
		0,016—0,0024 мм	Расхождение	<0,0024 мм	Расхождение
Часовъярская глина	Ареометр . . .	27,0 %	+1,6%	63,0 %	-1,2%
	Пипетка . . .	28,6		61,8	
Латнинская глина	Ареометр . . .	38,5	-1,1	43,5	+3,5
	Пипетка . . .	37,4		47,0	
Глина	Ареометр . . .	39,0	-5,8	43,0	+4,0
	Пипетка . . .	34,1		47,0	
Глина	Ареометр . . .	47,0	-0,4	38,0	+2,9
	Пипетка . . .	46,6		40,9	
Глина	Ареометр . . .	31,0	-2,0	27,0	+7,2
	Пипетка . . .	29,0		34,2	
Тяжелый суглинок	Ареометр . . .	25,0	+2,5	23,0	+3,9
	Пипетка . . .	27,5		26,9	
Тяжелый суглинок	Ареометр . . .	35,0	-1,6	18,0	+5,7
	Пипетка . . .	33,4		23,7	
Средний суглинок	Ареометр . . .	48,0	+3,5	16,0	-0,8
	Пипетка . . .	51,5		15,2	
Средний суглинок	Ареометр . . .	16,0	-2,3	17,0	-1,8
	Пипетка . . .	18,3		15,2	
Средний суглинок	Ареометр . . .	11,0	-0,2	15,0	+2,7
	Пипетка . . .	10,8		17,7	
Легкий суглинок	Ареометр . . .	16,5	0,0	16,0	+0,5
	Пипетка . . .	16,5		16,5	
Легкий суглинок	Ареометр . . .	22,0	-0,7	10,0	+2,7
	Пипетка . . .	21,3		12,7	
Тяжелая супесь	Ареометр . . .	13,0	-1,0	9,0	-0,2
	Пипетка . . .	12,0		8,8	
Тяжелая супесь	Ареометр . . .	7,5	+0,3 *	4,5	+3,3
	Пипетка . . .	7,8		7,8	

выяснил, что при применении разных шкал, но при сохранении одинаковыми всех других условий, один и тот же грунт по дорожной классификации может быть назван «супесь легкая», «супесь тяжелая», «пылеватый легкий суглинок» и «пылеватый средний суглинок». Во избежание в дальнейшем неточностей, необходимо держаться всем одной шкалы.

Многие лаборатории до последнего времени пользовались шкалой Сабанина. Как известно, имеется постановление Международного почвенного конгресса о необходимости пользования шкалой Стокса как более обоснованной и точной, учитывающей влияние температуры и вязкости жидкости на скорость падения частиц. Этой шкалой и следует пользоваться. Некоторые исследователи, перейдя на шкалу Стокса, продолжают принимать за верхнюю границу глинистых частиц частицы в 0,005 мм. Частицы же в 0,005 мм по шкале Сабанина, которые прежде принимались за верхнюю границу глинистых частиц, отвечают по шкале Стокса не частицам в 0,005 мм, а ближе стоят к частичкам в 0,002 мм, а именно частицы в 0,005 мм по шкале Сабанина отвечают частичкам 0,0024 мм по шкале Стокса.

ЛИТЕРАТУРА

1. Архангельский В. В. Исследование методов механического анализа грунтов. НИИГ, т. V, 1932.
2. Зауербрай И. И. Обзор современных германских работ по установлению связи между водными свойствами и механическим составом почво-грунтов. 1927.
3. Журн. «Почвоведение», № 1, 1935.
4. Короткевич В. Б., Сборн. «Минеральные порошки для асфальтобетона», 1933.