

ЛЕННИНГРАДСКИЙ ОРДЕНА ЛЕНИНА  
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ А. А. ЖДАНОВА

УЧЕНЫЕ ЗАПИСКИ

№ 93

На дом № 1

ГЕОЛОГИЯ И ГЕОХИМИЯ



ИЗДАТЕЛЬСТВО  
ЛЕНИНГРАДСКОГО УНИВЕРСИТЕТА  
1948

## МИКРОАГРЕГАТНЫЙ АНАЛИЗ ГРУНТОВ

*B. B. Охотин и Г. Ф. Богданов*

Гранулометрический состав грунтов несомненно является одним из важных показателей при их классификации, в то же время он существенным образом обусловливает их многие важные физические свойства — липкость, пластичность, набухание, усадку и др. Часто по гранулометрическому составу можно судить и о генезисе 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 систему анализов, а именно: 1) агрегатный анализ, при котором стремятся определить по возможности все агрегаты, как макро-, так и микроагрегаты; 2) микроагрегатный, при котором сохраняются только микроагрегаты, являющиеся наиболее устойчивыми, сохранившимися при механических воздействиях на грунт, и 3) элементарный анализ, при котором определяется размер первичных частиц грунта.

Результаты, получаемые при микроагрегатном анализе, 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 всеми лабораториями грунты анализируются при одинаковой влажности. Некоторые лаборатории анализируют грунты в абсолютно сухом состоянии, большинство лабораторий ведет анализы при воздушно-сухом состоянии, а некоторые лаборатории анализируют при естественной влажности.

Если анализировать грунты, доводя их до абсолютно сухого состояния, что несколько упрощает дальнейшие вычисления, то многие грунты при этом существенным образом изменяют свой состав, а именно, выход наиболее дисперсных частиц, т. е.

ТАБЛИЦА 1

Наименование образца	Влажность образца, взятого в анализ	Диаметр 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
Глина	79,3%	6,1	6,7	9,7	8,5	13,0	11,4	35,6	
Тот же образец	Абс. сухой	0,7	5,9	11,1	6,1	17,6	16,2	23,5	
Глина	8,3%	0,5	2,7	0,5	10,7	9,1	16,0	35,7	
Тот же образец	Абс. сухой	0,1	—	13,3	15,0	13,8	12,9	24,3	

**Примечание.** Подготовка грунта к анализу состояла в 6-часовом кипчении и тщательном после кипчения растирании.

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 в абсолютно сухом состоянии нельзя.

Остаются две возможности: анализировать грунты при естественной влажности или в воздушно-сухом состоянии. Нами проделан ряд анализов грунта при естественной влажности и в воздушно-сухом состоянии, причем грунты брались как сравнительно глубоко залегающие, 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, выход наиболее тонких частиц при высушивании их до воздушно-сухого состояния значительно меньше, чем при анализе при естественной влажности. Для грунтов, лежащих близко к поверхности, эти расхождения будут меньше и, естественно, тем меньше, чем менее глинистый грунт.

### Подготовка грунтов к анализу

Для подготовки грунта к микротестированию наиболее распространенными методами являются следующие: 1) растирание грунта, размоченного в воде; 2) кипчение грунта; 3) взбалтывание на том или другом приборе; 4) комбинация двух или трех вышеуказанных методов.

ТАБЛИЦА 2

Наименование образца, глубина взятия в м, со-стояние влажности	Влаж-ность при подго-тотке к анализу в %	% содержания частиц. Размеры в мм по шкале Сабанина				
		>0,05	0,05–0,01	0,01–0,005	0,005–0,001	<0,001
I { Глина скв. 19, глуб. 5,0–6,45 м, ест. вл. . . . .	15,84	21,8	9,7	26,9	7,3	34,3
Та же глина в возд.-су-хом состоянии . . . . .	3,00	22,0	11,2	30,1	10,8	24,9
II { Глина Селижар-уголь скв. 19, глуб. 8,1–8,35 м, ест. вл. . . . .	17,03	30,8	10,2	27,6	6,6	24,8
Та же глина в возд.-су-хом состоянии . . . . .	2,24	32,0	12,3	28,0	7,8	19,9
III { Глина Селижар-уголь скв. 19, глуб. 9,35–9,8 м, ест. вл. . . . .	18,07	32,0	8,4	26,6	5,6	27,4
Та же глина в возд.-су-хом состоянии . . . . .	2,16	34,5	9,8	30,7	7,6	17,4
IV { Тяжелый пылеватый су-глинок, глуб. 6,9–7,15 м, ест. вл. . . . .	12,98	29,7	11,1	29,6	5,7	23,0
Тот же грунт в возд.-су-хом состоянии . . . . .	2,46	24,8	12,0	33,8	8,8	20,6
V { Тяжелый пылеватый су-глинок, глуб. 0,3 м, ест. вл. . . . .	17,6	14,8	11,8	45,7	11,0	16,6
Тот же грунт в возд.-су-хом состоянии . . . . .	1,91	13,7	13,0	49,9	10,6	12,8
VI { Средний суглинок, глуб. 0,3 м, ест. вл. . . . .	12,15	52,1	15,5	15,7	4,5	12,2
Тот же грунт в возд.-су-хом состоянии . . . . .	0,74	51,2	17,7	15,5	4,6	11,0
VII { Средний суглинок 1,2 м, ест. вл. . . . .	12,64	48,5	12,3	19,6	4,1	15,5
Тот же грунт в возд.-су-хом состоянии . . . . .	0,79	48,6	14,1	19,8	6,0	11,5
VIII { Средний суглинок, глуб. 0,3 м, ест. вл. . . . .	11,47	57,4	11,1	16,0	3,6	11,9
Тот же грунт в возд.-су-хом состоянии . . . . .	0,77	57,7	11,9	18,6	3,4	8,4
IX { Легкий пылеватый су-глинок с поверхности, ест. вл. . . . .	28,32	21,7	23,2	43,5	6,8	4,8
Тот же грунт в возд.-су-хом состоянии . . . . .	4,06	24,6	23,7	41,3	6,2	4,2
X { Легкая супесь с поверх-ности, ест. вл. . . . .	31,35	81,3	7,2	7,8	1,2	2,5
Тот же грунт в возд.-су-хом состоянии . . . . .	1,37	82,7	7,3	7,1	1,1	1,8

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 индивидуальным и зависящим от аналитика.

Второй метод — метод кипячения. Назвать этот метод только механически 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 воздушно-сухого 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 прибор Буюкоса. Мешалка Вагнера и болтушка с горизонтальным ходом дают 200 оборотов в минуту, в приборе Буюкоса мешалка делает 10 000 оборотов в минуту.

По исследованиям Тарасовой болтушка с горизонтальным ходом при взбалтывании в течение двух часов дает такие же результаты дисперсии, 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 манипуляцией очень тяжелой.

На приборе Буюкоса 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. и грунт с числом пластичности  $>20$  — в течение 15 мин.

Исследованиями Зауербрея, проведенными в лаборатории инженерной геологии Института гидротехники, было выяснено, что взбалтывание на приборе Буюкоса в течение 5 мин. супесей и в течение 10 мин. суглинков и глин дает полное диспергирование грунтов.

Мы с своей стороны тоже проделали эту работу, так как прибор Буюкоса, 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 приборе Буюкоса, так и с подготовкой путем кипячения и растирания. Результаты представлены в табл. 3.

Как видно из таблицы, в большинстве прибор Буюкоса дает несколько больший выход наиболее тонко дисперсных частиц (0,001 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 при последующем анализе начинают коагулировать (вероятно такие грунты содержат бикарбонаты кальция). Для того чтобы определить наперед, можно ли диспергирование вести в приборе Буюкоса, необходимо поставить предварительные испытания — пробу на коагуляцию грунта. Если грунт будет коагулировать, а последующее кипячение будет эту коагуляцию уничтожать, то метод подготовки в приборе Буюкоса 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 последующим диспергированием на приборе Буюкоса.

При подготовке грунта методом Буюкоса возникали сомнения: не будет ли этот прибор, при таком большом количестве оборотов, разбивать крупные частицы? И в этих целях, с одной стороны, а с другой стороны, в целях установления времени, которое нужно вообще для диспергации, мы провели ряд опытов по определению состава с подготовкой грунта на приборе Буюкоса в течение 5—10—15 мин. Результаты этих опытов показывают, что выход частиц  $>0,5$  мм (см. табл. 3) при обработке в течение 5, 10, 15 минут получился один и тот же. То же получилось и в отношении фракции 0,05—0,01. Следовательно, разбивания частиц не происходило.

Если мы посмотрим выход глинистых частиц в зависимости от времени взбалтывания, то, оказывается, выход глинистых частиц будет один и тот же при 5, 10 и 15 мин. Таким образом

ТАБЛИЦА 3

Наименование грунта	Метод подготовки	% содержания частиц в мм по шкале Сабанина				
		>0,05	0,05—0,01	0,01—0,005	0,005—0,001	<0,001
Латинская глина	1. Кипячение 1 час + растирание	3,7	11,2	37,1	46,9	46,9
	2. Взбалтывание на приборе Буюкоса 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 час + растирание	12,6	8,1	28,6	12,8	37,3
	2. Взбалтывание на приборе Буюкоса 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 час + 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 в течение 10 мин.	30,4	10,5	22,3	10,6	26,1
	4. То же в течение 15 мин.	30,6	10,4	20,5	10,9	27,7
Тяжелая супесь	1. Кипячение 1 час + 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 в течение 10 мин.	69,1	14,3	10,0	2,3	4,5
	4. То же в течение 15 мин.	67,5	15,0	10,5	2,1	4,9
Легкая супесь	1. Кипячение 1 час + растирание	80,2	2,5	5,9	1,4	4,0
	2. Взбалтывание на приборе Буюкоса в течение 5 мин.	83,0	5,0	6,4	1,6	4,1
	3. То же в течение 10 мин.	83,3	5,0	5,9	0,8	4,9
	4. То же в течение 15 мин.	83,1	5,6	6,1	1,3	4,0
Легкая супесь	1. Кипячение 1 час + растирание	90,2	0,8	3,7	1,0	4,5
	2. Взбалтывание на приборе Буюкоса в течение 5 мин.	92,4	2,1	2,7	0,2	2,6
	3. То же в течение 10 мин.	92,4	1,3	3,1	0,7	2,6
	4. То же в течение 15 мин.	92,6	1,7	2,5	0,9	2,3

по нашим опытам 5 мин. при подготовке грунтов, даже глинистых, на приборе Буюкоса вполне достаточно.

Какой же метод подготовки предложить в настоящее время как наилучший? Мы считаем, что метод Буюкоса 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 приборе Буюкоса и последний. Что касается морских осадков, то хотя в настоящее время достаточных данных не имеется, но наши опыты уже показывают, что кипятить их перед анализом нельзя.

### Методы гранулометрического анализа грунта

При анализе грунтов анализируется отдельно крупнозем (частицы крупнее 0,25 мм) и мелкозем (частицы  $<0,25$  мм).

Анализ крупнозема. Для анализа крупнозема 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 см<sup>3</sup>, при наличии в грунте гравия и гальки 10—30% не менее 2 л, а при большем содержании — не менее 3 л.

Для анализа крупнозема наиболее приемлемым методом является ситовой. Какие принять сита? Конференция первой комиссии МАП по физике почв в 1934 г. в Версале постановила применять сита сеточные с квадратными отверстиями определенных марок. В нашем 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 больше нормы.

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

Во многих лабораториях на ситах разделяют не только крупнозем (частицы  $>0,25$  мм), но делают на фракции и частицы  $<0,25$ , применяя сита с отверстиями в 0,1 мм и даже мельче 0,08 и 0,06 мм. Однако достаточных оснований к этому не имеется. Зауербрей 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 уж 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 считают невозможным разделять ситовым методом частицы  $<0,2$  мм на отдельные фракции. Так, Международная конференция Первой комиссии МАП по физике почв, являющаяся самым авторитетным органом по данному вопросу, 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 анализировались порошки раздробленного известняка и мрамора. Им были получены отсеивание на ситах фракции различной крупности и затем 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, проверяемых по методу Сабанина, каждая фракция принята за 100%	Определяемая фракция в результате проверки по Сабанину имеет состав		
	% содержания определяемой фракции	Частиц с размерами от нижней границы фракции до 0,05 мм в %	Частиц с размерами $<0,05$ мм в %
Порошок из известняка	2—1	74,6	20,7
	1—0,5	68,4	24,3
	0,5—0,2	76,4	14,7
	0,2—0,088	58,2	29,6
Порошок из мрамора	2—1	72,9	26,5
	1—0,5	91,8	7,4
	0,5—0,2	72,8	22,8
	0,2—0,088	61,0	27,7

Как видно из данных таблицы при просеивании, 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%.

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

ТАБЛИЦА 5

Размеры частиц в мм	% содержания частиц через разные сроки			
	30 мин.	30 мин.	30 мин.	30 мин.
Крупнее 0,2	45,8	44,3	43,4	42,7
Меньше 0,2	53,3	54,8	55,6	56,3

Из этого опыта видно, что для более или менее удовлетворительного (для практических целей) отделения частицы на сите в 0,2 мм нужно затратить время 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 сита в 0,2, 0,008 и 0,06 мм. Опыт велся так же, как и в предыдущем случае. Для анализа были взяты новые сита немецкой фирмы Ton Industrie. Навеска равнялась 100 г. Результаты получились такие (табл. 6).

ТАБЛИЦА 6

Размеры фракций в мм	% содержания частиц через последовательные сроки отсеивания					
	30 мин.	30 мин.	30 мин.	1 ч. 30 м.	1 час	1 час
>0,2	0,7	0,7	0,5	не отсеивалась		
0,2—0,08	1,35	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	+62,6

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 искаженные, 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 одного часа, затем обработан 6 раз 1% 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	% содержания фракций через последовательные сроки отсеивания			
	1 час	1 час	1 час	1 час
$>0,2$	0,2	не отсеивалась		
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	+5,1	+3,2	+2,8

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 мм 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 сеточных ситах невозможно, так как при этом получаются слишком грубые ошибки и тем грубее, чем мельче фракция.

**Анализ мелкозема.** Для анализа мелкозема существуют в настоящее время три метода: декантация, пипетки и ареометрический метод.

Метод декантации 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 завоевал уже свое место. Метод пипетки 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 (рис. 1), что при концентрации, равной 3 г грунта на 1 л воды, результаты получаются

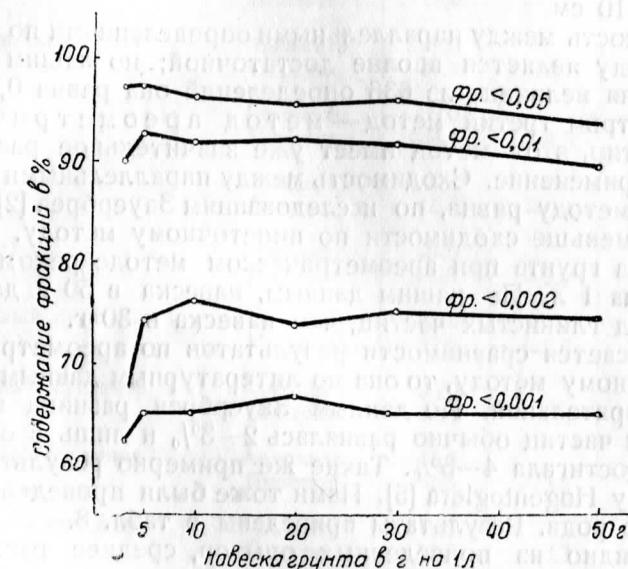


Рис. 1.

неустойчивыми вследствие малости навески и неточности весов. Если же концентрации брать больше, 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 пробы 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 могут быть и 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 см<sup>3</sup>, 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 глубин меньших 5 см от поверхности и с глубины, лежащей от дна цилиндра на величину меньшую 10 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 Зауербрея [2], 2—3%, т. е. она меньше сходимости по пипеточному методу.

Навеска грунта при ареометрическом методе рекомендуется 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 Зауербрея разница в выходе глинистых частиц обычно равнялась 2—3%, и лишь в отдельных случаях достигала 4—5%. Такие же примерно результаты получились и у Hogentoglera [5]. Нами тоже были проведены работы подобного рода. Результаты приведены в табл. 8.

Как видно из приведенных опытов, среднее расхождение в выходе глинистых частиц по ареометрическому и пипеточному методу равно 2,3%, но 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 пипеток является более точным, чем ареометрический.

При методе пипетки и ареометрическом на результаты существенным образом оказывается, какую шкалу для расчета времени падения частиц мы применяем. В. В. Архангельский [1] выяснил, что при применении разных шкал, но при сохранении одинаковыми всех других условий один и тот же грунт по дорожной классификации может быть назван супесью легкой, супесью тяжелой, пылеватым легким суглинком и пылеватым средним суглинком. Для избежания 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.

ТАБЛИЦА 8

Наименование грунта	Метод анализа	% содержания частиц в мм по шкале Стокса			
		0,016—0,0023 мм	Расхождение в %	< 0,0023 мм	Расхождение в %
Часовярская глина .	Ареометр Пипетка	27 28,6	+ 1,6	63,0 61,8	- 1,2
Латнинская глина .	Ареометр Пипетка	38,5 37,4	- 1,1	43,5 47,0	+ 3,5
Глина . . . . .	Ареометр Пипетка	39,0 34,1	- 4,9	43,0 47,0	+ 4,0
Глина . . . . .	Ареометр Пипетка	47,0 46,6	- 0,4	38,0 40,9	+ 2,9
Глина . . . . .	Ареометр Пипетка	31,0 29,0	- 2,0	27,0 34,2	+ 7,2
Тяжелый суглинок .	Ареометр Пипетка	23,0 27,6	+ 4,6	23,0 26,9	+ 3,9
Тяжелый суглинок .	Ареометр Пипетка	35,0 33,4	- 1,6	18,0 23,7	+ 5,7
Средний суглинок .	Ареометр Пипетка	48,0 51,5	+ 3,5	16,0 15,2	- 0,8
Средний суглинок .	Ареометр Пипетка	16,0 18,3	- 2,3	17,0 15,2	- 1,8
Средний суглинок .	Ареометр Пипетка	11,0 10,8	- 0,2	15,0 17,7	+ 2,7
Легкий суглинок .	Ареометр Пипетка	16,5 16,5	0,0	10,0 16,5	+ 0,5
Легкий суглинок .	Ареометр Пипетка	22,0 21,3	- 0,7	10,0 12,7	+ 2,7
Тяжелая супесь .	Ареометр Пипетка	13,0 12,0	- 1,0	9,0 8,8	- 0,2
Тяжелая супесь .	Ареометр Пипетка	7,5 7,8	+ 0,3	4,5 7,8	+ 3,3

## Полевой метод

При полевых изысканиях грунтов для дорожного дела, для гидротехнических сооружений и др. получается громадное количество образцов, которые необходимо исследовать в отноше-

нии их гранулометрического состава на месте, отправляя в лабораторию только наиболее типичные. В настоящее время наиболее распространенным полевым методом является метод Рутковского. Однако этот метод в отношении глинистых частиц дает по сравнению с лабораторным пипеточным большие расхождения, достигающие иногда 10%, средняя точность этого метода принимается равной 5%. Этот метод совершенно непригоден для грунтов, в поглощающем комплексе которых содержится натрий.

В последнее время Богдановым был разработан новый метод, основанный, как и лабораторный пипеточный, на разности скоростей падения частиц разной крупности. Все взвешивания проводятся на технических весах, имеющих точность 0,01 г. Вследствие малой чувствительности применяемых весов навеска грунта берется равной 20 г на 500 см<sup>3</sup> воды и пипетка в 100 см<sup>3</sup> (в лабораторном методе применяется пипетка в 20 см<sup>3</sup>). Взятые пипеткой пробы не выпариваются, как при обычном пипеточном методе, для определения веса частиц в суспензии, а их вес определяется путем сравнения веса суспензии с весом воды в одинаковых объемах при одинаковой температуре, с поправкой на вес воды, вытесненной частицами грунта в пробе.

Расчет количества взвешенных частиц грунта в пробе ведется следующим образом. Если обозначить вес воды в объеме пипетки через  $q$ , вес суспензии в пипетке через  $Q$ , вес частиц грунта в пробе, взятой пипеткой,  $p$ , удельный вес частиц грунта  $\Delta$ , объем воды, вытесненный частицами грунта, через  $v = \frac{p}{\Delta}$ , то для  $Q$  получим:

$$Q = q - v + p = q - \frac{p}{\Delta} + p,$$

откуда  $p$  будет:

$$p = Q - q + \frac{p}{\Delta} = \frac{\Delta(Q - q)}{\Delta - 1}.$$

Если удельный вес грунта принять равным 2,65, как это для минеральных грунтов применяется и в лабораторных анализах, то  $p$  будет равно:

$$p = 1,6(Q - q).$$

Данным методом был проанализирован ряд грунтов, которым был сделан параллельно и анализ по Сабанину — Робинзону. Результаты приведены в табл. 9.

Поскольку результаты для полевого анализа получились вполне удовлетворительные, то впоследствии испытаниям подверглось значительное количество образцов (всего 305), хранившихся в грунтовой лаборатории ДОРНИИ в Ленинграде, над

ТАБЛИЦА 9

№ п/п	Инв. №	Результаты определений по Робинзону в %		Результаты опре- делений по поле- вому методу в %		Отклонения в ре- зультатах полево- го метода от Ро- бинзона в %	
		фракции <0,05 мм	фракции <0,002 мм	фракции <0,05 мм	фракции <0,002 мм	фракции <0,05 мм	фракции <0,002 мм
1	1197	82,22	51,07	84,34	50,11	+2	-4
2	1190	82,50	31,81	77,86	35,20	-5	+0
3	1187	88,36	43,73	83,20	40,00	-5	+3
4	1189	90,84	39,47	90,60	37,83	0	-1
5	1209	82,60	38,69	80,53	36,80	-2	-2
6	792	92,74	29,56	90,01	27,77	-3	-2
7	793	9,22	1,40	7,99	1,45	-1	0
8	695	49,64	11,71	47,40	11,98	-2	0
9	697	51,09	14,39	50,69	14,93	0	+1
10	759	11,62	2,57	10,90	3,73	-1	+1

которыми ранее был произведен анализ по Робинзону. Средние отклонения приведены в табл. 10.

ТАБЛИЦА 10

Наименование грунта	Число образ- цов проана- лизирован- ных	Среднее расхождение в % полевого метода и метода Робинзона для фракций	
		<0,05 мм	<0,002 мм
Глины, содержащие частиц <0,05 мм >80% и частиц <0,002 мм >30%	39	3,7	2,6
Тяжелые суглинки, содержащие частиц <0,05 мм >70% и час- тиц <0,002 мм 30—20%	18	3,0	2,0
Средние и легкие суглинки, содер- жащие частиц <0,05 мм >40% и частиц <0,002 мм 20—10%	87	1,9	1,7
Супеси, содержащие частиц <0,05 мм >10% и частиц <0,002 мм 10—3%	60	1,3	0,6
Пески, содержащие частиц <0,05 мм >10% и частиц <0,002 мм <3%	105	0,2	0,0

Как видно из табл. 10, сходимость результатов полевого метода с методом Робинзона вполне достаточная. Данный метод дает возможность в поле определить загрязненность песка как

строительного материала, что до настоящего времени могло быть определено только в стационарной лаборатории.

Пользуясь этим методом, лаборант за один рабочий день определяет 12 образцов, и результаты могут быть даны через 4 часа после начала анализа, что очень важно в некоторых видах строительства, как, например, при укатке насыпей, при возведении плотин намывом и т. д.

Подробная методика данного метода приведена в работе Богданова [6].

## ЛИТЕРАТУРА

1. Архангельский В. В. Исследование методов механического анализа грунтов. НИИГ, т. V, 1932.
  2. Зауэрбрей. Обзор современных германских работ по установлению связи между водными свойствами и механическим составом почво-грунтов, 1927.
  3. Журнал „Почвоведение“. № 1, 1935.
  4. Кортекевич. Сборник „Минеральные порошки для асфальтобетона“.
  5. Hogentogel. Eng. News Record, 8, 1934.
  6. Богданов Г. Ф. Ранец-лаборатория для простейших испытаний грунтов и каменных материалов. Дориздат, 1943.