

Методы определения гранулометрического состава дисперсных грунтов

План лекции

- 1. Основные понятия и определения
- 2. История вопроса
- 3. Современные технические средства
- 4. Подготовка грунтов к анализам
- 5. Методы гранулометрического и микроагрегатного анализов
- 6. Получаемые результаты, их представление и сопоставление
- 7. Проблемы классифицирования

Основные понятия и определения

- **Гранулометрический состав** показывает распределение первичных частиц по стандартным фракциям
- **Микроагрегатный состав** показывает распределение по размерам (стандартным фракциям) частиц природной дисперсности (первичных и их агрегатов)
- *Первичные частицы* – исходные структурные элементы грунта (обломки кристаллов, пород, твердое органическое вещество)
- *Вторичные частицы* – агрегаты первичных частиц

Развитие методов гранулометрического анализа грунтов

Ситовой

Седиментометрические

Дэви (1805), Дж.Стокс (1851)

А.Н.Сабанин (1903), П.А.Земятченский (1928),

В.В.Охотин (1933), Н.А.Фигуровский (1948),

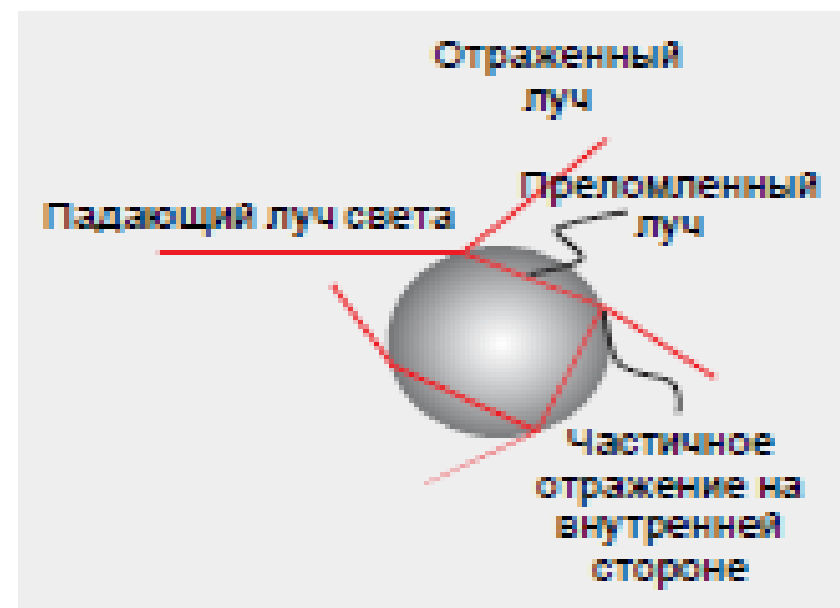
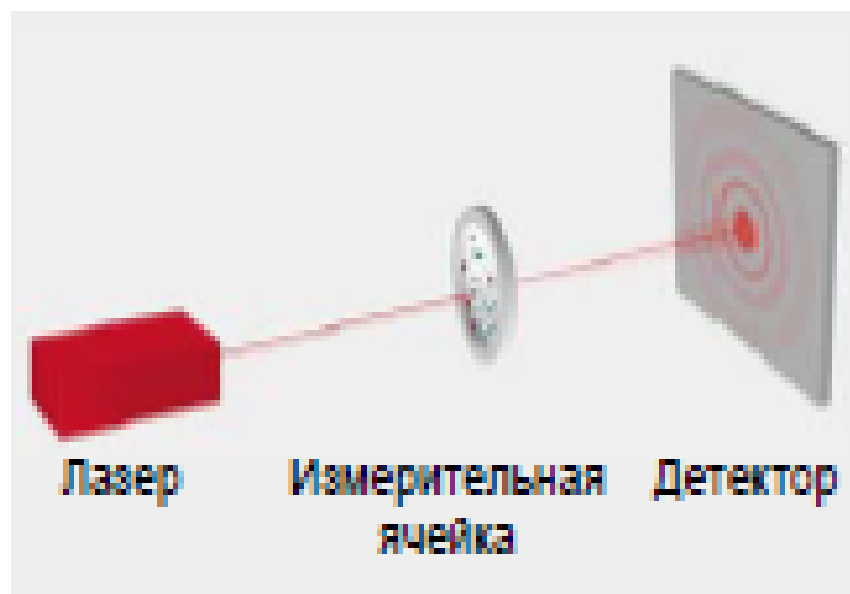
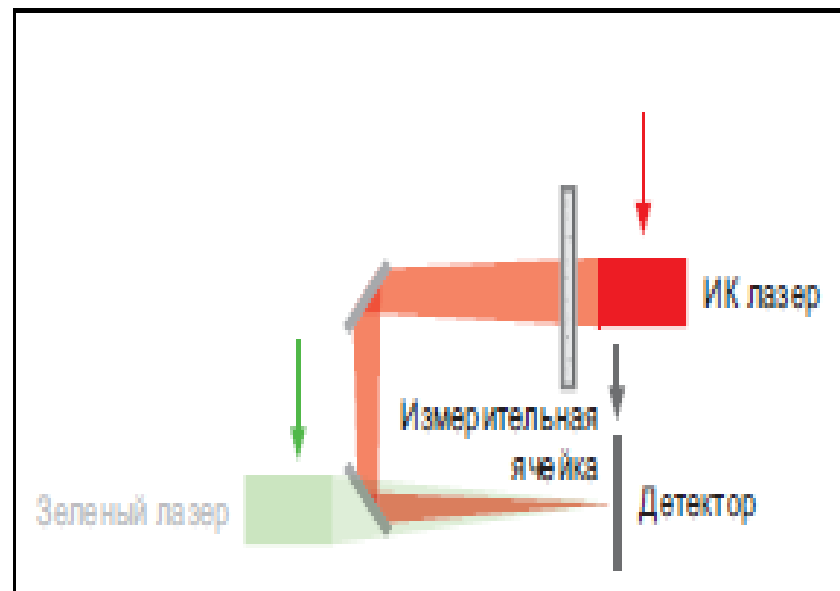
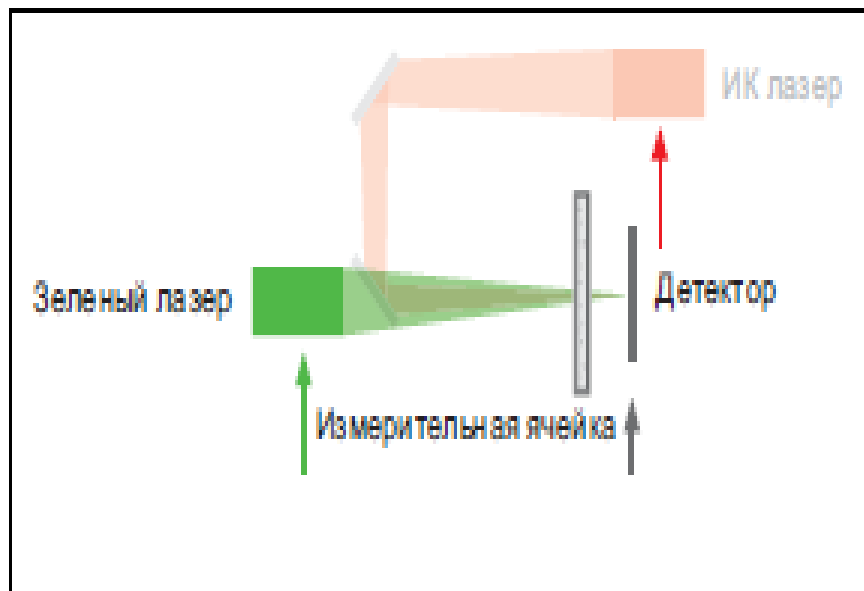
П.Ф.Мельников (1956), Н.А.Качинский (1958),

В.П.Петелин (1967), С.С.Морозов (1968),

Е.В.Алексеев (2006)

Микроскопия (оптическая и электронная)

Лазерная дифракция



Лазерные анализаторы размеров частиц

Марка ряда	Диапазон измерения частиц	Страна изготовитель	Фирма
IG-1000, SALD	0,5 нм – 3000 мкм	Япония	Shimadzu
Mastersizer	0,01-3500 мкм	Великобритания	Malvern
Morphologi	0,5-1000 мкм	Великобритания	Malvern
Analysette	0,08 – 2000 мкм	Великобритания	Gerhardt UK Ltd
Analysette 22	0,08 – 2000 мкм	Германия	Fritsch
Microsizer	0,2-600 мкм	Россия	ООО ВА Инсталт
ЛАСКА-Т	0,5-100 мкм	Россия	Спектроскопические системы
Zetasizer	0,6 нм – 6 мкм	Великобритания	Malvern

Достоинства лазерных анализаторов

- Высокая производительность (3-5 минут на одно измерение)
- Высокая точность - воспроизводимость (относительное среднее отклонение, %) данных для одной пробы и конкретного анализатора не более 0,5%.
Воспроизводимость же среднего диаметра частиц «от прибора к прибору» одной модели составляет не более 3%. Погрешность измерений лазерными анализаторами разных моделей достигает 10%

Подготовка грунта к гранулометрическому анализу

Группы методов дезагрегации:

- **механические** (растирание резиновым пестиком, взбалтывание);
- **физические** (кипячение, ультразвуковая обработка);
- **физико-химические** (воздействие веществ – диспергаторов);
- **химические** (обработка кислотами, щелочами);
- **комбинированные** (растирание или кипячение с пирофосфатом натрия, кипячение с раствором аммиака и др.)

Подготовка грунта к микроагрегатному анализу

- **по Н.А.Качинскому** (разрушение водонестойких агрегатов путем замачивания и взбалтывания)

Ультразвуковое диспергирование

- - тонкое размельчение твердых веществ в жидкой среде, переход веществ в дисперсное состояние с образованием золя под действием ультразвуковых колебаний;
- - позволяет получать высокодисперсные (средний размер частиц - микроны и доли микрон), однородные суспензии твердых частиц в жидкостях. При ультразвуковом диспергировании суспензий дисперсность продукта увеличивается на несколько порядков по сравнению с традиционным механическим измельчением;
- - измельчение вещества происходит под действием ударных волн, возникающих при кавитации. Диспергирование начинается при интенсивности ультразвука, превышающей некоторое пороговое значение, величина которого составляет обычно несколько Вт/см² и зависит от кавитационной прочности жидкости, состояния поверхности твердой фазы, а также от характера и величины сил взаимодействия между отдельными частицами твердой фазы

Влияние способов подготовки грунта на результаты гранулометрического анализа современного аллювиального суглинка методом лазерной дифракции (Analysette 22 MicroTec plus)

Вид пробы	Содержание фракций (мм), %							
	> 0,1	0,1 – 0,05	0,05 – 0,01	< 0,01	0,01 – 0,005	< 0,005	0,005 – 0,001	< 0,001
Воздушно-сухая, с обработкой ультразвуком	0	6	57	37	15	22	18	4
Суспензия с пирофосфатом натрия и обработкой ультразвуком	0	7	44	49	15	34	27	7
Паста с пирофосфатом натрия и обработкой ультразвуком	0	3	42	55	19	36	29	7
Суспензия, взятая при пипеточном анализе (< 0,1 мм), с пирофосфатом натрия и обработкой ультразвуком	0	1	34	65	22	43	35	8
Та же, но без обработки ультразвуком	0	4	37	59	17	42	32	10

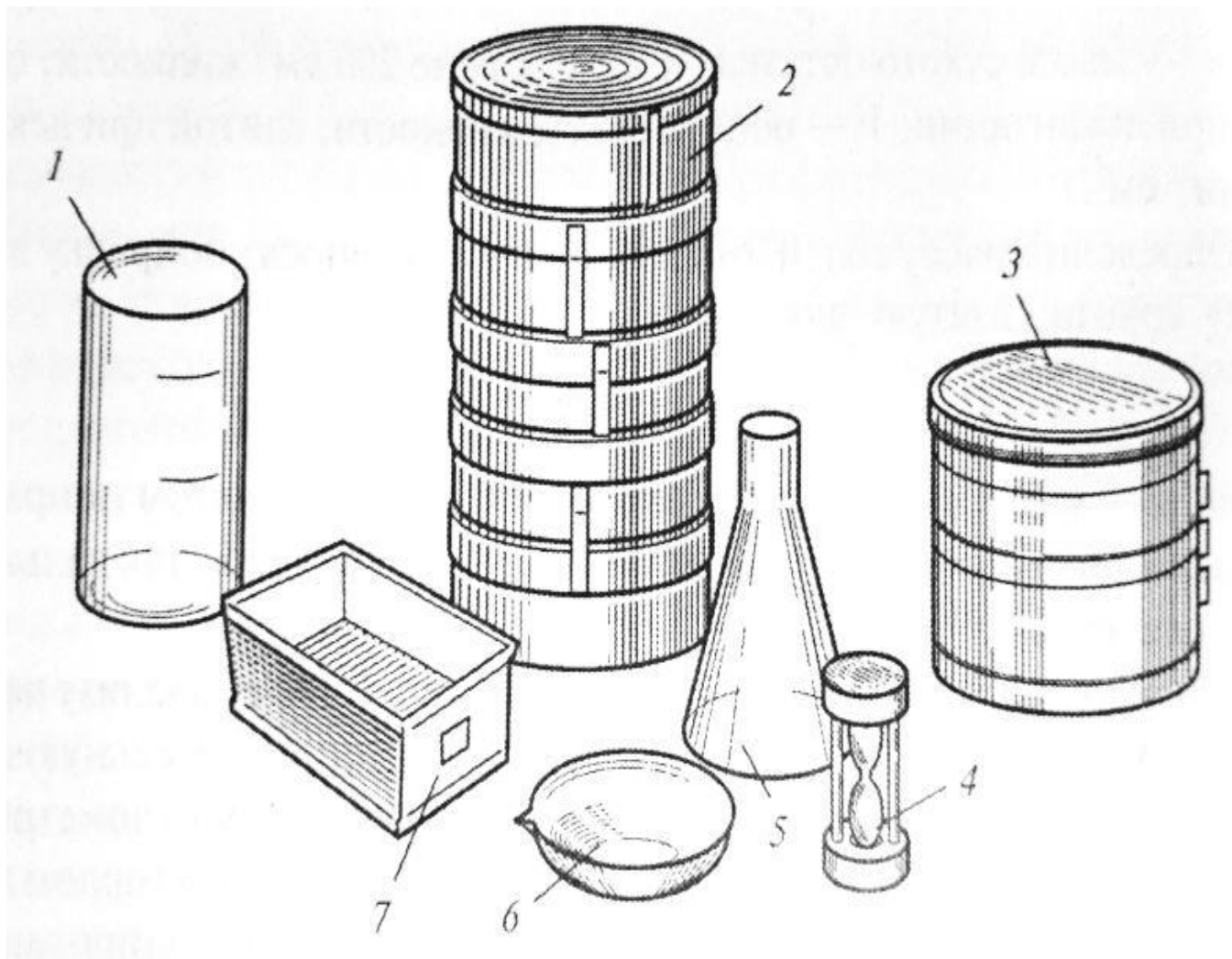
Проблемы оценки размера частиц и учета их формы



Широко применяемые методы гранулометрического анализа

- **ГОСТ 12536-2014 ГРУНТЫ. МЕТОДЫ ЛАБОРАТОРНОГО ОПРЕДЕЛЕНИЯ ГРАНУЛОМЕТРИЧЕСКОГО (ЗЕРНОВОГО) И МИКРОАГРЕГАТНОГО СОСТАВА**
- *Ситовой, без промывки водой* – песчаные грунты, при выделении зерен песка крупностью от 10 до 0,5 мм
- *Ситовой, с промывкой водой* – песчаные грунты, при выделении зерен песка крупностью от 10 до 0,1 мм
- *Ареометрический* – глинистые грунты
- *Пипеточный* (гранулометрический и микроагрегатный) – глинистые грунты; применяется только для специальных целей, предусмотренных заданием

Ситовой метод



Ареометрический метод

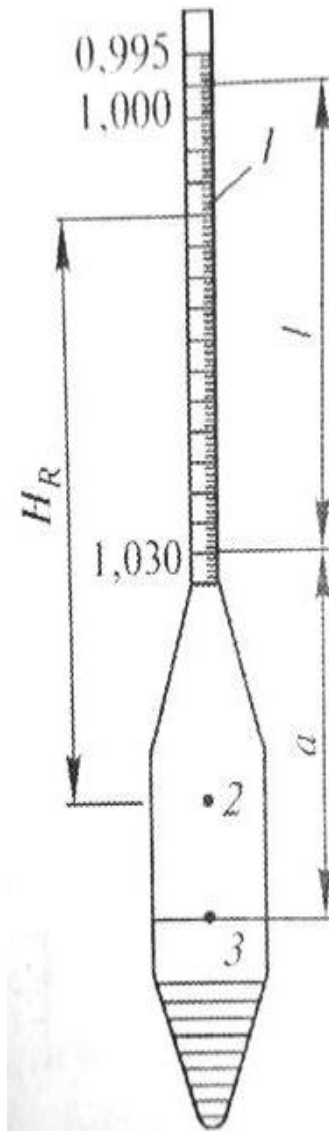


Схема ареометра: 1 – уровень суспензии;

2 – центр водоизмещения ареометра при погружении;

3 – центр водоизмещения луковицы

Вводимые поправки:

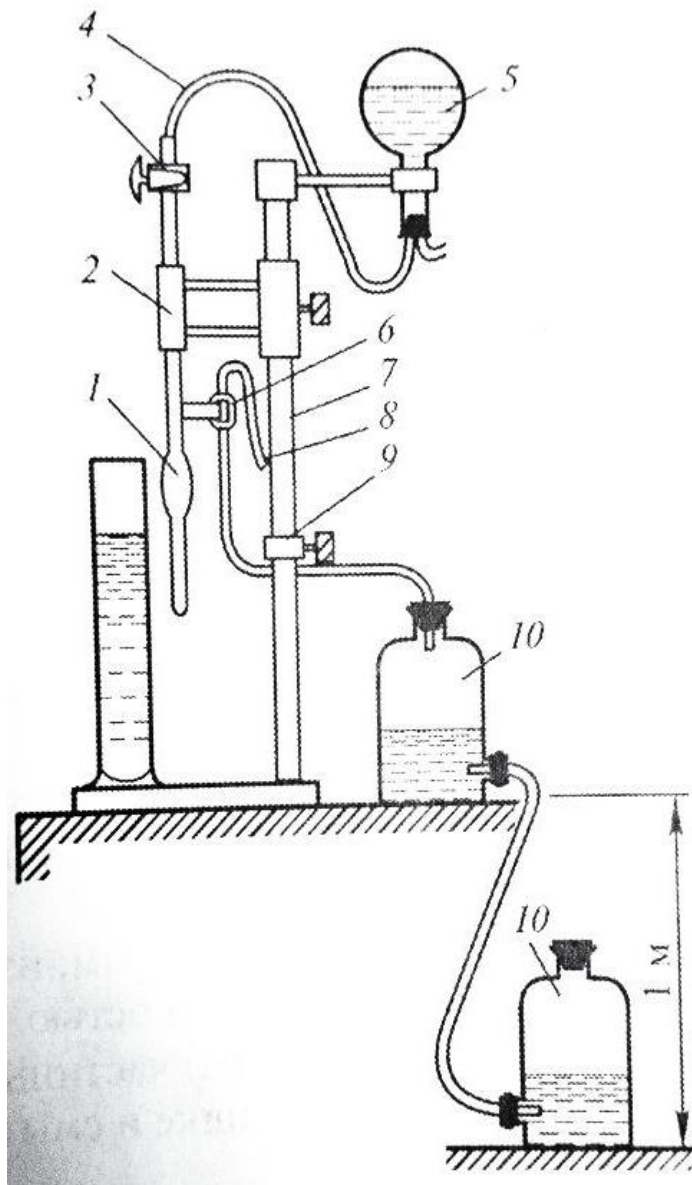
-на температуру;

-на диспергатор;

-на нулевое показание;

-на высоту мениска (при необходимости)

Пипеточный метод



Навеска средней пробы:

глины -10 г, суглинки 15 г, супеси 20 г

Подготовка комбинированная

Определение влажности W_g или $W_{оп}$

Определение плотности частиц

Учет содержания частиц

крупнее 1 мм

Учет содержания водорастворимых солей

**«Мокрое» просеивание +
пипеточный метод для
гранулометрического и
микроагрегатного анализов**

Лазерная дифракция



Диапазон измерений:

0,08 – 2000 мкм

Время измерений:

10 с (2 мин)

**Мощность и частота
ультразвука:**

60 В / 36 кГц

Максимальное разрешение:

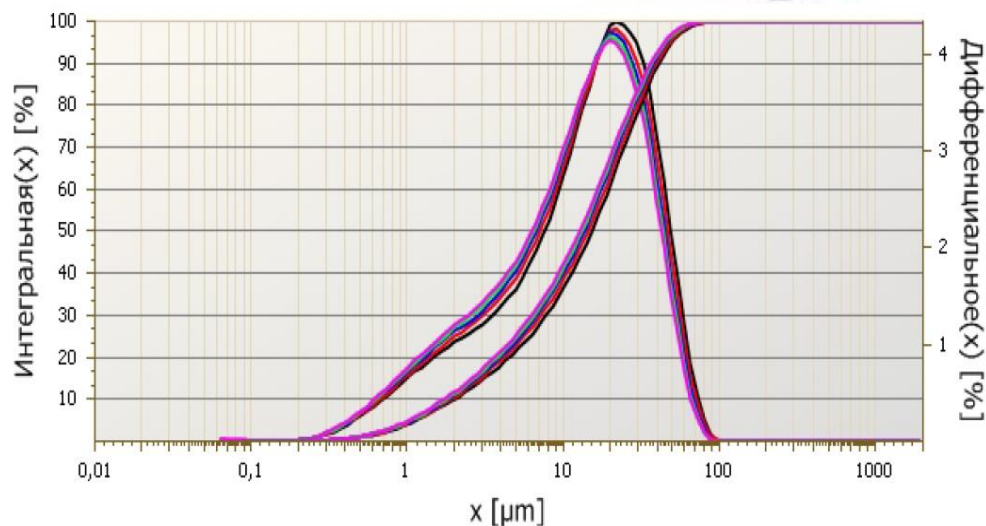
108 измерительных каналов

Воспроизводимость:

$d_{50} < 2 \%$

Методы расчета оптические:

Ми, Фраунгофер



Проблемы определения гранулометрического состава грунтов

При использовании **лазерных анализаторов** необходимо учитывать комплекс проблем:

- - ультразвуковой подготовке грунтов к гранулометрическому анализу **не соответствует** ни одна из действующих гранулометрических классификаций грунтов в России;
- - получаемые результаты анализа выражаются в **объемных процентах**, а не весовых, что делает невозможным ни корректное сопоставление с данными традиционных методов гранулометрии, ни классифицирование;
- - при современном уровне обоснования использования лазерных анализаторов для гранулометрического анализа грунтов они являются не только дорогими, но и **бесполезными** для изыскателей

Сравнение лазерных и традиционных методов гранулометрического анализа

необходимо проводить при одинаковом способе подготовки грунта к анализу!

Причины систематических ошибок метода лазерной дифракции при оценке грансостава глин:

- частицы с плоской формой воспринимаются лазером как более крупные по сравнению со сферическими того же объема;
- частицы менее 0,3 мкм не фиксируются детектором, рассчитываются по энергетическому балансу пучка лазера;
- прозрачность, цвет частиц влияют на индекс преломления луча и влияют на расчет эквивалентного диаметра

(Taubner H., Roth B., Tippkötter R., 2009)

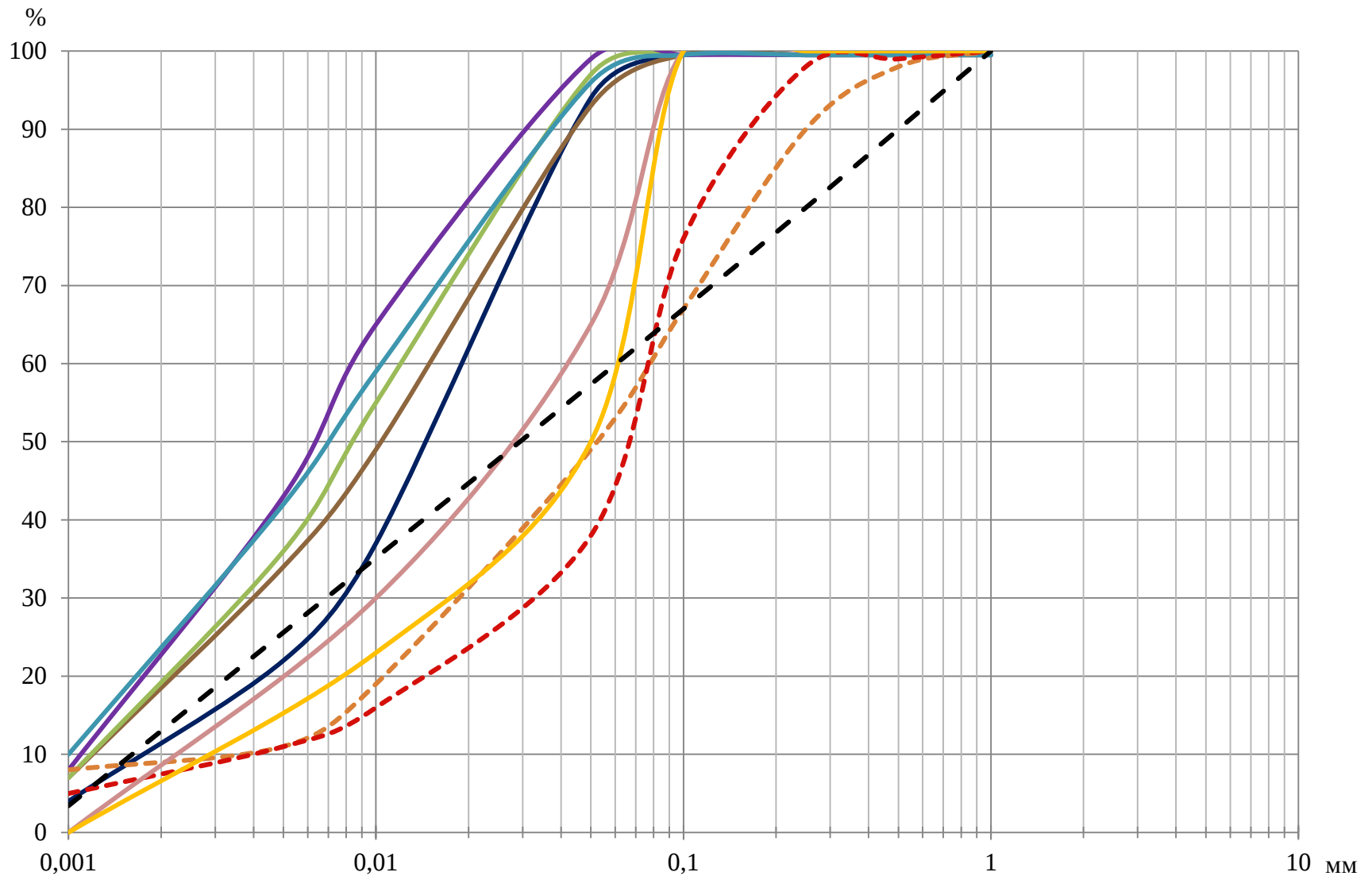
Результаты гранулометрического анализа моренного суглинка (gQ_{dns}) методами лазерной дифракции и пипеточным

Методы анализа, виды пробы и подготовки	Содержание фракций (мм)								
	> 0,25	0,25 – 0,1	0,1 – 0,05	0,05 – 0,01	< 0,01	0,01 – 0,005	< 0,005	0,005 – 0,001	< 0,001
Лазерная дифракция, % объемные									
Паста (навеска ~ 2 г) с пирофосфатом натрия и обработкой ультразвуком	0	0	0	12	88	22	66	52	14
Суспензия, взятая при пипеточном анализе (< 0,1 мм), с пирофосфатом натрия и обработкой ультразвуком	0	0	0	15	85	20	65	51	14
Песчаные частицы, выделенные при «мокром» просеивании (> 0,1 мм), с обработкой ультразвуком	0	1	55	23	21	4	17	8	9
Пипеточный анализ, % весовые									
Паста (навеска 12 г) с пирофосфатом натрия	19	33	15	9	24	5	19	8	11

Результаты гранулометрического анализа бентонитовой глины методами лазерной дифракции и пипеточным

Методы анализа, виды пробы и подготовки	Содержание фракций (мм)								
	> 0,25	0,25 – 0,1	0,1 – 0,05	0,05 – 0,01	< 0,01	0,01 – 0,005	< 0,005	0,005 – 0,001	< 0,001
Лазерная дифракция, % объемные									
Паста (навеска ~ 2 г) с пирофосфатом натрия и обработкой ультразвуком	0	0	0	4	96	16	80	59	21
Суспензия, взятая при пипеточном анализе (< 0,1 мм), с пирофосфатом натрия и обработкой ультразвуком	0	0	0	11	89	18	71	48	23
Пипеточный анализ, % весовые									
Паста (навеска 12 г) с пирофосфатом натрия	0	1	13	2	84	12	72	11	61

Интегральные кривые грансостава



Классифицирование грунтов по данным гранулометрического анализа

Крупнообломочные и песчаные грунты –

по ГОСТ 25100-2020. Грунты. Классификация.

Глинистые грунты –

по ГОСТ 25100-2020. Грунты. Классификация (по числу пластичности с учетом содержания частиц песчаной размерности 0,05-2,00 мм);

по классификациям В.В.Охотина, Н.А.Качинского, С.С.Морозова и др.

Выводы по применению лазерной дифракции

1. Лазерные анализаторы гранулометрического состава грунтов являются перспективными, однако, их применение в практике инженерно-геологических изысканий в настоящее время является *не обоснованным*, получаемые этим методом результаты *не могут использоваться для классифицирования грунтов*

2. Для широкого внедрения лазерных анализаторов в практику инженерно-геологических изысканий с целью определения гранулометрического состава грунтов *необходимы фундаментальные методологические и методические грунтоведческие исследования*. Должны быть разработаны унифицированные методики подготовки и проведения анализа, а также *собственные классификации грунтов*

3. Действующие гранулометрические классификации грунтов являются своего рода «договоренностями», применяемыми в настоящее время среди изыскателей и исследователей для обозначения номенклатуры грунтов.

Стоит ли их менять?

Спасибо за внимание!