

Лекція №3

Рідинна фаза ґрунту.

Взаємодія фаз.

Характерні вологості.

Будівельні властивості ґрунтів.

Водно-тепловий режим ґрунту.

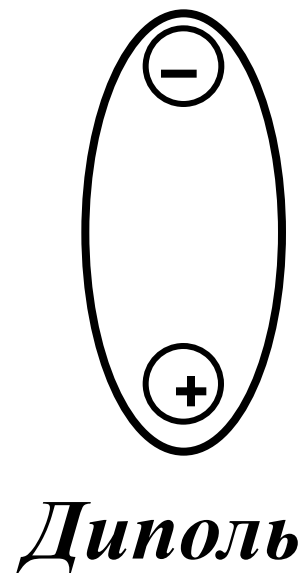
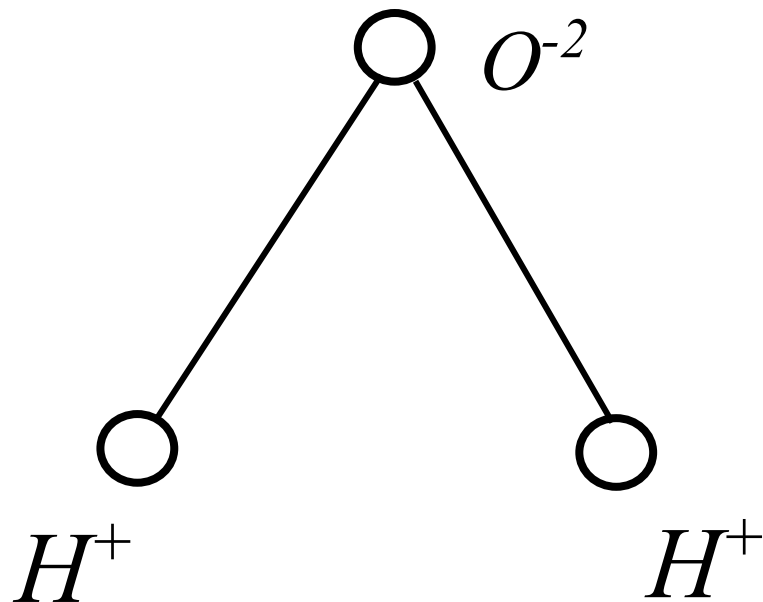
Рідинна фаза ґрунту

Електролітична характеристика рідинної фази ґрунту

Рідинна фаза ґрунту представлена водою, в якій розчинені різні речовини. При розчиненні багато хімічних сполук дисоціюють (розпадаються) на окремі іони. Наприклад, $\text{HCl} \rightarrow \text{H}^+ \text{Cl}^-$. Частина молекул води також дисоціюють $\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{H}^+ + \text{OH}^-$ тому вода в ґрунті вміщує іони, особливо катіони Ca^{++} , Mg^{++} , Na^+ , K^+ і аніони Cl^- , HCO_3^- .

Будова молекул води: три ядра атомів утворюють рівнобедрений трикутник з нейтроном кисню у вершині і протонами водню в основі. Тому, хоч молекула води диелектронеутральна вона є диполем (має близько розташовані заряди різних знаків) і має здатність орієнтуватися в електромагнітному полі (подібно стрілці компаса).

Все це суттєво впливає на фізичні властивості ґрунту.



Класифікація рідинної фази

За умовами надходження в ґрунт вода поділяється на інфільтраційну (яка накопичується в наслідок фільтрації атмосферних опадів та атмосферних вод) і конденсаційну (яка вбирається поверхнею частинок при конденсації водяного пару).

За інтенсивністю взаємодії з поверхнею частинок воду поділяють на зв'язану, розміщену поблизу поверхні частинок, яка зазнає сильний вплив цієї поверхні, і вільну воду.

Вільна вода

Вільна вода поділяється на гравітаційну і капілярну.

Гравітаційна вода може текти під дією сили тяжіння (фільтруватися), а капілярна, яка завдяки поверхневому натягу і явищу змочування може рухатися у тонких порах ґрунту в напрямі, протилежному напрямку до дії сили тяжіння.

Фільтрація вільної води

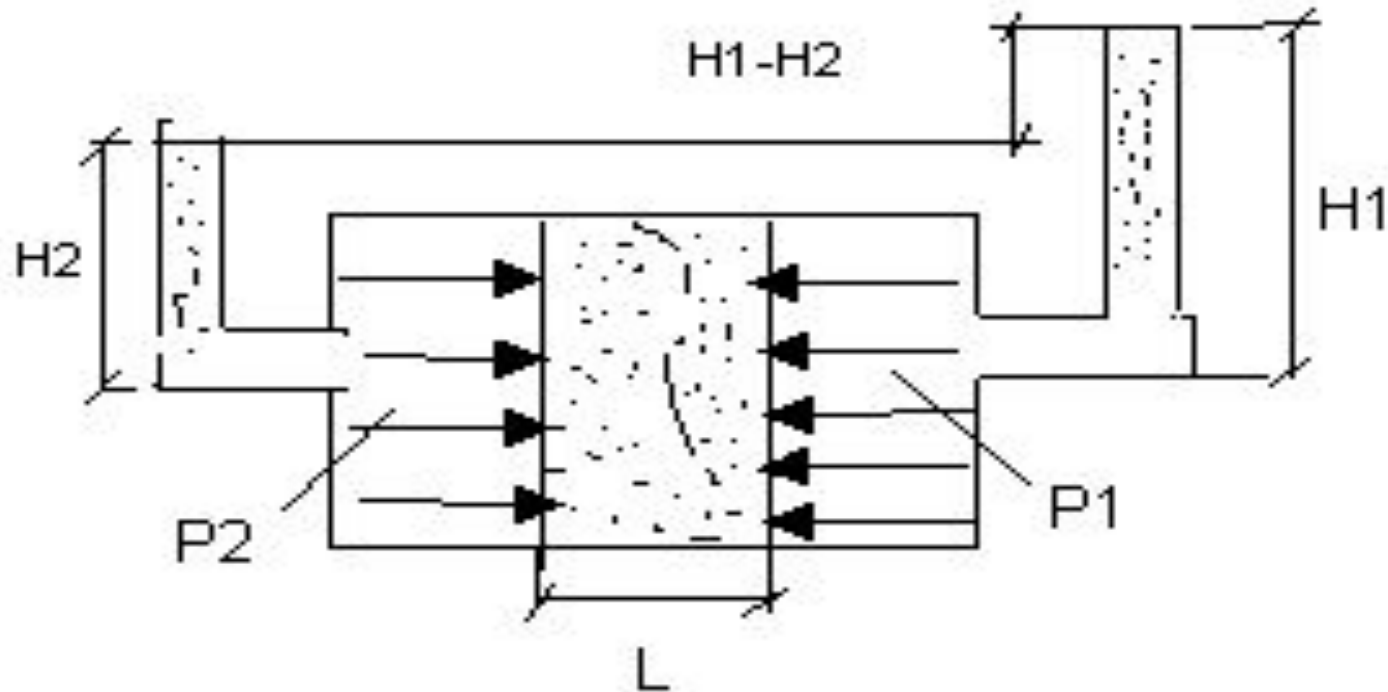
Фільтрація води в ґрунті відбувається під впливом механічних факторів:

- сили тяжіння;**
- гідростатичного тиску;**
- навантаження, яке зближує частинки ґрунту таким чином витісняє воду з пор.**

Будь-які причини руху порової води рівносильні появі різниці тисків в точках між якими вона переміщується.

Фільтруючись вода обтікає частинки ґрунту долаючи їх опір. Тому тиск поступово падає.

Схема фільтрації води в ґрунті



Тиск $P_1 = \rho_w g H_1 F$ на правий переріз з напором H_1 більший ніж на лівий $P_2 = \rho_w g H_2 F$ з напором H_2 . Тому справа наліво на шляху L відбувається фільтрація з певною швидкістю V_ϕ , що залежить від градієнту напорів $\Delta H = H_1 - H_2$.

Швидкість фільтрації води у ґрунті

Швидкістю фільтрації води V_{ϕ} називають її об'єм Q , який проходить через одиницю площі всього перерізу шару ґрунту F за одиницю часу t . Тому швидкість фільтрації води

$$V_{\phi} = \frac{Q}{F \cdot t}, \quad \frac{см}{с}; \quad \frac{м}{добу}$$

де F – площа поперечного перерізу через яку відбувається фільтрація (вона умовно включає як пори, так і частинки).

Коефіцієнт фільтрації

За законом Анрі Дерсай (1856 р.) швидкість фільтрації води через ґрунт пропорційна градієнту тиску I

$$V_{\phi} = K_{\phi} \cdot I,$$

де $I = (H_1 - H_2)/L$ – градієнт тиску (втрата тиску на шляху фільтрації L); K_{ϕ} – коефіцієнт фільтрації.

Оскільки I – безрозмірна величина то розмірність K_{ϕ} – см/с або м/добу (як V_{ϕ}).

Коефіцієнт фільтрації є мірою фільтраційної здатності ґрунту. Його визначають в лабораторних умовах за допомогою фільтраційних приладів і в природніх умовах за допомогою пробних відкачок.

Показник K_{ϕ} – потрібен:

- **для розрахунку товщини дренуючого (який відводить воду) шару дорожнього одягу;**
- **для прогнозування процесу осідання споруди на основі з водонасичених ґрунтів з часом.**

Піски, які використовуються для дренажних шарів, мають $K_{\phi}=1-3$ м/добу. На величину K_{ϕ} піску впливає не стільки крупність, як зерновий склад піску. Так за імперичною формулою Хазена (1892 р):

$$K_{\phi} \approx 1000 * d_{10}^2, \text{ м/добу (при } d_{10} = 0,1-0,3 \text{ мм)}$$

де d_{10} – діаметр частинок, менше від яких в ґрунті вміщується 10% (ефективний діаметр), мм.

Жирні глини практично не пропускають воду і використовуються для гідроізоляції.

Коефіцієнт фільтрації для різних видів ґрунтів

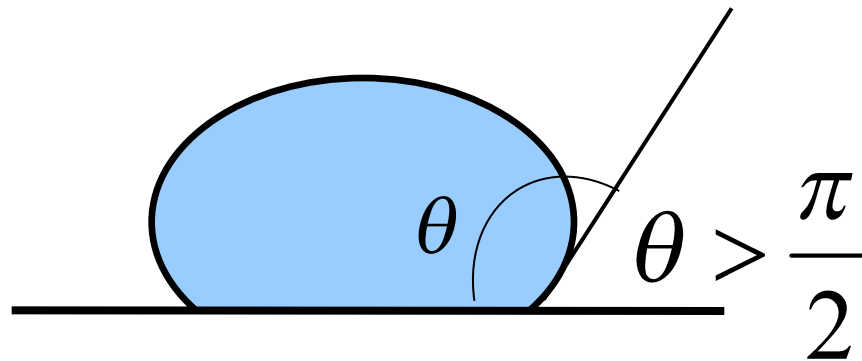
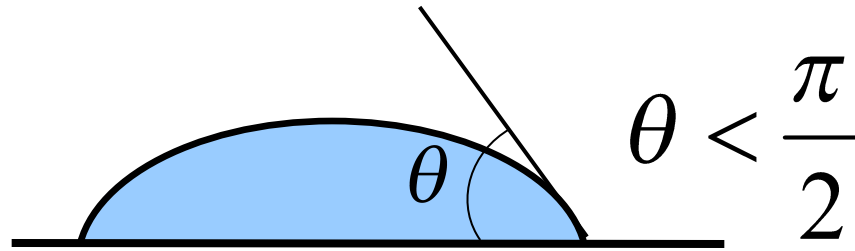
Ґрунт	K_f , м/доб
Крупноуламкові	>100
<u>Піщані</u> Гравелисті, крупні, середньої крупності	$10-100$ $0,1-10$
<u>Пилувато глинисті</u> Супісок, Суглинок, Глина	$0,1-0,5$ $0,005-0,05$ <0.005

Капілярна вода

Капілярною називають воду, яка піднімається в гору по тонким трубкам або щілинам.

Однією із головних причин капілярності являється змочування.

Явище змочування відбувається в результаті взаємодії молекул на контактній рідині і твердого тіла.



В першому випадку крапля розтікається по поверхні твердого тіла і поверхня його називається – гідрофільною (яка любить воду). В другому випадку – гідрофобна (яка боїться води).

Якщо помістити краплю рідини на поверхню твердого тіла то в точці дотику рідини, твердого тіла і навколишнього повітря кут нахилу між дотичною до поверхні рідини і поверхнею твердого тіла може бути менше, або більше $\pi/2$

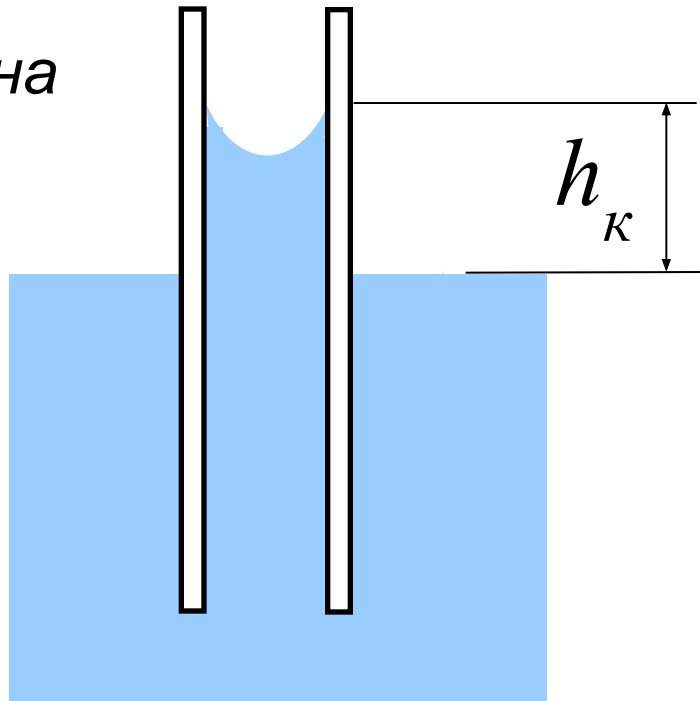
Розгляне перший випадок: $\theta < \pi/2$. Тоді на крайню молекулу рідини в точці контакту з твердою поверхнею буде діяти з боку рідини сила $P_{рж}$ притягання інших молекул рідини, яка направлена по бісектрисі “краєвого кута”. З боку твердого тіла на цю молекулу буде діяти сила $P_{рт}$ притягання молекул твердого тіла, направлена перпендикулярно до його поверхні. Разом з тим, поверхня рідин повинна бути нормальною до рівнодіючої цих двох сил P_1 , тому, що рідина в стані рівноваги сприймає тільки нормальні напруження, а під дією дотичних виникає плин.

Розклавши рівнодіючу по вказаних напрямках, можна впевнитись, що при $\theta < \pi/2$ сила взаємодії крайньої молекули рідини з твердим тілом більше, чим з рідиною $P_{рт} > P_{рж}$. Навпаки, в випадку $\theta > \pi/2$, як можна впевнитись, $P_{рт} < P_{рж}$.

Явище капілярного підняття

Якщо занурити у воду трубку із гідрофільного матеріалу, то внаслідок змочування утворюється скривлена поверхня води (меніск) і рівень її води піднімається над її рівнем поза капіляром на h_k . Теоретично $h_k = c/r$, де r – радіус капіляра; c – постійна, яка залежить від властивостей рідини і твердого тіла. Таким чином, чим тонший капіляр, тим більше h_k .

*Гідрофільна
поверхня*



$$h_k = \frac{c}{r}$$

Реально капіляри пор ґрунту не є ідеально циліндричними, а мають перемінний по довжині радіус. В тонких порах вода піднімається вище і швидше. Тому вона заповнює мілкі пори, які розміщені над крупними, раніш, ніж заповнюються крупні. Тому в деяких крупних порах залишається повітря.



Радіус пор залежить від зернового складу ґрунту: чим менші частинки, тим менше радіус r . Тому вважається, що для ґрунту "ефективний" радіус капіляра $r = 1/2 * e * d_{10}$, де d_{10} – ефективний діаметр, e – коефіцієнт пористості.

Тому висота капілярного підняття в ґрунті можна розрахувати по приблизній формулі

$$h_k = c_1 / e d_{10}, \text{ м, де } c_1 = (0,1-0,5) * 10^{-4} \text{ м}^2,$$

Наприклад, при $c_1 = 0,3 * 10^{-4} \text{ м}^2$, $e = 0,75$ і $d_{10} = 0,02 \text{ мм} = 0,02 * 10^{-3} \text{ м}$

$$\text{одержимо } h_k = 0,3 * 10^{-4} / 0,75 * 0,02 * 10^{-3} = 2 \text{ м}$$

В чистих пісках капілярне підняття не перевищує 0,5 м.

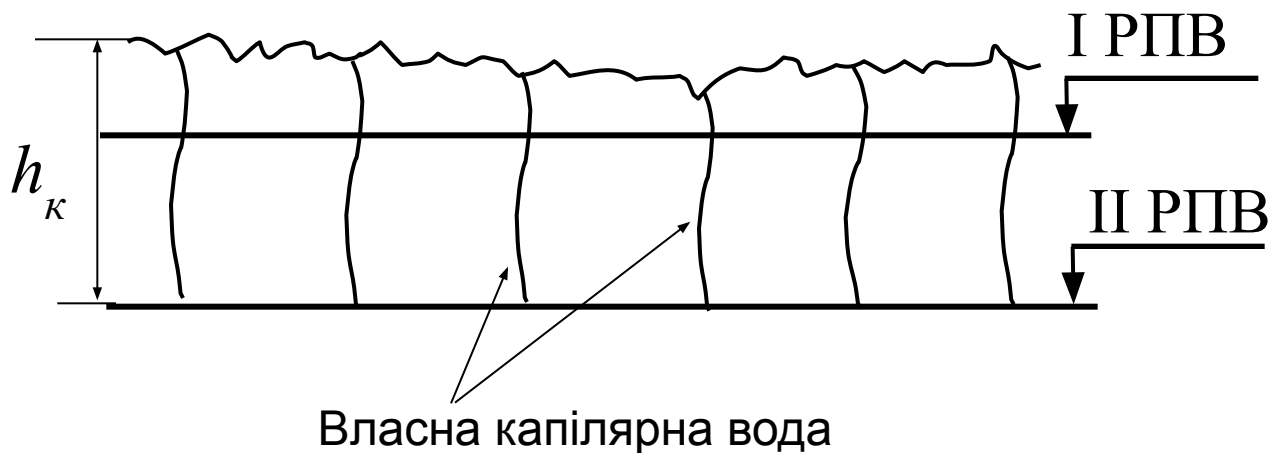
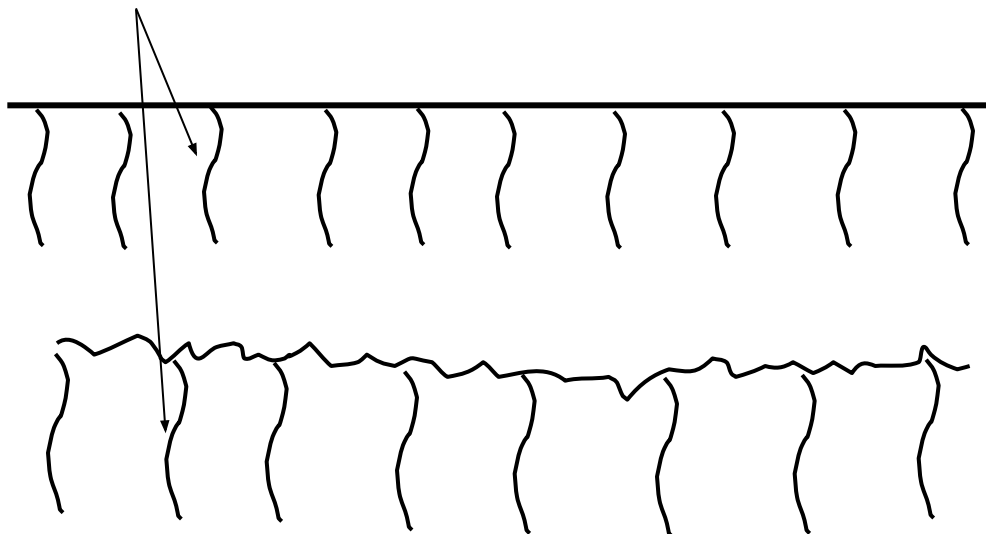
В ущільнених глинах і суглинках капіляри дуже тонкі, але внаслідок набухання глинистих частинок і присутності на них плівки зв'язаної води проміжки між частинками начебто закупорені. Тому в глинах $h_k < 2\text{мм}$.

Найбільша h_k характерна для проміжних між піском і глиною – супіщаних пилуватих і суглинистих пилуватих ґрунтів, в яких за декілька місяців капілярна вода може піднятися на 3 - 4 м.

Різновиди капілярної води

Буває капілярно-підвішена і власна капілярна вода.

Капілярно підвішена вода



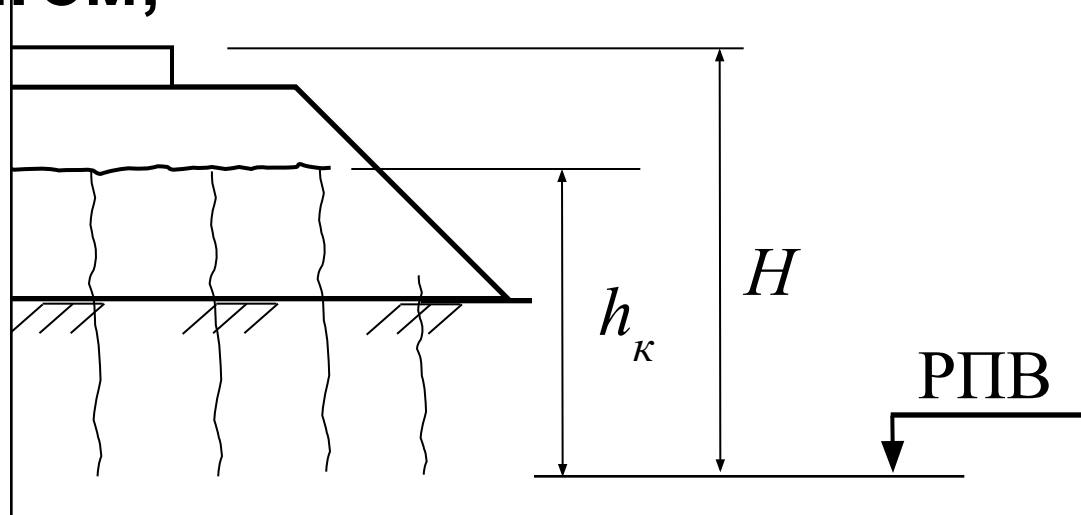
Капілярно – підвішена утворюється при змочуванні товщі ґрунту або при зниженні рівня вільної підземної води в наслідок розриву власної капілярної води в крупних порах.

Власна капілярна переміщується вгору від рівня підземних вод, поповнюється за їх рахунок, гідравлічно з ними пов'язана. Капілярне підняття забезпечує просочення рослинного покриву Землі. Для запобігання висушуванню боронують поверхневий шар Землі (збільшуючи при цьому діаметр пор).

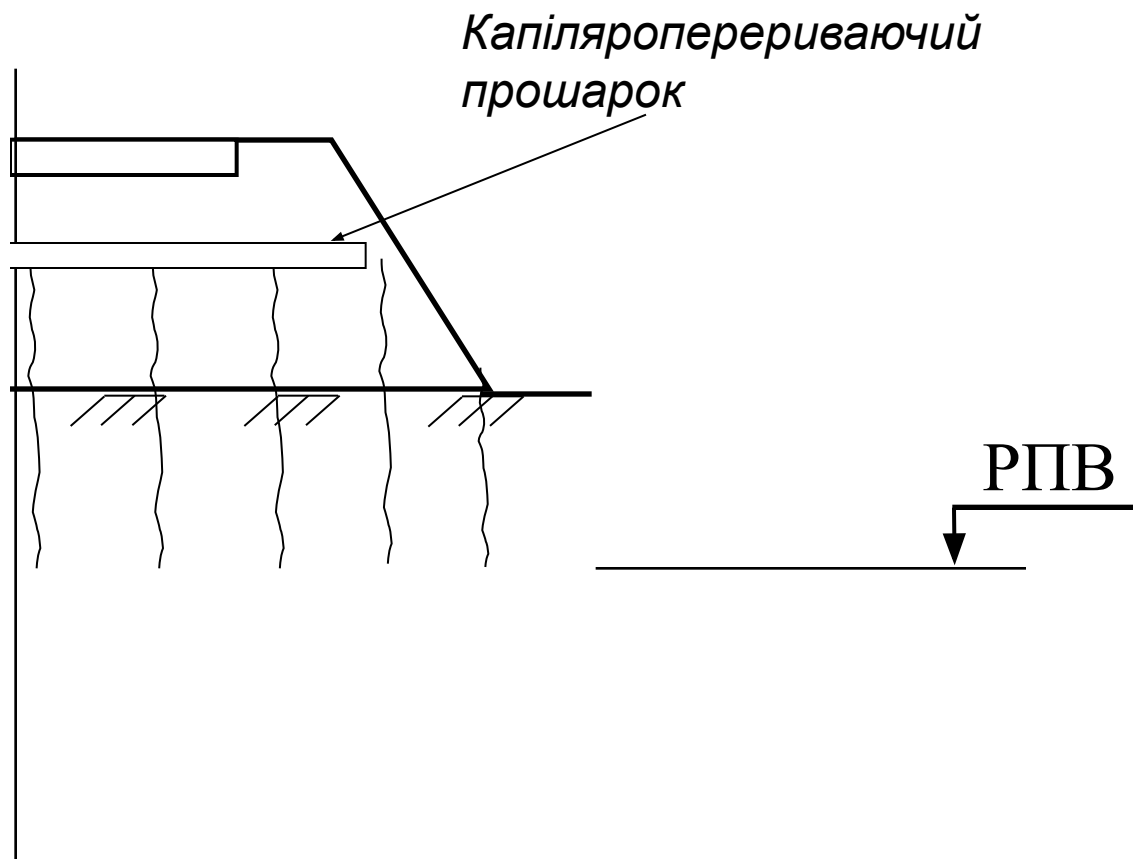
Висоту капілярного підняття враховують при визначенні глибини закладання фундаменту і висоти автодорожнього насипу.

Заходи зниження капілярного переміщення вологи в земляному полотні:

- забезпечення достатнього підвищення земляного полотна над рівнем підземних вод ($h_k > 1,1\text{м}$ над рівнем піску, $h_k > 2,4\text{м}$ для суглинку), щоб капілярне підняття не досягло верхньої зони ґрунту, розміщеного під дорожнім одягом;**



- влаштування капіляроперериваючих прошарків із гравійного, або піщаного ґрунту;

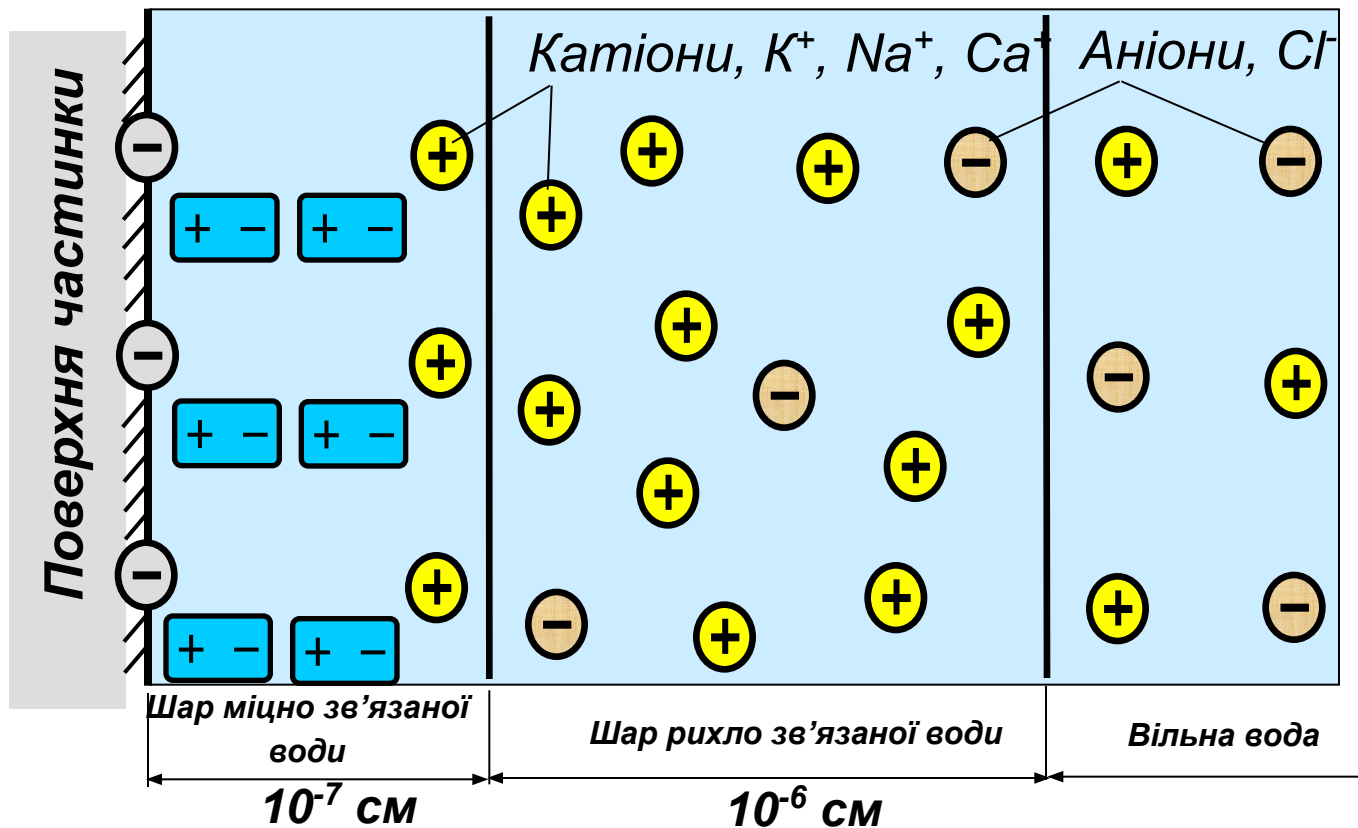


- обробка частинок ґрунту гідрофобізуючими добавками.

**Взаємодія фаз.
Характерні вологості**

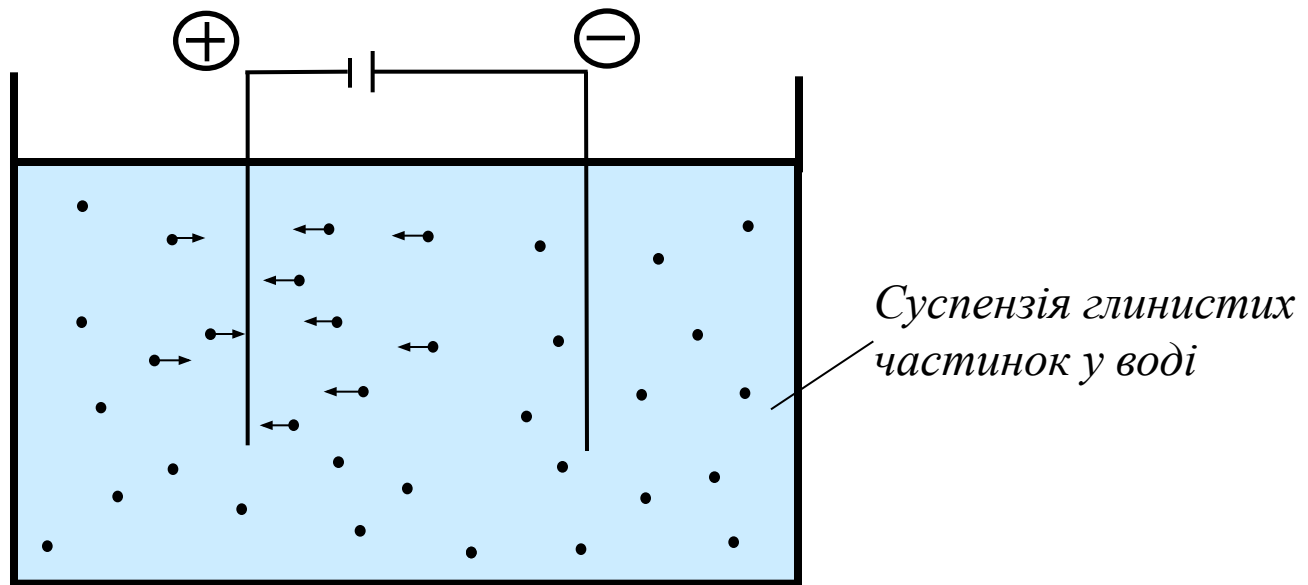
Зв'язна вода

Зв'язаною називають воду, яка розміщена поблизу поверхні частинок ґрунту і взаємодіє з електричним полем частинок. Її розподіляють на два види: міцно зв'язану та рихло зв'язану.

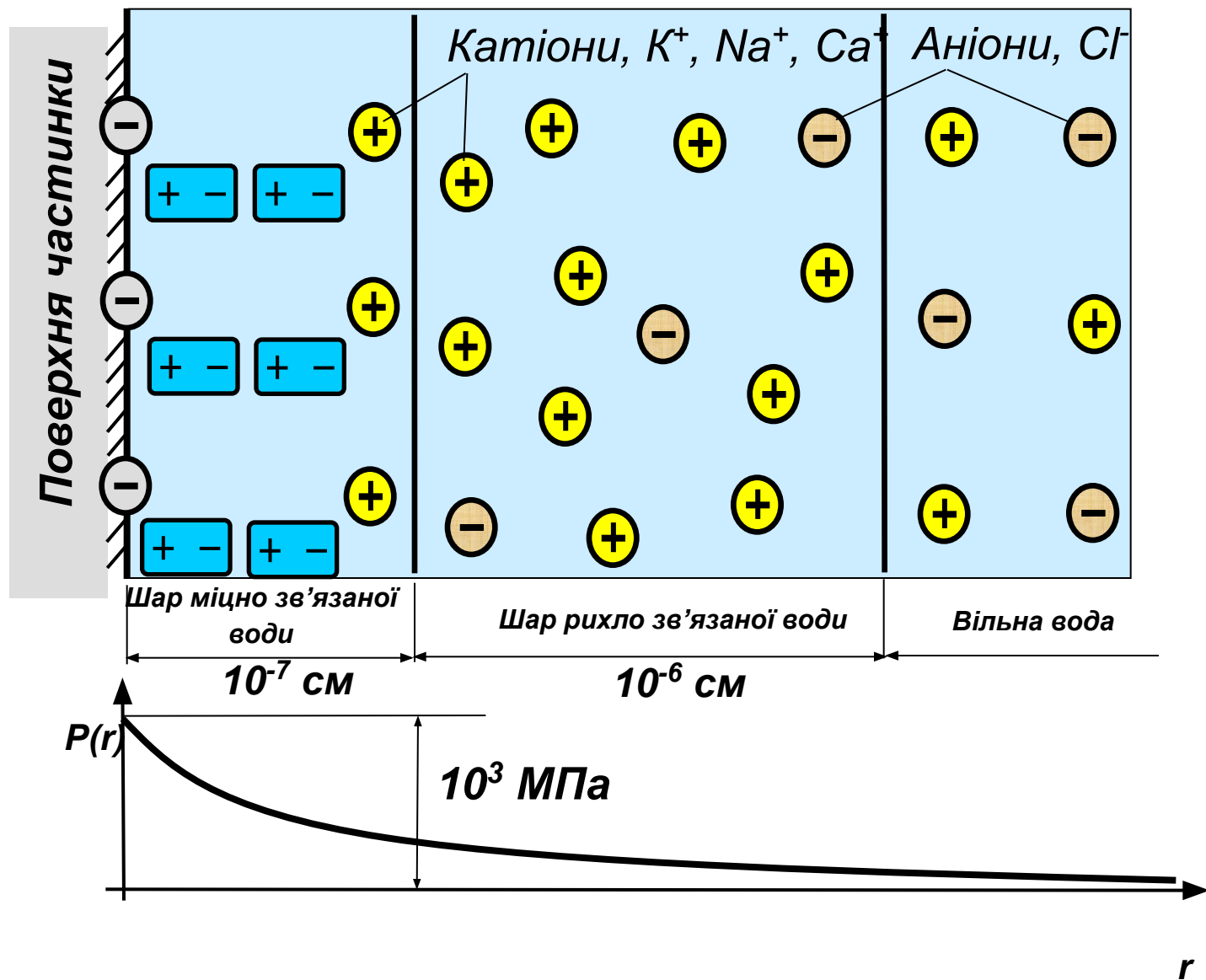


Фізична суть міцно зв'язаної та рихло зв'язаної води

Якщо через суспензію глинистих частинок у воді пропускати постійний електричний струм, то глинисті частинки будуть рухатись відносно води до позитивного електроду (до аноду) і осідати на ньому тобто буде відбуватися процес електрофорезу:



Описане явище свідчить про наявність негативного заряду на поверхні глинистих частинок. Дипольні молекули води поблизу поверхні глинистих частинок орієнтуються в полі негативного заряду частинок ґрунту, притягуються разом з розміщеними в поровій воді позитивно зарядженими іонами Ca^{++} , Mg^{++} , K^+ , Na^+ , H^+ , до поверхні частинок з великою силою, що може становити близько 10^3 МПа біля самої поверхні.



При цьому рухомість води понижується, вона стає зв'язаною. Ланцюжки орієнтованих молекул води разом з адсорбованими іонами складають шар міцно зв'язаної (гігроскопічної) води товщиною приблизно 3 розмірів молекули води, приблизно 10^{-7} см.

По мірі віддалення від поверхні твердих частинок електромолекулярні сили, взаємодії між цією поверхнею і молекулами води зменшуються, порядок орієнтацій ланцюжків диполем порушується. Вода, яка утворює навколо поверхні частинок шар товщиною біля 10^{-6} см (кілька десятків діаметрів молекул води), являється рихло зв'язаною (плівковою) – перехідною від міцно зв'язаної до вільної води.

Властивості міцно зв'язаної (гігроскопічної) води

Гігроскопічна вода утворюється двома шляхами :

- внаслідок поглинання сухим ґрунтом води із поверхні;**
- внаслідок змочування ґрунту водою.**

В обох випадках її утворення супроводжується виділенням тепла (тепла змочування), тобто вона утворюється тільки на гідрофільній поверхні.

Кількість гігроскопічної води, яка утворилась шляхом поглинання парів води із повітря сухим ґрунтом, збільшується або зменшується зі збільшенням або зменшенням вологості повітря (30 – 100%).

Вологість ґрунту в повітряно-сухому стані, тобто в стані рівноваги з вологістю і температурою навколишнього повітря, називають гігроскопічною вологістю – W_g . Максимальне значення гігроскопічної вологості називають гігроскопічною вологоємністю ґрунту $W_h = \max W_g$ (визначають витримуванням на повітрі при його відносній вологості 90%). Значення W_h залежить від питомої поверхні і мінерального складу ґрунту і є константою для даного ґрунту (наприклад, у пісків - до 1%, у глин - до 18%).

Особливості міцно зв'язаної (гігроскопічної) води:

- товщина ґрунту біля 3 молекул води (10^{-7} см);**
- середня щільність приблизно 2 г/см^3 ;**
- температура замерзання нижче -20°C до -78°C ;**
- температура кипіння близько $+200^{\circ}\text{C}$;**
- не тече під дією сили тяжіння і не передає гідростатичного тиску; не переміщається з частинки на частинку;**
- при дії на ґрунт тиску приблизно 100 МПа її вдається відтиснути лише частково, тому в механіці ґрунтів міцно зв'язану воду можна розглядати як єдине ціле з частинками, тому, що тиск від споруд на два порядки менше;**
- видаляється тільки висушуванням при температурі більше 100°C .**

Властивості рихло зв'язаної (плівкової) води:

- товщина шару приблизно 30-40 молекул води (10^{-6} см);
- щільність і в'язкість вище, ніж у вільної води;
- температура замерзання нижче 0°C і тим нижче, чим тонше плівка;
- сила тяжіння не викликає її руху;
- підпорядковується законам Паскаля і Архімеда;
- може повільно переміщатися від частинки з товстою плівкою води до частинки з тонкою плівкою, де інтенсивність з поверхнею частинки більша.

Максимальна сумарна кількість міцно і рихло зв'язної води називається максимальною молекулярною вологоємністю W_m . В чистому піску - $W_m < 4\%$; в глині - $W_m < 40\%$. В глині зв'язна вода складає більше частинок всієї води. Зв'язна вода впливає на такі властивості ґрунту:

- зв'язність – зв'язок між частинками;
- набухання – збільшення об'єму ґрунту при зволоженні в наслідок збільшення товщини плівок і їх розклинюючої дії;
- водопроникність – фільтрація вільної води затруднена, якщо в порах багато зв'язної води;
- тиксотропність – зниження зв'язності ґрунту при короткочасних повторних навантаженнях, наприклад, при вібрації, в наслідок порушення розміщення молекул зв'язаної води відносно частинок ґрунту.

Характерні вологості ґрунту

Ґрунти підгрупи пилувато-глинистих відрізняються від крупноуламкових і піщаних ґрунтів з значною залежністю властивостей від вологості.

Змішавши пробу сухого ґрунту з достатньою кількістю води, можна отримати рідкоподібну масу. При поступовому зменшенні кількості води шляхом випаровування та сама проба ґрунту буде міняти свою консистенцію (густину, ступінь твердості).

Можна виділити чотири фізичних станів даного ґрунту в залежності від його консистенції: текучий, пластичний, напівтвердий і твердий. Такий поділ був запропонований А. Аттербергом в 1911 році і в нинішній час являється загально прийнятим.

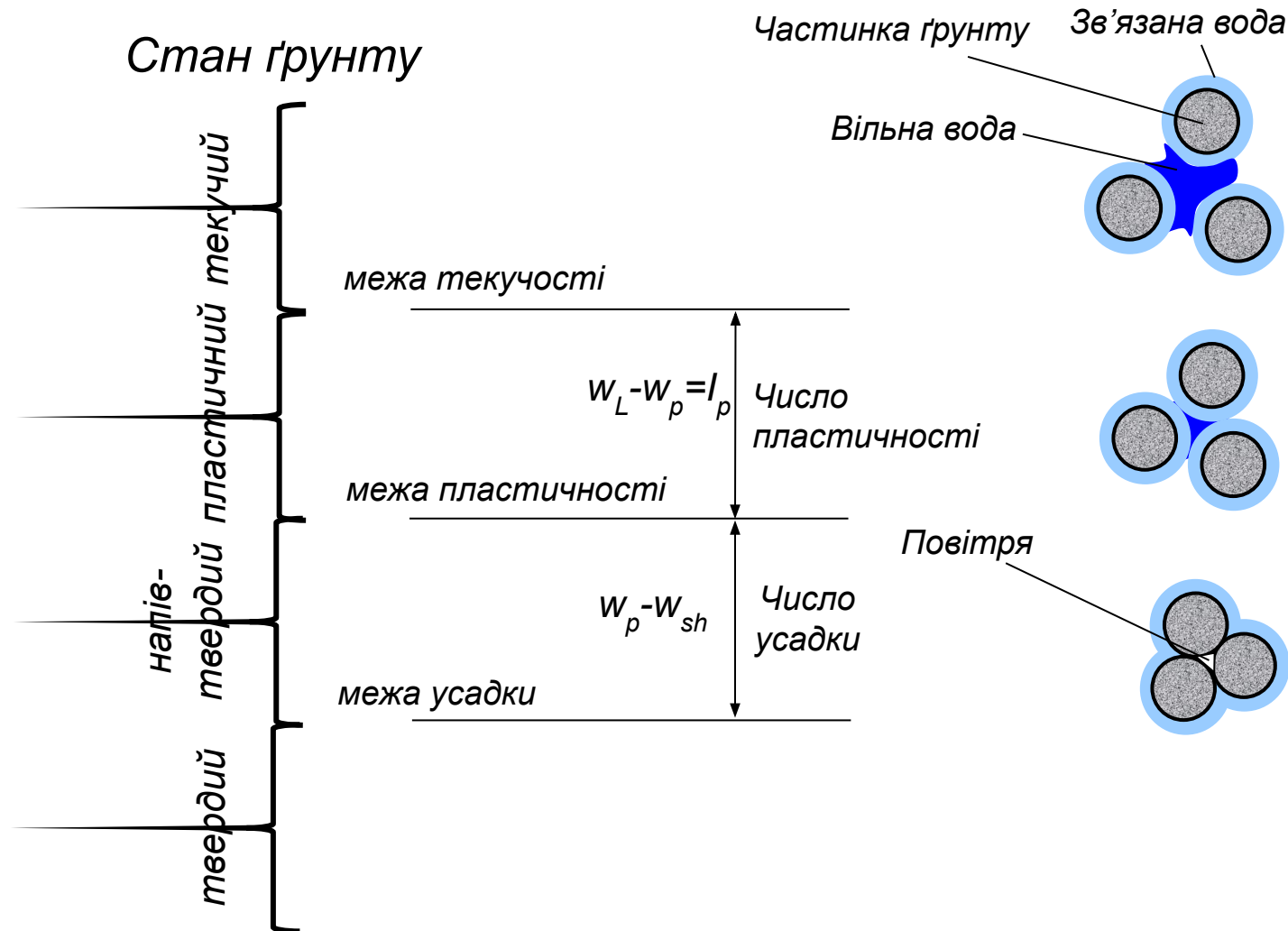
В текучому стані ґрунт вміщує багато вільної води не тільки заповнюючої пори, але і роз'єднуючої частинки, яка порушує тертя і зчеплення між ними. В такому стані ґрунт являється напіврідким і не може бути хорошою основою. При зменшенні вологості переходить в пластичний стан. В пластичному стані пори ґрунту практично повністю заповнені водою, а випаровування супроводжується зменшенням об'єму ґрунту (усадкою).

В пластичному стані ґрунт під дією навантаження здатний міняти розміри і форму без розриву суцільності. З нього можна ліпити і качати шнур.

В напівтвердому стані він втрачає здатність розкачуватись в тонкий шнур без руйнування, тобто уже втрачає пластичність.

В твердому стані ґрунт переходить при ще меншій вологості коли ступінь вологості стає рівною $S_r=0.8-0.9$. В цьому стані ґрунт вже не зменшиться в об'ємі при подальшому випаровуванні. Проба ґрунту починає обсихати з поверхні (в наслідок чого забарвлення змінюється від темного до світлого), а зменшення вмісту води відбувається вже без зміни об'єму пор.

Між цими чотирма станами є три межі: текучості W_L , пластичності W_p і усадки W_{sh} . Вони являються характерними вологостями для даного ґрунту.



Межа текучості W_L - це вологість, при якій ґрунт знаходиться на межі текучості і пластичного стану. Її визначають експериментально, як вологість при якій конус стандартних розмірів і маси за певний час заглиблюється в ґрунт на певну глибину.

Таким чином, при вологості $W = W_L$ різні ґрунти чинять якби однаковий опір заглибленню в них іншого тіла (стандартного конуса). Кажуть: $W_L = 42$, якщо стан ґрунту при вологості 42% відповідає межі між текучим і пластичним станом. Для супіску $W_L = 15-23$, для глини $W_L = 40-100$. Чим більше глинистих частинок тим більше W_L .

Межа пластичності W_p - це вологість, при якій ґрунт знаходиться на межі пластичного і напівтвердого стану. Її визначають експериментально як вологість, за якою скочуваний ґрунтовий шнур, сягнувши певного діаметра, починає розпадатись на відрізки, тобто з подальшим підсушуванням, яке відбувається в процесі скочування ґрунту, втрачається його пластичність. Кажуть: $W_p = 22$, якщо стан ґрунту при вологості 22% відповідає межі між пластичним і напівтвердим станом, тобто якщо при цій вологості ґрунтовий шнур, сягаючи діаметра 2-3мм, починає розпадатись на відрізки довжиною 3-10мм. При збільшенні глинистої фракції збільшується W_p , але повільніше ніж W_L . Для супіску $W_p = 14-17\%$, для глин $W_p = 25-40\%$. Вологість $W_p = W_m$ – тобто характеризує найбільшу кількість зв'язаної води в ґрунті. При природній вологості меншій W_p ґрунт зручно відсипати, переміщати, перевозити.

Межа усадки W_{sh} - це вологість, при якій ґрунт знаходиться на межі напівтвердого і твердого стану.

Усадка – це зменшення об'єму при висушуванні. При $W < W_{sh}$ – розтріскування ґрунту. В момент зменшення $W < W_{sh}$ ґрунт світлішає.

Порівнюючи з цими характерними вологостями вологість певного ґрунту можна мати уяву про його стан. Так при $W=20\%$ супісок може знаходитись в текучому, а глина в напівтвердому стані.

Число пластичності

Різницю $I_p = W_L - W_p$ називають числом пластичності ґрунту.

Узагальнено I_p характеризує зерновий склад ґрунту, особливо вміст глинистих частинок, їх властивості. Тому є ознакою типу ґрунту підгрупи пилувато-глинистих.

Число пластичності ґрунту I_p в загальнобудівельній класифікація пилювато-глинистих ґрунтів:

Тип ґрунту	Супісок	Суглинок	Глина
I_p	$1 \leq I_p \leq 7$	$7 < I_p \leq 17$	$17 < I_p$

Викликає інтерес залежності які дозволяють оцінити I_p , визначивши тільки W_L (тому що точність визначення W_p нижче чим W_L).

Б.Ф. Галай (1972р) $I_p = 0,75 W_L - 11$;

Н.Ф. Сасько (1987р) $I_p = 2/3(W_L - W_{sh})$.

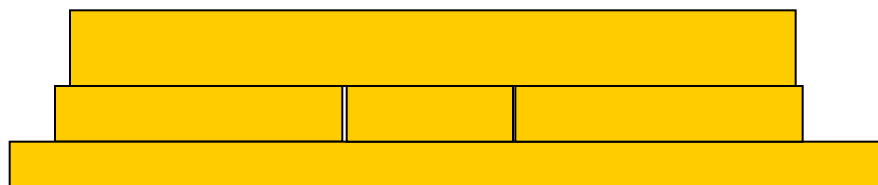
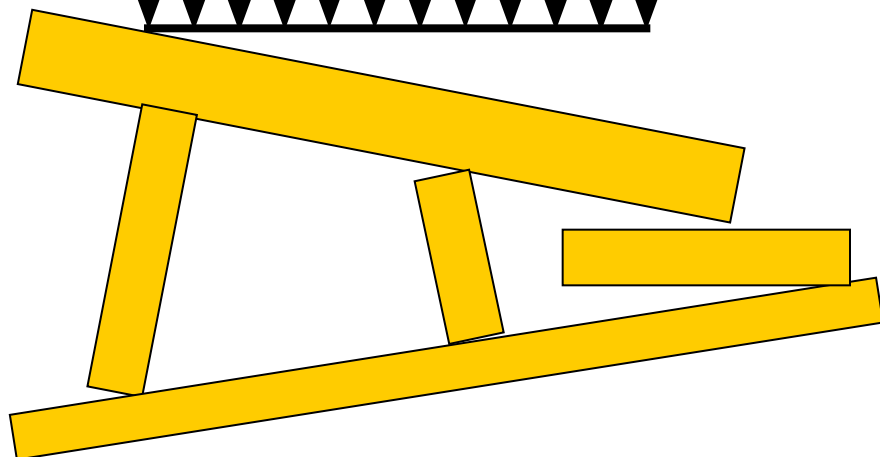
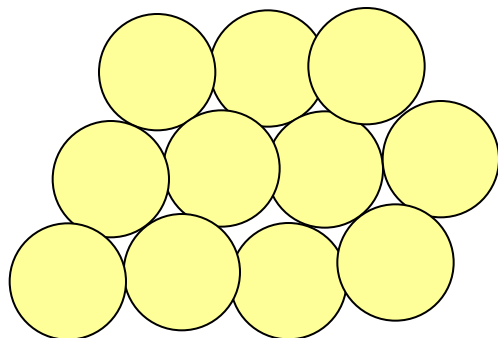
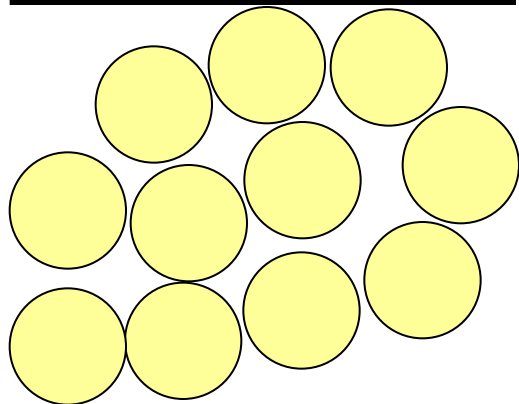
Будівельні властивості ґрунтів

Ступінь ущільнення ґрунту

ґрунт штучно ущільнюють для підвищення його міцності, зменшення водопроникності, і наступного осідання.

Ущільнення проводять при побудові насипів автомобільних і залізничних шляхів, а також котлованів під фундаменти будівель. Ущільнення виконують шляхом укочування, трамбування, вібрації, а також за допомогою поверхневих та глибинних вибухів. З фізичної точки зору процес ущільнення ґрунту полягає у збільшенні об'ємної частки твердих частин за рахунок зменшення об'ємних часток води і повітря. Це досягається затратою механічної роботи, яка витрачається на витіснення води і повітря, подолання тертя між твердими частинками при їх взаємних переміщеннях.

При механічній дії випуклі частинки ґрунту розміщуються тісніше, пластичні частинки орієнтуються, спрямовуючись розміститися довгими гранями перпендикулярно дії сили.



Піщані частинки ґрунту

Глинисті частинки ґрунту

Об'єктивною мірою щільності ґрунту може бути об'ємна доля твердої фази (тобто частинок ґрунту) C_s , яка являє собою відношення об'єму, які займають частинки, до об'єму всього ґрунту: $C_s = V_s / V$. Однак загально прийнятою мірою щільності будови ґрунту являється щільність скелету ґрунту $\rho_d = M_s / V$ – маса твердих частинок які містяться в одиниці об'єму ґрунту. Ці величини пов'язані між собою: $C_s = \rho_d / \rho_s$. ρ_s змінюється в досить вузьких межах $\rho_s = 2,65 - 2,75 \text{ г/см}^3$. ρ_d і ρ_s можуть використовуватись як показники щільності будови ґрунту. Чим щільніше розміщені частинки тим більша їх об'ємна частка C_s і тим більша їх маса в одиниці об'єму ρ_d .

Значення C_s і ρ_d залежить від зернового складу і форми частинок ґрунту.

Зазвичай для суглинку та глини вдається досягнути

$\rho_d=1,5-1,8$ г/см³, тобто $C_s=0,56-0,66$, а для суглинків і добре підібраної піщано-гравійної суміші - $\rho_d=2,0-2,3$ г/см³ , тобто $C_s=0,74-0,85$.

Зміна щільності будови будь-якого ґрунту при його ущільненні залежить від роботи, яка витрачається на ущільнення і від вологості ґрунту. Поки вологість мала, вода діє як мастило, яке полегшує переміщення частинок. Однак при надмірній кількості води, яка залишилась, її часточки перешкоджають зближенню частинок ґрунту. Тому при однаковій витраченій на ущільнення механічній роботі найбільша щільність будови досягається при деякій отриманій вологості ґрунту $W_{\text{опт}}$, тобто криві $C_s(W)$ і $\rho_d(W)$ мають максимум.

Виведемо залежність між ρ_d і W , C_a .
Очевидно ,що

$$V_S + V_W + V_a = V; \quad C_S = \frac{V_S}{V} = \frac{M_S}{\rho_S \cdot V} = \frac{\rho_D}{\rho_S};$$
$$\frac{V_S}{V} + \frac{V_W}{V} + \frac{V_a}{V} = 1; \quad C_W = \frac{V_W}{V} = \frac{M_W}{\rho_W \cdot V} = \frac{\rho_D}{\rho_W} \cdot W;$$

$$Ca = \frac{V_A}{V};$$

$$\frac{\rho_D}{\rho_S} + \frac{\rho_d}{\rho_W} + Ca = 1.$$

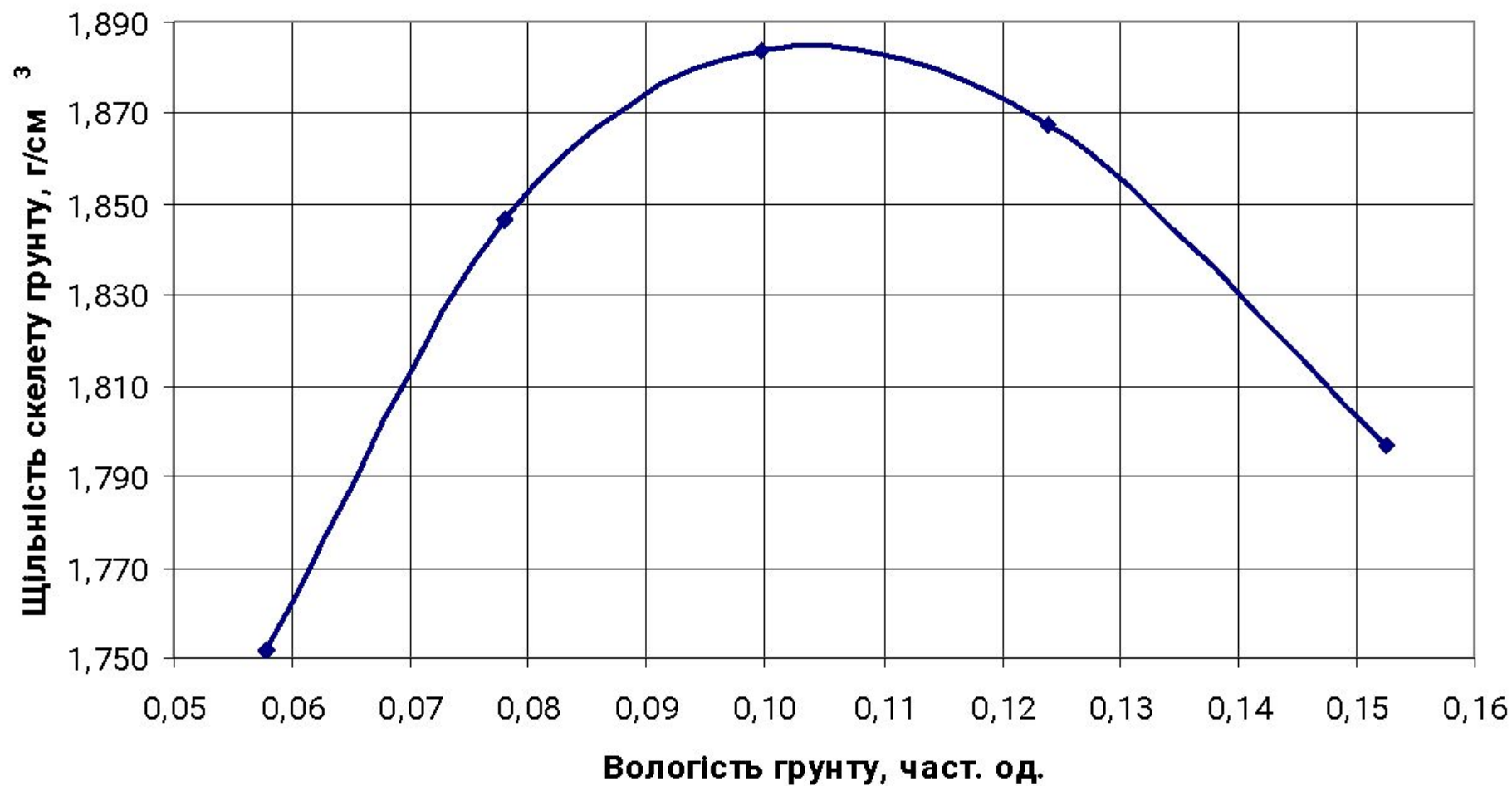
$$\rho_d = \frac{(1 - Ca) \cdot \rho_s}{1 + \frac{\rho_s}{\rho_w} \cdot W}$$

$$C_s = \frac{1 - Ca}{1 + \frac{\rho_s}{\rho_w} \cdot W}$$

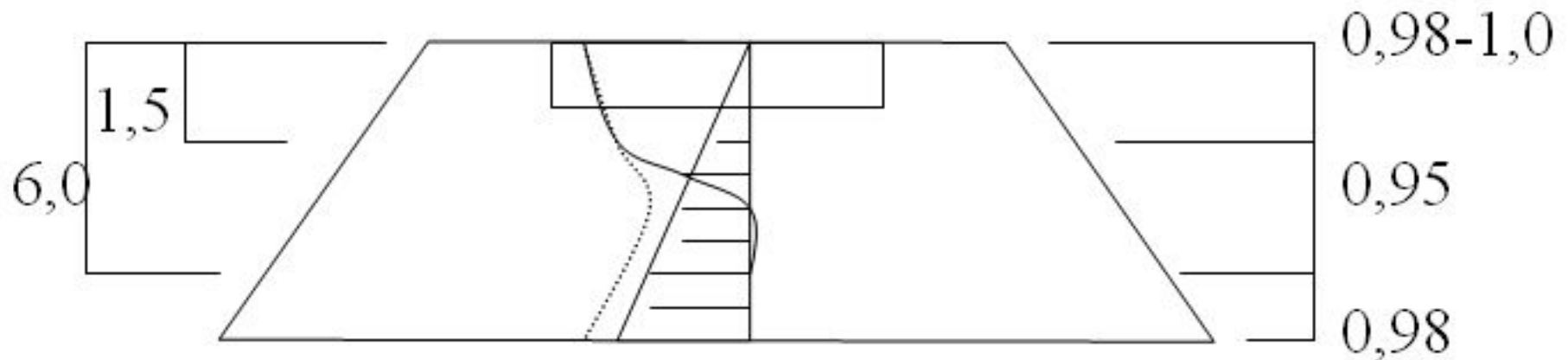
Повністю водонасичений ґрунт відповідає $C_a=0$. Для такого (двохфазного) ґрунту ρ_d монотонно убиває з підвищенням вологості W . Для трьохфазного ґрунту, в порах якого міститься вода і повітря, виходить залежність $\rho_d (W)$ з максимумом. Чим більша робота, витрачена на ущільнення тим більша максимальна щільність сухого ґрунту ρ_{dmax} і тим менша вологість, при якій досягається максимальна щільність. Максимум ρ_d при даній роботі звичайно відповідає об'ємній частині повітря $C_a=0,05$.

Вологість, при якій стандартним ущільненням досягається найбільша щільність сухого (скелету) ґрунту, називається оптимальною вологістю $W_{\text{опт}}$, відповідна їй щільність – максимальною ρ_{dmax} . Оптимальна вологість пилювато-глинистих ґрунтів близька до межі пластичності $W_{\text{опт}} \approx W_p \pm 2\%$ тобто вологість яка визначається при стандартному ущільненні ґрунту, близька до тієї вологості, при якій вся вода знаходиться в зв'язаному стані. При такій вологості ґрунт має найбільшу стійкість до набухання і дії морозу. Зрозуміло, що при певному числі повторних проїздів котка найкраще ущільнення буде досягнуто при оптимальній вологості. Оптимальна вологість змінюється від 5% для крупноуламкових ґрунтів до 30% для глин.

Залежність щільності скелету ґрунту від вологості



Ступінь ущільнення ґрунту земляного полотна автомобільних доріг оцінюється коефіцієнтом стандартного ущільнення, який називають відношенням фактичної щільності сухого ґрунту до максимальної його щільності. Значення K_u нормується в залежності від глибини розміщення шару ґрунту в насипу. Необхідна ступінь ущільнення земляного полотна була встановлена шляхом спостереження за щільністю ґрунтів в насипах доріг, які багато років прослужили при інтенсивному русі.



Дорожня класифікація ґрунтів

Типи	Підгрупи	Кількість піщаних частинок, % по масі	I_p	По загальноприйнятій класифікації
1	2	3	4	5
Супісок	Легкий крупний	>50%, частинок 2,0-0,25мм	1-7	(ГОСТ 25100-82) супісок $1 \leq I_p \leq 7$ суглинок $7 \leq I_p \leq 17$ глини $I_p > 17$
	Легкий	>50%	1-7	
	Пилуватий	50-20	1-7	
	Важкий пилуватий	<20	1-7	
Суглинок	Легкий	>40	7-12	По дорожній класифікації (БНІП 2.05.02-85 "А.Д") 2 показники: I_p вміст піщаних частинок. Ця класифікація використовується на всіх етапах дорожнього будівництва
	Легкий пилуватий	<40	7-12	
	Важкий	>40	7-12	
	Важкий пилуватий	<40	7-12	
Глина	Піщана	>40	17-27	Примітка при вмісті 25-50% частинок >2мм додається слово "гравелісті"(жорствяні) при вмісті 15-25% частинок >2мм – "з гравієм"(з жерствою)
	Пилувата	<40	17-27	
	Жирна	Не нормується	>40	

Загальна характеристика будівельних властивостей ґрунтів

Ґрунти підгрупи крупноуламкових (валунні, галичникові, гравійні) вміщують 50% частинок крупніше 2мм. Характеризується відсутністю зв'язності і пластичності. Мають велику водопроникність (K_{ϕ} до 100 м/добу). Капілярність відсутня. Не набухають, стійкі до розмиву. Їх використовують:

- 1. як матеріал для підстиляючого шару дорожнього одягу, якій виконує роль дренуючого;**
- 2. як основа дорожнього одягу;**
- 3. як кам'яний матеріал в а/б і ц/б бетонах;**
- 4. як домішку яка покращує пиловато-глинисті ґрунти земляного полотна.**

Грунти підгрупи піщаних

Пісок гравелистий, крупний і середньої крупності має хорошу водопровідність, а мілкий і пилюватий – погану. Капілярне підняття $h_k < 15\text{см}$, для крупного і $< 40\text{см}$ для мілкового піску. Не набухають у воді і не накопичують води при негативних температурах. Їх використовують:

1. для зведення насипу (особливо в неблагонадійних гідрологічних умовах);
2. в підстилаючих шарах дорожнього одягу, як морозозахисний та дренуючий шар;
3. як компонент а/б і ц/б бетонів;

Пилюватий пісок для дренуючих шарів непридатний, оскільки $K_f < 2\text{м/добу}$ і при зволоженні переходить в пилюватий стан.

Ґрунти підгрупи пілуватоглинистих (супіски суглинки, глини)

Суглинки легкі і суглинки важкі вміщують значну кількість піщаних частинок (більше 40-50%), достатню для забезпечення зв'язності в сухому стані і опору зсуву при зволоженні. По здатності до ущільнення, стійкості до зволоження, промерзання і висушування, по придатності до укріплення в'язучими супісок легкий – найкращий ґрунт із підгрупи пілуватоглинистих, а суглинок легкий – наближається до нього.

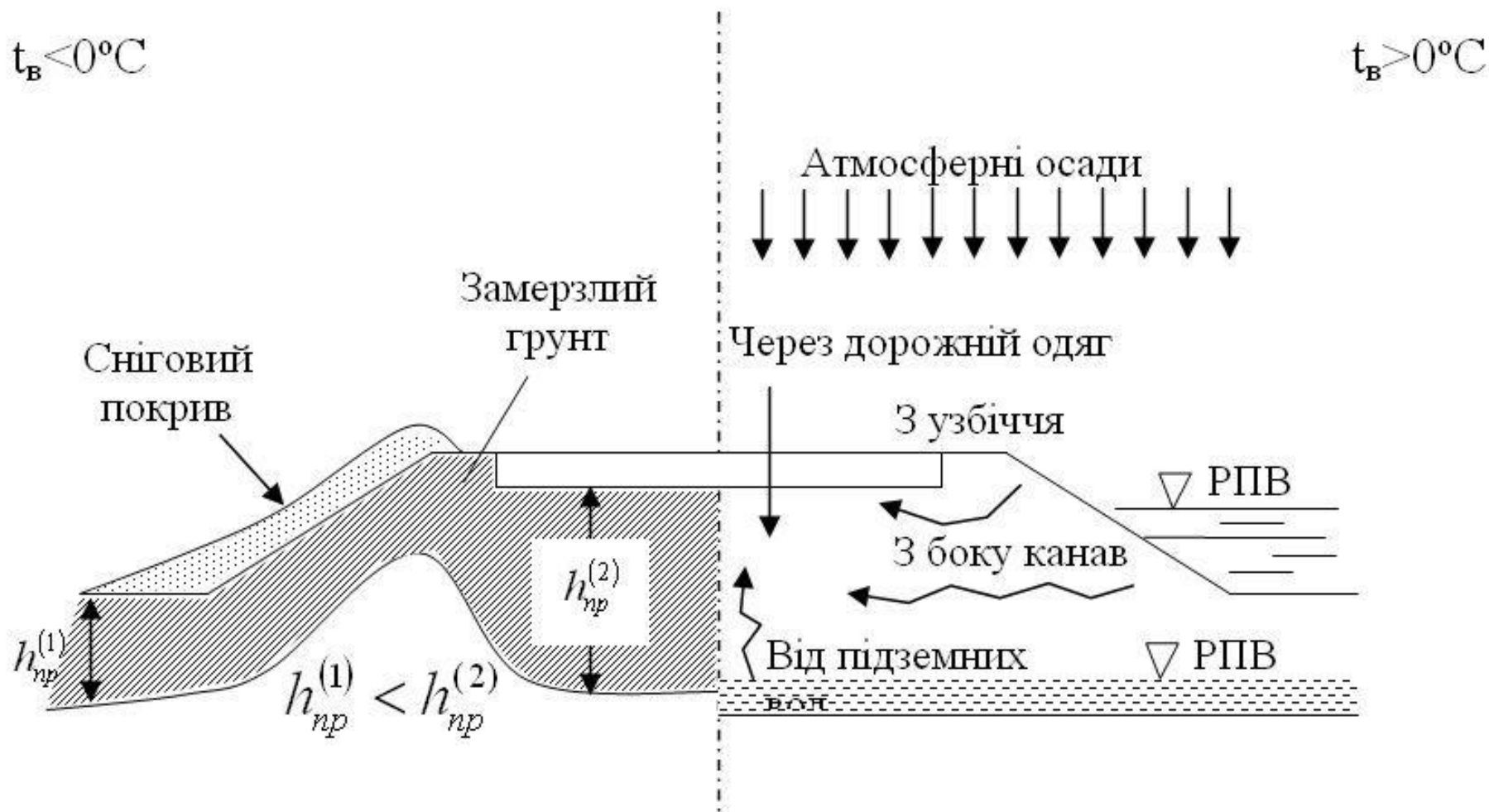
Використовується: для насипів, а в укріпленому вигляді – для основи дорожнього одягу.

Пилуваті супіски і суглинки швидко розмокають, розмиваються потоком води на відкосах насипу, мають низьку водопроникність, найбільш високе капілярне підняття – до трьох метрів. При промерзанні накопичують вологу. В сухому стані мало зв'язні. Ці ґрунти неблагоприємні по всьому комплексу властивостей. Їх приходиться використовувати в земляному полотні (в країнах СНД 80% доріг – земляного полотна із суглинків).

Глини – являються зв'язними, щільними, пластичними, липкими. Дуже набухають $h_k=1,0-1,5$ м – менше, чим у суглинків. Тому повільно просихають. Являються хорошим матеріалом для насипу тільки в сухих місцях або в зволожених на короткий час.

Водно-тепловий режим ґрунту

Закономірні і взаємозв'язані зміни вологості і температури ґрунту в часі називається водно-тепловий режим ґрунту























Джерела зволоження ґрунту в робочому (активному) шарі земляного полотна (1,5-2,0 м) від поверхні покриття):

- атмосферні опади, які проникають через покриття, обочини, укоси;**
- проникнення води із бокових каналів (при застої більше 20 діб);**
- вода, яка утворилась при розтаванні мерзлого ґрунту;**
- капілярне зволоження від рівня підземних вод (РПВ);**
- переміщення плівкової води (від товстих плівок до тонких);**
- витікання води із водопроводів і теплотрас (у містах).**

**Зменшення води в робочому шарі
земляного полотна відбувається за
рахунок:**

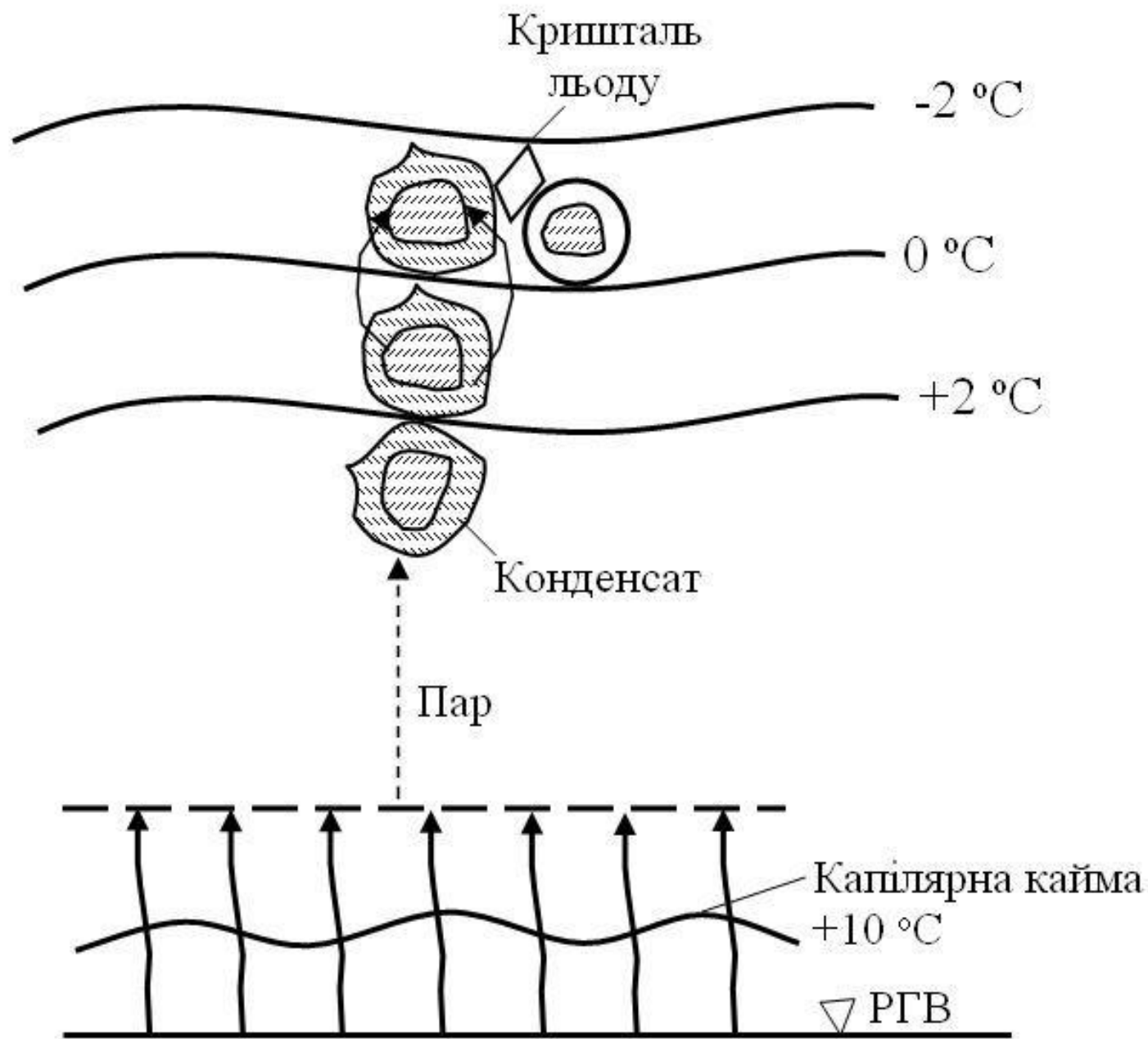
- дренування спеціальними засобами (шар із крупноуламкових або піщаних ґрунтів, дренажні труби азбестоцементні або пластмасові та ін.);**
- випаровування води в порах і переміщення пари в атмосферу;**
- просочування (фільтрація) гравітаційної води в глибину .**

4-и періоди зміни вологості і температури ґрунту робочого шару в річному циклі:

- осіннє накопичування води при акумуляції атмосферних опадів і недостатньому випаровуванні;
- зимове промерзання і перерозподіл вологи;
- весняне розмерзання і перезволоження;
- літнє просихання.

Особливості зимового перерозподілу вологи

В 1880 році інженер Богіслав поклав кульку із суміші пилюватого ґрунту з водою діаметром $d=5\text{см}$ в кювету і наситив до повної вологоємкості. Потім охолодив нижче 0°C . При замерзанні кулька значно збільшилась у об'ємі, всмоктуючи воду (значно більше ніж просто від переходу порової води в лід). Аналізуючи це явище вважають, що при замерзанні зовнішня частинка зв'язаної води входить в склад ростучих кристалів льоду, товщина плівок стає тонкою і до них переміщується зв'язна вода від більш “теплих” частинок. Цей процес повторюється.



При зимовому промерзанні земляного полотна пар, що поступає знизу конденсується на холодних верхніх частинках. Знизу знову надходить пар. Це викликає накопичення вологи особливо в недоущільнених пилюватих ґрунтах з порами, вільними для руху повітря. При охолодженні верхніх частинок нижче 0°C частина рихло зв'язаної води додається до складу, ростучих кристалів льоду, товщина плівок навколо холодних частинок зменшується і до них переміщується вода знизу від більш теплих частинок, розміщених нижче фронту промерзання. В зоні промерзання кристали льоду ростуть, розсовуючи частинки. Об'єм збільшується до 50%. Лінзи льоду накопичуються навіть під фундаментами мілкого закладання, викликаючи нерівномірне піднімання будівлі. Так зимою збільшується вологість ґрунту в робочому шарі земляного полотна.

Такий зимовий перерозподіл вологи є причиною утворення пучин. Пучина – зимове здимання покриття, яке приводить навесні до його пролому при проїзді автомобілів. Пучина утворюється при поєднанні таких умов:

- ґрунт: пилюватий пісок, супісок, суглинок (в пилюватих більше крихко зв'язної води, ніж в глинистих);**

- погода: затяжна і дощова осінь, м'яка зима з повільним промерзанням і відлигами;**

- гідрологія: високий рівень підземної води, восени (менше 2м від поверхні), застій води поблизу поверхні земляного полотна.**

При відсутності однієї із цих причин, пучини не появляються (наприклад, пилюватий пісок і важкий суглинок не є небезпечні).

Вологонакопичення зимою іде нерівномірно у плані.

Розсуванню частинок ґрунту при водоутворенні перешкоджає вага земляного полотна, тому лід утворюється і збільшується у об'ємі, головним чином, у верхній зоні (50-70см). Нерівномірне накопичування льоду веде до створення горбиків – морозному пучиноутворенню. Висота здимання досягає 20% від глибини промерзання (20-25см).

Навесні під дорожнім покриттям ґрунт розморожується швидше, тому що воно очищається від снігу. Створюється замкнутий об'єм розрідженого ґрунту, обрамленого мерзлим. При проїзді автомобільного транспорту утворюється пролом з витісненням розрідженого ґрунту.

















Заходи для запобігання пучин:

- створюють верхню частину земляного полотна із не пучинистих ґрунтів (не пилюватий пісок, піщано-гравійна суміш);**
- влаштовують морозозахисні шари із ґрунтів укріплених цементом;**
- влаштовують капілярорериваючі шари із крупнозернистих матеріалів;**
- забезпечують достатнє підвищення бровки над рівнем ґрунтової води, або рівня поверхневої води, що застоюється більше 30 діб;**
- влаштування теплоізоляційного шару із пінопласту, бетону або, ґрунту з пористим наповнювачем (подрібнений пінопласт, гранули полістиролу і таке інше).**

Дорожньо-кліматичне районування території.

Великий вплив на водно-тепловий режим має клімат. Клімат впливає на ґрунтоутворення. Верхній шар ґрунту – це самостійна підгрупа в групі осадових незцементованих ґрунтів (поверхневий шар земної кори, якому властива родючість). Ґрунтоутворення тісно пов'язане з кліматичними умовами (характером вивітрювання, рослинним покривом). Тому ґрунтові зони, розподілені смугами, можуть являтися основою для дорожньо-кліматичного районування.

За ознакою приблизно однакової вологості ґрунтів земляного полотна, які залягають в подібних умовах рельєфу, виділено в країнах СНД 5 зон:

I - зона вічної мерзлоти. При середньорічній температурі нижче -20°C увесь ґрунт літом не встигає відмерзати і під “дійовим” шаром відмерзаючого ґрунту, утворюється вічномерзлий ґрунт (який має мінусову температуру, містить в собі лід і знаходиться в мерзлому стані більше 3 років). Швидкість промерзання 10-15 см/добу. Найбільша вологість літом $-0,6-0,8W_L$.

II - зона надмірного зволоження (від Кольського півострова до лінії Львів-Київ - Житомир – Тула – Твер - Томськ). Кількість проникаючих в ґрунт атмосферних опадів більше кількості води, яка випаровується і води, що поступає знизу. Тому вода проникає зверху вниз до рівня ґрунтової води (РГВ). Восени починається підвищення вологості внаслідок дощів, а взимку вологість ґрунту в зоні промерзання води із зони, розташованої нижче фронту промерзання. Дуже великий вплив має осінній рівень ґрунтової води на промерзання. Швидкість промерзання 1-3 см/добу. Висота пучин h до 20см на дорогах і до 50 см на розчищених від снігу площадках. Пучиноутворення супроводжується розущільненням ґрунту. Найбільша вологість весною – до $(0,8-0,9)W_L$.

III - зона значного зволоження в окремі періоди року (до лінії Кишинів – Кіровоград – Куйбишев – Омськ). Лісостеп і степ.

IV - зона недостатнього зволоження (південь Молдавії і України). Кількість проникаючих в ґрунт атмосферних опадів недостатня для його насичення до рівня ґрунтової води, над рівнем ґрунтової води – власно капілярна, між ними – шар з постійною низькою вологістю. Це характерно для степних районів. Взимку основне джерело зволоження – переміщення водяних парів в вгору і їх конденсація. В II і IV зонах найбільша вологість навесні або восени (приблизно $0,7-0,8W_L$).

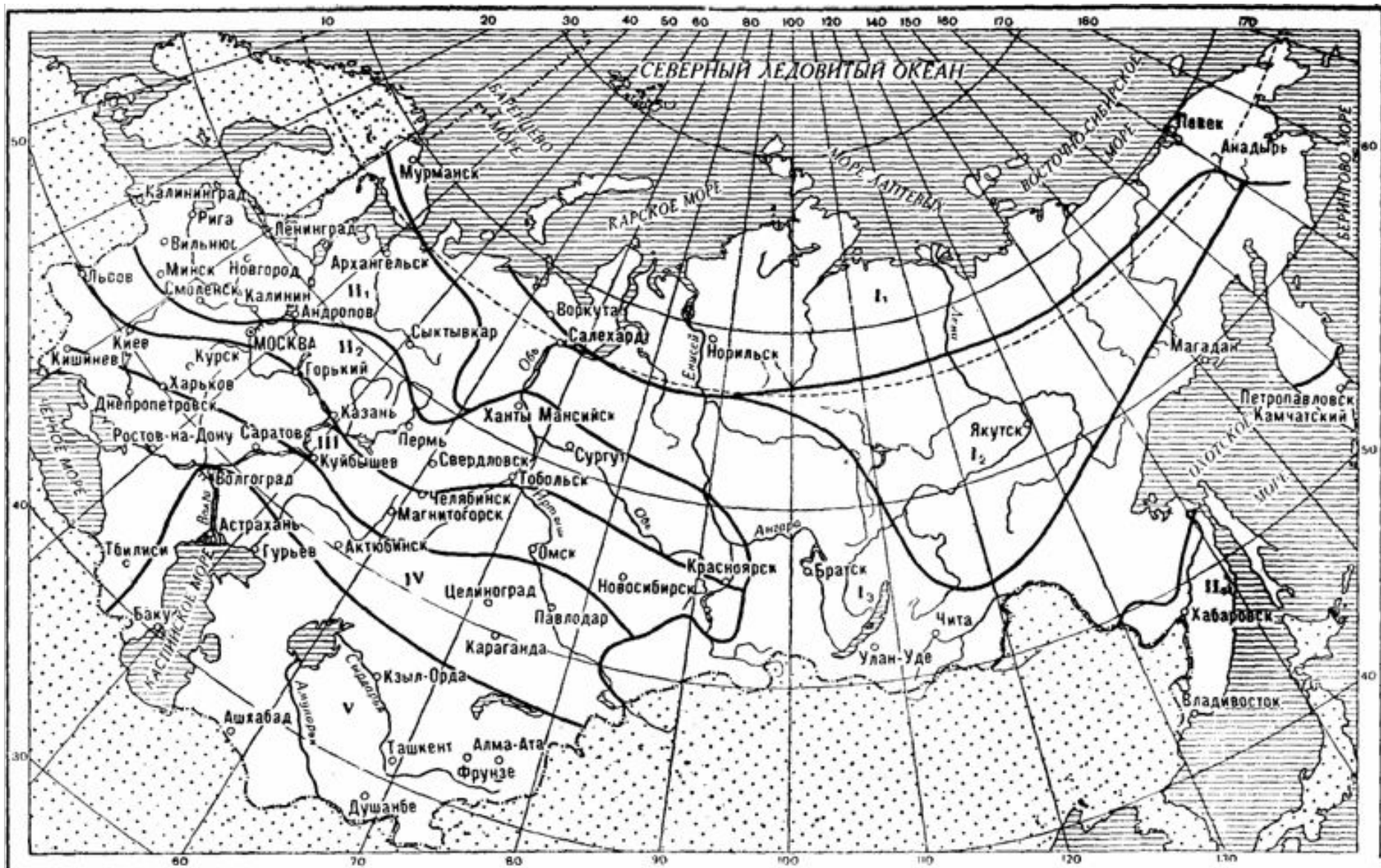
V - засушлива зона. Напівпустелі та пустелі. Кількість випадаючих опадів менше кількості вологи, яка випаровується, поповнюється за рахунок водяних парів від капілярної кайми.

Для більш детального врахування впливу рельєфу і гідрологічних умов на водно-тепловий режим в межах даної зони окремі ділянки відносять до однієї із трьох типів місцевості в залежності від умов зволоження верхньої товщі ґрунтів:

1. Сухі ділянки (поверхневий стік забезпечений, рівень ґрунтової води глибше 2-3м і ґрунтові води не впливають на зволоження);

2. Вологі ділянки (поверхневий стік не забезпечений, але ґрунтові води не впливають на зволоження поверхневої товщі ґрунтів земляного полотна, навесні і восени на поверхні ґрунту застоюється вода);

3. Мокрі ділянки з постійним надлишком вологи (на зволоження поверхневого шару ґрунту впливає ґрунтова вода, або поверхневі води застоюються поблизу земляного полотна більше як 30 діб).



Межі дорожньо-кліматичних зон приведені в будівельних нормах і правилах, різних довідниках. Типи місцевості за умовами зволоження встановлюються при вишукуваннях. Ця інформація необхідна для визначення середнього значення вологості в робочому шарі земляного полотна в найбільш несприятливі періоди року. Наприклад: ґрунт – легкий суглинок, Чернігівська область. За нормативними документами – II зона, південна підзона. За даними вишукувань – другий тип місцевості (вологі місця). Середня вологість в розрахунковий період $W=W/W_L=0,78$.

