

Измерение почвенно-физических параметров

Гидрофизика почв

1. Влажность почв, методы измерения
2. Почвенно-гидрофизические константы и их измерение
3. Водопроницаемость почв
4. Гранулометрический состав почв
5. Сопротивление почв пенетрации (плотность почв)

Влажность почвы:

1. **Отношение массы воды к массе абсолютно сухой почвы –**
т.е. к массе твердой фазы ([г/г] или, если умножить на 100, то в [%]):

весовая влажность W [г/г, % к весу]:

$$W = \frac{m_w}{m_s}, \quad W = \frac{m_{\text{âë}} - m_{\text{ñóõ}}}{m_{\text{ñóõ}}}$$

2. **Отношение массы (или объема) воды к объему почвы (V_t), -**

объемная влажность θ [см³/см³]

$$\theta = \frac{m_w}{V_t}, \quad \theta = W \rho_s$$

3. **Запас влаги (ЗВ)** в конкретном слое почвы мощностью h :

[см водного слоя], балансовая форма
представления приходных и
расходных статей водного баланса почвы

$$ZB = \frac{W \rho_s h}{100}$$

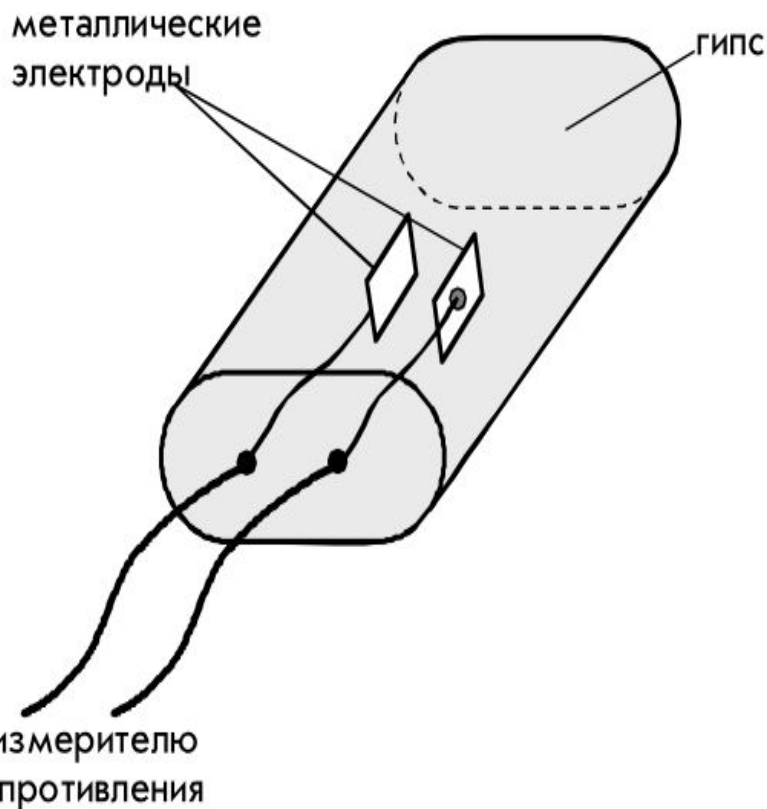
Методы определения влажности почвы

1. **Прямой термостатно-весовой метод**, самый трудоемкий, точечный и не оперативный (образец в бюксе сушат 6 ч. в термостате при 105 °С и взвешивают), но **самый точный**

Косвенные методы:

2. **Гипсовые блоки** – электропроводность во влажных почвах возрастает, автоматизированный для стационарных точек
3. **Диэлькометрия** (диэлектрическая постоянная воды $\epsilon=81$ воздуха $\epsilon=1$) наиболее широко распространены, оперативные, переносные, автоматизированные, точечные
4. **Георадарные методы** – переносные автоматизированные, площадные
5. **Нейтронная влагометрия** – точный и оперативный для скважин, особые условия эксплуатации и хранения источника радиации
6. **Гаммаскопический метод**

Гипсовые блоки (влагомер Бойюкоса)



По оси гипсового блока расположены два электрода из неполяризующегося металла. После установки в почву, через некоторое время устанавливается равновесие между влагой в блоке и почве. Измеряя электропроводность блока, которая изменяется в соответствии с влажностью окружающей почвы, судят о влажности почвы. Для уменьшения тока поляризации искажающего электропроводность влажного гипса, проводятся измерения на переменном токе либо с 4-электродной схемой измерения электропроводности. Требуется надежная тарировочная кривая.

Материалом для блока не обязательно может быть гипс: ткани с ионообменными веществами, керамические материалы с ионообменными смолами и др.

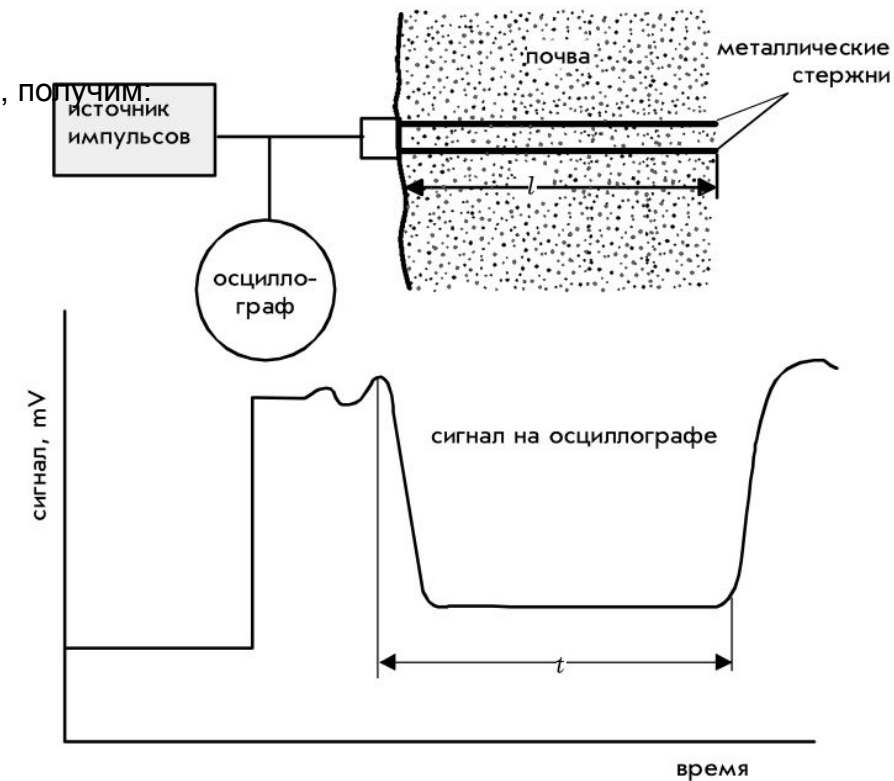
Импульсный диэлькометрический метод (TDR)

«TDR - Time Domain Reflectometry» **измерения влажности почв**

принцип измерения (слева) и четырехэлектродный TDR-датчик влажности почв (фирма Eijkelkamp, Нидерланды)

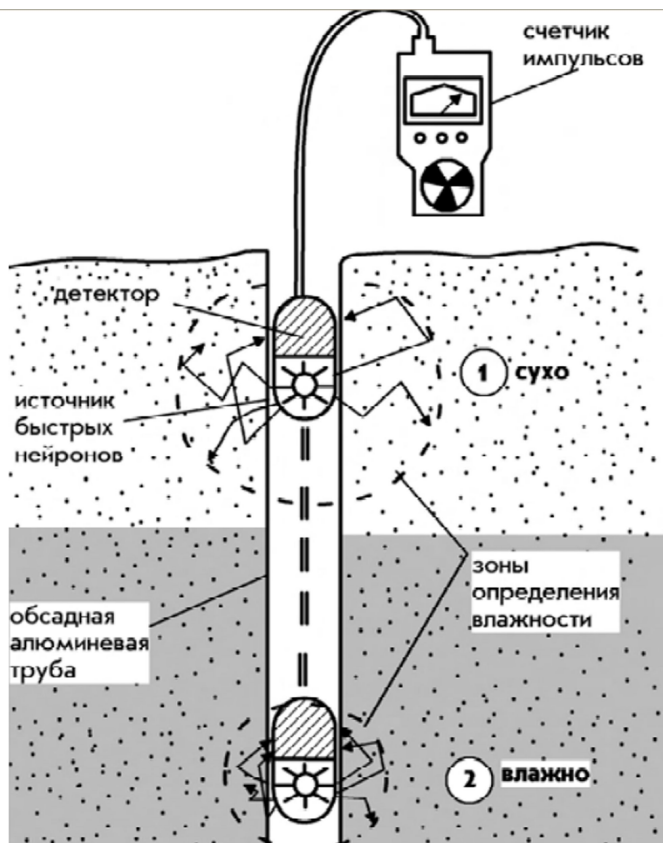
$$v = \frac{c}{\sqrt{\epsilon}} \quad v = \frac{2l}{t} \quad \epsilon = \left(\frac{ct}{2l} \right)^2$$

скорость прохождения электромагнитного сигнала (v) определяется диэлектрической проницаемостью среды (ϵ)



Нейтронная влагометрия

Быстрые нейтроны резко замедляют скорость при столкновении с атомами легких элементов (H, He, Li, Be и др). В почве ион водорода присутствует в составе воды и поэтому количество медленных нейтронов будет увеличиваться пропорционально увеличению содержания воды в почве. Стандартный источник (а это, как правило, радий-бериллий или америций-бериллий) излучает быстрые нейтроны, а счетчик медленных нейтронов фиксирует количество воды. Необходима только тарировочная зависимость влажности от скорости счета медленных нейтронов.



Вид зависимости объемной влажности от скорости счета имеет вид:

$$\theta = a + bf$$

где θ - объемная влажность [$\text{см}^3/\text{см}^3$], f - скорость счета медленных нейтронов [импульс/мин], a и b - эмпирические константы, которые определяют при тарировке: одновременно и многократно определяются пары значений влажность (термостатно-весовым методом) - скорость счета (нейтронным влагомером)

Формы воды в почвах, энергетические и почвенно-гидрологические константы [Шеин, 2005]

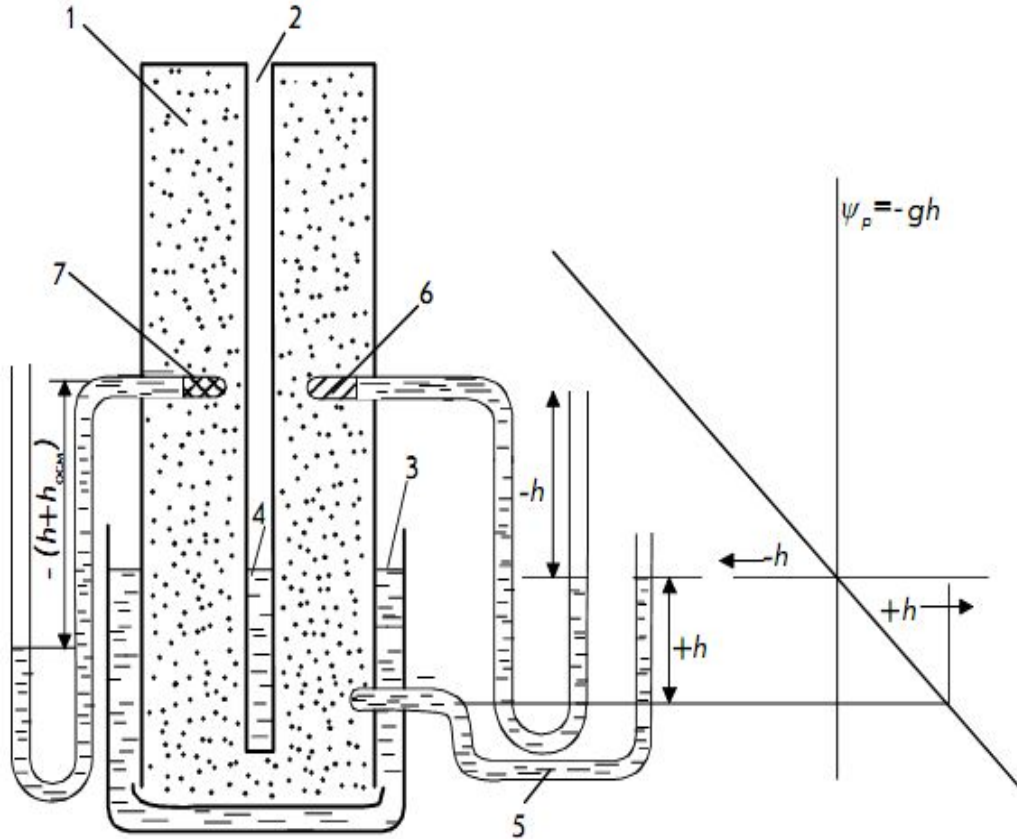
Абс.сухая почва	Гигр.	МГ	ВЗ	ВРК	НВ	КВ	Водовместимость
> уменьшение степени связи воды с твердой фазой почвы >							
Абс.сухая		МАВ	ММВ	МКСВ		КВ	ПВ
<i>Форма связи</i>	прочносвязанная		рыхлосвязанная	слабосвязанная	несвязанная		
<i>Подвижность</i>	неподвижная		слабоподвижная	подвижная	подвижная	свободная	
<i>Состояние</i>	адсорбированная		пленочная	пленочно-капиллярная	капиллярная		гравитационная
<i>Механизм удерживания (физическая природа сил)</i>	молекулярные (Вандер-Ваальса) химические электростатические		поверхностно-молекулярные	капиллярно-сорбционные	капиллярные		гравитационные
<i>Природные объекты</i>	тонкие поверхностные слои почвы полного физического иссушения		слои почвы от слабого до полного биологического иссушения	слой почвы после длительного (более двух сут.) свободного стекания	капилл. кайма над грунтовыми водами, горизонт с подпертой подвешенной влагой (при смене слоев по гран. составу)		грунтовые воды, почвенные верховодки, надмерзлотные верховодки

Почвенно-гидрофизические константы

используемые в практических расчетах и указывающие на доступность и подвижность влаги:

1. Гигроскопическая влажность (ГВ),
2. Максимальная гигроскопическая влажность ($МГ, W_{МГ}$),
3. Влажность завядания растений ($ВЗ, W_{ВЗ}$),
4. Влажность разрыва капилляров ($ВРК, W_{ВРК}$),
соответствует максимальной молекулярной влагоемкости (ММВ)
5. Наименьшая ($НВ, W_{НВ}$) или предельно полевая влагоемкость (синоним НВ: ППВ).
6. Капиллярная влагоемкость (КВ)
7. Полная влагоемкость ($ПВ, W_{ПВ}$) или водовместимость.
8. Основная гидрофизическая характеристика почв

Давление влаги в почве



1 - почвенный монолит,
 2 - проницаемая для воды скважина
 3 - поддон со свободной водой,
 4 - уровень воды в скважине, до которого поднимется свободная вода.

Для измерения составляющих давления влаги в почве вставим прозрачные тонкие трубки:

5 - открытая с обоих концов трубка, заполненная водой - **пьезометр**
 $P_{гр} = +h$

6 - трубка с тонкопористой пластинкой в ненасыщенной влагой почве выше УГВ – **тензиометр**, $P_{к-с} = -gh$

7 - трубка с полупроницаемой мембраной, которая пропускает воду и не пропускает растворимые ионы - **осмометр**
 $P_{осм} = -RTC$; (R - газовая постоянная $8.31 \cdot 10^3$ [кПа м³/К⁰·моль], T - температура в ⁰К, C - концентрация раствора в моль/м³) определяют по электропроводности почвенного раствора (EC): $P_{осм} = -36 EC$, электропроводность (EC) в дСм/м .

h – гидравлический напор

$$P_t = P_{к-с} + P_{гр} + P_{осм} + P_{вн} + P_{атм}$$

P_t - полное, или суммарное, давление влаги в почве (в кПа), $P_{к-с}$ - капиллярно-сорбционное (или матричное), $P_{гр}$ - гравитационное, $P_{осм}$ - осмотические давление влаги, $P_{атм}$ - атмосферное давление

Потенциал влаги в почве - полезная работа на единицу количества воды, которую необходимо затратить, чтобы переместить обратимо и *изотермически* бесконечно малое количество воды из резервуара с чистой водой, находящегося на стандартной высоте над уровнем моря, в почвенную влагу в рассматриваемом месте при *неизменном внешнем давлении*. Т.е. ***изобарно-изотермический потенциал***, или ***свободная энергия Гиббса***

Термодинамический потенциал влаги в почвах

Капиллярно-сорбционное силовое поле на поверхности почвенных частиц воздействует на молекулы воды: вода притягивается «прилипает» к поверхности частиц почвы. Чтобы «оторвать» некоторое количество воды от поверхности, необходимо совершить работу $dA_{к-с}$, пропорциональную напряженности силового поля $P_{к-с}$, величине поверхности твердой фазы S_T и толщине «оторванного» слоя d_h

$$dA_{ê-ñ} = -P_{ê-ñ} S_{ò} dh$$

При самопроизвольном процессе в условиях нормальных температуры и давления и в насыщенной влагой атмосфере происходит сорбция воды почвой. При этом энергия системы «почва-вода» уменьшается (происходит выделение «теплоты смачивания»). Следовательно, $P_{к-с}$ имеет отрицательное значение. Так как $S_T dh = dV$:

$$dA_{ê-ñ} = -P_{ê-ñ} dV$$

Для сил осмотического давления

$$dA_{î-ñ} = -P_{î-ñ} dV,$$

и сил гравитации

$$dA_{ãð} = -ghdM = hg\rho dV = -P_{ãð} dV$$

Изменение термодинамического потенциала влаги в почве

$$dG \leq -SdT + Vdp - P_{ê-ñ} dV - P_{î-ñ} dV - P_{ãð} dV + \sum_{n=1}^{n-3} dA_i$$

В изобарно-изотермических

условиях
$$dG \leq -P_{ê-ñ} dV - P_{î-ñ} dV - P_{ãð} dV + \sum_{n=1}^{n-3} dA_i = -P_t dV + \sum_{n=1}^{n-3} dA_i$$

Тензиометрический метод определения капиллярно-сорбционного потенциала почвенной влаги

при непосредственной гидравлической связи воды в приборе и в почве через тонкие поры свечи уменьшение давления влаги в почве будет приводить к уменьшению измеряемого вакуумметром давления воды в приборе; повышение давления влаги в почве – к регистрируемому повышению давления в приборе. Тензиометр непосредственно и быстро измеряет **давление влаги в почве**.

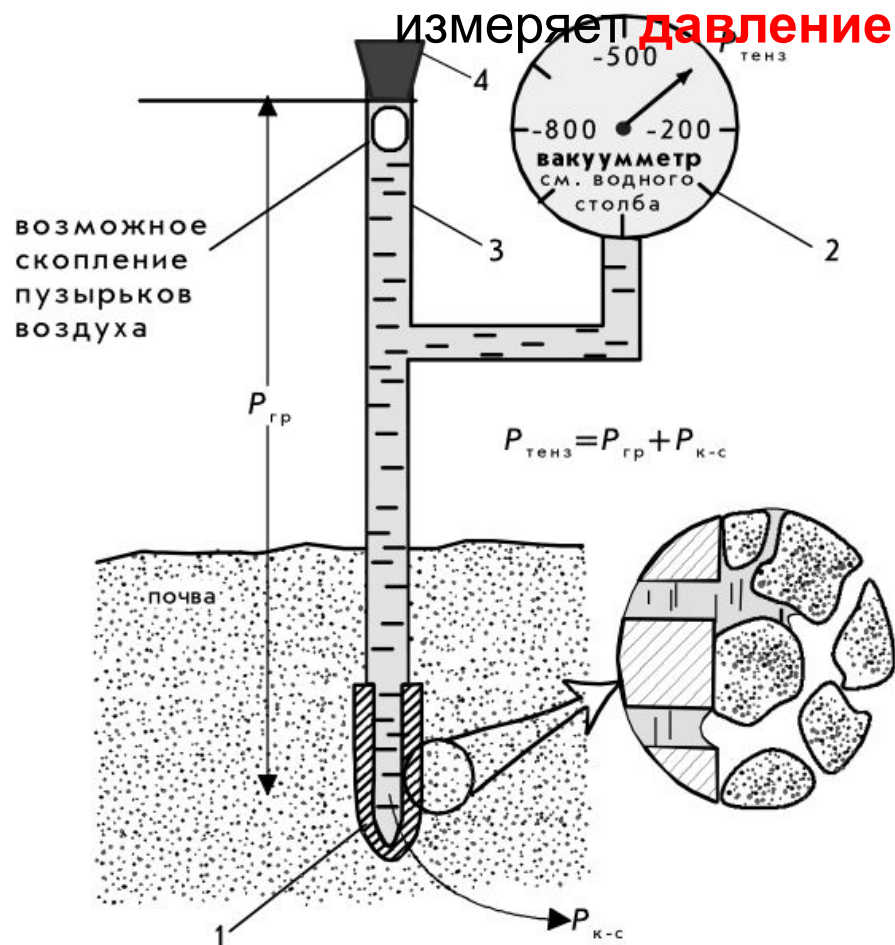


Схема тензиометра

1 - керамическая тонкопористая свеча; 2 – вакуумметр; 3 - трубка соединяющая свечу и вакуумметр, заполненная кипяченой водой и закрытая с одного конца; 4 - пробка. Вакуумметр устанавливают в отдельном колене этой специальной трубки. Вакуумметр показывает алгебраическую сумму двух составляющих: высоту столба жидкости от вакуумметра до свечи и собственно капиллярно-сорбционного давления влаги в почве.

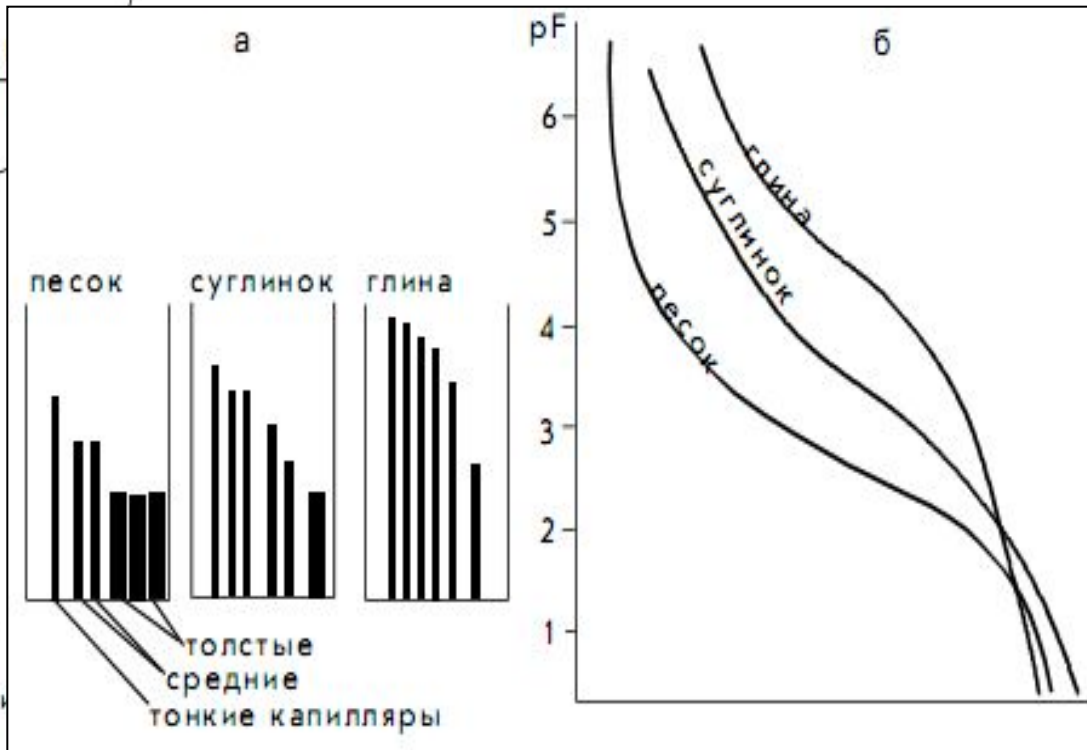
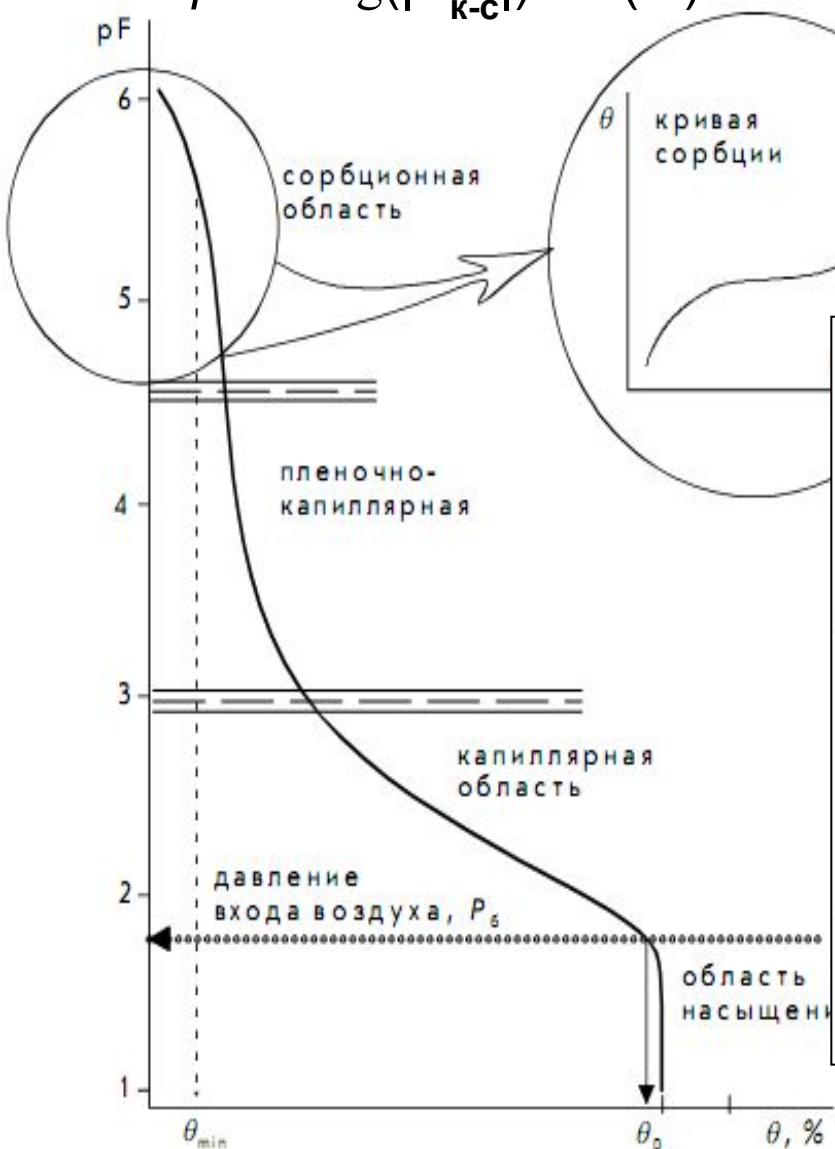
Поэтому

$$P_{\text{ê-ñ}} = P_{\text{òáí ç}} - P_{\text{ã}}$$

Обобщенный вид основной гидрофизической характеристики почв и некоторые характерные области и точки [Шейн, 2005]

$$pF = \log(|P_{к-с}|) = f(\theta)$$

области: насыщения (примерно pF 0-1.7), капиллярную (pF 1.7- 3), пленочно-капиллярную (pF 3-4.5) и сорбционную ($pF > 4.5$) с недоступной для растений влагой ($pF > 4.18$)



Характеристика обобщенного изменения ОГХ

ВЕРТИКАЛЬНОЕ ДВИЖЕНИЕ ВЛАГИ В ПОЧВЕ :

$$\frac{\partial \Theta}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial z} \left[D_W(\Theta) \frac{\partial \Theta}{\partial z} - K(\Theta) \right] - S(z, t)$$

$$K(\Theta) = K_f \left[\frac{\Theta - \Theta_{\hat{a}\zeta}}{\Theta_{\hat{i}\hat{a}} - \Theta_{\hat{a}\zeta}} \right]^{3,5}$$

$$D_W(\Theta) = K(\Theta) \frac{\partial \psi}{\partial \Theta}$$

$$\psi(\Theta) = P_B \left[\frac{\Theta - \Theta_{\hat{a}\zeta}}{\Theta_{\hat{i}\hat{a}} - \Theta_{\hat{a}\zeta}} \right]^{-0,25}$$

$$S(z, t) = r_1 \gamma(z) E_0 \ln \left(\frac{\psi_{\hat{a}\zeta}}{\psi} \right)$$

$$E(t) = r_2 d(t) \exp \left[- \frac{\Theta_{\hat{i}\hat{a}} - \Theta(0, t)}{\Theta_{\hat{i}\hat{a}}} \right]$$

$\Theta = \Theta(z, t)$ - объемная влажность почвы;

z - координата, положительно направленная вниз;

t - время; $S(x, t)$ - расход влаги корнями растений;

$K(\Theta)$ - коэффициент гидравлической проводимости:
 K_f - вертикальный коэффициент

фильтрации;

Θ_{B3} влажность, соответствующая прочно-и рыхлосвязанной воде (B3);

Θ_{PB} - влажность насыщения (PB);

$D_W(\Theta)$ - коэффициент диффузии:

потенциал насыщения почвы с заземленным воздухом.

$E(t)$ - испарение с поверхности почвы; $d(t)$ -

дефицит

влажности воздуха, r_1, r_2 - эмпирические коэф-ты

Начальные условия: $\Theta(z, 0) = \Theta_n(z)$ **Граничные условия**
 $R(t) - E(t) = K(\Theta) \left(1 - \frac{\partial \psi}{\partial z} \right) \Big|_{z=0}$

Движение воды в насыщенной влагой почве (фильтрация)

Классификационные градации коэффициента фильтрации почв (по Ф.Р.Зайдельману, 1985)

Класс коэффициента фильтрации	Наименование	Значение (см/сут)
I	Исключительно низкий (водоупор)	<1
II	Очень низкий (для почвенных горизонтов – водоупорный)	1–6
III	Низкий	6–15
IV	Средний	15–40
V	Высокий	40–100
VI	Очень высокий	100–250
VII	Исключительно высокий	>250

Диапазоны средних значений коэффициента фильтрации для различных по гранулометрическому составу почв

Почвенные объекты	Диапазон K_f , см/сут
Песчаные почвы	300–800
Суглинистые	20–100
Глины	1–50

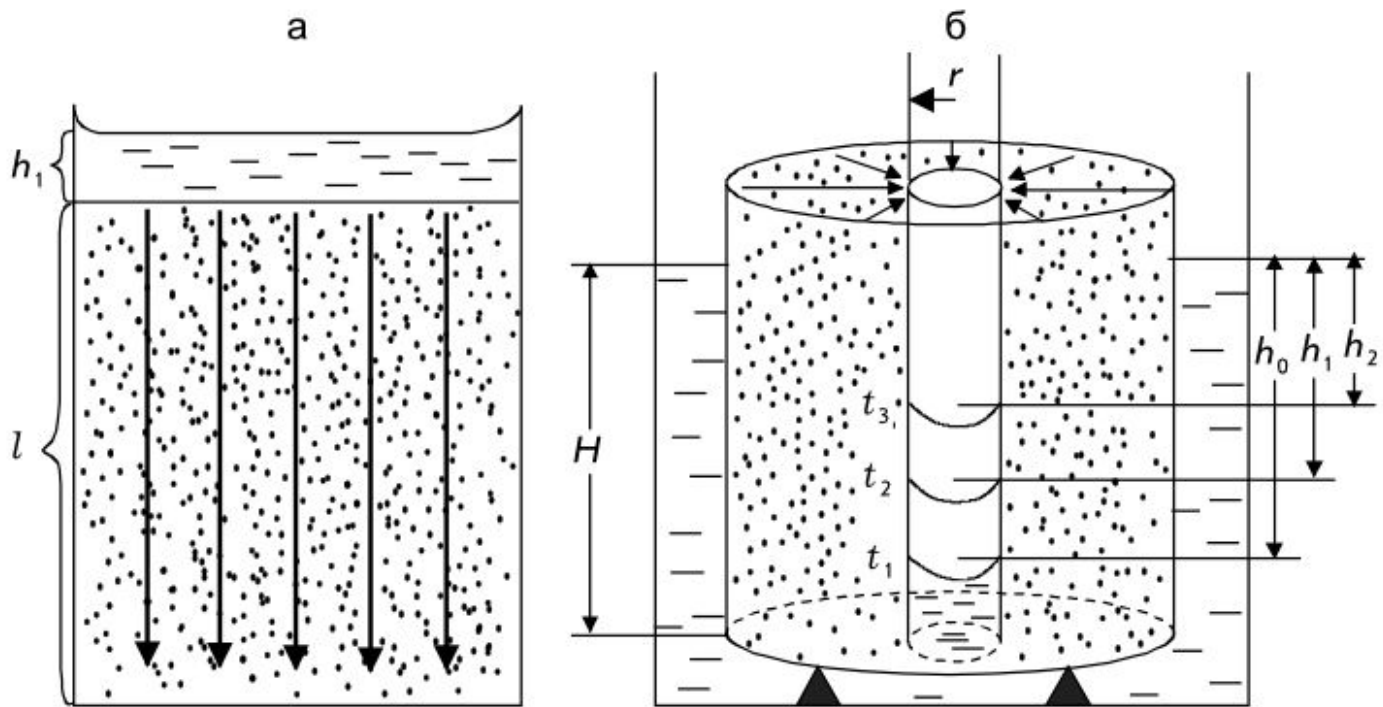
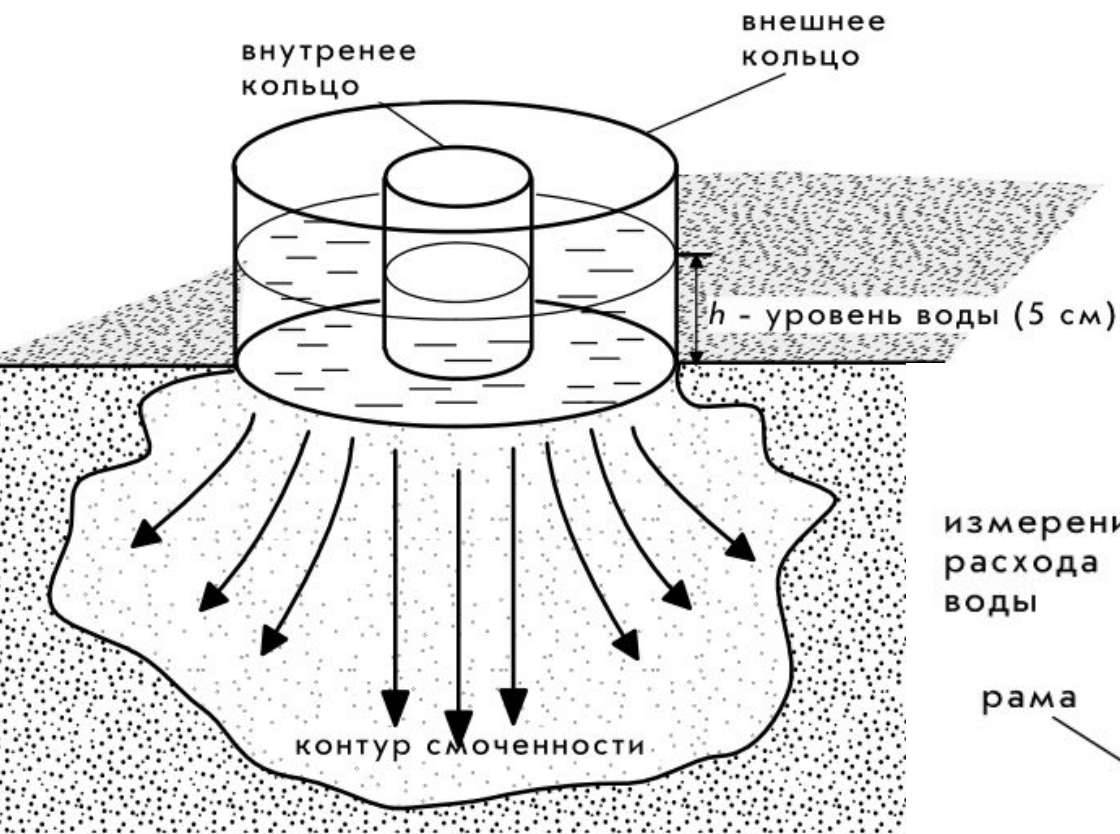


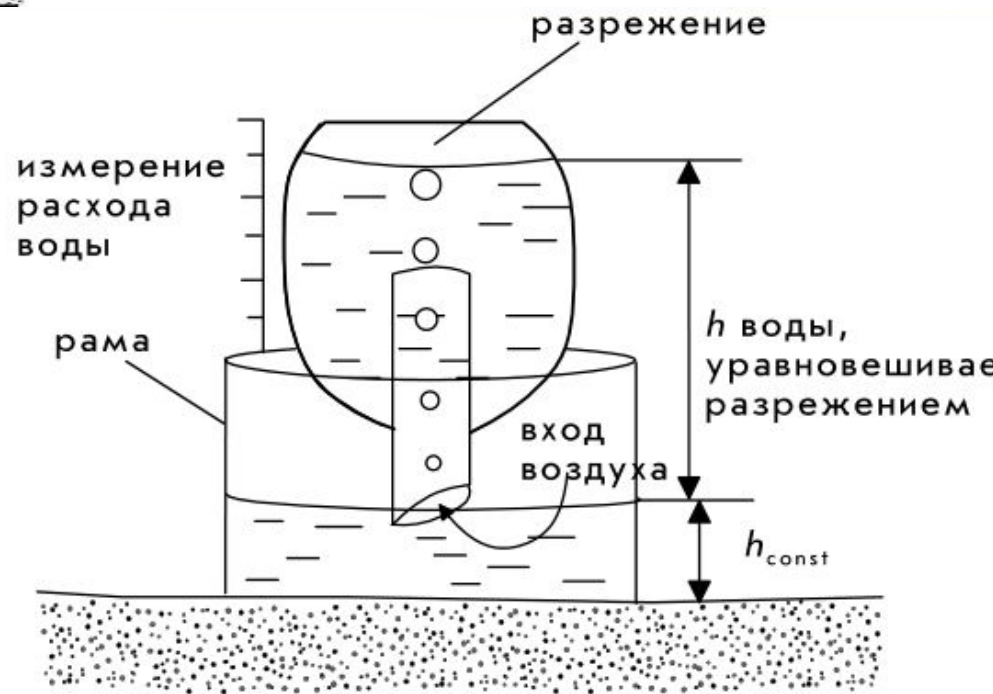
Рис.VIII.2. Линейная (плановая) фильтрация воды в вертикально расположенном почвенном монолите (а) и радиальная (осесимметричная) фильтрация к центрально расположенной скважине (б)

Расчет по методу откачки из скважины

$$\hat{E}_{\hat{o}} = \frac{mr^2}{H + 2r} \cdot \frac{\lg h_0/h_t}{t}$$

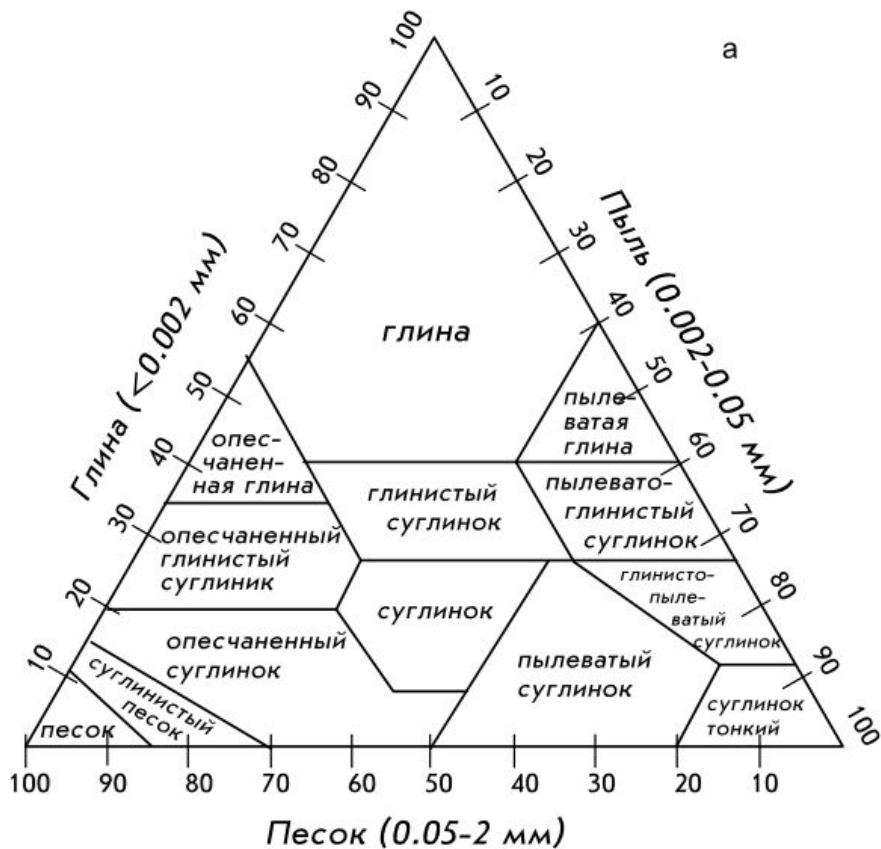


VIII.9. Определение коэффициента фильтрации емых площадей (методом рам)



Мариоттово устройство для измерения расходов воды и поддержания постоянного напора

Гранулометрический состав почв



Гранулометрические фракции почв (по Качинскому Н.А.). Отечественная классификация двумерная, использует соотношение физической глины (частиц <math><0,01\text{ мм}</math>) и физического песка.

Треугольник Ферре для классификации почв по гранулометрическому составу

**Классификация почв по гранулометрическому составу
(по Н.А.Качинскому)**

Содержание физической глины (частиц < 0,01 мм), %			Краткое название почвы по гранулометрическому составу
Подзолистого типа почвообразования	Степного типа почвообразования	Солонцы и сильно солонцеватые почвы	
0–5	0–5	0–5	Песок рыхлый (Пр)
5–10	5–10	5–10	Песок связанный (Псв)
10–20	10–20	10–15	Супесь (С)
20–30	20–30	15–20	Суглинок легкий (Сл)
30–40	30–45	20–30	Суглинок средний (Сср)
40–50	45–60	30–40	Суглинок тяжелый (Ст)
50–65	60–75	40–50	Глина легкая (Гл)
65–80	75–85	50–65	Глина средняя (Гср)
>80	>85	>65	Глина тяжелая (Гт)

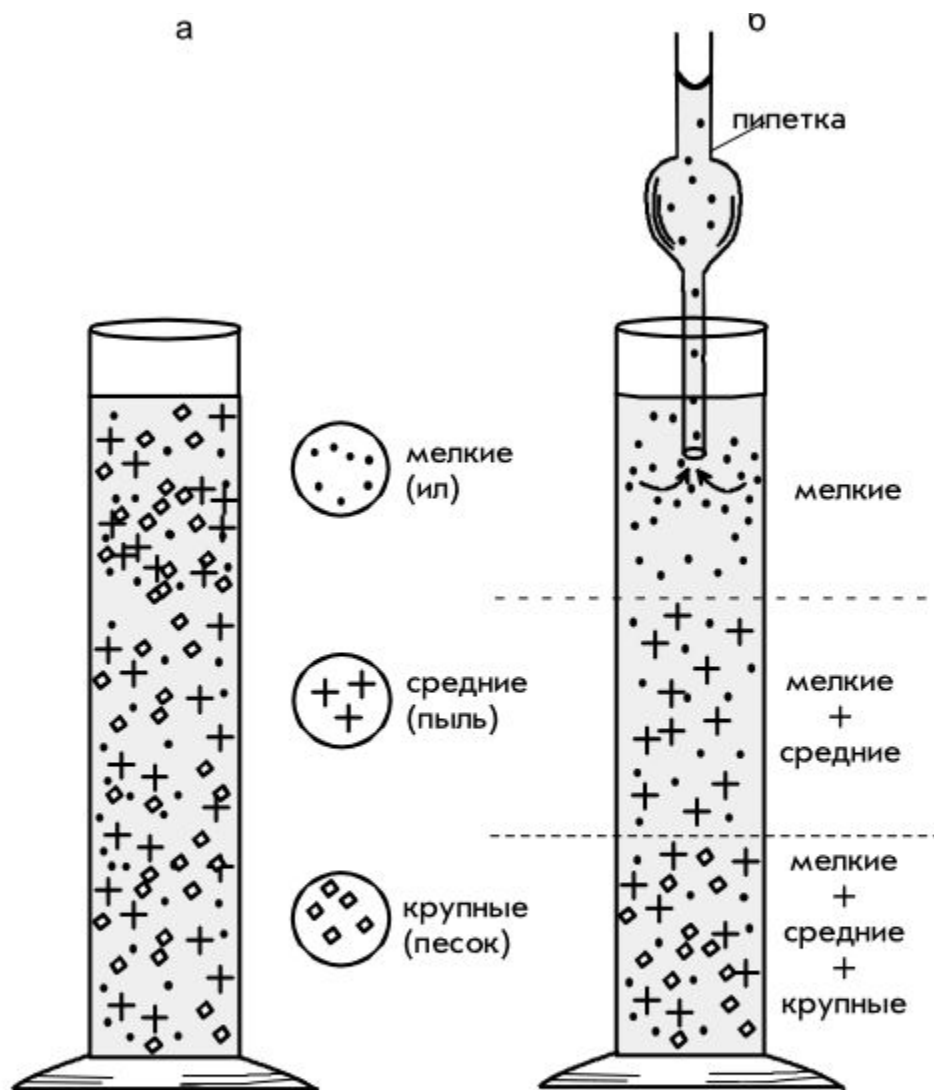


Рис. П.8. Схема определения фракций гранулометрических элементов по осадению в стоячей воде и отбору проб с помощью пипетки: а) равномерно перемешанная суспензия почвы; б) отбор пробы мелких частиц через определенный промежуток времени

Рентгено-седиментационный метод гранулометрического анализа

Измеряется плотность седиментирующей дисперсии по поглощению рентгеновских лучей. На диаграмме записывается непрерывная кумулятивная кривая распределения частиц в интервале от 100 мкм (0.1 мм) и меньше по эквивалентному диаметру частиц в соответствии с формулой Стокса в логарифмическом масштабе. Проба 5-10 г почвы заливается 40-50 мл 0.1-0.05% раствора пирофосфата (или гексаметафосфата) натрия и обрабатывается ультразвуком при помешивании до полной диспергации. Частицы крупнее 100 мкм отдельно определяются после ультразвуковой обработки. Подготовленная дисперсия, содержащая частицы мельче 100 мкм, при постоянном перемешивании с помощью пульсирующего насоса прогоняется через седиментационную ячейку, помещенную на пути рентгеновского луча.

Метод лазерной дифракции («Микросайзер»)

Лазерный пучок освещает кювету, через которую прокачивается суспензия частиц. Рассеянное частицами излучение регистрируется под разными углами с помощью многоэлементного детектора – фотодиодной матрицы. По измеренной таким образом зависимости интенсивности рассеянного света от угла рассеяния осуществляется расчёт распределения по размерам частиц. Суспензия частиц создаётся введением исследуемого объекта в заполненную жидкостью камеру центробежного насоса, где в условиях воздействия ультразвука осуществляется тщательное перемешивание. Пропущенная через кювету суспензия вновь поступает в камеру насоса. За время измерения все частицы многократно проходят через световой пучок. Диапазон измерений – от долей микрон до сотен микрон; единичное измерение проводится примерно за одну минуту

Сопротивление почв пенетрации

зависит от фундаментальных свойств почв: гранулометрического, минералогического и агрегатного состав, состава ППК, влажности и, главным образом, от плотности почвы.

а

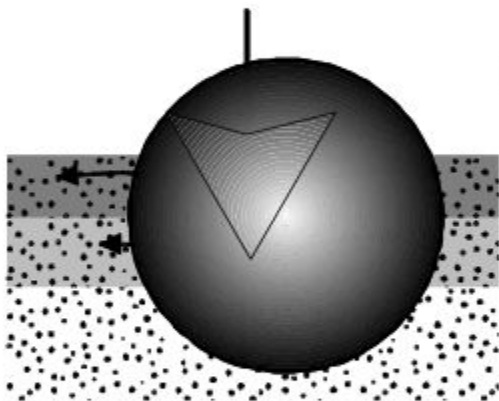
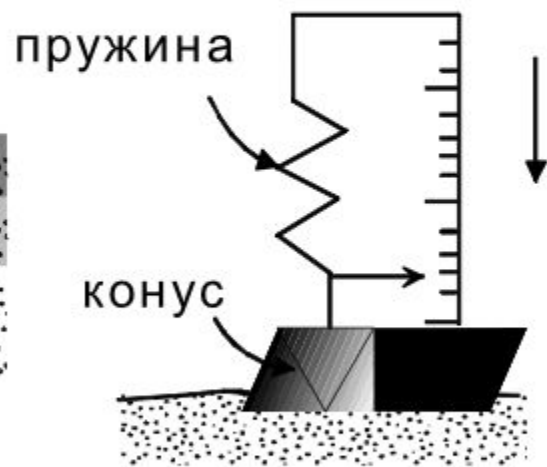


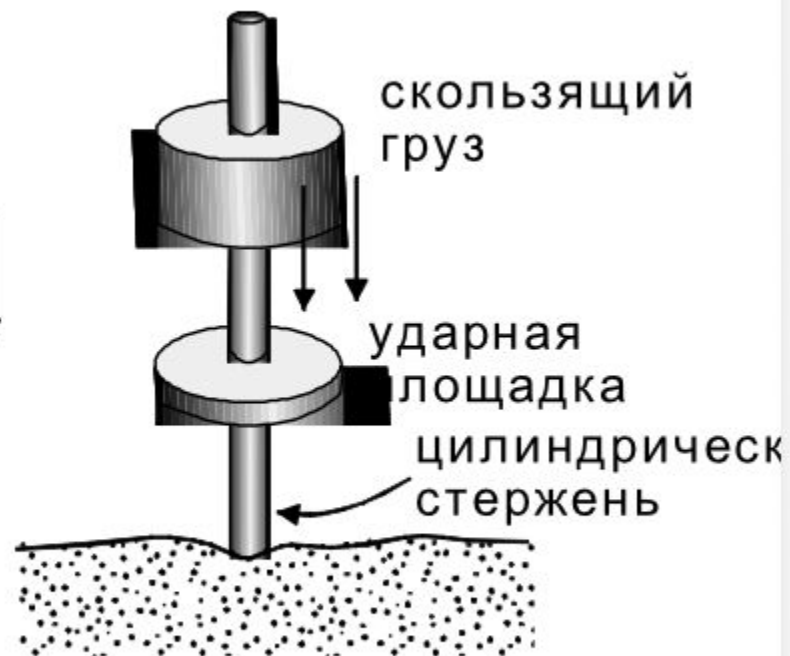
схема внедрения штампа пенетromетра

б



пружинного типа

в



ударного типа

Стрелочный пенетрометр для измерений на глубине до 3 м. В набор входит: пенетрометр, 4 конуса различных диаметров, пластина для зондирования почвы, наращиваемые стержни, бур Эдельмана, набор инструментов.

Диапазон измерения манометра 10000 кН/м^2 (= 10000 кПа). Диапазон шкалы от 0 до $1,0 \text{ кПа}$. Бур используется для предварительного бурения почвы на глубину, где планируется проведение замера.

Пенетрометр плавно строго вертикально вводится в почву, с равным усилием на оба конца рукоятки, избегая резких рывков.

Показания считываются с манометра, черная стрелка показывает уровень сопротивления на текущем участке, а красная - максимальное значение сопротивления за текущее измерение.

Сопротивление почвы определяют путем деления показаний манометра на площадь конуса наконечника. Выбор конуса зависит от предполагаемого значения сопротивления. Чем больше сопротивление, тем меньше конус, и наоборот. Чем больше площадь конуса, тем точнее получаемые значения сопротивления.





Электронный пенетрометр
в совокупности с даталоггером
позволяет собрать, обработать и
сохранить измеренную информации.

Пенетрологгер послойно (=1см) измеряет сопротивление почвы до 80 см. В самом упрощенном виде прибор представляет собой силовой датчик, даталоггер, зонд, конус и ультразвуковую систему измерения глубины. Перед проведением измерений в поле задается программа (на ПК либо на самом даталоггере) - название проекта, количество измерений, тип конуса, скорость проникновения и т.д.). Прибор снабжен механизмом контроля скорости ввода датчика в почву, дополняется TDR-датчиком влажности почвы, а также GPS . Данные, полученные в процессе измерения, сохраняются в памяти прибора на 1500 измерений. .

