Твердая фаза и поровое пространство почв

Профильный курс для студентов IV курса

Итоговая аттестация – экзамен

Разделы курса

- Плотность почв и агрегатов
- Гранулометричекий состав: методы лазерной дифрактометрии, ареометра и пипетки
- Томографические исследования порового пространства почв
- Микроморфологические исследования порового пространства
- Реология почв.
- Гидрология почв

Тема: Плотность

Плотность почвы

- Плотность почвы - масса абсолютно-сухой единицы объема почвы со всеми свойственными этому объему пустотами [г/см^3]

$$\rho_b = \frac{m_s}{V_t}$$

Порозность почв

- Порозность (пористость) - это отношение объема пор почвы к объему почвы [см^3/см^3, %]

$$\varepsilon = \frac{V_w + V_0}{V_t} = \frac{V_t - V_s}{V_t} =$$

$$= 1 - \frac{m_s / \rho_s}{m_s / \rho_b} = 1 - \frac{\rho_b}{\rho_s}$$

Другие выражения пор почвы

- Коэффициент пористости [см^3/см^3, %]

$$e = \frac{V_{пор}}{V_s} = \frac{V_t - V_s}{V_s} = \frac{\rho_s - \rho_b}{\rho_b}$$

Порозность агрегатная

$$\varepsilon_{агр} = \frac{V_{пор}}{V_a}$$

Но просто вычитать нельзя, - разные знаменатели

Надо найти межагрегатную, поэтому надо определить суммарную агрегатную порозность

$$\varepsilon_{\Sigma\, агр} = \frac{V_{пор.}}{V_t}$$

Порозность агрегатов, суммарная агрегатная и межагрегатная

- Порозность агрегатная $$\varepsilon_{агр} = \frac{V_{пор}}{V_a}$$

- Порозность суммарная агрегатная

$$\frac{V_{пор}}{V_t} = \varepsilon_{\Sigma агр} = \frac{\varepsilon_a (1-\varepsilon)}{1-\varepsilon_a}$$

Порозность межагрегатная

$$\varepsilon_{межагр} = \varepsilon - \varepsilon_{\Sigma агр}$$

Порозность. Коэффициент порозности.

$$\frac{V_{пор}}{V_t} = \varepsilon_{\Sigma агр} = \frac{\varepsilon_a (1-\varepsilon)}{1-\varepsilon_a}$$

Коэффициент пористости

$$e = \frac{V_{пор}}{V_s} = \frac{\rho_s - \rho_b}{\rho_s} = \frac{\varepsilon}{1-\varepsilon}$$

Вопрос 5 темы 1 «Фазы почвы»

Дифференциальная порозность почв.

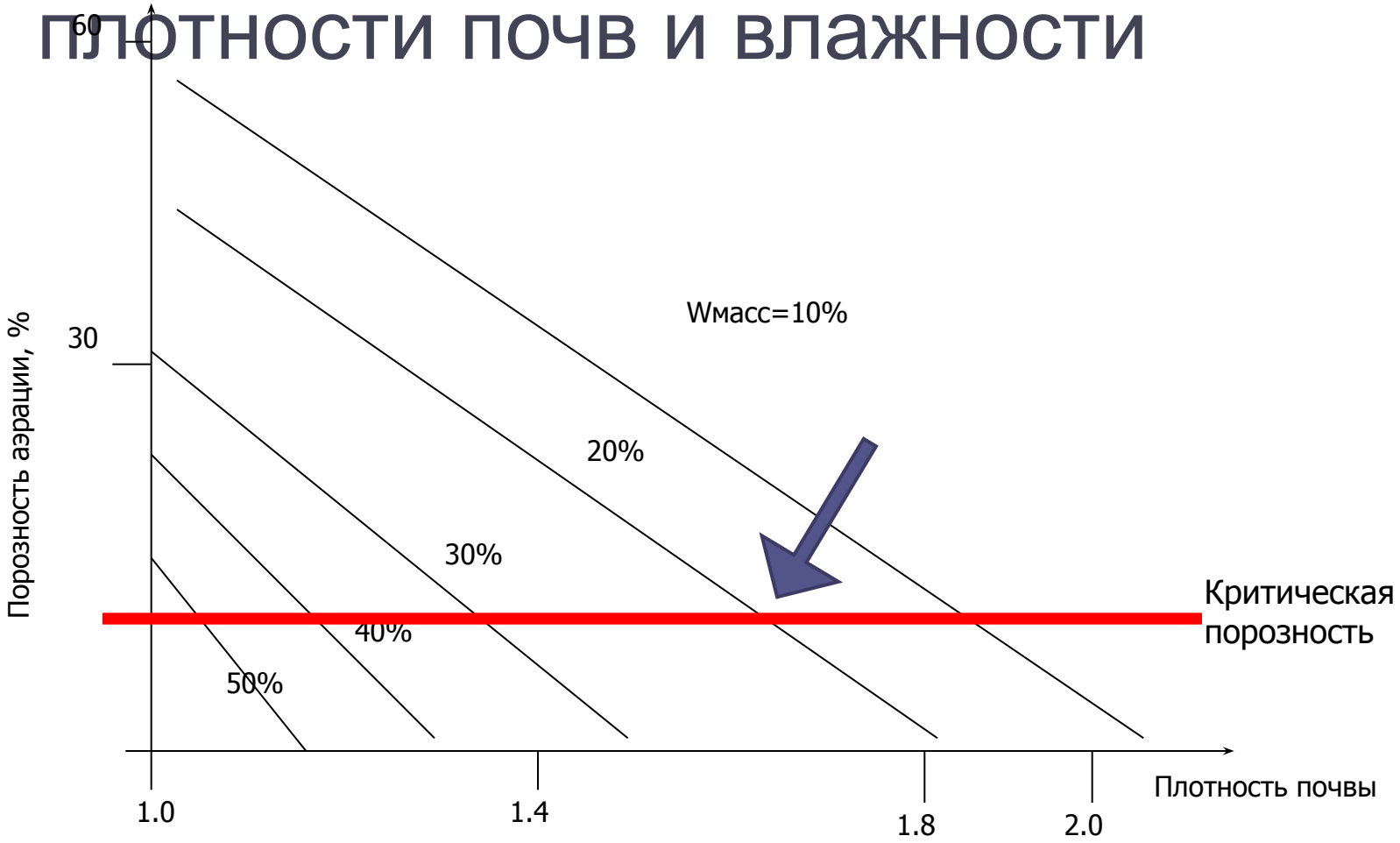
Дифференциальная порозность

- I-е понятие: объемы пор, занятые водой, воздухом, агрегатная и межагрегатная порозность [см^3/см^3]

- порозность общая $$\varepsilon = 1 - \frac{\rho_b}{\rho_s}$$
- порозность агрегата $$\varepsilon_a = 1 - \frac{\rho_a}{\rho_s}$$
- порозность суммарная агрегатная $$\varepsilon_{\Sigma агр} = \frac{\varepsilon_a (1 - \varepsilon)}{1 - \varepsilon_a}$$
- порозность межагрегатная $$\varepsilon_{меж\,агр} = \varepsilon - \varepsilon_{\Sigma\,агр}$$
- порозность, занятая воздухом (воздухоносная порозность или порозность аэрации)

$$\varepsilon_{air} = \varepsilon - \theta$$

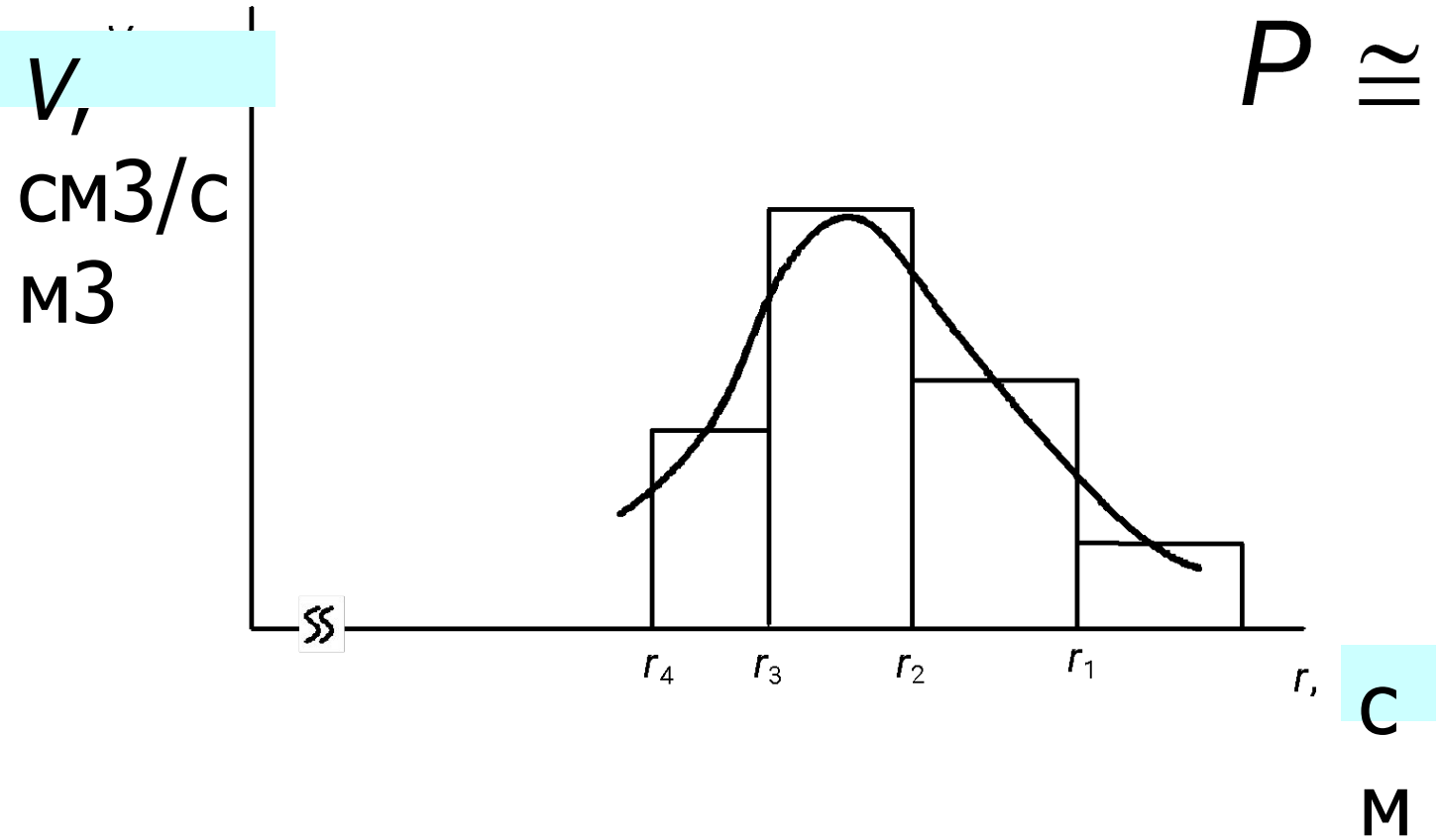
Зависимость порозности аэрации от плотности почв и влажности



Дифференциальная порозность

- II-е понятие: распределение объемов пор по их диаметрам – определение на ртутном порозиметре

$$P \cong \frac{2\sigma}{r}$$



Классификация пор почвы

Класс пор	Диам. мкм	Функции соответствующего класса пор	Критические значения порозности, $см^3/см^3$
Макропоры	>50	Быстрое стекание влаги, дренирование почвы Аэрация Рост корней	> 0.1
Мезопоры	50–0.2	Сохранение доступных для растений запасов влаги и веществ	> 0.15
Микропоры	<0.2	Запасы труднодоступных воды и веществ. Недоступные запасы воды	< 0.2

Можно пересчитать в давление влаги

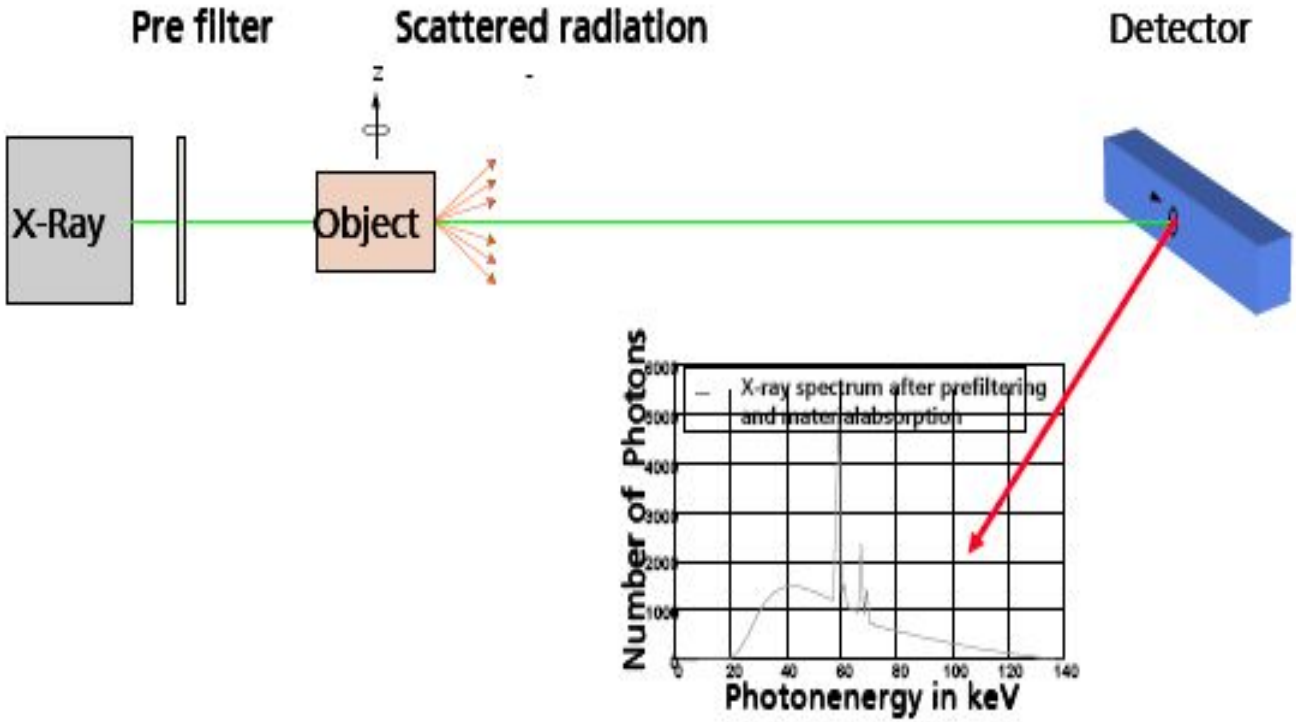
Томография порового пространства почв

Рентгеновские лучи

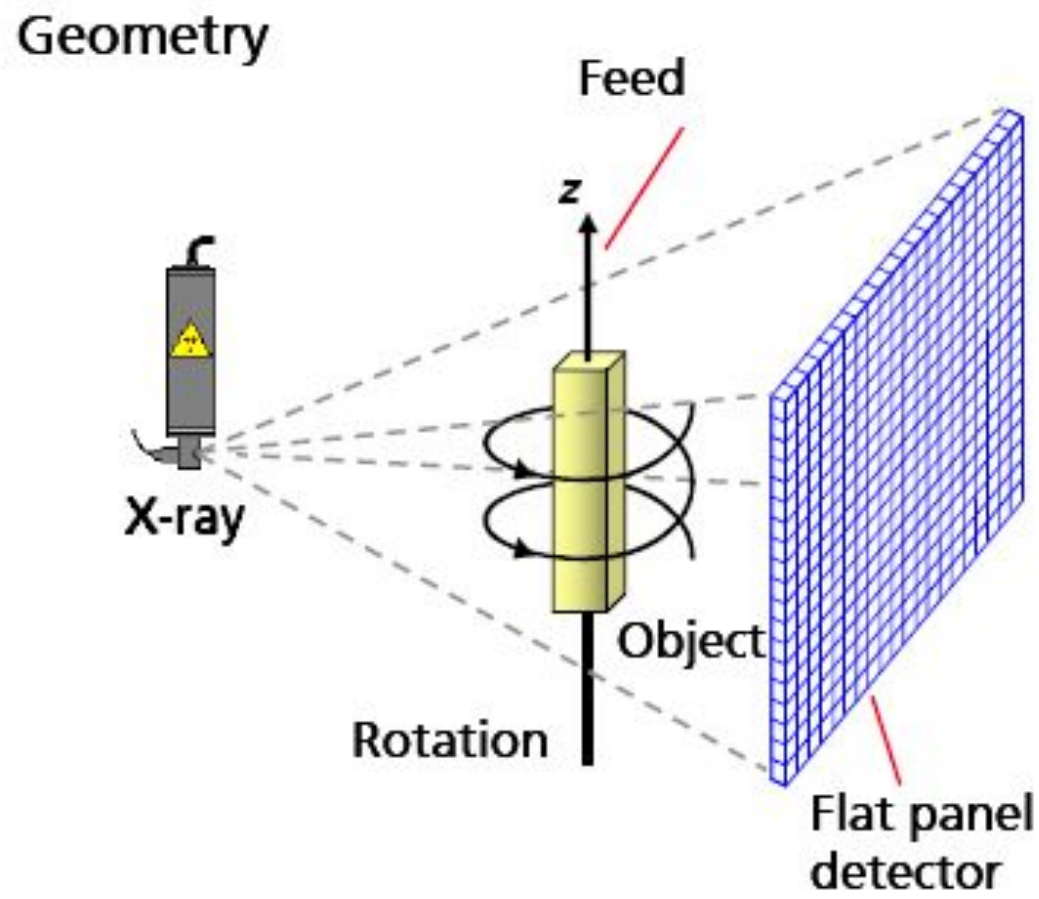
- Рентгеновские лучи возникают при сильном ускоренииРентгеновские лучи возникают при сильном ускорении заряженных частиц (тормозное излучениеРентгеновские лучи возникают при сильном ускорении заряженных частиц (тормозное излучение), либо при высокоэнергетичных переходах в электронных оболочкахРентгеновские лучи возникают при сильном ускорении заряженных частиц (тормозное излучение), либо при высокоэнергетичных переходах в электронных оболочках атомов или молекулРентгеновские лучи возникают при сильном ускорении заряженных частиц (тормозное излучение), либо при высокоэнергетичных переходах в электронных оболочках атомов или молекул. Оба эффекта используются в рентгеновских трубкахРентгеновские лучи возникают при сильном ускорении заряженных частиц (тормозное

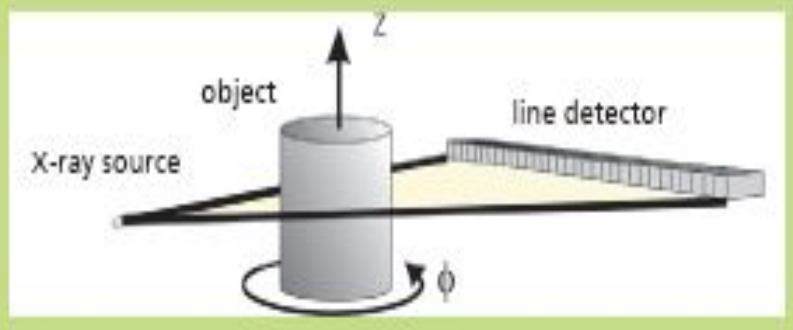
Fraunhofer Project WISA-Honeris (2009-2011)

Development of a novel radiation-hard, energy-sensitive line sensor

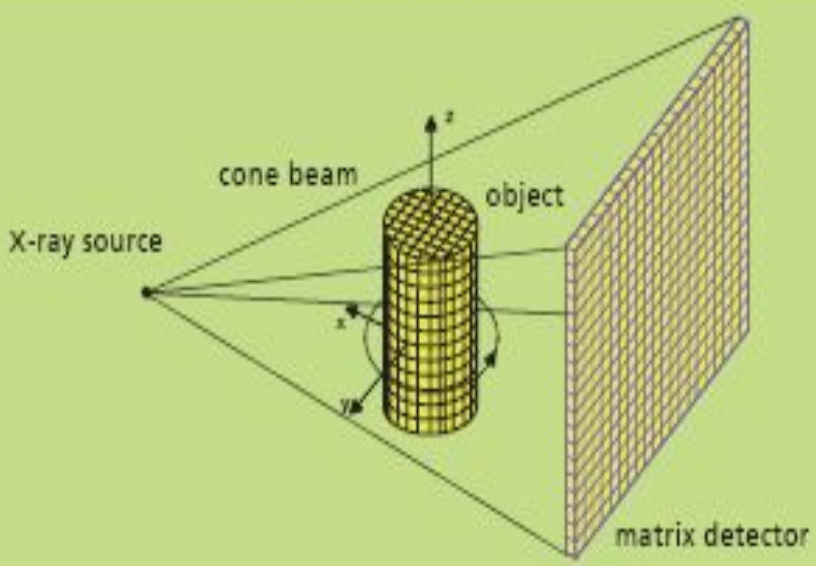


Прин ии



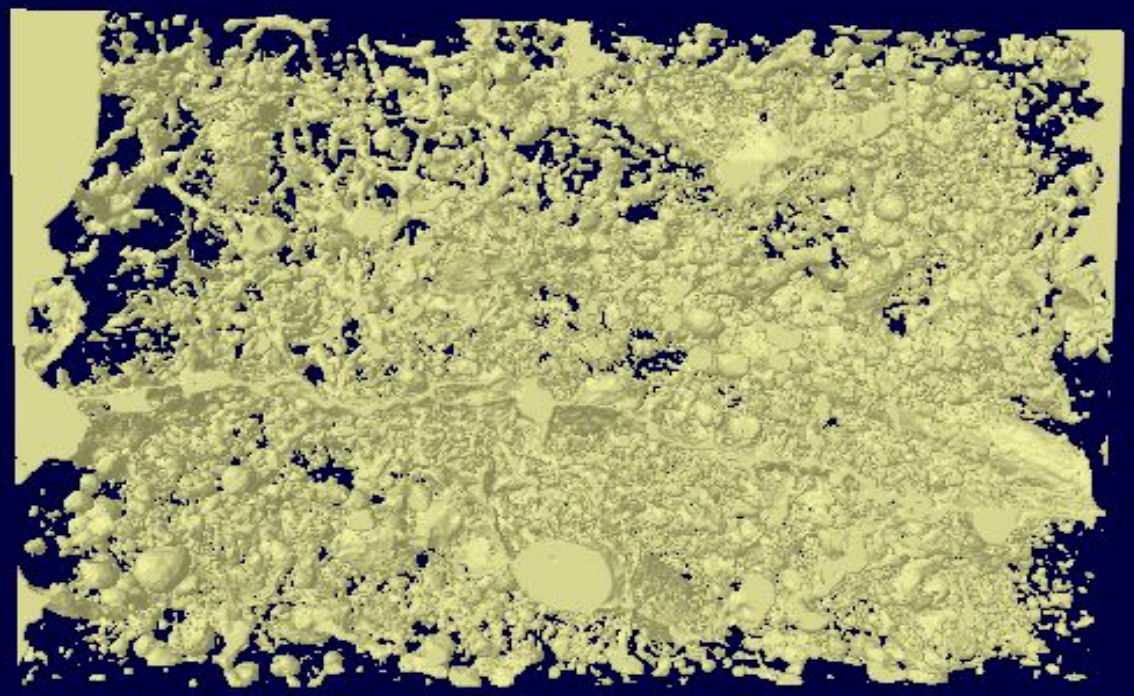


Principle of 2D tomography

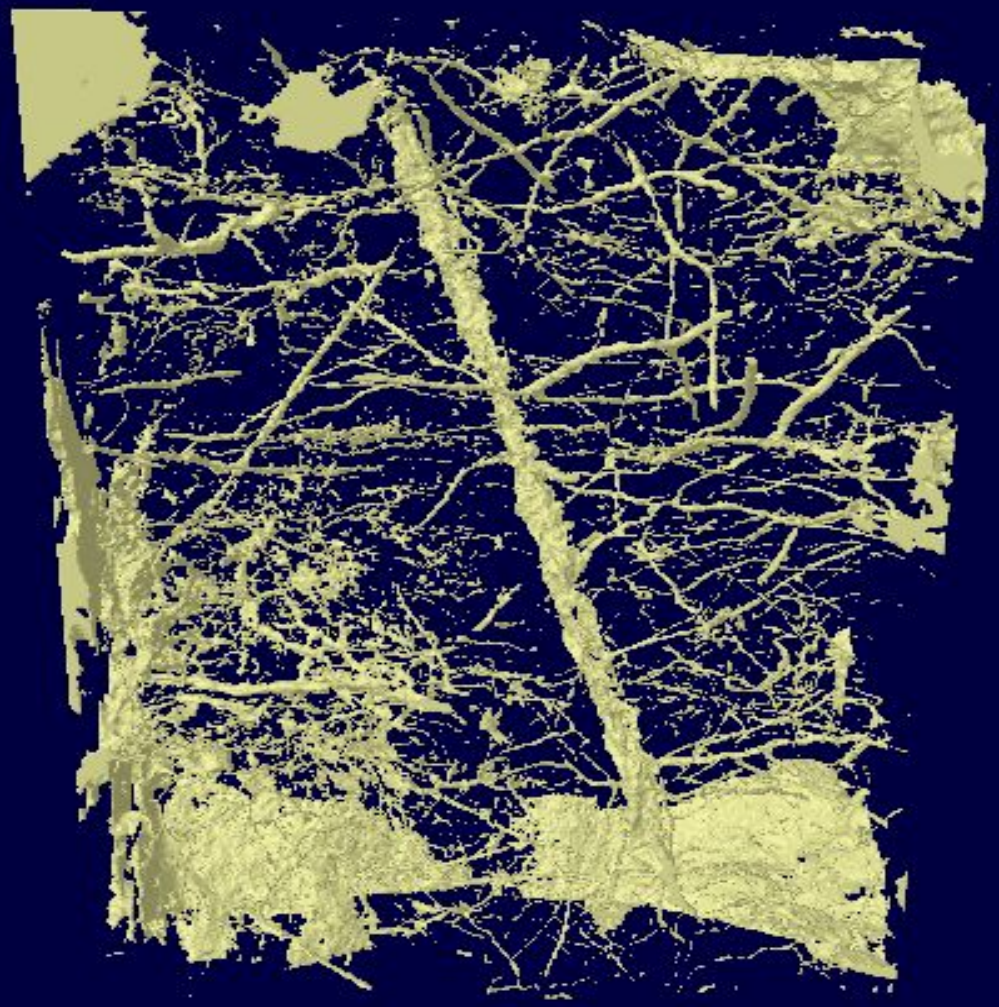


Principle of 3D tomography

Горное подземелье, Гора Ч.

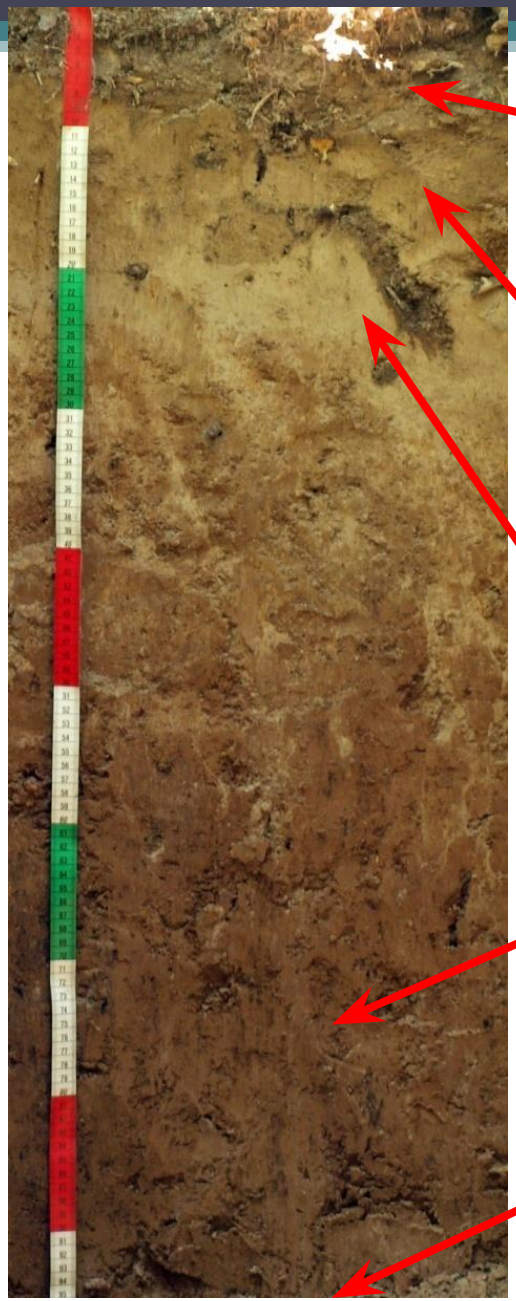


Дерново-подзолистая, гор.С



Итог этого опыта

У почвенных пор есть другие качества, кроме их диаметра и объема. А именно: извилистость, сложность формы, которые определяют многие другие свойства порового пространства (проводимость воды, газов и пр.).



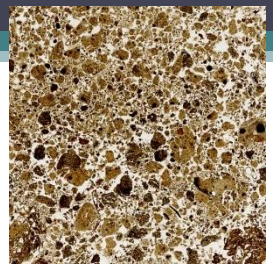
AY
0-4
см

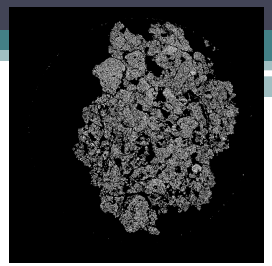
AEL
6-11 см

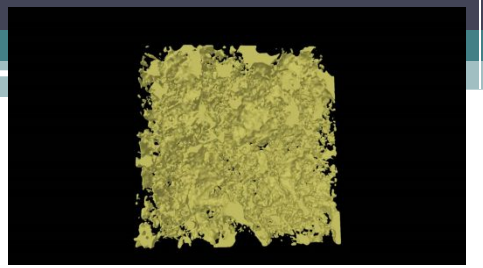
EL
17-22 см

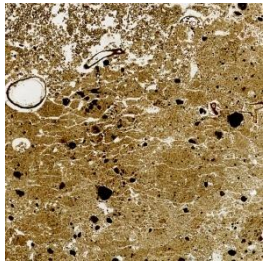
BT
55-60 см

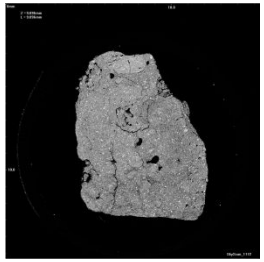
C
150
см

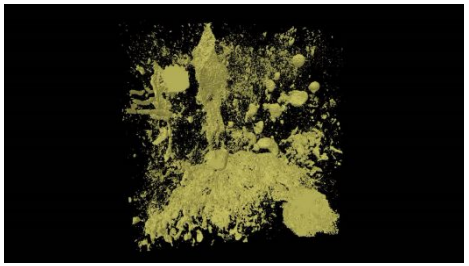


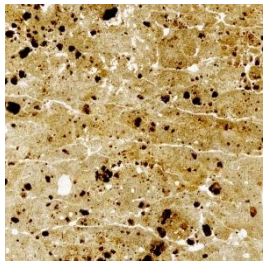


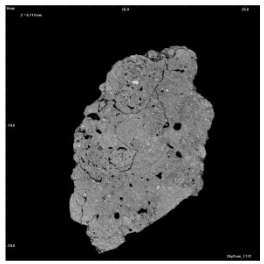


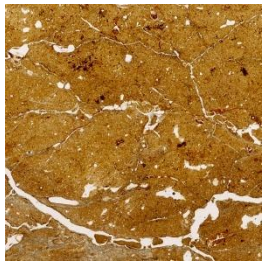


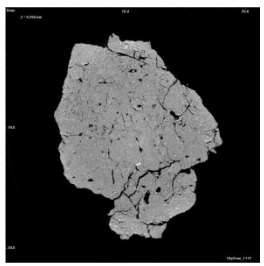


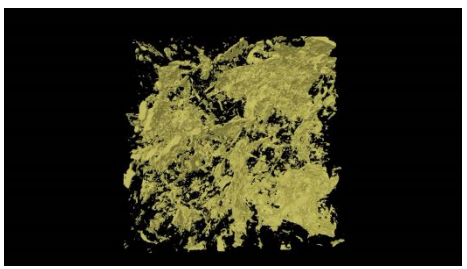












Шлиф

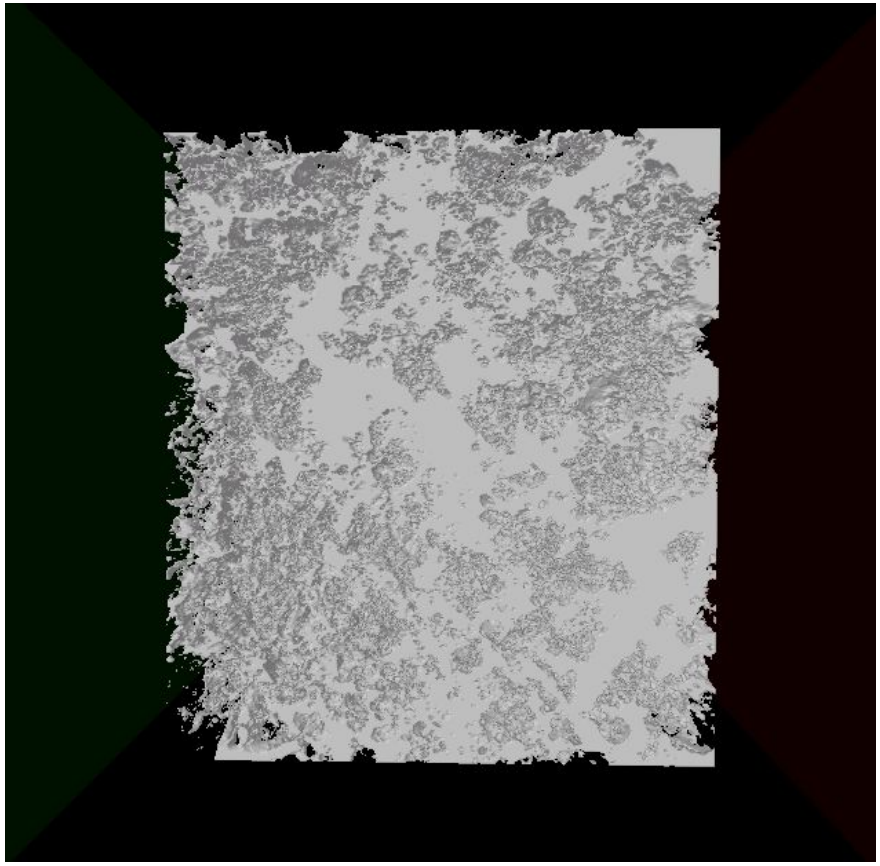
Агрегат

mCT пор

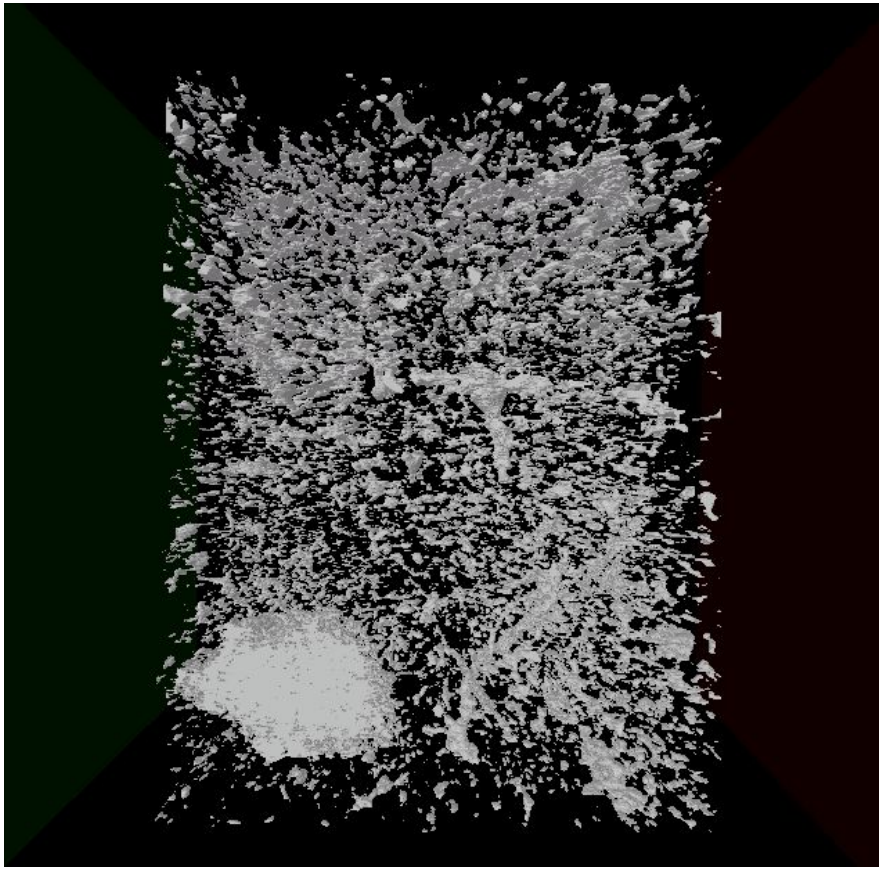
Дерново-

Строение порового пространства дерново-подзолистой почвы

Гор. AY



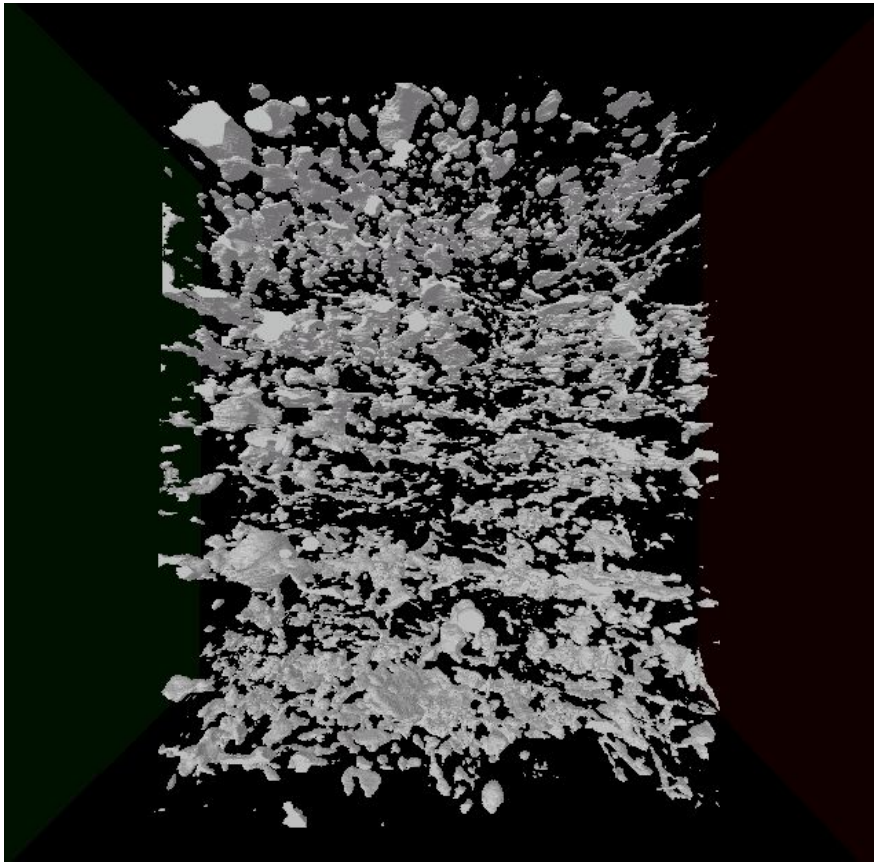
Гор. AEL



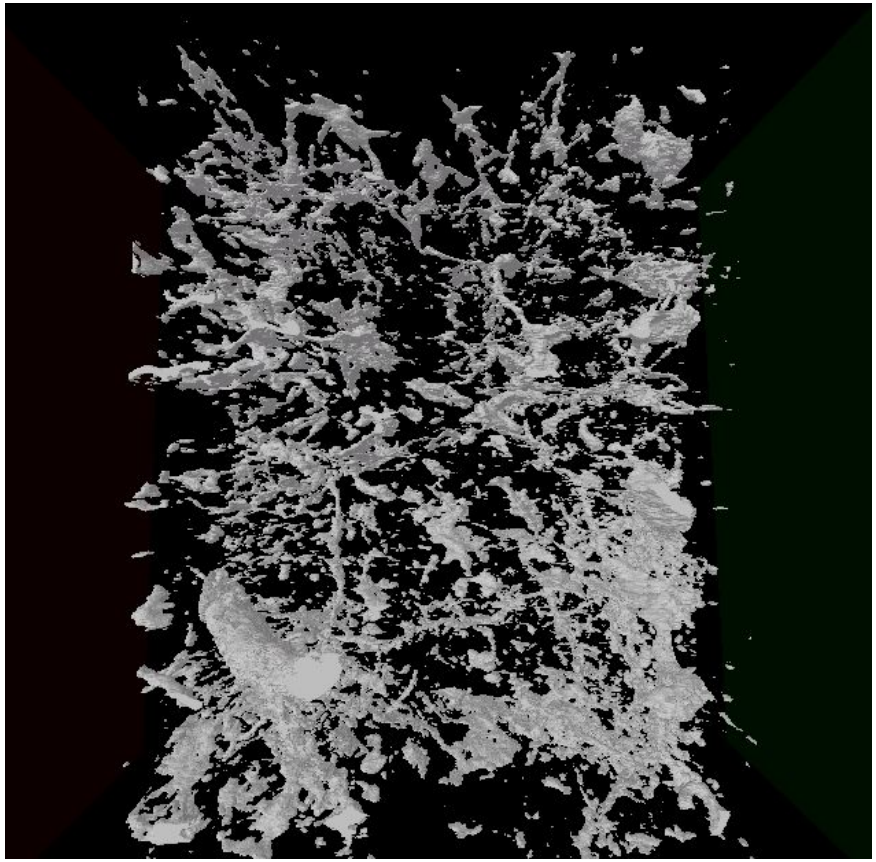
1

Строение порового пространства дерново-подзолистой почвы

Гор. EL



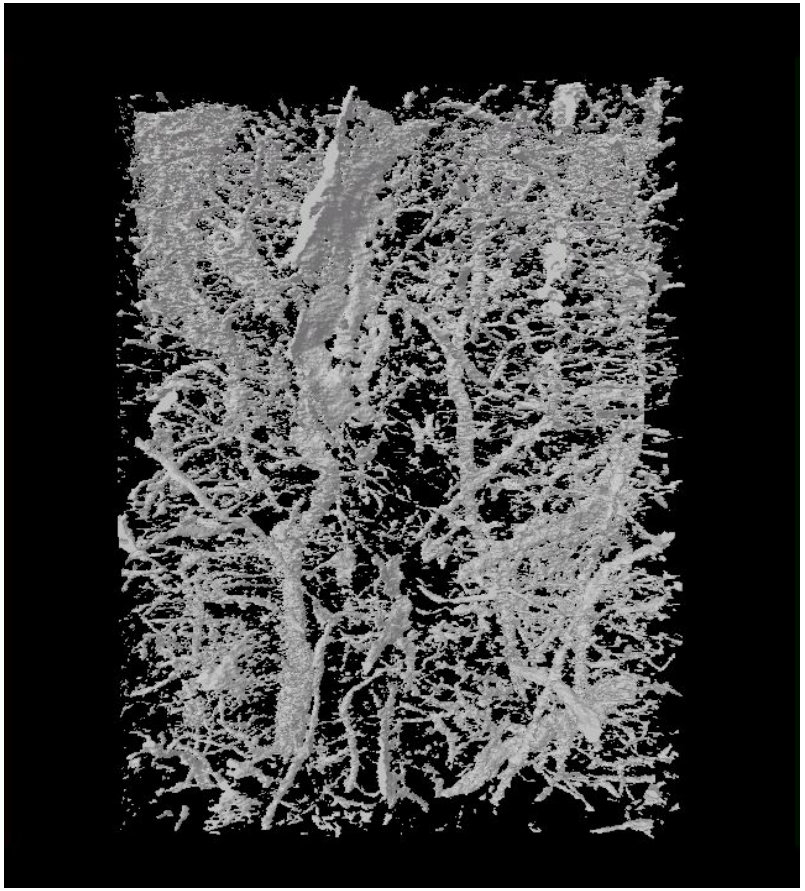
Гор. BEL



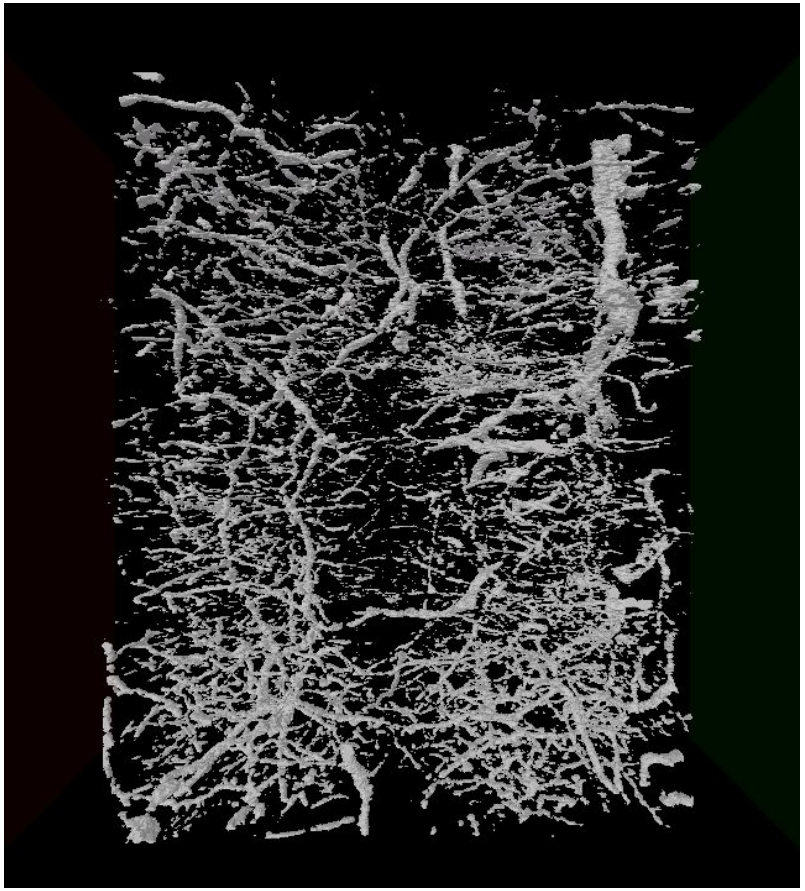
1

Строение порового пространства дерново-подзолистой почвы

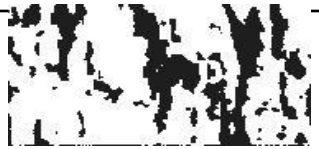
Гор. ВТ



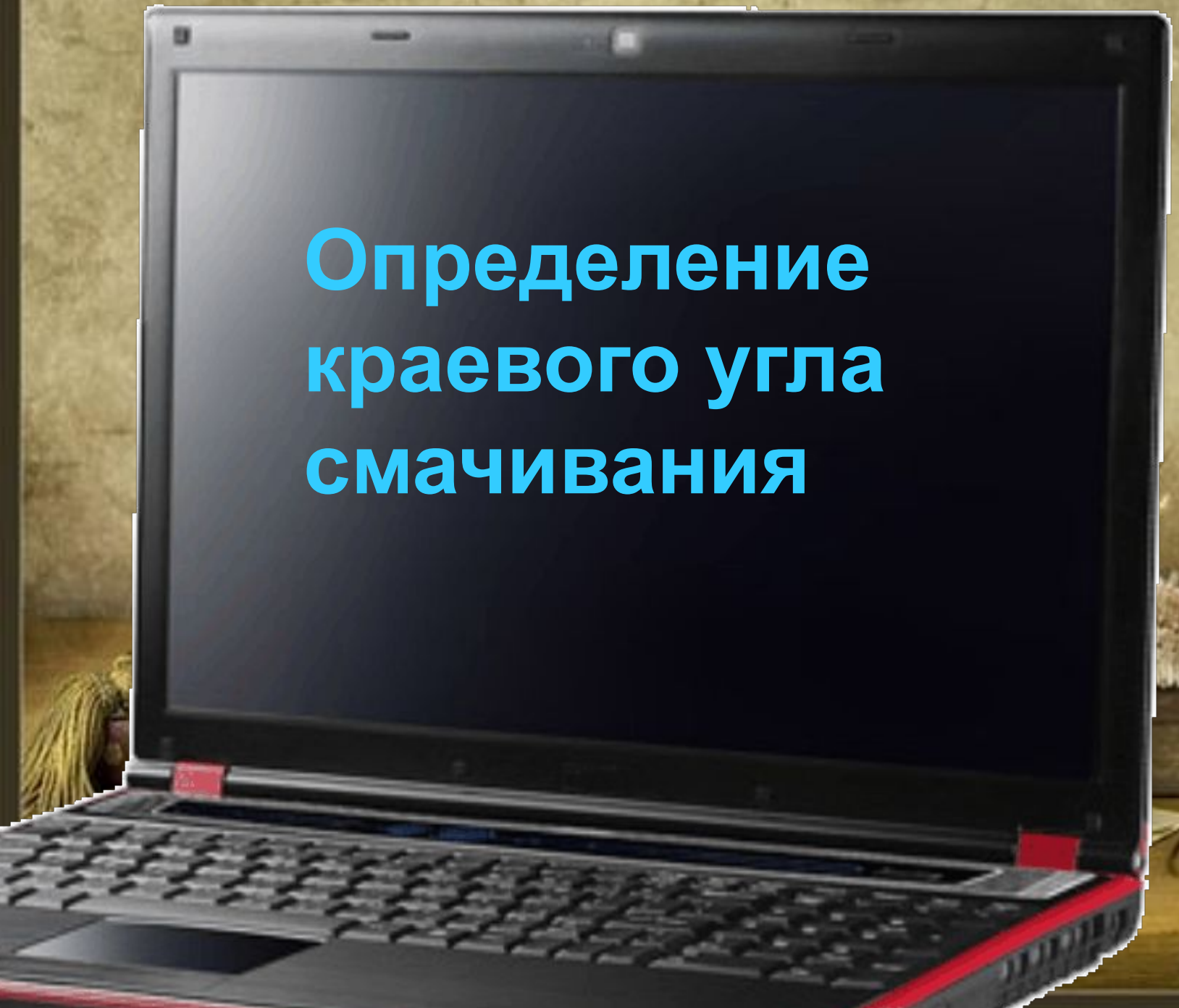
Гор. С



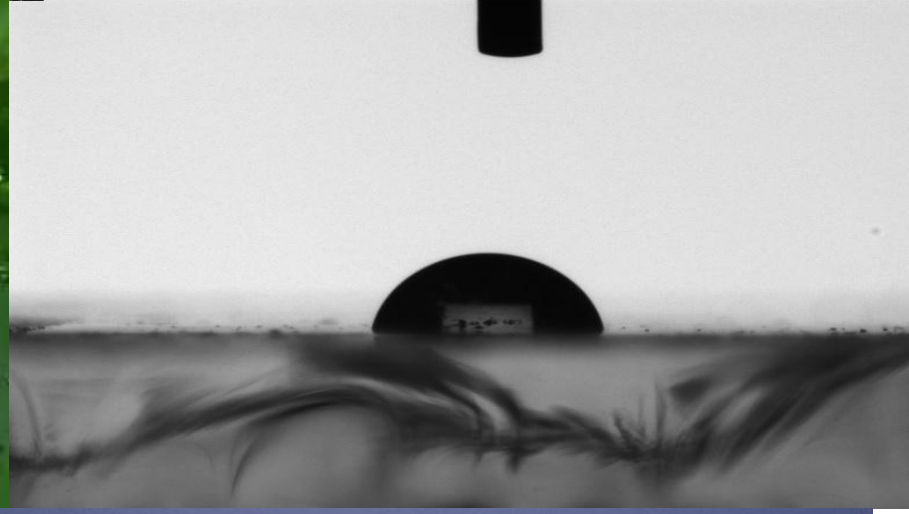
1

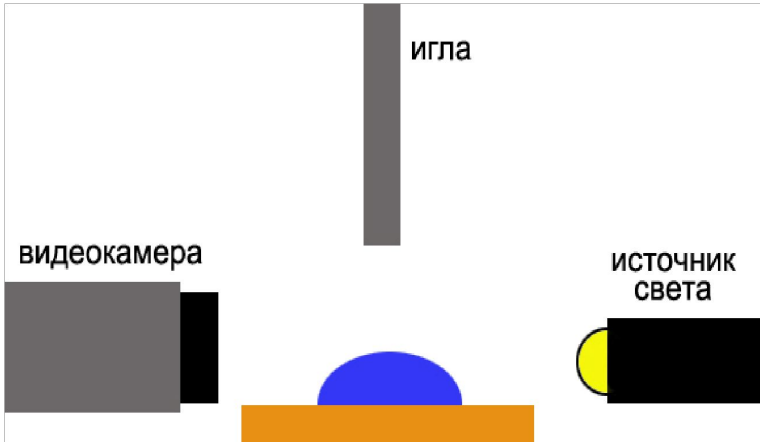
Macropore flow and soil matrix flow properties	Soil preferential flow degree
Macropore flow with low interaction (saturated soil matrix)	
Macropore flow with mixed (high and low) interaction (heterogeneous soil matrix)	
Macropore flow with high interaction (permeable soil matrix)	
Heterogeneous soil matrix flow and fingering	
Homogeneous soil matrix flow (permeable soils)	

Определение краевого угла смачивания



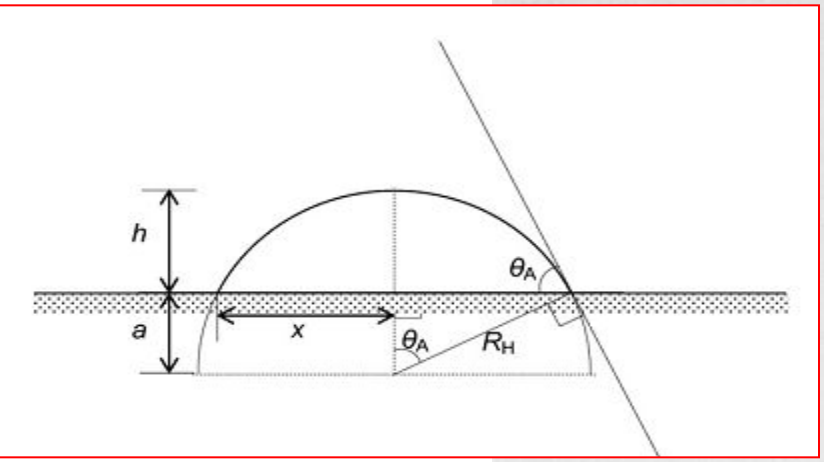
© www.fotostil.de

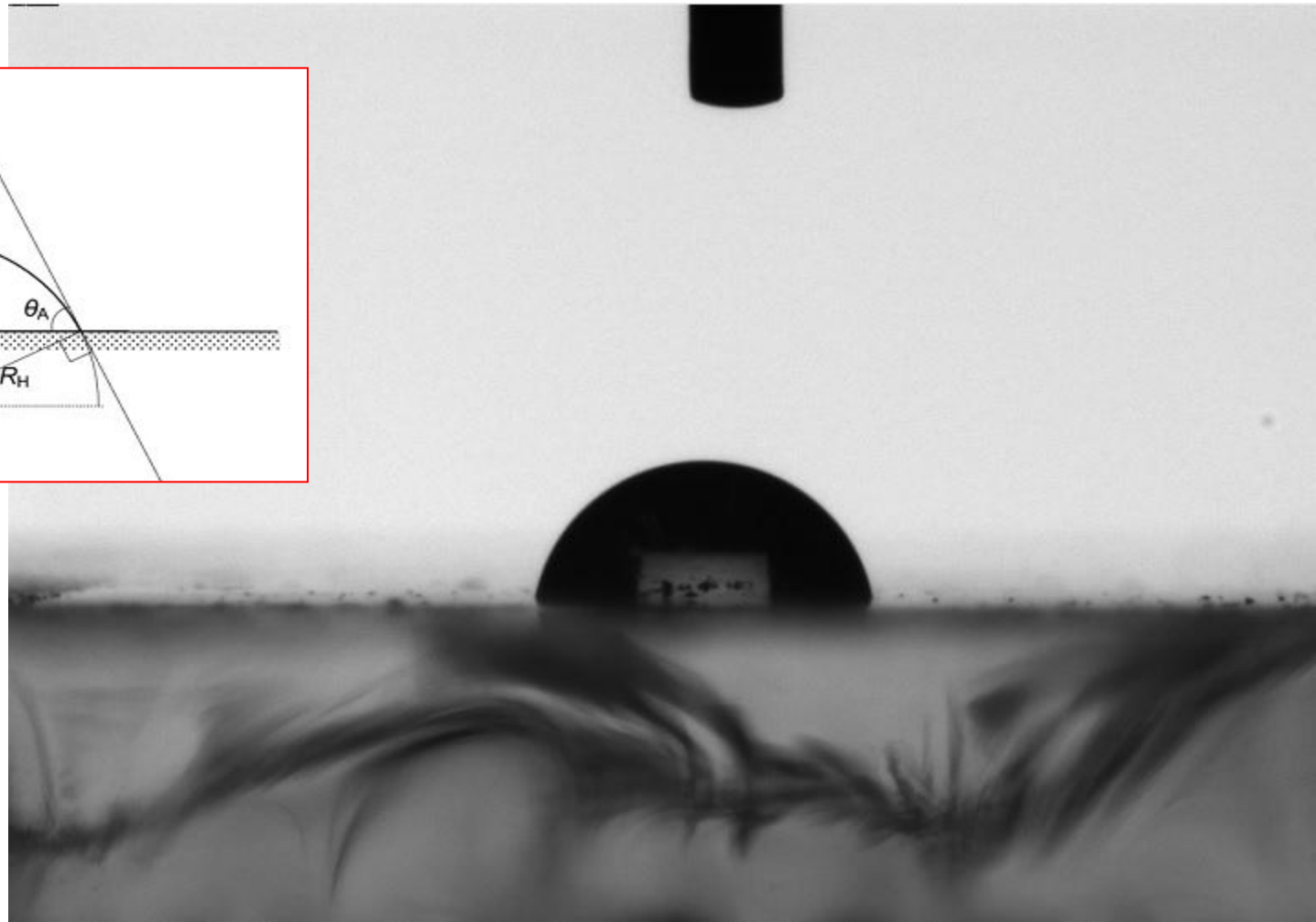




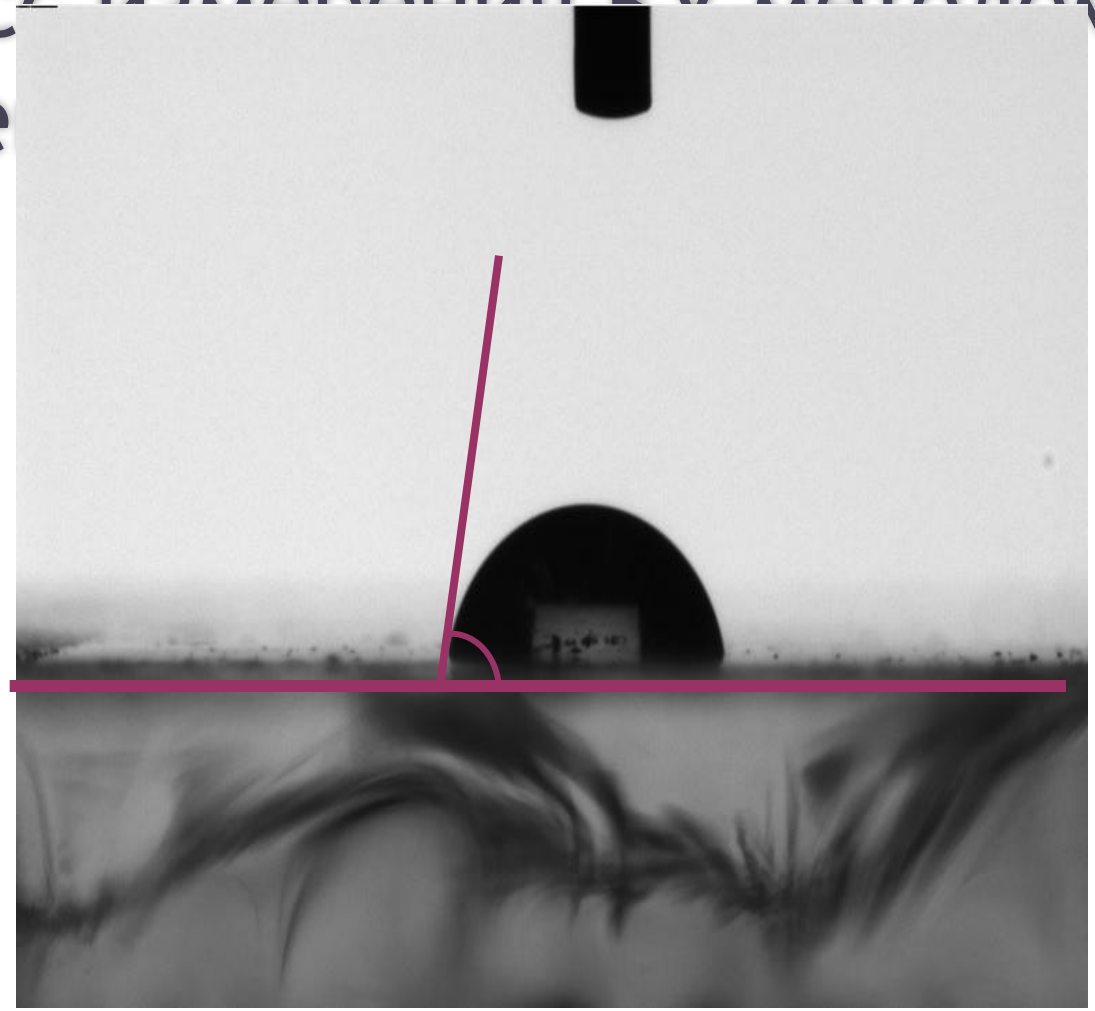
Drop Shape Analyzer DSA100 (KRÜSS)

Новые количественные измерения краевого угла смачивания

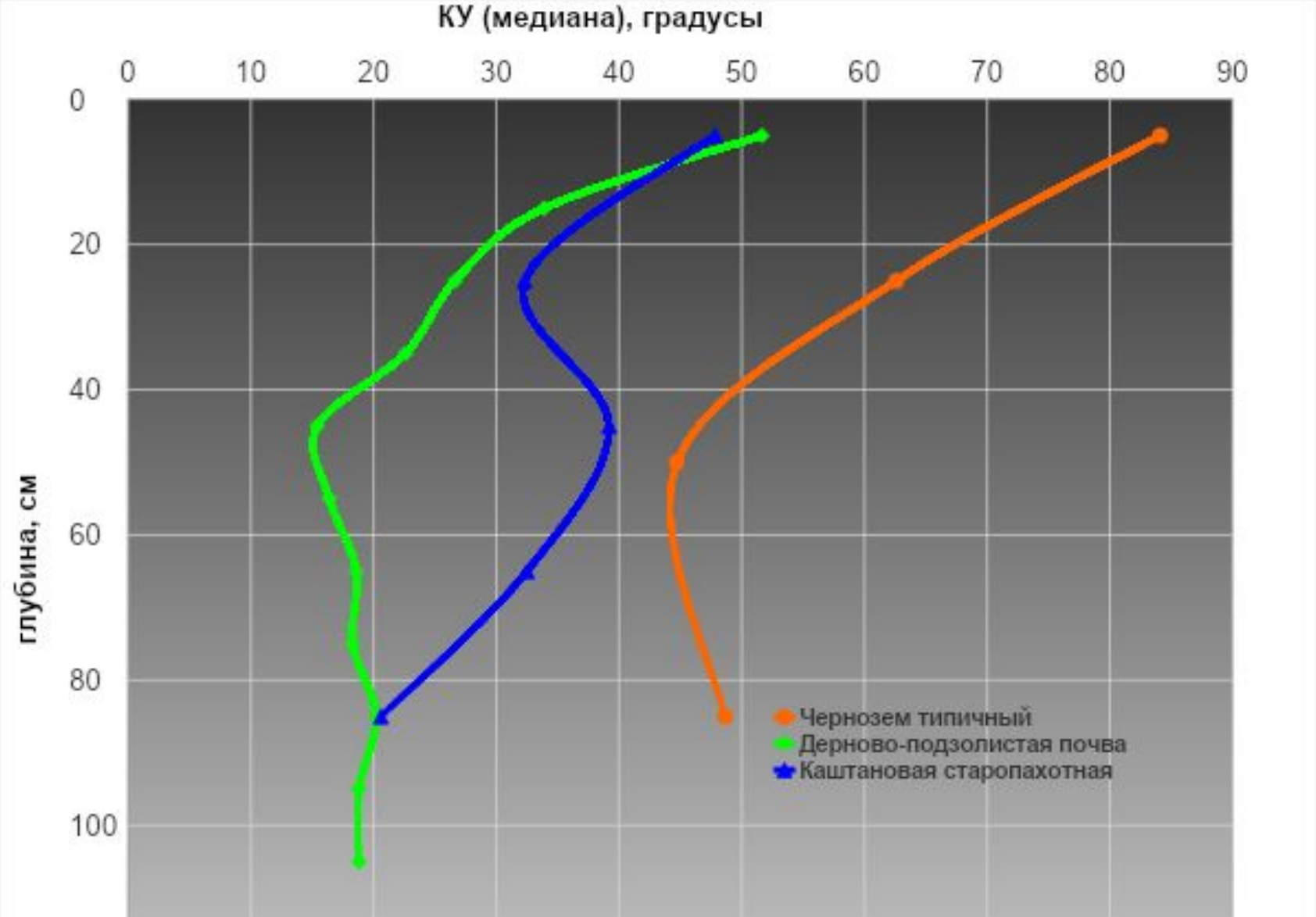




Процесс измерения КУ методом сидяче



Контактный угол (КУ, градусы) в различных почвах



Вывод:

Огромное значение имеют межфазные взаимодействия, а именно поверхность раздела «вода-твердая фаза», которая покрыта пленкой органического вещества

Из доклада Е.Ю.Милановского: **«Органическое вещество гидрофобизирует поверхность минералов, уменьшает и нивелирует различия площадей удельной поверхности»**

ареометра

Метод ареометра

- Рассмотрим следующие компоненты суспензии:
- M_s - масса осажденных частиц почвы; ρ_w – плотность воды, ρ_s –плотность твердой фазы, M_w - масса воды, V - объем суспензии (обычно 1 л)
- Тогда плотность суспензии, ρ_c, составит:

$$\rho_c = \frac{M_s + M_w}{V} = \frac{\left[M_S + (V - (\frac{M_s}{\rho_s})) \cdot \rho_w \right]}{V}$$

Метод ареометра

$$\rho_c = \frac{M_s + M_w}{V}$$

$$\rho_c V = M_s + M_w$$

$$M_w = \left(V - \frac{M_s}{\rho_s} \right) \cdot \rho_w$$

$$\rho_c V = M_s + \left(V - \frac{M_s}{\rho_s} \right) \cdot \rho_w$$

$$M_s = \frac{V(\rho_c - \rho_w)}{1 - \frac{\rho_w}{\rho_s}}$$

Нам надо найти массу твердой фазы почвы для соответствующего диаметра (например, <0.05мм)

Нам надо найти массу твердой фазы почвы для соответствующего диаметра (например, <0.05мм)

Ну, а далее формула Стокса. Рассчитываем время и диаметр частиц. По этой формуле рассчитываем массу частиц соответствующего диаметра.

Уравнение Стокса

$$v = \frac{2}{9} \cdot \frac{r^2 \cdot g \cdot (\rho_s - \rho_w)}{\eta} = \frac{l}{t}$$

заметим, что

$$\left(V-\left(\frac{M_s}{\rho_s}\right)\right)\cdot\rho_w$$

- это масса воды (M_w) .

Тогда масса суспензии ($\rho_c \cdot V$) составит:

$$\rho_c V = M_s + \left(V - \frac{M_s}{\rho_s}\right)\cdot\rho_w$$

откуда выражаем M_s

$$\boxed{M_s = \frac{V(\rho_c - \rho_w)}{1 - \frac{\rho_w}{\rho_s}}}$$

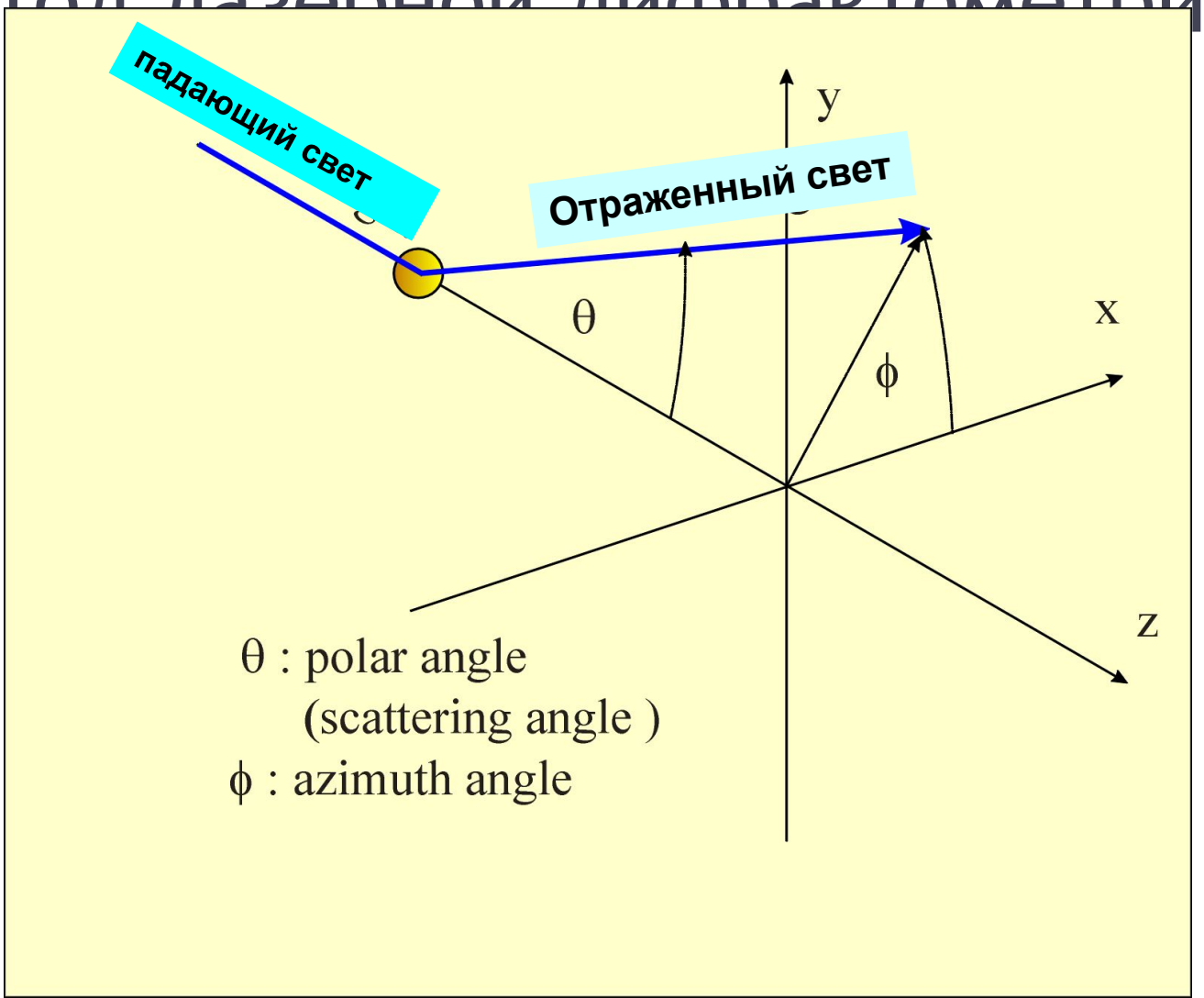
Пример

- Например, если плотность твердой фазы почвы (ρ_s) равна 2.6, плотность воды =1 г/см3, то конечная формула для расчета (округленно):

$$M_s = \frac{(\rho_c - 1)\cdot V}{1 - \frac{1}{2.6}} = \frac{(\rho_c - 1)\cdot V}{0.6}$$

Таким образом, измеряя плотность суспензии, мы можем по указанной формуле рассчитать массу частиц в суспензии на определенной глубине в определенный момент времени. Далее, используя формулу Стокса и задав определенный размер частиц (например, >0.05 мм), рассчитать время взятия отсчета по ареометру, определить в это время плотность суспензии и рассчитать массу частиц (см предыдущую формулу), соответствующую эту размеру. Можно задать следующий размер частиц (например, 0.01 мм) и опять посчитать, какую массу составят частицы выбранного размера, и т.д.

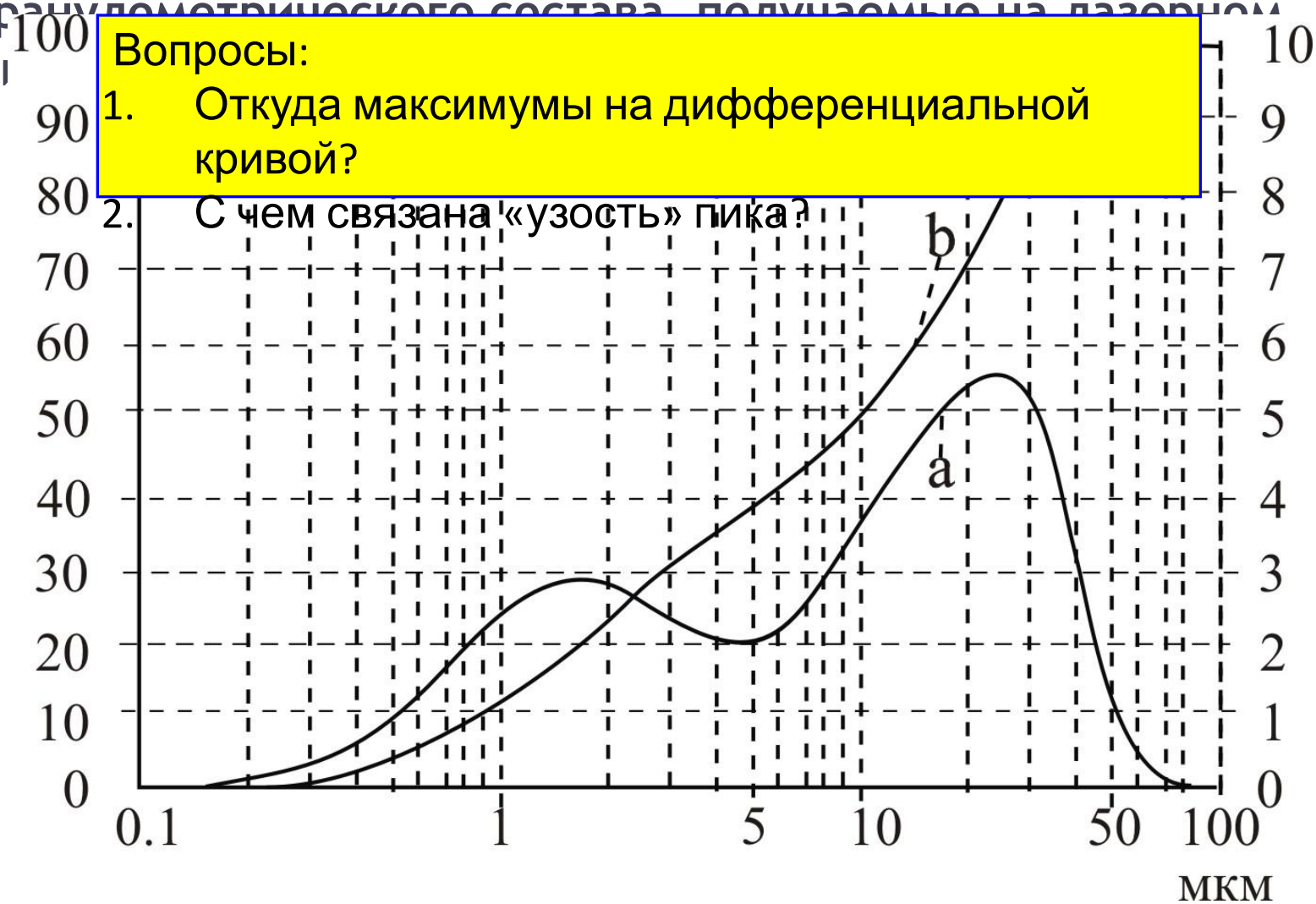
Метод лазерной дифрактометрии



Дифференциальная и интегральные кривые гранулометрического состава, получаемые на лазерном ди

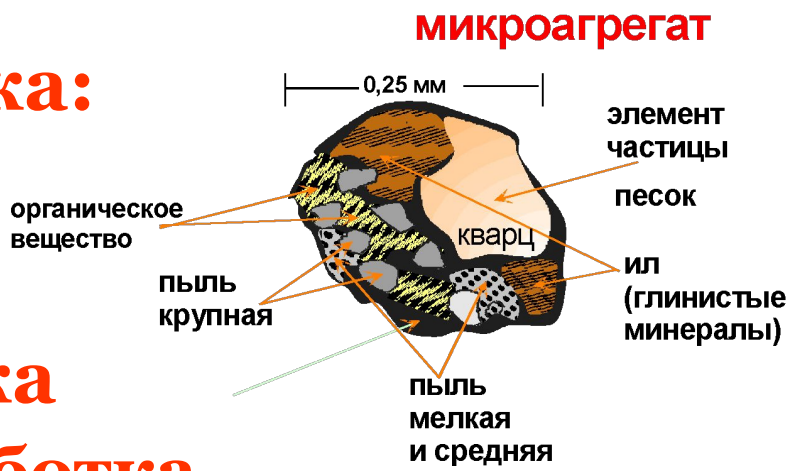
Вопросы:

1. Откуда максимумы на дифференциальной кривой?
2. С чем связана «узость» пика?



Гранулометрический анализ почв
Диспергация образца

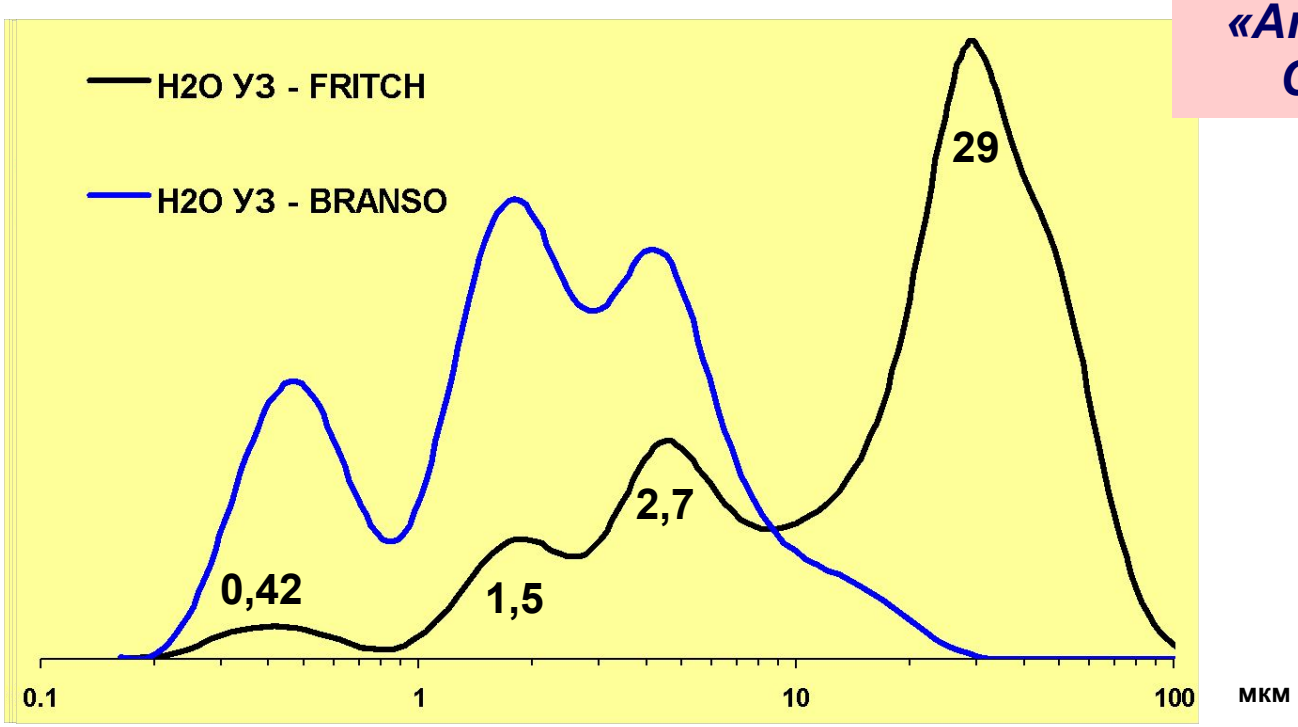
- **Химическая обработка:**
  - **H_2O_2;**
  - **Пирофосфат Na.**
- **Физическая обработка**
  - **Ультразвуковая обработка**
  - **Механическое растирание**



Цель – разрушить микроагрегаты до элементарных частиц

Диспергация образца. Ферральсоль ($A1_1$, $C_{орг}$ 9,11%)

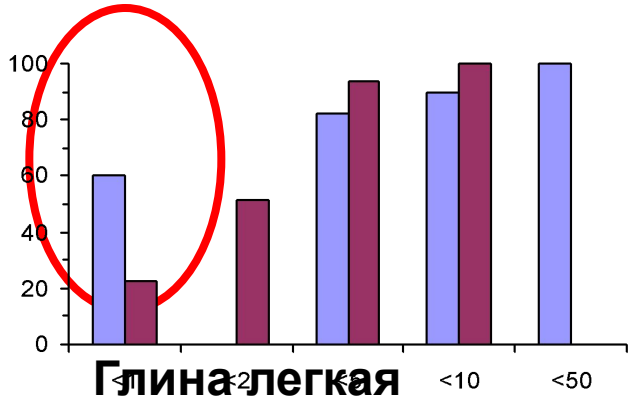
«Analysette 22 Comfort »



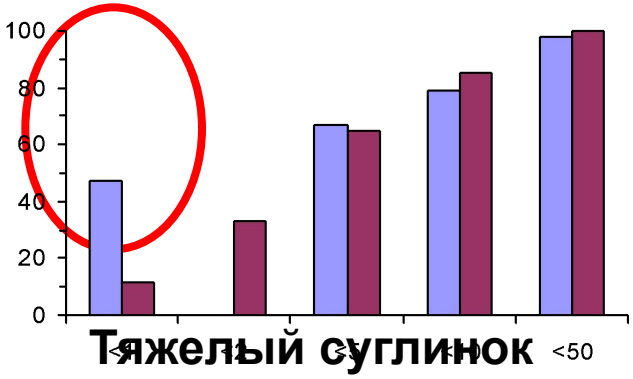
Диспергация	Содержание фракций (%), диаметром (мкм)					
	250- 50	50 - 10	10 - 5	5 - 1	> 1	
H_2O УЗ - FRITCH	10.97	57.67	10.14	18.15	3.07	Суглинок средний
$Na_4P_2O_7$ УЗ - FRITCH	1.17	44.87	17.15	32.45	4.36	Глина легкая
$Na_4P_2O_7$ УЗ - BRANSON	0.8	16.13	17.07	44.3	21.67	Глина средняя
H_2O УЗ - BRANSON	0	5.75	13.73	56.18	24.34	Глина тяжелая

Гранулометрический состав гумусово-аккумулятивных горизонтов почв

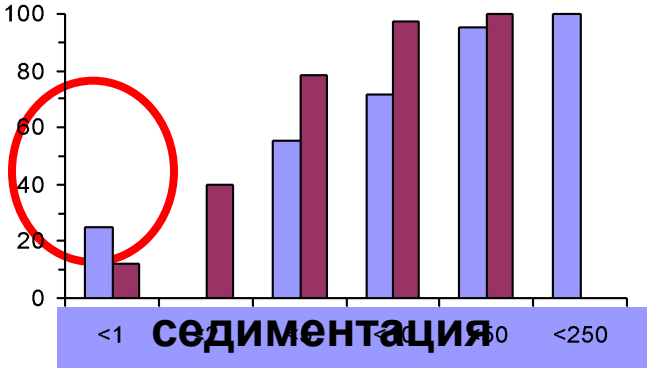
Глина тяжелая



Глина средняя

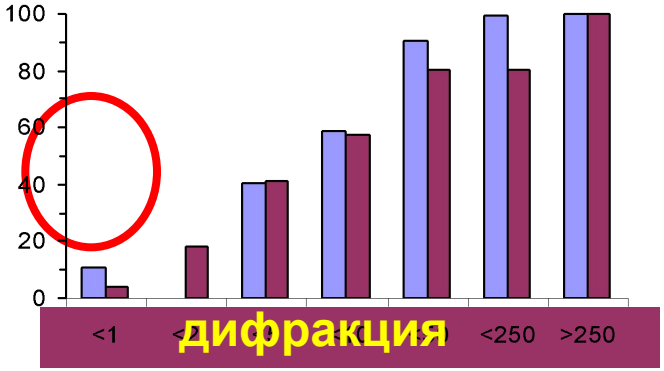


Глина легкая



седиментация

Тяжелый суглинок



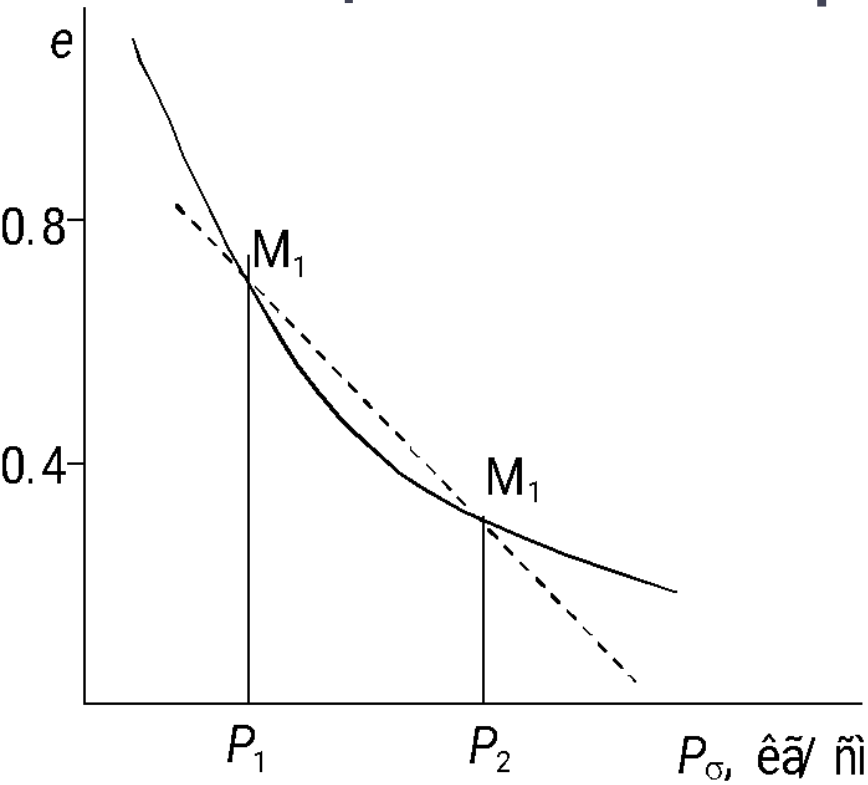
дифракция

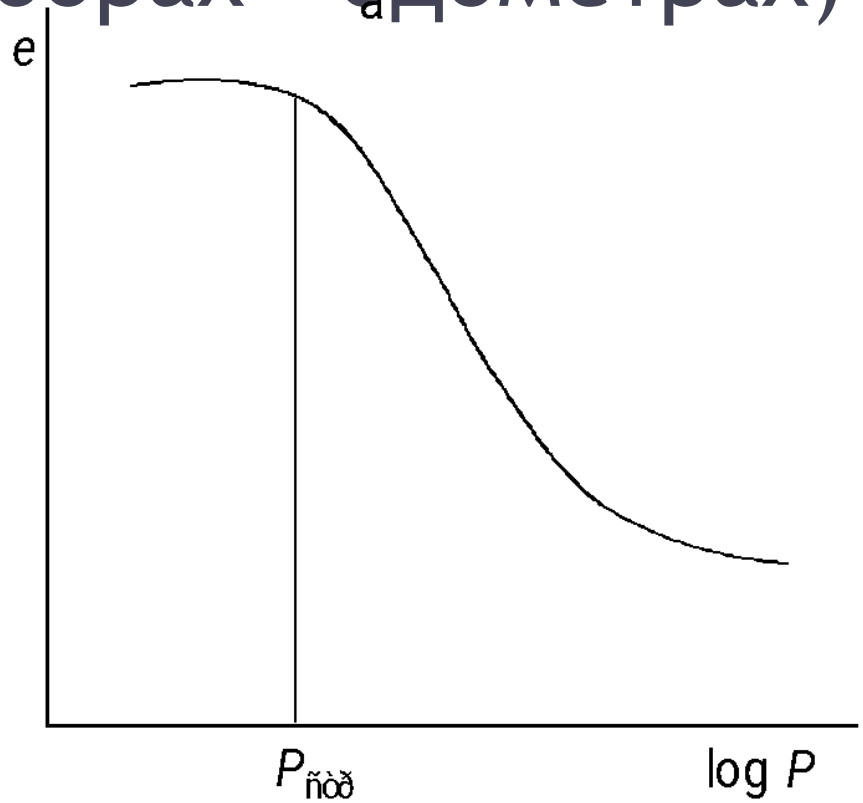
- **Основные расхождения методов седиментометрии и лазерной дифракции наблюдаются в области тонких частиц (ила, мелкой пыли).**
- **Метод лазерной дифракции «занижает» (в 2-10 раз!) содержание тонких фракций**

Деформации сжатия - уплотнение, консолидация, компрессия

- Процесс уменьшения порозности не насыщенных водой почв под влиянием эффективного давления за счет уменьшения воздухоносной порозности называется **уплотнением.**
- **Консолидация** – процесс уплотнения первоначально насыщенной почвы путем отбора (медленного «выжимания») воды при свободном ее оттоке. Определяется скоростью оттока воды.
- **Компрессия –** процесс уплотнения не насыщенной влагой воды, при котором происходит изменение порового пространства почв как за счет уменьшения объема воздухоносных пор, так и за счет оттока влаги из порового пространства. Компрессия почвы включает процессы уплотнения и консолидации

Зависимость коэффициента пористости почвы от нормальной нагрузки – «компрессионная кривая» (получается на специальных приборах – одометрах)





Важнейшие формулы

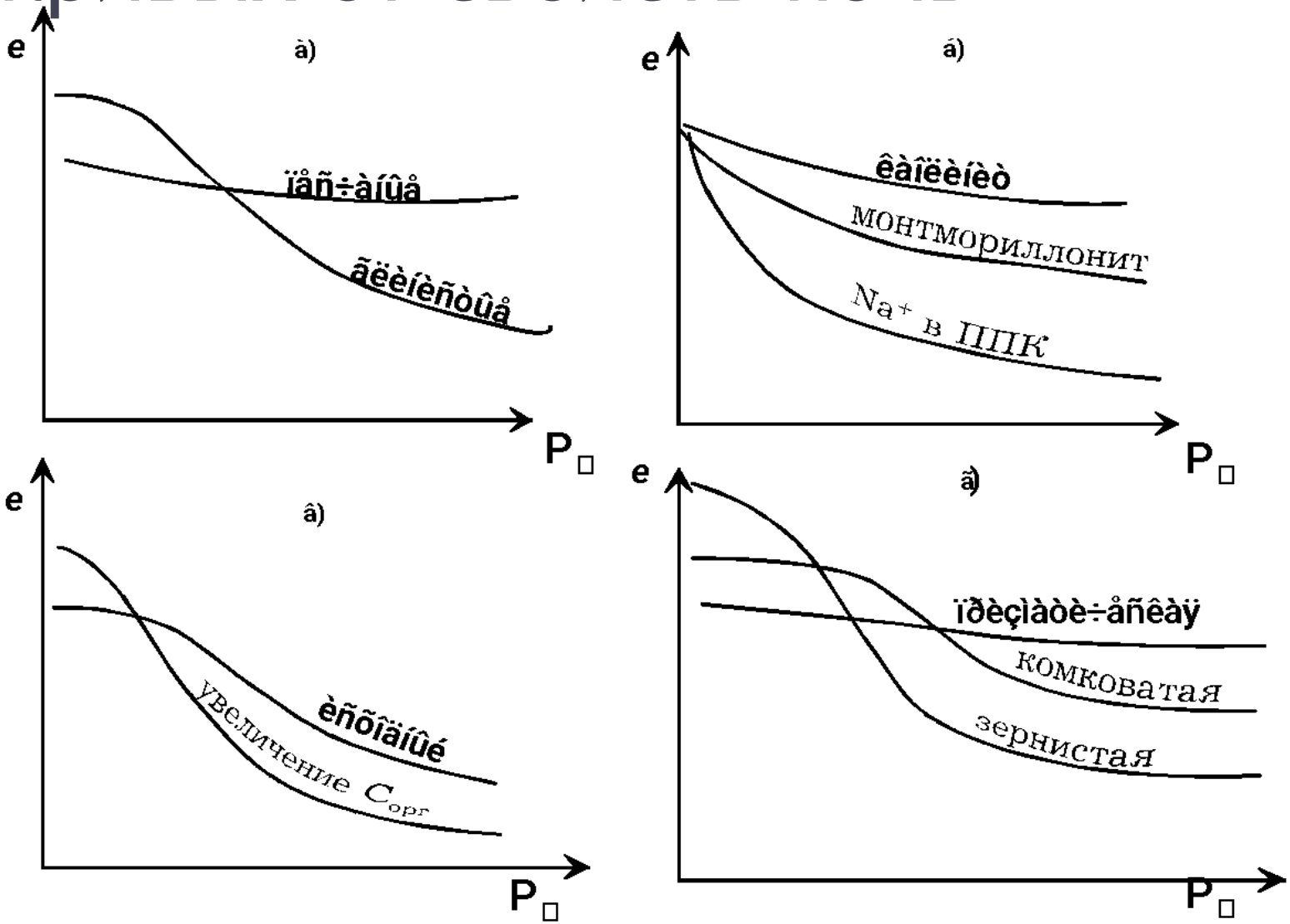
$$\Delta e = -m_0 \cdot \Delta P_n$$ -Закон уплотнения

Заменяем Δe на γ и получаем запись $\gamma = \dfrac{P_n}{E}$

$$m_v = \frac{m_0}{1+e}$$ - относительная сжимаемость

E – модуль деформации или модуль Юнга

Зависимость компрессионных кривых от свойств почв



Компрессионные кривые характеризуются:

- *Нелинейностью*
- *Структурной прочностью*
- *Гистерезисом*
- *Остаточной деформацией*

Просадки – уменьшение порозности почвы под действием нормальных напряжений и ряда сопровождающих причин

- **ПРОСАДКА (ГРУНТА)** – постепенное опускание поверхности земли на некотором участке территории вследствие уменьшения объема находящегося в напряженном состоянии грунта при оттаивании мерзлого грунта, вымывания водорастворимых солей (химическая суффозная просадка в засоленных глинах, послепросадочная деформация в лессовых грунтах), сейсмических колебаниях и воздействии вибрации (сейсмическая вибрационная просадка). Может быть результатом откачки подземных вод для технических и бытовых нужд или добычи нефти и газа. Просадки возможны также при добыче твердых полезных ископаемых шахтным способом. П.г. нередки в пределах городских территорий

Причины провалов грунта

На примере отдельно взятого строительства видно, как в результате ряда факторов вода проникает в существующие под землей пустоты, и, размывая грунт, формирует новые

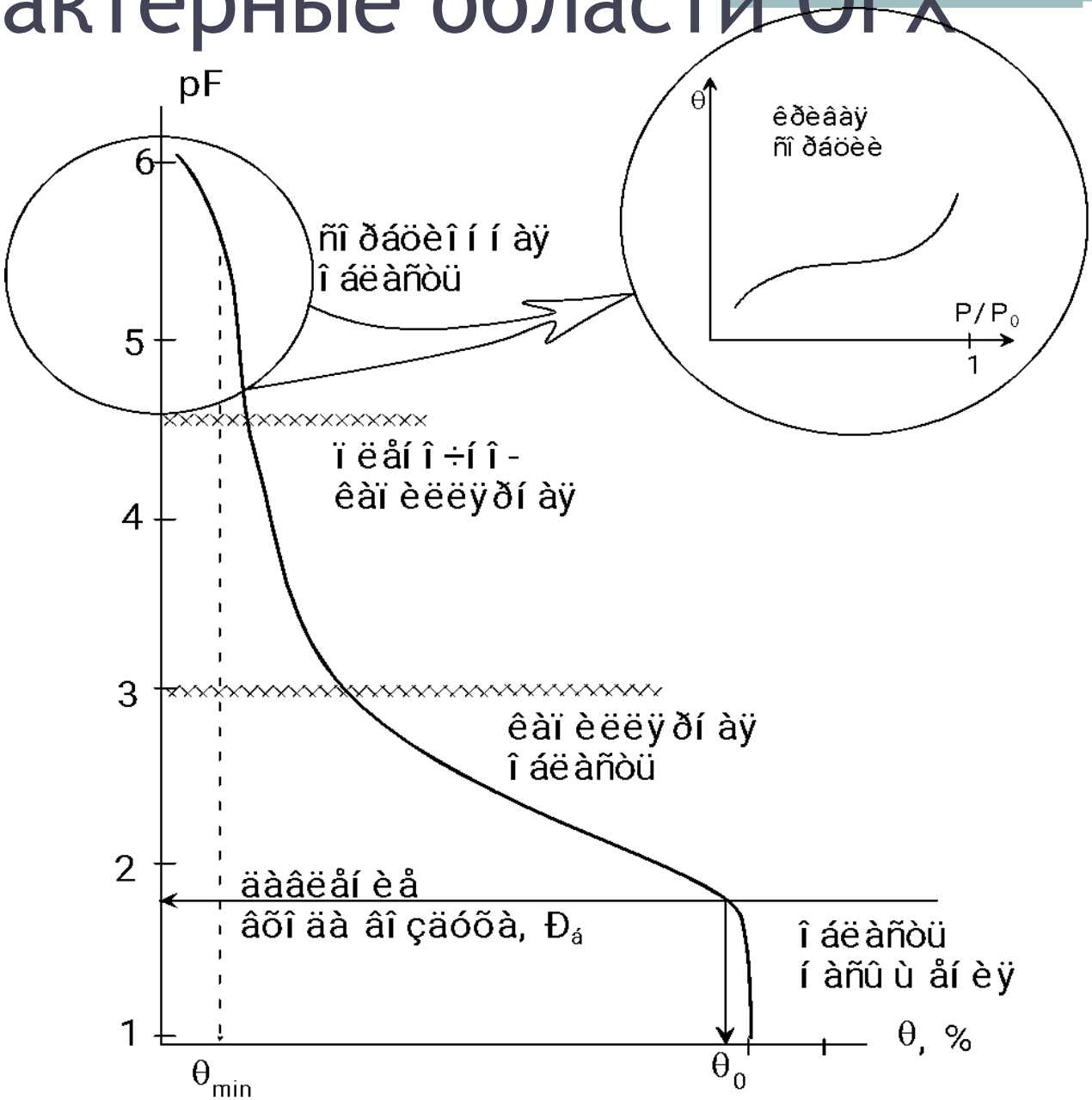
Следующая тема

Основная гидрофизическая характеристика (ОГХ)

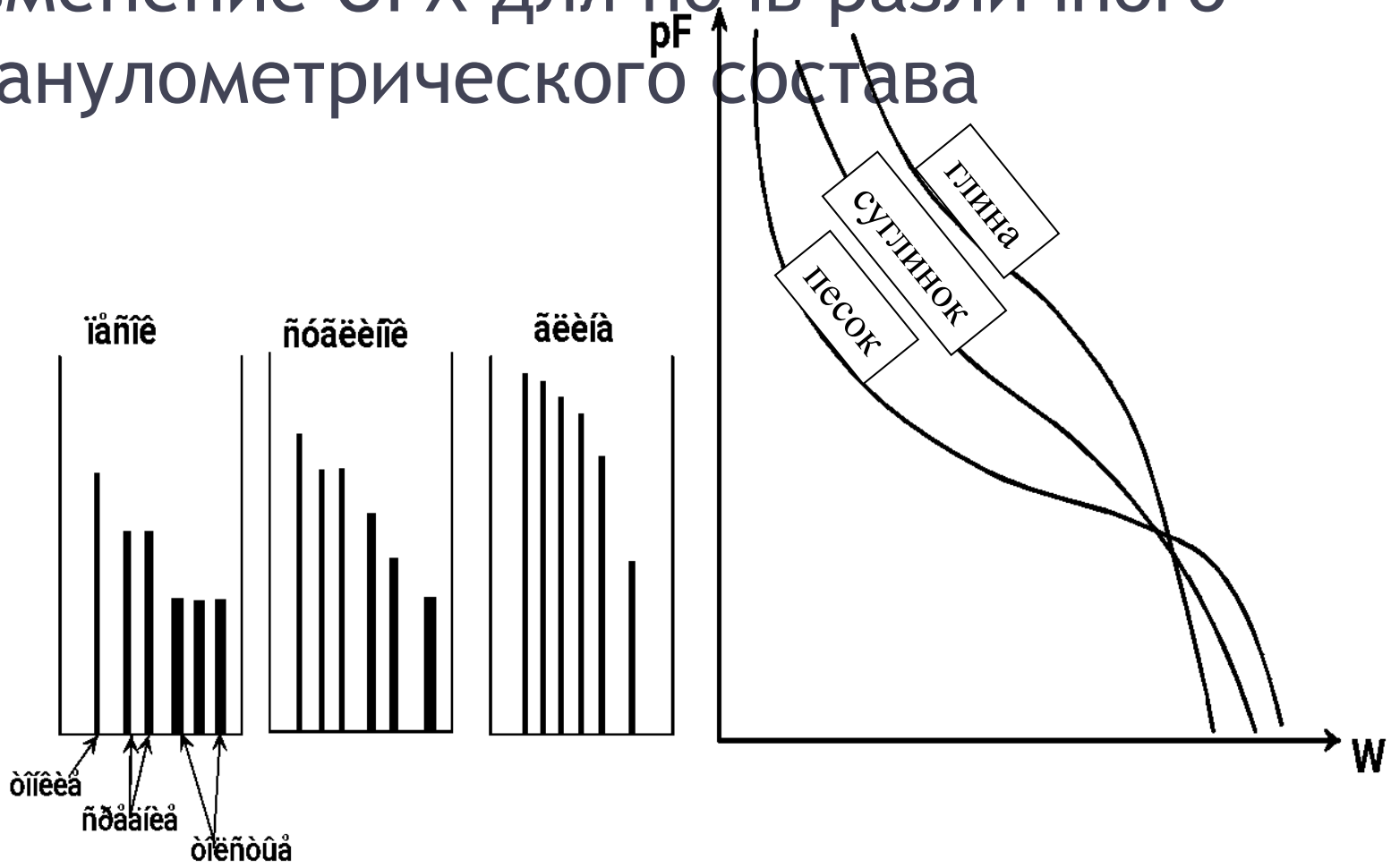
ОСНОВНАЯ ГИДРОФИЗИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА (ОГХ)

- ОГХ. Основные области и характерные точки. Зависимость от свойств почв.
- Использование ОГХ для расчетов:
  - Распределения пор по размерам
  - почвенно-гидрологических констант
  - Движения влаги в почве (хроноизобары)
- Гистерезис ОГХ
- Методы определения ОГХ
- Педотрансферные функции

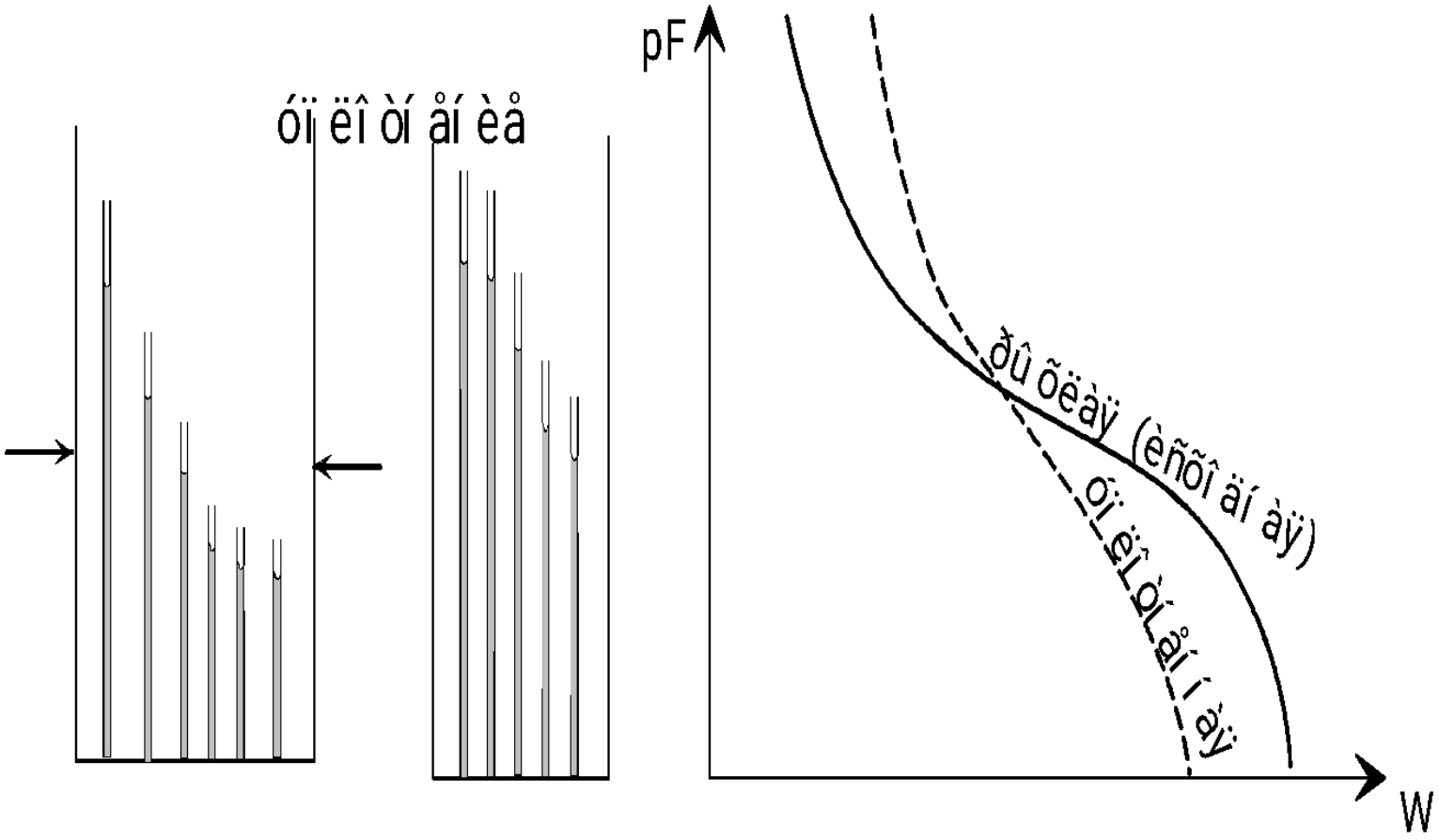
Характерные области ОГХ



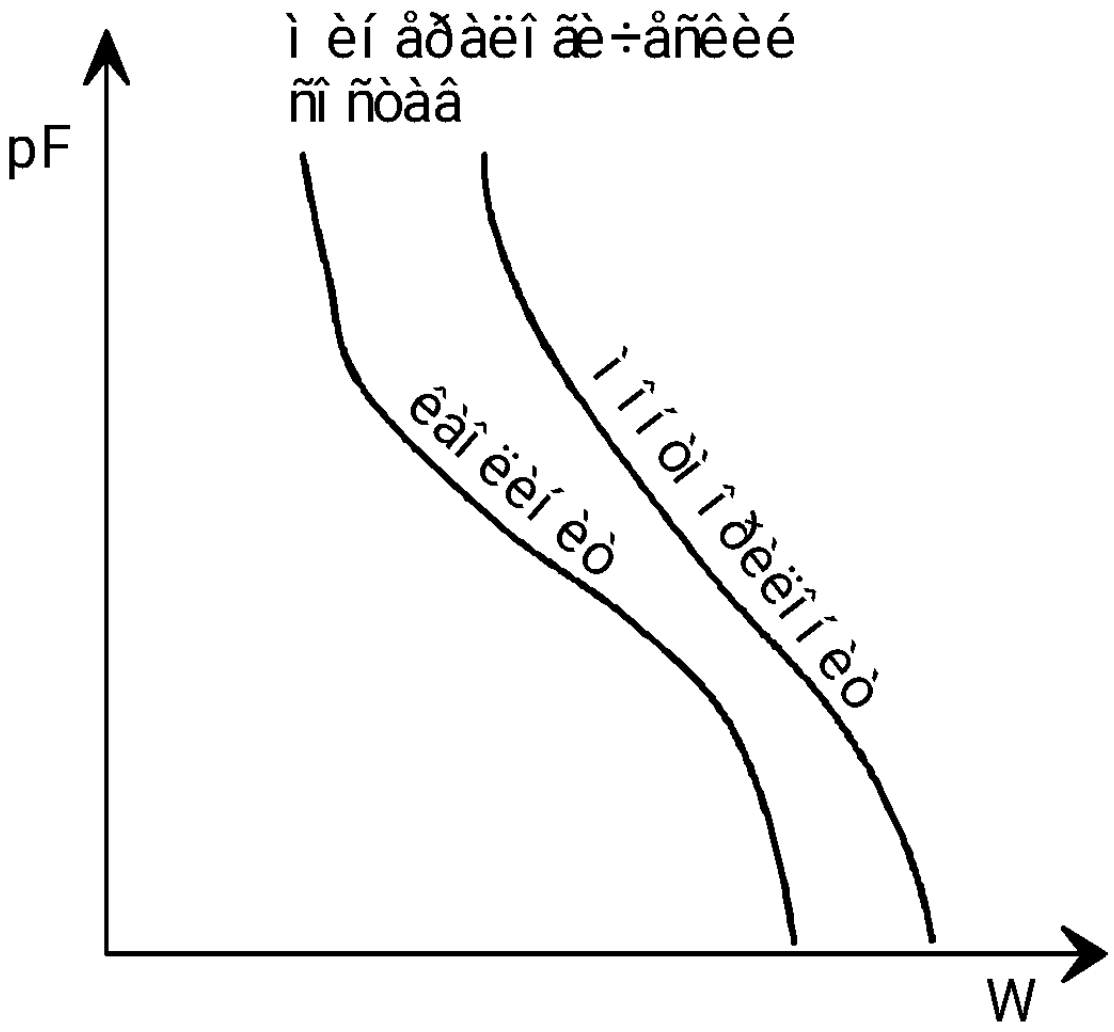
Изменение ОГХ для почв различного гранулометрического состава



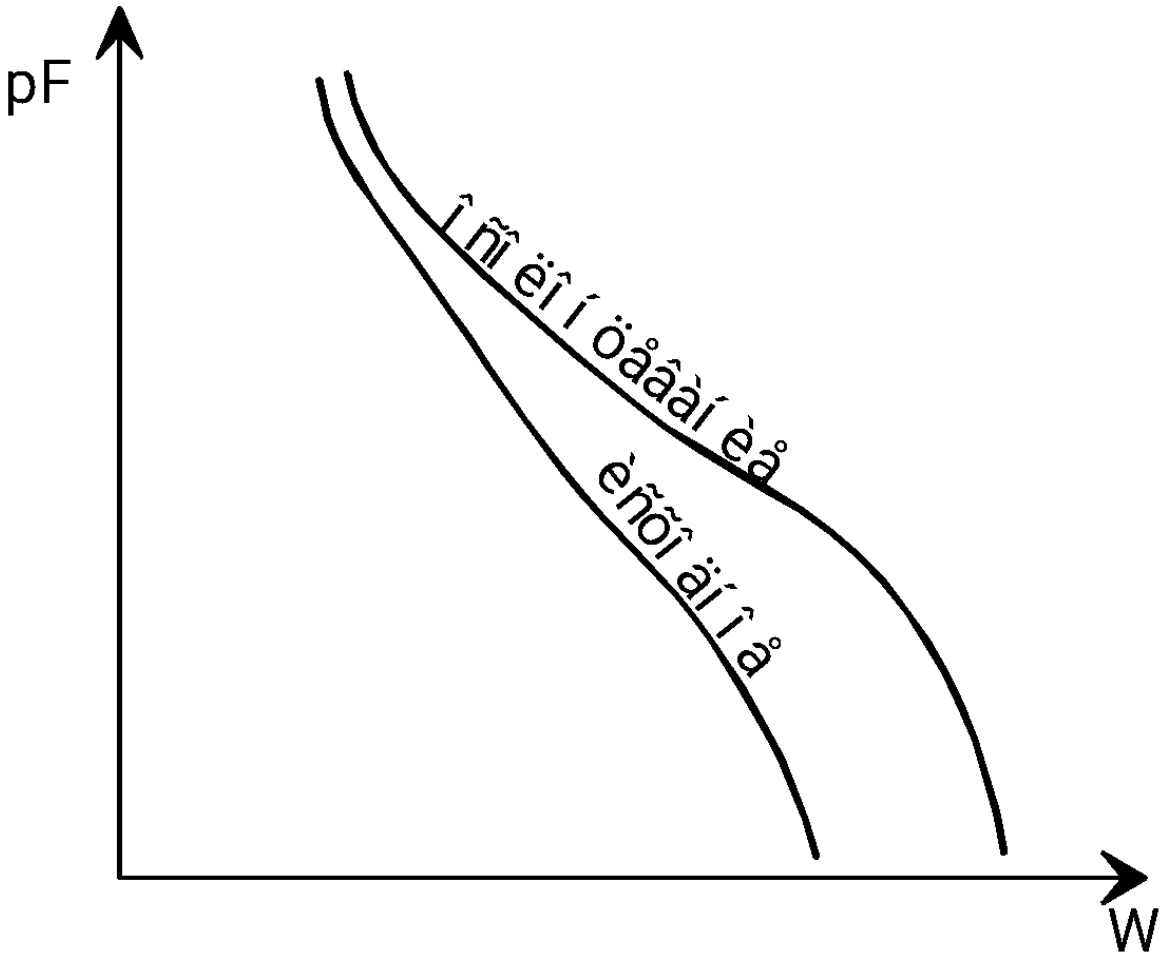
Изменение ОГХ при уплотнении



Изменение ОГХ при изменении минералогического состава



Изменение ОГХ при осолонцевании почв



АППРКСММАЦИЯ ОГХ. Уравнения ван Генухтена, Брукса и Кори

Аппроксимация ОГХ и функции влагопроводности

$$\frac{\theta - \theta_r}{\theta_s - \theta_r} = S_e = \left(\frac{1}{1 + (\alpha \cdot P)^n} \right)^{1-1/n}$$

- уравнение ван Генухтена для описания ОГХ (1980)
- но есть много других уравнений: Брукс и Кори

Рассчитывают педотрансферные функции, как эмпирические зависимости параметров аппроксимации (*n, α*) от фундаментальных свойств почв

Уравнение Брукса и Кори (1964)

$$S_e = \frac{\theta - \theta_r}{\theta_s - \theta_r} = \begin{cases} \left|\alpha \cdot P_{к-с}\right|^{-n} \text{ для } P_{к-с} \le -\frac{1}{\alpha} \\ 1 \text{ для } P_{к-с} \ge -\frac{1}{\alpha} \end{cases}$$

Коэффициент влагопроводности или ненасыщенная гидравлическая проводимость

Уравнение Генухтена-Муалема

- В этом уравнении участвуют параметры уравнения ван Генухтена для ОГХ и коэффициент фильтрации

$$K(P_{к-с}) = K_s \cdot S_e^l \left[1 - \left(1 - S_e^{\frac{1}{m}} \right)^m \right]^2, \; 0<m<1$$

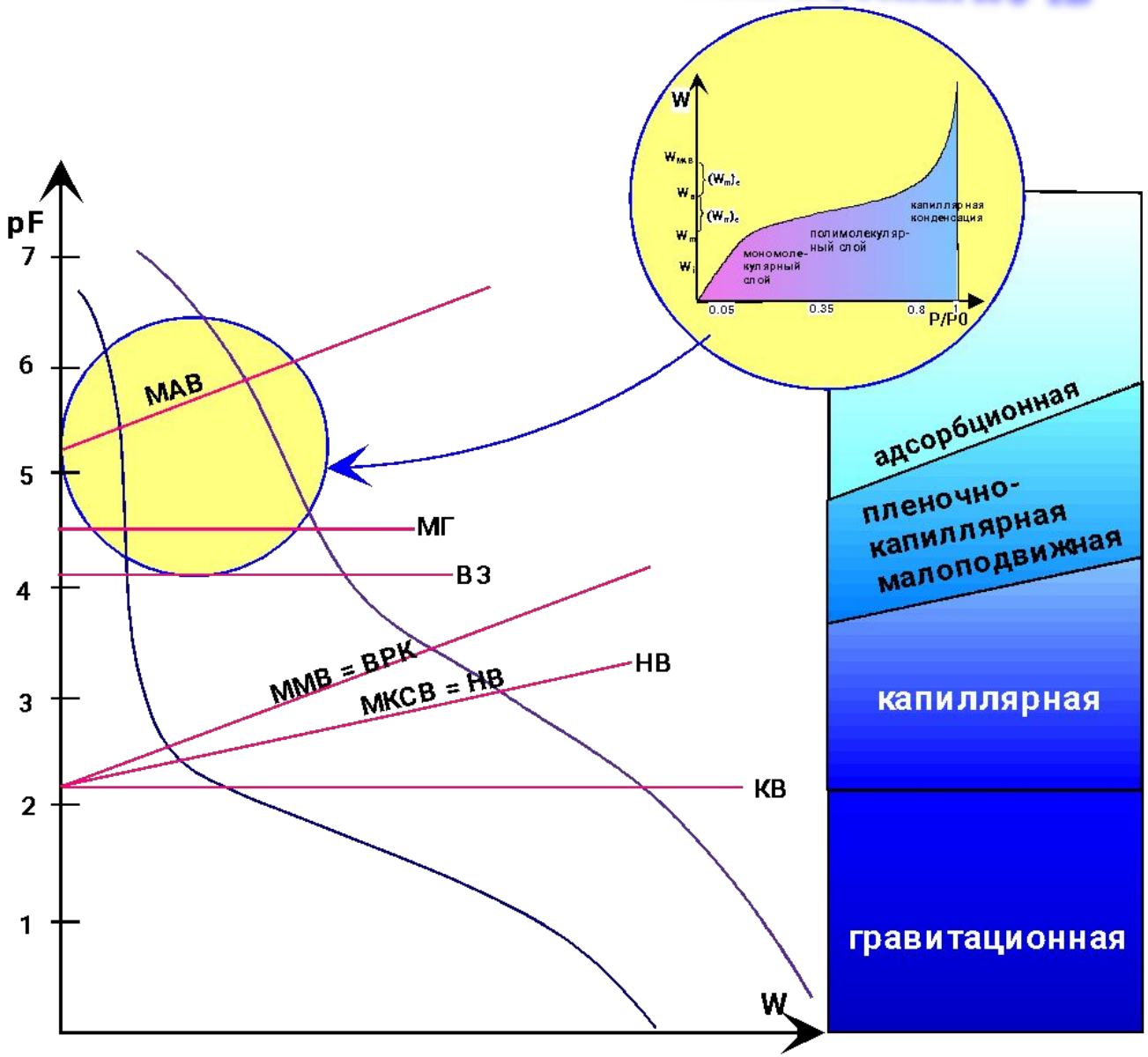
Для описании гидрологии почв в настоящее время достаточно экспериментально определить:

- Основную гидрофизическую характеристику
- Ненасыщенную гидравлическую проводимость

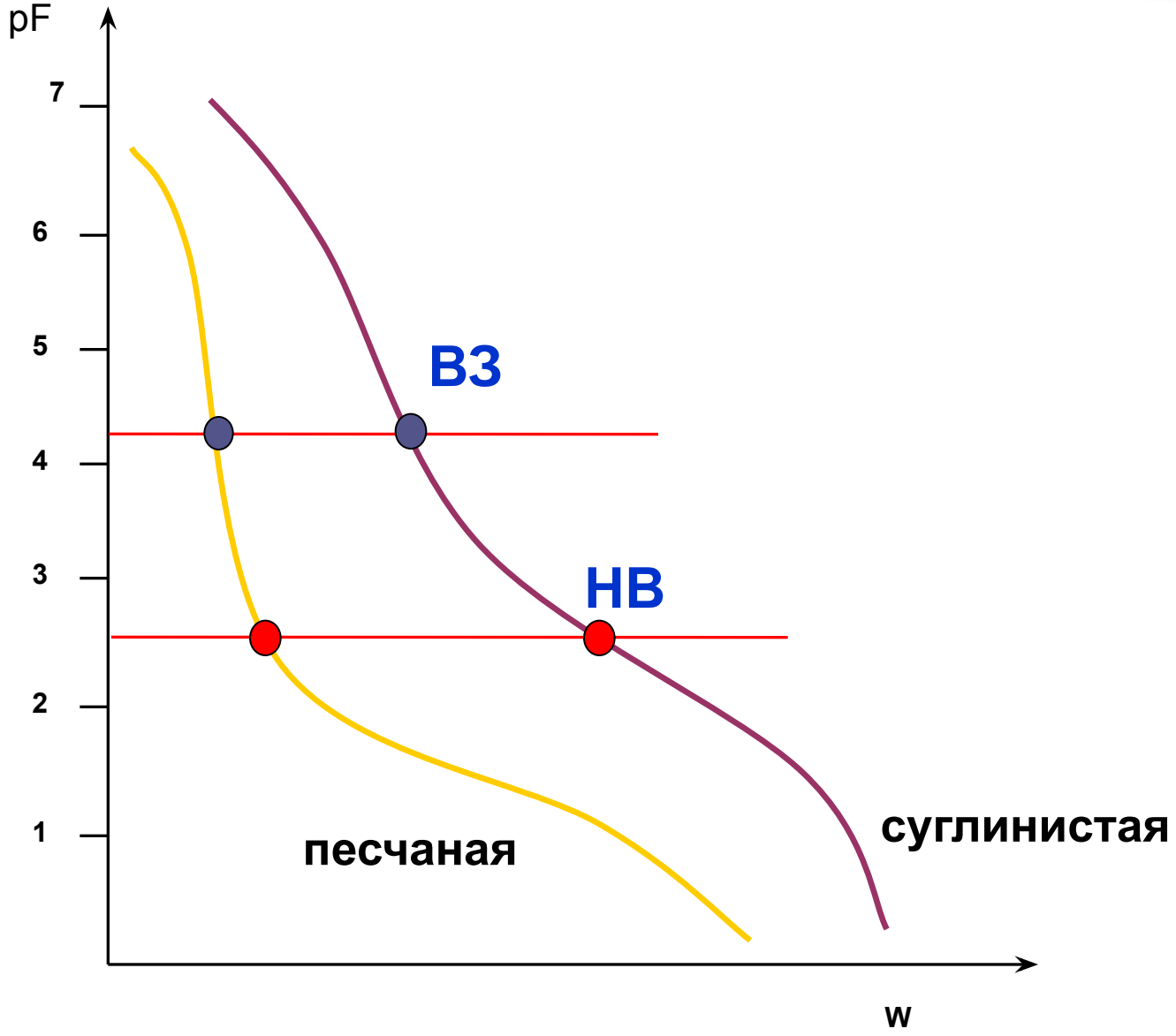
Использование ОГХ для определения гидрологических констант

Какие константы мы знаем?

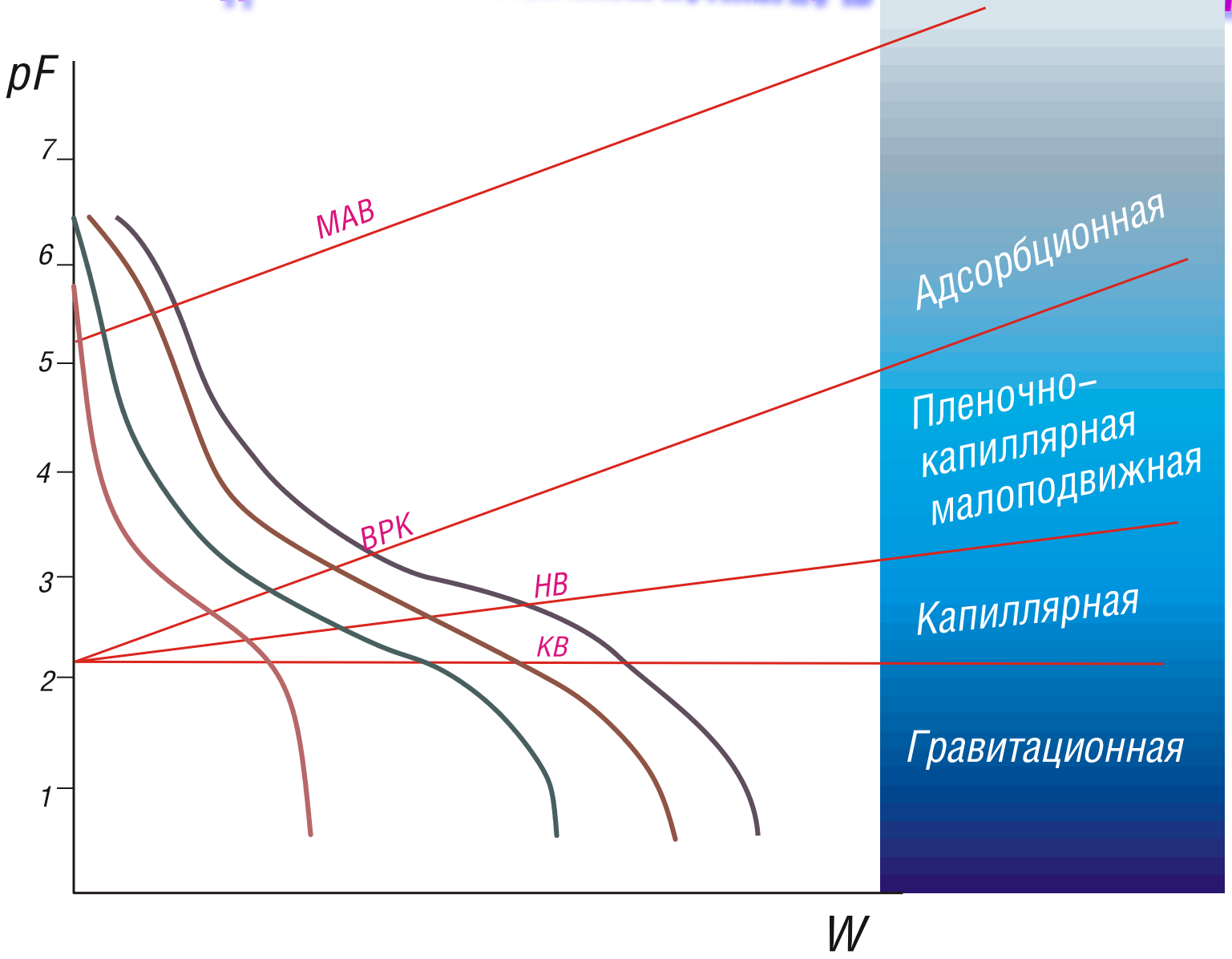
ОСНОВНАЯ ГИДРОФИЗИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ПОЧВ



ОСНОВНАЯ ГИДРОФИЗИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ПОЧВ



ОСНОВНАЯ ГИДРОФИЗИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ПОЧВ ("секущие" по Вопонину)



Педотрансферные функции

Педотрансферными функциями в современном почвоведении называют зависимости, позволяющие рассчитывать основную гидрофизическую характеристику (ОГХ) по традиционным, базовым свойствам почв (по гранулометрическому составу, плотности почвы. содержанию органического углерода и пр.).

Пример педотрансферной функции

- Влажность при pF=4.12 (влажность завядания)

$$\Theta_{pF=4.12} = 1.23 + 0.369(физ.глина) + 0.947(сод.углерода)$$

- Влажность при pF=2.5 (влажность при НВ)

$$\Theta_{pF=2.52} = 7.21 + 0.771(физ.глина) + 13.45(сод.углерода)$$

Для получения педотрансферных функций необходимо:

- Большой банк данных по ОГХ и физическим свойствам, чтобы получить эмпирические зависимости;
- Выбрать способ построения (математический аппарат) ПТФ для расчета ОГХ по свойствам почвы

ДВИЖЕНИЕ ВЛАГИ В НАСЫЩЕННОЙ ПОЧВЕ (ФИЛЬТРАЦИЯ)

- Закон Дарси
- Виды фильтрации
- Отклонения от закона Дарси
- Водороницаемость: впитывание+фильтрация
- Коэффициент впитывания и фильтрации

ПАоследний тест

1. Какие почвы относят к тяжелым суглинкам (укажите содержание физической глины)?
2. Какие тяжелые почвы относят к переуплотненным (укажите величину плотности почвы).
3. Как определить по ОГХ НВ?
4. Что такое компрессионные кривые, чем они характеризуются?

1. Какие почвы относят по коэффициенту фильтрации к водоупорам (укажите величину Кф в см/сут)
2. Какие песчаные почвы относят к переуплотненным (укажите величину плотности почвы).
3. Как определить по ОГХ ВЗ?
4. Чем отлдичатся просадки от усадки почв?

1. При одинаковой влажности какаяпочва имеет более высокой давление влаги, засоленная или незасоленная?
2. Какие параметры экспериментально можно определить в уравнении ван Генухтена

1. При одинаковой влажности, какая почва имеет большее давление влаги осолонцованная или несолонцовая?
2. Какие параметры экспериментально можно определить в уравнении Муалема?