

1513
✓
В. Г. Ткачук

9e
55
T-48

Водопоглинальні шурфи та свердловини як метод визначення водопроникливості сипких порід у природних умовах

Питання про водопроникливість порід і зокрема про їх фільтраційні властивості дуже важливе для різних галузей гідротехнічного будівництва. Збудування водосховищ, зрошувальні та осушні заходи вимагають завжди даних про водопроникливість тих чи тих порід.

Тому цілком зрозуміла увага, яку віддають вивченню водопроникливості порід, а також уся різноманітність запропонованих для цього методів: визначення коефіцієнта фільтрації порід за даними їх мехскладу та інших властивостей, лабораторне визначення коефіцієнта фільтрації порід на відповідних приладах, методи визначення водних властивостей порід у природних умовах тощо.

Серед усіх цих методів найменш поширені до цього часу методи визначення фільтраційних властивостей порід або їх водопроникливості в природних умовах; це пояснюється складністю й чималою дорожнечою таких визначень. Проте, саме ці методи заслуговують на якнайширшу увагу, оскільки вони можуть дати характеристику водопроникливості породи, що найбільш відповідає справжньому станові її; в лабораторних умовах ніколи не можна відновити різноманітність характерних особливостей породи, які вона має в умовах природного залягання.

Всі теперішні методи визначення водопроникливості або фільтраційних властивостей порід у природних умовах можна розбити на такі групи:

1. Визначення швидкостей ґрунтового потоку методами Сліхтера, хемічним та фарбуванням.
2. Нагнітання чи випомповування води із свердловин або колодязів (шурфів).
3. Наливання води в водопоглинальні шурфи.

Якщо йдеться про породи неводовмісні (хоч би вони були й водопроникливі), то, очевидно, для них можна застосовувати з усіх наведених методів лише наливання або

нагнітання води в спробні шурфи чи свердловини. Слід відзначити, що рух води, який відбуватиметься в породі при умовах наливання й нагнітання води, буде відмінний не лише з кількісного, але й з якісного погляду. При нагнітаннях води в свердловині можна створювати великі гідравлічні градієнти і через це при певних геологічних умовах у породі утворюватимуться штучні водовмісні горизонти; в такому випадку умови будуть тотожні з умовами нагнітання або наливання води в водовмісні породи. При наливанні води в свердловини або шурфи через малі гідравлічні градієнти таких умов створити не можна.

Огляд літератури

В наведеній роботі ми подамо деякі матеріали про визначення водопроникливості сипких неводовмісних порід методом наливання води у водопоглинальні шурфи. Але раніш треба сказати кілька слів про принципи цього методу та його історію. Цей метод визначення водопроникливості порід полягає в тому, що в породу, на певну її площу, подається протягом деякого часу воду при однакових зовнішніх умовах (при однаковій глибині шару води). Дослід триває доти, поки кількість води, що просякає через узяті площу породи, стає більш-менш однаковою. Поділяючи кількість води, що просякає за перший відтинок часу на площу породи, одержують витрату води на одиницю площі, що дає певну характеристику водопроникливості даної породи.

Такий метод уперше використали ґрунтознавці для визначення водопроникливості ґрунтів. Так, 1910 року в ч. 28 „Лесопромышленного вестника“ Леонтович описує прилад, збудований за ідеєю проф. Нестерова; прилад складається з двох посудин одна в одній; обидві вдушуються в ґрунт, в них наливають воду. Визначають водопроникливість на основі даних у внутрішньої посудини, оскільки витрати в зовнішній зумовлюються не лише просяканням води вниз, а й капілярним розтіканням у боки. Пізніше проф. Дояренко запропонував свою конструкцію приладу, побудовану на тому ж принципі.

Спочатку таким методом користувалися лише для визначення водопроникливості ґрунтів з їх поверхні. Але вже 1914 р. проф. Болдирев використав його принцип для визначення водопроникливості гірських порід у їх природному заляганні¹.

¹ А. К. Болдырев, Опыт над фильтрацией в горных породах в связи с проектом водохранилища на р. Чу в Туркестане, Изд. Геол. ком., 1926.

На рис. 1 подано схему водопоглинального шурфа для визначення водопроникливості порід *in situ*. З цього видно, що в породі, водопроникливість якої досліджується, закладається шурф. За допомогою сифона в нього подається вода, яку підтримують на постійному рівні. Для визначення кількості води, що просякає через дно шурфа, вимірюють, за який час влило в шурф ту чи ту кількість води. За Болдиревим, для визначення верхньої межі позірної швидкості фільтрації треба брати витрати води на початку досліду.

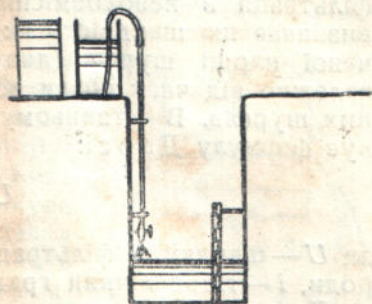


Рис. 1. Схема водопоглинального шурфа (за Болдиревим).

На думку проф. Болдирева,

$$K = \frac{A}{MS}$$

де: K — верхня межа швидкості фільтрації, A — кількість води, що просочується на M хвилин, S — площа дна шурфа.

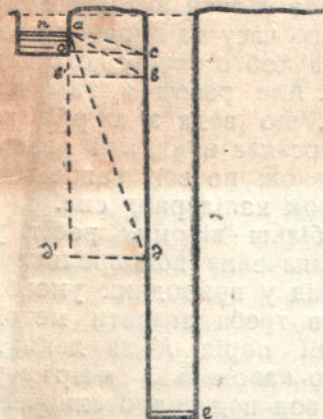


Рис. 2. Водопоглинальний шурф з контрольним (за Болдиревим).

Щоб визначити справжню швидкість фільтрації, Болдирев закладав поруч з шурфом, у який наливали воду, контрольні шурфи; спостереження провадили над з'явленням вогкості на стінках контрольного шурфа (рис. 2). Швидкість фільтрації (максимальна за проф. Болдиревим) визначали, поділяючи довжину шляху ($a - b$, $a - c$, $a - d$) на час, що минув від початку досліду до появи вогкості.

Не зупиняючись на детальному розгляді згаданої роботи проф. Болдирева, треба все таки відзначити, що підчас його дослідів у породах відбувався неусталений рух води, очевидно, при нецілковитому заповненні пор водою. Тому, хоч здобуті ним цифри мали певне практичне значення, проте загалом його методика була далеко не витримана і застосування до неї законів усталеного руху води в породах — цілком довільне.

Аналогічно поставив роботи над визначенням швидкості фільтрації в неводовмісних породах М. Семенов¹; він визначав цю швидкість як витрату води на одиницю змоченої площі шурфа (дна та стінок) або вираховував її залежно від часу появи вогких плям на стінках контрольних шурфів. В останньому випадку Семенов використовує формулу Дарсі:

$$U = Ki,$$

де U — швидкість фільтрації, K — коефіцієнт фільтрації породи, i — гідравлічний градієнт.

Правда, Семенов зауважує, що застосування зазначеної формули умовне, бо ми не знаємо справжніх процесів інфільтрації у використаних установках.

Дуже цікаві роботи щодо визначення швидкості фільтрації в породах у природному їх заляганні поставив Н. Бутов² 1927 р. (див. рис. 3); для контролю він зробив додатково горизонтальну штольнію та встановив безпосередньо під шурфом лійку, яка мала збирати всю воду, що просіякала з шурфа. Підчас дослідів Бутову не вдалося зібрати на цих лійках води, але він цього явища не пояснює.

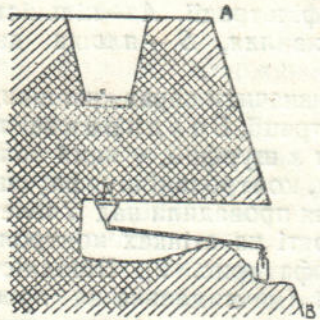


Рис. 3. Схема водопоглинального шурфа (за Бутовим).

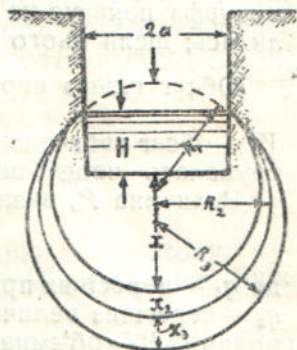
Для визначення позірної швидкості фільтрації Бутов вважає за потрібне ділити витрати води за одиницю часу на змочену площу шурфа, тобто площу його дна та стінок. Але разом з тим він відзначає, що вода з шурфа не тільки просіякає вниз, а й розходитьсь також по всіх напрямках під впливом капілярних сил.

З найбільш відомих робіт у галузі визначення водопроникливості порід у природних умовах методом водопоглинальних шурфів треба згадати метод обчислення коефіцієнта фільтрації порід K за даними водопоглинальних шурфів, що його наводить Замарін у своїй праці „Движение грунтовых вод под гидротехническими сооружениями“. Він приймає умовно, для спрощення підрахунку, що вода з шурфа просіякає в різні боки

¹ М. Семенов, Геологические и гидрогеологические исследования и разведка к проекту сооружения Кара-сахкальской гидроэлектростанции на Куре, „Труды Гос. науч. эксп. Инст. сооруж.“, т. I, вип. 2, 1930.

² Бутов, О проницаемости для воды лессоводных суглинков в Средней Азии, „Вестник ирригации“, № 3, 1929.

(рис. 4) по кулях, хоч насправді це будуть, за його словами, сплюснуті еліпсоїди; обсяг цих куль можна вирахувати, виходячи з того, що обсяг води, що інфільтрується в шурф, має дорівнювати обсягові пор зайнятої їм площі. Знаючи обсяг цих куль та відтинок часу, за який даний обсяг води інфільтрувався в породу, можна за відстанню спідніх частин поверхень наших куль від межі шурфа підрахувати пересічну швидкість, з якою вода проходить відстань між ними і відповідні градієнти. Так, коли відстань між поверхнями куль, що їх вода проходить на даний час від початку роботи шурфа t_1, t_2, t_3 , позначити x_1, x_2, x_3 , то швидкість фільтрації між поверхнями куль буде:



Р и с. 4. Схема руху води під водопоглинальним шурфом (за Замарінім).

$$V_1 = \frac{x_1}{t_1}; \quad V_2 = \frac{x_2}{t_2 - t_1}; \quad V = \frac{x_3}{t_3 - t_2}$$

Відповідні градієнти дорівнюватимуть:

$$I_1 = \frac{h + x_1}{x_1}; \quad I_2 = \frac{h + x_1 + x_2}{x_1 + x_2} \text{ і т. д.},$$

де h — шар води в шурфі. Звідси коефіцієнт K за формулою Дарсі буде:

$$k_1 = V_1/I_1; \quad k_2 = V_2/I_2 \text{ і т. д.}$$

Замаріні сам застерігає, що рух води, яка інфільтрується в породу шурфа, неусталений, а тому прикладання до нього залежностей усталеного руху води довільне і зовсім до певної міри невірне. Характерне для запропонованого Замарініним методу є те, що за даними витрат водопоглинального шурфа коефіцієнт K ввесь час зменшується; при чому, це продовжується і тоді, коли ці витрати усталились; критерія, яку з цих величин, що поступово зменшується, вважати за найхарактернішу для даної породи та за найвірнішу, як коефіцієнт фільтрації, Замаріні не дає.

Закінчуючи огляд літератури в питанні про визначення коефіцієнта фільтрації порід у природних умовах, скажемо коротенько ще про роботу Біндемана „Приближенное определение коэффициента водопроводимости пород методом искусственной инфильтрации из шурфов“. Автор уважає, що вода розтікається з шурфа по еліпсу, що при

глибокому заляганні ґрунтових вод залишається висячим, не з'єднуючись з останніми. Одержання стабільних витрат з шурфа показує на те, що горизонтальна вісь еліпса усталилась; після цього збільшується лише вертикальна вісь.

Обсяг еліпса вираховується за формулою: $W = \frac{Q}{P_0}$, де :

W — обсяг звогченого еліпса, Q — кількість води, що інфільтрувалась через шурф, P_0 — вільна поруватість породи.

Величина P_0 визначається з рівняння:

$$P_0 = pq_1B = q_2B,$$

де q_1 — пересічна природна вогкість породи до інфільтрації, q_2 — пересічна величина звогчення породи інфільтраційними водами, B — об'ємна вага сухої породи.

Таким чином у величині P_0 ураховується природне звогчення породи перед дослідом та середня величина звогчення її інфільтраційними водами.

Вертикальна вісь еліпсоїда визначається відповідним свердлуванням. Після цього визначається з рівняння еліпсоїда горизонтальну вісь останнього або радіус круга, що перетинає його по горизонталі та в площі якого (круга) розглядається даліше визначення швидкості інфільтраційної води:

$$\omega = 3,14 \left(0,69 \sqrt{\frac{Q}{P_0(h+H+z)} - H} \right)^2,$$

де: ω — площа круга, Q — загальна кількість води, що інфільтрувалась, P_0 — вільна поруватість породи, h — глибина просякання води від дна шурфа, H — висота капілярного піднесення, z — висота стовпа води в шурфі.

Щоб вивести формулу обчислення K , автор бере за основу залежність, яку дав Цункер для гідравлічних елементів інфільтраційного потоку:

$$V = K \frac{H+z+h-l}{h},$$

де: V — швидкість потоку, l — опір повітря в одиницях довжини водяного стовпа понад атмосферне тиснення, що спостерігаємо на поверхні землі (інші літери за попереднім визначенням).

Далі автор робить ряд відповідних перетворень, а саме:

1. Замінює величину h величиною l_{cp} (пересічною довжиною траєкторій струй);

2. Замінює величину $h+z$ аналогічною величиною пересічного напору $h_{cp}+z$.

3. Підставляє величину опору повітря, приймаючи, що довжина шляху повітря, яке витискає вода, дорівнює пере-

січній довжині шляху інфільтраційних струмів для $t^\circ 10\text{ C}$, що найчастіше трапляється в породах підчас польових досліджень.

4. Величину V замінює відповідним відношенням стабільних витрат потоку на одиницю площі круга (яке приймається за постійне після того, як витрати в шурфі усталились) з залежності:

$$V = \frac{q}{\omega} = 0,318 \frac{q}{\left(0,69 \sqrt{\frac{Q}{P_{0\varepsilon}} - H}\right)^2},$$

де: q — стабільні витрати інфільтраційного потоку, ε — довжина осі обертання еліпсоїда (вертикальна вісь) (інші літери за попереднім визначенням).

Після відповідних перерахунків автор одержує таку формулу для обчислення K :

$$K = 0,323 \frac{q}{\left(0,69 \sqrt{\frac{Q}{P_{0\varepsilon}} - H}\right)^2 \left(I_{cp} + \frac{H}{l_{cp}}\right)}$$

або для пісків, у яких капілярне піднесення незначне:

$$K = 0,675 \frac{qP_{0\varepsilon}}{QI_{cp}} \text{ (значення літер за попереднім)}$$

Всі величини береться в метрах та добах і розмірність K буде у м/добу.

Для визначення величини I_{cp} та l_{cp} автор пропонує графічне рішення (див. рис. 5). Якщо накреслити у відповідному масштабі еліпсоїд, одержаний у том чи тому випадку, то окремі довжини шляху інфільтраційних струмів будуть l_a, l_b, l_c і т. ін. А відповідні гідравлічні градієнти дорівнюватимуть:

$$I_a = \frac{h_a + z}{l_a}; \quad I_b = \frac{h_b + z}{l_b} \text{ і т. д.}$$

Величину пересічного градієнта, який діє при інфільтрації в проекції кола ω , можна визначити як результат ділення об'єму тіла, що утворюється в наслідок обертання фігури S біля осі a_1a , на площу круга радіусом $r = a_1g_1$. З цього автор виводить, згідно з твердженнями Гюльдена та Сімпсона, значення I_{cp} та l_{cp} . Вони дорівнюють:

$$I_{cp} = 0,074 (I_b + I_c + 3I_d + 2I_e + 5I_f + 1,5I_g)$$

$$l_{cp} = 0,074 (l_b + l_c + 3l_d + 2l_e + 5l_f + 1,5l_g)$$

Не відгаючись у детальний розгляд наведеного методу обчислення K за даними водопоглинального шурфа, який

з математичного погляду досить обгрунтований, слід відзначити, що з практичного погляду він може викликати значні технічні утруднення — саме щодо визначення загального обсягу еліпса та вертикальної його осі.

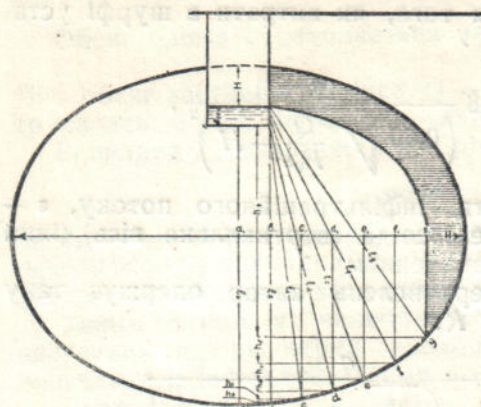


Рис. 5. Еліпсоїд звогчування під водопоглинальним шурфом (за Біндеманом).

що цей метод ще далеко не розроблений. Головне, немає точного уявлення про те, який характер руху води під водопоглинальним шурфом, оскільки залічення його до фільтраційного руху цілком довільне і зовсім необгрунтоване¹.

У зв'язку з цим зовсім не виявлено, яку роль при цьому грає капілярний рух води, як може впливати розмір шурфа та співвідношення між площею його (дна й стінок і т. д.). Проте, метод водопоглинальних шурфів дуже важливий з практичного погляду, оскільки він дає можливість досить легко досліджувати властивості порід в їх природному заляганні при відносно невеликих витратах на ці досліді. Тому цей метод останнім часом вживають досить часто при практичних роботах. Все це висуває потребу як теоретично обгрунтувати метод водопоглинальних шурфів, так і перевірити, наскільки правильно цей метод характеризує нам водні властивості порід, а звідси — з'ясувати доцільність відповідних дослідів при практичних роботах. Для цього гідрогеологічний сектор Інституту водного господарства України методично дослідив кілька порід методом водопоглинальних шурфів з паралельним опрацюванням фізично-механічних властивостей цих порід у лабораторних умовах.

На жаль, з наведеною працею Біндемана ми ознайомились після закінчення останньої серії наших польових досліджень 1932 р. і тому не мали змоги практично перевірити запропонований ним метод.

Не зважаючи на окремі спроби уточнити метод водопоглинальних шурфів для визначення водопроникливості або фільтраційних властивостей порід, треба визнати,

¹ Під фільтраційним рухом ми розуміємо рух води в поріді при 100% заповненні її пор водою під впливом певного гідростатичного тиснення.

Перша серія польових досліджень

Першу серію досліджень поставлено над породами в долині р. Вовчої на дільниці між сс. Андріївкою-Клевцовим та Іванівкою підчас польових робіт, проведених на замовлення ГМІ, щоб визначити фільтраційні властивості, характерні для порід цієї долини (для проекту водосховища в цій долині). За об'єкти обрано такі породи:

1. Делювіальний червоно-бурій суглинок з великою кількістю червоточин та решток кореневих систем, що далі ми називатимемо суглинком № 1.

2. Перевідкладений алювіальний суглинок — суглинок № 2.

3. Лесуватий піскуватий суглинок — суглинок № 3.

4. Алювіальний глинястий пісок — № 1.

5. Алювіальний пісок з домішкою гумусу — пісок № 2.

Досліди над фільтрацією в польових умовах ставили методом Болдирева. Рівень води в шурфах (від 10 до 50 см) підтримували постійним подаванням води сифоном. Спостереження над шурфом продовжували доти, поки не доходили постійних витрат на одиницю змоченої площі (дно + стінки) шурфа.

Для аналізу процесів руху води в породі під водопоглинальним шурфом використано, крім того, метод, запропонований Бутовим. Для цього під водопоглинальний шурф підводили горизонтальну траншею і в стелі останньої безпосередньо під шурфом закріплювали лійку. Отже швидкість інфільтрації через дану породу можна було визначити не тільки на основі загальних витрат через шурф, а й витрат води через лійку.

Цей метод використано для суглиноків №№ 1—2 та для обох піскуватих шурфів. При цьому в піску № 3 горизонтальну траншею після встановлення в ній лійки знову затрамбували тою ж породою, а в піску № 1 траншея була відкрита. З піскуватих порід витрати через лійку, до того ж дуже нерівномірні, здобуто лише для піску № 2.

Для суглинка № 3 польові визначення швидкостей фільтрації обмежили спостереженнями над витратами двох водопоглинальних шурфів при рівних рівнях води, а саме 25 та 50 см.

Лабораторне дослідження фізичних властивостей порід

Паралельно з польовими дослідженнями над фільтрацією в породах провели лабораторне дослідження їх головніших фізичних властивостей. Останнє полягало у визначенні таких показників: 1) питома вага, 2) вага одиниці об'єму, 3) поруватість, 4) мехсклад, 5) коефіцієнт фільтрації.

Питому вагу визначали пікнометром. Вагу одиниці об'єму визначали як вагу 1 см³ ґрунту, висушеного при 105° С. Поруватість визначали за такими формулами:

$$V_0 = V_u(1-u),$$

де: V_0 — вага одиниці об'єму, V_u — питома вага, u поруватість, та

$$\varepsilon = \frac{V_u S}{100},$$

де: ε — наведена поруватість, V_u — питома вага, S — вогкість.

Мехсклад визначали методами Сабаніна (для пісків) та Робінсона (для глинястих порід). Результати механалізів подано в вигляді таблиць, при чому швидкість падіння зернят окремих фракцій взято за Сабаніним, а саме:

0,05 м.м.	0,2 см/сек
0,01	0,02 "
0,005	0,0047 "
0,001	0,0012 "

Щождо коефіцієнта фільтрації, то його визначали для всіх порід, крім суглинку, приладом Тима-Карпінського¹ на зразках з непорушеною структурою (монолітах).

Для суглинку № 1 коефіцієнта фільтрації в лабораторних умовах не визначено через порушення моноліту; а визначати коефіцієнт зразка з порушеною структурою було недоцільно, оскільки через структурність цієї породи коефіцієнти фільтрації для зразків з порушеною та непорушеною структурою значно різнилися б.

Для зручності порівняння всі коефіцієнти фільтрації приведено до температури 10°.

Дані польового та лабораторного дослідження порід (1-ої серії)

У нижченаведеній таблиці (див. табл. 1) подано фактичний матеріал польового дослідження порід.

Для кожного шурфа наведено: 1) характер породи (суглинок, пісок тощо); 2) глибину шару породи нижче дна шурфа до підстелюючої породи або до рівня ґрунтових вод; 3) рівень води в шурфі; 4) загальні витрати води та 5) фактичні витрати води на одиницю площі шурфа; 6) коефіцієнт фільтрації за даними витрат (через лійку) для тих шурфів, де вона була.

¹ Карпінский, Инструкция по определению коэффициента фильтрации рыхлых пород при естественной структуре в видоизмененном приборе Тима. (Опробование месторождений полезных ископаемых ГГРУ, 1931).

Дані лабораторного дослідження порід зведено в таблиці 2; для зручності порівняння в ній поставлено відповідні графи про усталені витрати води через шурфи та про K за витратами через ліжку.

Оброблення даних польових досліджень

На основі наведених даних польового та лабораторного дослідження порід треба було б підійти до оцінки їх водопроникливості або фільтраційних властивостей. Але тут доводиться ще раз зазначити, що, хоч дослідів над породами методом водопоглинальних шувів зроблено чимало, ще й досі, як уже сказано, немає теоретично обґрунтованих викладів, що дозволили б на емпіричних даних таких досліджень робити певні висновки про фільтраційні або інші водні властивості даної породи.

Одні з дослідників ділять загальну витрату води через шурф на площу дна шурфа або на сумарну змочену його поверхню (дно та стінки шурфа до рівня води) і вважають добуту величину за коефіцієнт фільтрації, або „позірну“ швидкість фільтрації; інші зменшують змочену поверхню стінок вдвоє, вважаючи, що просякання крізь стінки йде по трикутнику і т. д. Коли порівняти одержані в такий спосіб дані з лабораторно визначеними коефіцієнтами фільтрації відповідної породи, то розходження будуть надто великі; причин цих розходжень досі не з'ясовано.

Якщо в такі обчислення коефіцієнта фільтрації ввести значення гідравлічного градієнта, вважаючи, що при усталених витратах за глибину фільтруючого шару можна приймати всю глибину даної породи до підстелюючої, то це, очевидно, мало що змінить у зменшенні розходжень зазначених величин; причина цього та, що при усталених витратах через шурф градієнти здебільшого небагато перевищують одиницю, оскільки $i = \frac{a+h}{a}$, де a — глибина фільтруючого шару, h — рівень води в шурфі і величина h проти величини a здебільшого дуже незначна.

Як сказано вище, Замарін дав метод обчислення коефіцієнта фільтрації порід за даними водопоглинальних шувів. Щоб перевірити, оскільки такі обчислення відповідатимуть справжнім коефіцієнтам фільтрації породи (а за такий ми приймаємо лабораторно визначений K), ми спробували обчислити коефіцієнт фільтрації деяких з досліджених порід методом Замаріна.

Дані цих обчислень і паралельні дані про усталені витрати води на одиницю змоченої площі шурфа та лабораторно визначені коефіцієнти фільтрації тих самих порід подано в таблиці 3.

№№ шурфів	Загальні відомості: порода, в якій працював шурф, стовп води в шурфі, глибина до рівня ґрунтових вод		1
1	Суглинок № 1, стовп води 0,15 м, глибина до рівня ґрунтових вод 7,0 м	1. Загальні витрати $см^3/год.$ 2. Витрати в $см^3/год$ на $1 см^2$ 3. Кв. $см/год$ за дан. витр. через лінку	49 500 2,96 0,0766
2	Алювіальний суглинок № 2, стовп води 0,40 м, глибина до ґрунт. води 2,0 м	1. Загальні витрати в $см^3/год$ 2. Витрати в $см^3/год$ на $1 см^2$ 3. Кв. $см/год$ за дан. витр. через лінку	3 600 0,40 —
3а	Піскуватий суглинок № 3, стовп води 0,60 м, глїб. до ґрунт. води 4,5 м	1. Заг. витр. в $см^3/год$ 2. Витр. в $см^3/год$ на $1 см^2$	66 000 2,51
2б	Піскуватий суглинок № 3, стовп води 0,25 м, глїб. до ґрунт. води 4,8 м	1. Заг. витр. в $см^3/год.$ 2. Витр. в $см^3/год$ на $1 см^2$	29 300 2,76
4	Алювіальний пісок № 1, стовп води 0,10 м, глїб. до ґрунт. води 2,5 м	1. Заг. витр. в $см^3/год$ 2. Витр. в $см^3/год$ на $1 см^2$	176 400 36,06
5	Алювіальний пісок № 2 (з гумусом), стовп води 0,10 м	1. Заг. витр. в $см^3/год.$ 2. Витр. в $см^3/год$ на $1 см^2$	63 300 7,90

Таблиця 1

ли нальних шурфів у с. Іванівці

Дні роботи шурфів											
2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
34 500 2,06	21 000 1,26	18 000 1,08	14 000 0,83	14 000 0,83	11 200 0,67	11 000 0,66	9 000 —	9 000 0,54	9 000 —	9 900 —	9 000 —
—	0,0766	—	0,059	0,024	—	0,019	—	—	—	—	—
3 000 0,33	2 600 0,29	3 100 0,35	2 600 0,29	2 500 0,28	3 300 0,37	2 600 0,29	3 000 0,31	3 400 0,38	3 300 0,37	3 100 0,35	3 500 0,39
0,019	0,018	0,019	0,022	0,022	0,036	0,041	—	0,045	0,051	0,047	0,066
57 000	59 000	50 000	45 600	40 800	32 300	34 000	—	36 000	33 200	—	—
2,17	2,27	1,91	1,73	1,51	1,23	1,30	—	1,37	1,27	—	—
21 000	15 700	11 600	9 700	12 500	6 500	5 400	4 900	4 800	4 500	—	—
1,98	1,49	1,09	0,92	1,08	0,62	0,51	0,46	0,46	0,44	—	—
60 600	30 300	28 000	29 200	24 000	24 000	чистка шурфа	47 700	29 700	29 700	—	—
15,00	6,42	5,96	6,21	5,11	4,43	—	7,64	4,75	4,75	—	—
43 700	47 500	48 500	43 700	33,500	чистка шурфа	38 000	38 000	34 200	—	—	—
5,46	5,94	6,06	5,46	4,19	—	4,75	4,75	4,25	—	—	—

Таблиця 2

Фізично-механічні властивості порід з річки Вовчої
(с. Іванівка)

Тип породи та № шарфа	Питома вага γ_s	Вага одиниці об'єму	Поруваність γ %	Мехскладу %						К в см/год при 10° С (наборат. визн.)	Усталені заг. витр. через шурф на 1 см ² у см/год	К в см/год на витр. через ліжку	К в см/год за методом Замаріна (найменш.)	П р и м і т к и
				Фракції в мм										
				1,0—0,25	0,25—0,05	0,05—0,01	0,01—0,005	0,005—0,001	> 0,001					
Суглинок № 1, шурф № 1	2,69	1,67	38	2,3	43,0	17,2	19,8	7,6	10,1	—	0,54	0,0188	0,11	Емпір. коеф. фільтр. однаковий для моноліту та породи з поруш. структурую.
Суглинок № 2, шурф № 2	2,67	1,60	37	0,8	21,6	24,6	29,0	9,5	14,5	0,208	0,40	0,065	—	
Суглинок піскуватий № 3 (супісок), шурф № 3-а.	2,68	1,75	35	1,4	64,4	10,7	12,2	3,5	7,8	0,115	1,30	—	0,38	
Суглинок піскуватий, шурф № 3-б	—	—	—	1,1	63,7	10,1	16,7	4,7	3,7	0,115	0,40	—	0,12	Мехсклад у пересічних велич. різн. проб; поруватість можемо вважати однаковою з грунтом шурфа № 3-а
Пісок глиняст. № 1, шурф № 4	2,68	1,76	34	0,7	84,2	4,5	5,3	1,5	3,8	0,72	4,75	—	0,58	
Пісок з гумусом № 2, шурф № 5	2,63	1,68	35	1,3	82,6	4,9	6,0	1,7	3,5	3,60	4,75	0,305	0,62	

Мехсклад для пересічної проби
К за витратами через ліжку дано найбільше

Таблиця 3

Обчислення K методом Замаріна
(за даними водопоглинальних шурфів)

Дата	Об'єм просо- ченої води в м ³	Поруваність породи в %	Об'єм змоче- ної куди поро- ди в м ³	Віст. сільної гравіш куди від меж шур- фа в см	Віст. між гра- нищами кудь у см	Кількість го- дин від почат- ку дослідд	Кількість го- дин проходж. води між гра- нищами	Радіус змоченої куди породи	$i = \frac{H+I}{I}$	V в см/год	K в см/год за формулою За- маріна	Усталені загальні витрати шурфа в см ³ /год на 1 см ²	Лабораторн. K в см/год
Суглинок № 3 (шурф № 3-а)													
15. IX	7,904	35	22,7	304	—	140	—	176	—	—	—	—	—
16. IX	8,949	"	25,6	324	20	166	26	183	1,150	0,77	0,67	—	—
17. IX	9,956	"	28,45	338	14	198,75	32,75	190	1,148	0,43	0,38	1,30	0,115
Суглинок № 3 (шурф № 3-б)													
3. X	2,871	35	8,20	216	—	190	—	125	—	—	—	—	—
4. X	3,033	"	8,55	220,8	4,8	220	30	127	1,113	0,16	0,14	0,40	0,115
5. X	3,150	"	9,00	224	3,2	245	25	128,5	1,111	1,13	0,12	—	—
Пісок № 2 (шурф № 5)													
28. IX	1,953	34	5,57	200	—	67	—	110	—	—	—	—	—
29. IX	2,529	"	7,22	230	30	91	24	120	1,04	1,25	1,20	4,75	0,72
30. IX	3,078	"	8,79	247	17	119	28	128	1,04	0,61	0,58	—	—
Пісок № 3 (шурф № 6)													
16. IX	4,750	35	13,58	283	—	64	—	239	—	—	—	—	—
17. IX	6,080	"	17,37	304,2	21,2	94,5	30,5	259	1,03	0,69	0,67	4,75	3,60
18. IX	6,669	"	19,05	315,5	11,3	112,0	17,5	267	1,03	0,64	0,62	—	—

Три останні графи цієї таблиці дають: K в $см/год$, вирахований методом Замаріна (для останніх днів роботи шурфів), загальні усталені витрати на одиницю площі шурфа та лабораторне K в $см/год$. З порівняння цих величин видно, що величина коефіцієнта фільтрації за Замаріним у всіх випадках менша, ніж витрати на одиницю площі шурфа; K за Замаріним та K за лабораторним визначенням збігаються досить близько лише для суглинку № 3 за даними шурфа № 3-б; для того ж суглинку, але за даними шурфа № 3-а K за Замаріним більше, ніж K лабораторне, а для обох пісків K за Замаріним значно менше, ніж за лабораторним визначенням.

Для піскуватих порід формула Замаріна дає величини, завжди переменшені проти лабораторно визначених для зразків з непорушеною структурою. Останнє стверджується не лише наведеними обчисленнями для пісків №№ 2—3, але також аналогічними обчисленнями для кількох інших піскуватих водопоглинальних шурфів.

Отже обчислення коефіцієнта фільтрації порід за даними водопоглинальних шурфів методом Замаріна здебільшого не збігаються з коефіцієнтом фільтрації, визначеним у лабораторних умовах для зразків з природною структурою.

Це можна пояснити тим, що при лабораторному досліді не можна, звичайно, урахувати і відбити складність породи в її природному заляганні: проте, на нашу думку, це є скорше наслідок того, що деякі припущення Замаріна, наприклад, для обрахунку об'єму звогненої кулі, породи тощо, не відповідають дійсним умовам просякання води під водопоглинальним шурфом.

Сказане ще раз стверджує, що досі ми не маємо точних даних про те, що саме характеризують нам величини витрат води через водопоглинальні шурфи і чи можна за цими даними робити висновки про фільтраційні властивості порід. Тільки вивчення процесів руху води в породі під водопоглинальним шурфом може розв'язати ці питання. Як сказано вище, щоб підійти до розгляду процесів руху води під водопоглинальними шурфами, при польових дослідженнях використали метод Бутова для перехвату фільтраційної води під шурфом. Витрати через лійку та обчислений за ними коефіцієнт фільтрації породи мали бути за контроль, з одного боку, для загальних витрат через шурф, а з другого — для коефіцієнта фільтрації, одержаного лабораторним дослідженням. Отже порівняння всіх цих величин повинне дати деяке уявлення про характер руху води, що відбувається під водопоглинальним шурфом.

З досліджених шурфів лійки не поставлено лише в шурфах 3-а—3-б (суглинок № 3). З решти шурфів витікання

води через лійку одержано для суглинків №№ 1 і 2 для піску № 2.

З піску № 1 вода через лійку не витікала.

В таблиці 4 подано ще раз дані про шурфи, де вода витікала через лійку з паралельними даними про усталені витрати води в шурфах та лабораторно визначеними коефіцієнтами фільтрації.

Таблиця 4

Порода та № шурфа	Витрати води шурфа в см ³ /год на 1 см	K в см/год за витр. че- рез лійку	K в см/год за Замарі- ним	Лабораторне визнач. в см/год
Суглинок № 1 (шурф № 1)	0,54	0,0188	0,11	—
Суглинок № 1 (шурф № 2)	0,40	0,065	—	0,208
Пісок № 3 (шурф № 6)	4,75	0,305	0,67	3,60

Для суглинку № 1, коефіцієнта фільтрації якого в лабораторних умовах визначено не було через пошкодження моноліту, та піску № 3 для порівняння наведено коефіцієнт фільтрації, обчислений за Замаріним.

З наведених даних видно, що, поперше, витрати води через одиницю площі шурфа за одиницю часу завжди перебільшують значення витрат, відповідних до виведених лабораторно коефіцієнтів фільтрації, коли прийняти значення гідравлічних градієнтів близькими до одиниці; подруге, справжнє просякання води через породу, перевірене даними витрат через лійку, підчас роботи водопоглинальних шурфів в усіх наведених випадках менше, ніж воно повинне було бути за тими ж наведеними коефіцієнтами фільтрації.

З цього можна було зробити припущення, що підчас інфільтрації води через шурф рух води через породу не був рухом чисто фільтраційним; тут було звичайне просякання гравітаційної води. В такому разі пори порід у всіх наведених випадках не були цілком заповнені водою навіть тоді, коли витрати води через шурф усталилися. Перевірено це так: для пісків одразу після припинення роботи шурфа визначали кількість води, якої не вистачало до повної вологоємності породи. Ця недостача для різних пісків доходила до 10% об'єму зразка, або, приймаючи пересічну поруватість пісків за 0,35, до 30% загальної поруватості. Для глинястих порід було паралельно визначено максимальну вогкість породи під шурфом та вогкість тої ж породи (моноліту) підчас лабораторного визначення коефіцієнта фільтрації. Наслідки одержані такі:

	Для суглинку № 2 (шурф № 2)	Для суглинку № 3 (шурф 3-6)
Вогкість під шурфом	25%	15%
Вогкість підчас лабораторного визначення	32%	22%

Отже ці дані цілком ствердили наведене припущення, що підчас інфільтрації з водопоглинальних шурфів у породах немає стопроцентного заповнення пор водою, а, значить, і не може бути виключно фільтраційного руху води.

Капілярний рух води

На перший погляд може здатися незрозумілим, що підчас роботи водопоглинального шурфа води не вистачає на заповнення пор породи під шурфом і в той самий час загальні витрати через шурф такі невідповідно великі проти

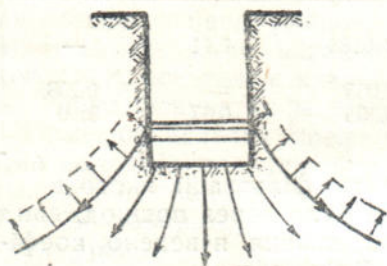


Рис. 6. Схема капілярного руху води під водопоглинальним шурфом.

коєфіцієнта фільтрації тої ж породи. Але це стане цілком зрозуміле, коли взяти на увагу капілярні рухи води в породах.

Кринін у своїй праці „О проникании вод в глину“¹ дає цінні вказівки про капілярний рух води в глинах та його напрямки. Він показав на відповідних дослідах, що коли

вода поступає з одного центра, то вона в наслідок капілярності порід розтягається в усі боки, при чому в боки капілярний рух іде навіть швидше, ніж угору.

Аналогічні досліди, переважно над піскуватими породами, було поставлено в Гідрогеологічній лабораторії інституту водного господарства України, і вони цілковито ствердили дані проф. Криніна також і для таких порід.

Отже капілярний рух води в породі під водопоглинальним шурфом і під ним аналогічно відбувається в різні боки (див. рис. 6); навколо зони гравітаційної води (суцільні криві на рис. 6), що інфільтрується з шурфа в породу, утворюється зона капілярного руху (пунктирні криві на рис. 6), який відтягає воду на деяку віддаль. Треба взяти на увагу й те, що за зоною капілярного руху повинна бути на певній ділянці зона молекулярного руху.

Загалом ясно, що вода, яка інфільтрується в породу через змочену поверхню шурфа, поширюється на дуже значну площу. Обсяг цієї площі не можна брати, виходячи

¹ Д. П. Кринин, О проникании воды в глину. Исследование грунтов, „Труды Гос. научн. эксп. инст. сооружений“, вып. 6, 1930.

з кількості пор у даній породі та загальної кількості води, що просякає в породу через шурф (як це робить Замарін), оскільки при капілярному та молекулярному рухах води останній заповнює пори породи лише частково. Підбиваючи підсумки цим міркуванням, можна сказати, що сукупність рухів води різного типу (гравітаційного, капілярного, молекулярного) під водопоглинальним шурфом призводить до того, що, не вважаючи на досить значну кількість води, яка воступає через перетин шурфа в породі, її не стає для заповнення її пор на 100%; при даному тисненні (при заданій глибині води в шурфі) перетин останнього не може пропустити більшої кількості води, а тому навколо шурфа не може утворитись зона повної насиченості породи водою, а значить, не може бути умов для фільтраційного руху води.

Винятки з такого становища можуть бути лише при роботі водопоглинальних шурфів у породах з дуже близькими від поверхні землі заляганнями рівня ґрунтових вод.

Отже дані, що ми їх одержуємо, досліджуючи породи водопоглинальними шурфами, насамперед дають нам сумарну характеристику кількох властивостей породи, а саме її здатності пропускати гравітаційну воду, її капілярності тощо, які можна об'єднати під загальною назвою водопроникливості породи.

Залежність витрат води в шурфах від їх розміру, форми тощо

Для характеристики загальної водопроникливості породи за даними водопоглинального шурфа можна приймати величину витрат води за певний відтинок часу на одиницю змоченої площі шурфа (напр., $см^3/год$ на $1 см^2$). Але тут постає нове ускладнення, на яке завжди скаржаться робітники, що користуються для практичних завдань методом дослідження порід водопоглинальними шурфами¹: на загальну витрату води з шурфа чимало впливає його розмір, форма, співвідношення площі дна та стінок (рівень води в шурфі). При дослідженні однієї породи шурфами різних розмірів величини витрат води на одиницю змоченої поверхні здебільшого бувають такі, що не дають ніякої змоги їх порівнювати.

Аналогічне спостерігається підчас роботи шурфів при різних рівнях води в них. Як приклад, наведемо паралельні дані роботи двох шурфів однакового розміру в лесуватому піскуватому суглинку № 3. Шурфи ці закладено поруч в однаковій породі, як видно з пересічних величин мехскладу тої та другої (див. табл. 2), але з різними рівнями

¹ Дебати на доповіді на I гідрогеологічному з'їзді.

води, а саме 50 та 25 см. Загальні витрати шурфа № 3-а втрое більші, ніж витрати шурфа № 3-б (див. табл. 1, шурфи №№ 3-а — 3-б). Цю різницю витрат на одиницю площі шурфів доводиться пояснювати впливом рівня води в шурфі, оскільки всі інші умови були однакові.

Гідравлічні градієнти в обох шурфах, коли для обчислення їх брати повну глибину шару даної породи до підстилюючої (4,5—4,8 м), різняться між собою незначно, а саме: для шурфа № 3-а $i = 1,111$, для шурфа № 3-б $i = 1,05$.

Отже загальні витрати через шурф не залежать від обчисленого таким способом гідравлічного градієнта, чого й треба було чекати, оскільки тут немає чисто фільтраційного руху води.

Це явище давно підмічено для зрошувальних каналів, для яких швидкість інфільтрацій в ґрунт запропоновано ставити в залежність не від гідравлічного градієнта, а від глибини шару води h у каналах на певному ступені: $V = kh^m$. При чому це m змінюється залежно від глибини шару води та глибини можливого просякання. Оскільки цю залежність виведено для порівнюючи незначних глибин просякання води із зрошувальних каналів, то цілком прикладисти її до випадку довготривалої роботи шурфів неможливо.

Всі ці явища легко пояснюються наведеною схемою руху води під водопоглинальним шурфом: зона діяння капілярних сил у верхній частині біля шурфа головне залежить від форми останнього та висоти змочених стінок шурфа. Через це різні співвідношення площі дна та стінок шурфа, які є наслідком його форми й розмірів та глибини води в шурфі, визначають загальну витрату води через шурф, збільшуючи або зменшуючи частку води, що йде на рух капілярний, молекулярний тощо. Зазначений момент має дуже важливе практичне значення, оскільки він може відкинути доцільність методу водопоглинальних шурфів при одержанні непорівняльних даних не лише для різних, а навіть для одної породи. Обчислення кількісного значення рухів води різного типу під водопоглинальним шурфом у кожному окремому випадку — надто складна справа. Тому, щоб одержати методом водопоглинальних шурфів порівняльні дані, треба створити такі умови досліду, щоб вплив капілярних та молекулярних сил був завжди більш-менш рівномірний і не викликав значних хитань у витратах водопоглинальних шурфів, закладених в однакових породах.

Друга серія польових дослідів

Розробляючи це питання, ми спробували устаткувати водопоглинальний шурф так, щоб по змозі зменшити та врівноважити вплив капілярного руху підчас просякання води в породу з шурфа.

Для цього ми використали ідею приладів для вивчення водопроникливості ґрунтів, що їх уживають ґрунтознавці. Як уже сказано, прилади Леонтовича, Дояренка складаються з двох циліндрів один у другому; при цьому хоч вода наливається в обидва циліндри, водопроникливість породи визначають лише за даними витрат з внутрішнього циліндра.

Вважається, що вплив капілярного руху відбивається лише на витратах зовнішнього циліндра, тоді як у внутрішньому має місце лише вертикальне просякання згори донизу. Правда, деякі автори заперечують це, оскільки, на їх думку, вплив капілярних сил повинен поширюватись на весь перетин площі, по якій вода просякає з приладу.

Щоб перевірити це питання, ми провели відповідну методичну роботу підчас польових робіт для вивчення фільтраційних властивостей порід південного степу лівобережжя Дніпра, що їх провадив Інститут водного господарства України з доручення Українського н.-д. геологічного інституту. Дослідні шурфи було закладено біля с. Павлівки Григорівського району. З геологічного погляду цей район характеризується грубою серією четвертинних покладів — лесів та похованих ґрунтів. Глибина залягання ґрунтових вод від поверхні 21,85 м.

На цій ділянці заклали два паралельні водопоглинальні шурфи на глибину 1,70 м від поверхні. Кожний з шурфів було поділено двома металевими циліндрами на три частини: 1) центральна частина, 2) внутрішнє кільце, 3) зовнішнє кільце, яке, знову таки, було обмежене стінками шурфа (схема, рис. 8). В першому шурфі воду подавали в усі три частини, в другому — лише в центральну частину та внутрішнє кільце, обмежене циліндром. Отже в першому шурфі мало місце в зовнішньому кільці просякання крізь дно та стінки шурфа, тоді як у другому — стінки шурфа виключили з роботи шурфа. Площі відповідних сегментів були приблизно однакові, а саме (в кв. см):

	Центральна частина	Внутр. кільце	Зовнішнє кільце	Стінки до рівня води
I шурф	735	1 173	1 938	2 200
II шурф	750	1 135	1 940	—

Рівень води підтримували однаковий в усіх частинах (20 см) за допомогою поплавка, який автоматично відкривав або затискав гумову рурку, через яку подавалась у шурф вода (конструкція аспіранта Н.-д. геологічного інституту С. Жарія — рис. 7).

У таблиці 5 подано витрати за окремими частинами кожного шурфа в куб. см за годину на 1 кв. см змоченої площі за час роботи шурфів.

Аналіз наведених цифр дозволяє зробити такі зауваження:

1) Найменші витрати дає центральна частина першого шурфа, яка має два захисні зовнішні водні кільця.

2) Внутрішнє кільце того ж шурфа дає витрати трохи більші і до того ж близькі до витрат обох частин другого шурфа.

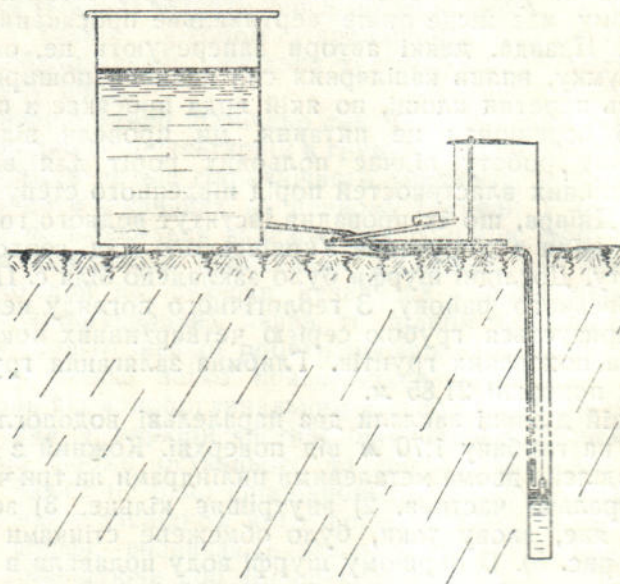


Рис. 7. Поплавець за конструкцією С. Жарія.

3) Витрати обох частин другого шурфа при ustalених витратах тотожні; це примушує припустити, що тут капілярні сили впливають майже на всю площу просякання води з шурфа через малу величину захисної водної оболонки (тільки внутрішнє кільце). Аналогічне явище, очевидно, має місце і для зовнішніх частин першого шурфа (внутрішнє та зовнішнє кільце), але там воно маскується просяканням крізь стінки шурфа.

4) Витрати зовнішнього кільця першого шурфа, що склалися з просякання води крізь дно та стінки шурфа, значно більші за витрати в центральній частині (до 2,5 раза) та у внутрішньому кільці (до 2,0 раза). Цей факт показує не тільки на вплив капілярних сил, головне на витрати зовнішніх частин (така ж частина є й у другому шурфі), а й на чималу роль просякання води підчас роботи водопогли-

нальних шурфів через їх стінки, а також на значне збільшення таким чином площі, по якій поширюється вода з водопоглинального шурфа.

5) Вплив капілярного руху води хоч і поширюється, очевидно, по всій площі просякання води з шурфа, проте неоднаково: на периферії цієї площі він більший і поступово зменшується до її центральної частини. Отже при достатній площі захисної зовнішньої водної оболонки для центральної частини вплив капілярних сил можна приймати за рівномірний і практично незначний.

Відомості про лабораторне дослідження фізично-механічних властивостей зразків лесу, взятих безпосередньо під шурфом у с. Павлівці, подано нижче в таблиці 9; тепер ми тільки зазначимо, що коефіцієнт фільтрації цих зразків дорівнює 0,054 см/год.

Порівняння даних усталених витрат центральної частини першого шурфа з коефіцієнтами фільтрації зразків дослідженої породи показують, що ці витрати все таки значно перебільшують значення коефіцієнтів фільтрації. Пояснити це можна так: поперше, тут відбивається деякий, хоч і зменшений, вплив капілярного руху води. Головне ж, очевидно, в тому, що гідравлічне тиснення в умовах роботи водопоглинального шурфа не відповідає гідравлічному градієнтові, рівному одиниці, а перевищує його, тоді як коефіцієнт фільтрації ми маємо для гідравлічного градієнта рівний одиниці.

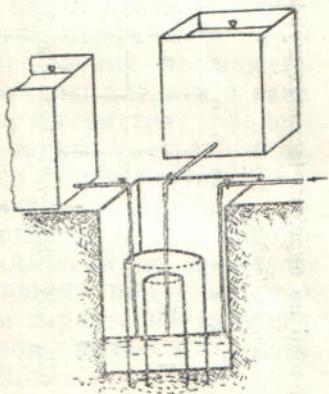


Рис. 8. Схема водопоглинального шурфа з розподілом його на частини.

Підсумовуючи все подане вище, можна сказати, що використаний нами метод устаткування водопоглинального шурфа до певної міри себе виправдовує: поділяючи шурф металевими циліндрами на певні частини і даючи досить широку захисну водну оболонку навколо центральної з них (у 3-4 рази більшу за площу центральної частини), ми тим самим відокремлюємо стовп породи безпосередньо під цією частиною від значного впливу капілярних сил, через що й просякання води в цій частині колони породи може відбуватись більш-менш рівномірно. Просякання води через стінки шурфа з усіма зв'язаними з таким процесом труднощами можна цілком усунути. Проте, і при такому устаткуванні водопоглинального шурфа витрати з центральної його частини можуть характеризувати лише водопроникливість породи загалом, а ми розуміємо під цим здатність породи

Таблиця 5

Витрати води змоченої площі по окремих частинах шурфів у с. Павлівці

(в см³/год на 1 см²)

№ шурфа та місце фільтрації площі	Д н і р о б о т и ш у р ф і в																		
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	
I шурф	Зовнішнє кільце . . .	4,32	4,76	5,14	6,25	5,34	3,83	4,91	1,88	4,56	3,49	3,56	3,54	3 16	2,93	3,17	—	2,89	2,31
	Внутрішнє кільце . . .	3,55	4,23	4,39	5,79	8,50	6,66	8,32	7,90	4,00	2,34	1,97	1,98	1,98	2,02	1,67	1,58	1,40	1,60
	Центральна частина . .	1,12	1,12	3,64	3,85	4,35	2,28	2,23	3,90	3,27	2,81	1,97	1,47	1,45	1,45	1,45	0,97	0,0	0,96
II шурф	Центральна частина . .	1,44	2,82	2,43	4,21	3,18	5,53	4,63	2,94	2,58	2,12	1,95	2,28	2,11	2,00	1,80	1,54	1,58	1,43
	Внутрішнє кільце . . .	—	5,45	4,80	—	9,82	10,42	8,77	6,50	6,04	4,73	3,16	2,46	2,73	2,11	1,53	1,41	1,26	1,34

пропускати крізь себе воду під сукупним впливом гравітаційних, капілярних та інших сил.

Описаний спосіб устаткування шурфа може деякою мірою зменшити, а головне зробити рівномірним, вплив капілярних та молекулярних сил на витрати води з центральної частини шурфа, за якими робиться висновок про водопроникливість породи. Отже таким способом можна усунути ті розбіжності в показах водопоглинальних шурфів, закладених в одній породі, але відмінних своєю формою, розміром тощо, на які головне посилялися, заперечуючи доцільність застосування методу водопоглинальних шурфів.

Дальші роботи в напрямку удосконалення методу водопоглинальних шурфів допоможуть установити достатній розмір захисної оболонки для порід різного типу, які забезпечили б одержання найбільш постійних значень витрат води з шурфа на одиницю змоченої площі даної породи.

Описана схема водопоглинального шурфа може бути особливо придатна для деяких спеціальних досліджень. Наприклад, коли треба визначити можливі витрати з каналів, така установка може дати характеристику процесу просякання води окремо через дно каналу (витрати через центральну частину шурфа) та його стінки (витрати зовнішнього кільця шурфа разом із стінками останнього).

Звичайно, обмежитись характеристикою загальної водопроникливості породи не можна, оскільки це позбавляє змоги робити певні порівняння з іншими породами, узагальнення тощо. Для цього найкраще характеризувати властивості породи певною стандартною величиною, якою є, між іншим, і коефіцієнт фільтрації.

Отже, продовжуючи далі роботи над вивченням водопроникливості порід у природних умовах, безперечно, треба розробити залежність між загальною водопроникливістю породи та її фільтраційними властивостями, щоб мати змогу за даними, наприклад, водопоглинальних шурфів, підрахувати коефіцієнт фільтрації випробовуваної породи.

Якраз у цьому напрямку продовжував свої роботи гідрогеологічний сектор ІВГУ протягом 1933 р.; раніш, ніж подати наслідки цих робіт, треба сказати кілька слів про метод водопоглинальних свердловин, що його розробляли поруч з методом польових досліджень шурфів, як з погляду постановки польових досліджень, так і з погляду опрацювання даних фактичних витрат води із пробних вирібок для визначення коефіцієнта фільтрації відповідних порід.

Водопоглинальні свердловини

Метод водопоглинальних шурфів дозволяє досліджувати водопроникливість порід переважно на незначну глибину від поверхні, у межах 3—4 м. Закладання шурфів на

значнішу глибину викликає технічні труднощі: треба закладати широкі вирібки з ступінчастим спуском до їх дна і в них уже закладати спробні шурфи.

При випробовуванні породи водопоглинальним шурфом вода просякає в породу при незначному гідростатичному тисненні, оскільки шар води в шурфі здебільшого незначний (переважно до 0,5 м). Разом з тим площа, по якій розтікається вода з шурфа, буває досить велика, і це спричиняється до збільшення впливу капілярного, пливкого руху тощо.

Все це, як сказано вище, приводить до того, що під водопоглинальним шурфом порода не може бути досить насичена водою і, як правило, за допомогою цих шурфів ніколи не вдається утворити штучного водовмісного горизонту в досліджуваній породі.

При глибокому заляганні неводовмісних порід, водопроникливість яких треба дослідити в природних умовах, найчастіше вживають метод нагнітання води в свердловини. Цей метод такий: в опущену до водотривкого шару, що підстелює породу, водопроникливість якої визначають, спробну свердловину подають воду при великих гідростатичних тисненнях; цього доходять, нагнітаючи воду в свердловину помпами або наливаючи її при високому стовпі води в свердловині. Відповідна швидкість розтікання води із свердловини та менша площа зони, по якій поширюється ця вода (через відносно менші проти дна шурфа площі дна свердловини), сприяють виникненню в цій зоні значної вогкості породи. Досить часто в зазначеній зоні, що дали ми її звемо зоною звогчування, біля спробної свердловини з'являється штучний водовмісний горизонт.

У таких випадках, крім вимірів витрат води із спробної свердловини, роблять ще спостереження над рівнем води в контрольних свердловинах, розташованих на певній відстані від спробної по одному або кількох променях. За цими даними коефіцієнт випробовуваної фільтрації можна вирахувати за формулою Дюпюї, зміненою для випадку неводовмісних порід.

Вона має вигляд:

1) при двох контрольних свердловинах на кожному промені:

$$K = \frac{q \ln \frac{r_2}{r_1}}{\pi(h_1^2 - h_2^2)}, \quad (1)$$

2) при одній контрольній свердловині;

$$K = \frac{q \ln \frac{r_1}{r_0}}{\pi(H^2 - h_1^2)}, \quad (2)$$

де: K — коефіцієнт фільтрації породи, q — витрата води з свердловини на одиницю часу, r_2 , r_1 — відстань до контрольних свердловин від центра спробої, r_0 — радіус спробої свердловини, H — стовп води в спробої свердловині, h_1 , h_2 — стовп води в контрольних свердловинах.

Випробовання водопроникливості порід водопоглинальними свердловинами такого типу вимагає відповідного, досить дорогого устаткування (помпи, компресори тощо). Крім того, при значній grubині досліджуваних порід не завжди можна опустити спробну свердловину до водотривкого шару або дати достатню кількість води, щоб утворити штучний водовмісний горизонт. Все це певною мірою обмежує практичне застосування описуваного методу.

Працюючи над питанням дослідження водопроникливості порід у природних умовах, ми мали на увазі змінити методику так, щоб, з одного боку, полегшити практичне застосування тих чи тих методів дослідження (усунувши потребу використовувати дороге устаткування тощо), а з другого — зберегти можливості випробовування не лише поверхневих, а й глибших шарів порід.

Найзручнішим для цього методом може бути випробовання породи водопоглинальною свердловиною з наливанням води в останню. Таку свердловину можна опустити на ту чи ту глибину від поверхні, залежно від глибини залягання шару породи, яку мають випробовувати. Наливанням води до того чи того рівня випробовується шар більшої чи меншої grubини при даному гідростатичному тисненні (стовп води в таких свердловинах може бути досить великий).

Така водопоглинальна свердловина займає проміжне положення між звичайним водопоглинальним шурфом і спробою свердловиною, куди нагнітають воду. Нею можна випробовувати шари породи на значній grubині від поверхні (як і свердловинами, в які нагнітають воду); проте, так само, як і для водопоглинального шурфа, біля такої водопоглинальної свердловини не утворюється штучного водовмісного горизонту; останнє може бути як виняток в окремих випадках при відповідно сприятливих умовах геологічної будови та характері випробованої породи.

Отже за даними водопоглинальної свердловини, в яку наливають воду, можна схарактеризувати загальну водопроникливість породи з величиною витрат води на одиницю змоченої площі свердловини за певний відтинок часу, так само як і для водопоглинальних шурфів.

Відзначено необхідність такої характеристики і чималу практичну потребу встановити залежність між витратами води з шурфа

та коефіцієнтом фільтрації породи. Це ж саме, ще більшою мірою, стосується водопоглинальних свердловин, оскільки для них не можна застосувати метод захисних оболонок, щоб запобігти нерівномірності впливу капілярного руху води.

Водопоглинальні свердловини, куди наливають воду, які не доходять до водотривкого шару і не викликають утворення штучного водовмісного горизонту, своїм типом є аналоги недокінчених криниць. Рух води біля них буде мати зовсім інший характер, аніж коло вищеописаних свердловин з нагнітанням води, які можна паралелізувати з криницями довершеного типу; отже до таких свердловин не можна застосовувати наведену формулу Дюпюї для обчислення коефіцієнта фільтрації.

Можна гадати, що рух води біля водопоглинальних свердловин недовершеного типу буде дуже подібний до такого ж руху біля водопоглинальних шурфів; через цей метод обчислення коефіцієнта фільтрації випробовуваної породи за даними спробних вирібок обох наведених типів можуть бути досить близькі або й тотожні.

Метод водопоглинальних свердловин для випробування водопроникливості порід у природних умовах ми застосували вперше підчас вищезгаданих польових робіт УНДГІ ВУАН над дослідженням лівобережжя Дніпра 1932 р.

Як сказано вище, ці роботи були закінчені ще до того, як вийшла з друку стаття Біндемана. Ми не змогли використати запропонований ним метод обчислення коефіцієнта фільтрації порід за даними водопоглинальних шурфів, оскільки нам бракувало деяких відомостей: даних про вогкість порід до і після досліду, глибини просякання води під шурфом тощо.

Формула Козлова для обчислення K за даними водопоглинальних шурфів та свердловин

Зважаючи на те, що ці дані взагалі в багатьох випадках буває досить трудно визначити, ми спробували інакше підійти до вирішення питання про залежність між витратами води з водопоглинального шурфа або свердловин та коефіцієнтом фільтрації випробовуваної породи. З доручення згаданої партії УНДГІ ВУАН інж. Козлов (аспірант Н.-д. інституту водного господарства України) розробив відповідну теоретичну формулу обчислення K .

Математичне обґрунтування цієї формули подано в статті інж. Козлова „Формула для підрахунку коефіцієнта фільтрації порід за даними водопоглинальних шурфів“, вміщеної в збірнику „Матеріали по геології и гидрогеології Нижнього Дніпра“, вип. 1, вид. УНДГІ ВУАН. Тепер ми наве-

демо лише його формулу в її кінцевому вигляді, а також зробимо деякі практичні зауваження.

Для обчислення коефіцієнта фільтрації Козлов бере дані випробування породи водопоглинальним шурфом тоді, коли витрати з нього усталились. В таких умовах можна вважати, що під шурфом у зоні, звогченій інфільтраційними водами шурфа й окресленій депресійною кривою, відбуватиметься усталений гравітаційний рух води (так приймає й Біндеман, виводячи свою формулу).

У своїй формулі Козлов не бере на увагу окремі величини стовпа води в шурфі, вважаючи, що значення його досить незначне, якщо порівняти його з грубиною породи від дна шурфа до підстелюючого водонепроникливого шару або рівня водовмісного горизонту. Для визначення гідралічного градієнта, як і в формулах, наприклад, Дюпюї, для свердловин довершеного типу, він користується показниками рівня води в контрольних свердловинах. Його формула має вигляд:

1) Для випадку з одною контрольною свердловиною на промені:

$$K = \frac{q \left(\ln \frac{r_1}{r_0} \right)^2}{\pi(H - h_1)^2} \quad (3)$$

2) Для випадку з двома контрольними на промені:

$$K = \frac{q \left(\ln \frac{r_2}{r_1} \right)^2}{\pi(h_1 - h_2)^2}, \quad (4)$$

де: K — коефіцієнт фільтрації, q — усталені витрати води з шурфа за одиницю часу, r_0 — радіус шурфа, r_1, r_2 — віддаль від центра шурфа до центрів контрольних свердловин, H — висота від рівня води в шурфі до водонепроникливого шару, h_1, h_2 — висота від рівня води в контрольних свердловинах до водонепроникливого шару.

У тому випадку, коли водопоглинальну свердловину випробовують при відносно незначній висоті в ній стовпа води, то вона аналогічна водопоглинальному шурфові, тільки опущеному на відповідну глибину; тому й коефіцієнт фільтрації породи при таких умовах можна обчислювати за вищенаведеними формулами.

Коли ж водопоглинальну свердловину опущено на чималу глибину і стовп води в ній досить значний (приблизно дорівнює половині grubини шару породи від рівня води до підстелюючої породи або рівня водовмісного горизонту), тоді умови інфільтрації води будуть відмінні від

вищеописаного випадку і для обчислення K треба застосувати іншу формулу.

Козлов уважає, що при таких умовах депресійна крива біля водопоглинальної свердловини, при умові однакових витрат води, повинна зайняти певне проміжне місце між депресійними кривими, що були б в одному випадку біля водопоглинального шурфа, а в другому — біля водопоглинальної свердловини довшеного типу (опущеної до водонепроникливого шару). Через це, на його думку, значення K можна вирахувати наближено як середнє логарифмічне між значеннями коефіцієнтів фільтрації за даними водопоглинального шурфа та водопоглинальної свердловини довшеного типу, а саме:

$$\ln k = \frac{\ln k_1 + \ln k_2}{2},$$

де: k_1 — коефіцієнт водопоглинального шурфа,

k_2 — коефіцієнт водопоглинальної свердловини довшеного типу.

Підставляючи в цей вираз відповідні значення k_1 і k_2 , за формулами Козлова та Дюпюї, одержимо:

1) для випадку з одною контрольною свердловиною на промені:

$$k = \frac{Q \ln \frac{r_1}{r_0}}{H - h_1} \sqrt{\frac{\ln \frac{r_1}{r_0}}{H^2 - h_1^2}}, \quad (5)$$

2) для випадку з двома контрольними на промені:

$$k = \frac{Q \ln \frac{r_1}{r_0}}{H - h} \sqrt{\frac{\ln \frac{r_1}{r_0}}{H^2 - h_1^2}} \quad (6)$$

(значення літер — як для попередніх формул Козлова).

Переходячи до деяких практичних зауважень щодо наведених формул Козлова, треба насамперед з'ясувати, в яких випадках можна їх застосовувати. Справа в тому, що при неглибокому заляганні від поверхні ґрунтових вод або шару водонепроникливої породи, усталення витрат води з шурфа збігається із з'єднанням інфільтраційного потоку з ґрунтовим потоком або утворенням штучного ґрунтового потоку на водонепроникливому шарі. Саме для такого випадку й виведено формулу Козлова.

При глибокому заляганні водовмісного горизонту або водонепроникливої породи усталення витрат води з шурфа відбувається раніш від часу, який, теоретично міркуючи, потрібен для того, щоб інфільтраційні води просякли в ґрун-

тові; наприклад, при глибині залягання ґрунтових вод до 20 м від поверхні, витрати води ставали більш-менш постійні на 8—10 день.

Отже доводиться погодитись з припущенням Біндемана, що усталення витрат води з шурфа показує тільки на те, що горизонтальна вісь еліпсоїда звогчування під шурфом (або взагалі водопоглинальною вирібкою) досягла свого максимального розміру і еліпсоїд після цього збільшується лише вниз.

У такому випадку формулу Козлова можна застосовувати однаково для випадків і неглибокого, і глибокого залягання ґрунтових вод від поверхні. Очевидно, верхня межа зони звогчування після усталення витрат не змінюватиме помітно своїх контурів; тимчасом, за формулою Козлова (для водопоглинальних шурфів), має значення лише різниця висот стовпів води над водонепроникливим шаром у шурфі та в контрольних свердловинах $(H - h_1)^2$ або $(h_1 - h_2)^2$.

З цього ж таки випливає й друге зауваження, а саме — що висоту цих стовпів води зовсім не потрібно відраховувати від водонепроникливого шару; це можна робити від поверхні ґрунтового потоку і навіть певної умовної горизонталі нижче дна шурфа.

Цієї поправки не можна заводити до другої формули — Козлова-Дюпюї, для якої неодмінно треба брати висоти стовпів води до водонепроникливого шару або принаймні до поверхні ґрунтового потоку в тих випадках, коли трудно визначити глибину підстелюючої його породи. Можна гадати, що для випадків, коли можна застосовувати цю формулу, інфільтраційний потік при усталенні витрат води з свердловини здебільшого буде вже з'єднаний з ґрунтовим потоком.

Межі зон звогчення біля водопоглинальних вирібок, як депресійні криві

У наведених формулах Козлова фігурують величини стовпів води як у шурфі, так і в контрольних свердловинах (H , h_1 , h_2 і т. ін.), але вище ми вже говорили, що при наливанні води в шурфи та свердловини майже ніколи не вдається утворити штучного водовмісного горизонту під водопоглинальною вирібкою. Замість цього під останньою утворюється лише зона відповідного звогчення, що її окреслює певна межа, яку ми умовно будемо називати депресійною кривою.

На основі практичних даних, що їх ми почасти подамо нижче, вважаємо, що зазначені величини h_1 , h_2 та ін. можна відраховувати від поверхні ґрунтового потоку, водонепро-

никливого шару або умовної горизонталі (згідно з вищеведеним) до поверхні депресійної кривої.

Тут постає питання про технічні способи визначення межі цієї зони. Для шурфів можна рекомендувати роботи горизонтальної траншеї на відповідну глибину від поверхні, наприклад, при заглибленні шурфа на 1—1,5 м від поверхні траншею слід зробити до глибини 3—4 м. Довжина траншеї від шурфа визначається кутом спаду верхньої межі зони звогчення.

Положення цієї зони здебільшого буває виразно помітне навіть на око, особливо на другий день після викопання трашней, коли стінки останньої трохи підсохнуть. Коли на око цю межу точно встановити трудно, треба звернутися до визначення вогкості зразків породи на різних глибинах від поверхні, починаючи трохи вище від орієнтовної депресійної кривої: різке збільшення вогкості породи покаже нам точно початок зони звогчення.

Нижче подано депресійні криві для ряду шурфів (с. Іванівка, шурфи 1, 2 і ін. — див. рис. 9 в кінці статті), встановлені методом розкопування, почасти з визначення вогкості окремих зразків породи. Коли породу випробовується водопоглинальною свердловиною на більш-менш значній глибині від поверхні, визначення зони звогчення наведеним методом натрапляє на технічні перешкоди. Тому ми вжили для таких випадків метод визначення депресійної кривої за даними вогкості зразків породи з відповідних глибин.

Для цього до початку випробовання породи водопоглинальною свердловиною визначається за перетином біля свердловини вогкість порід від рівня, що перевищує запроектований рівень води у свердловині на 1,0 м, до можливо найбільшої глибини. Висота 1,0 м вище рівня води в свердловині приймається через те, що, як показали наші досліди, за час роботи свердловини капілярне піднесення над рівнем води останньої навіть для глинястих порід не перевищує 50—70 см. Проби для визначення вогкості відбирають не рідше, як через 25—30 см, звичайним свердлом або, краще, відкритим стаканом.

Після закінчення роботи свердловини при даному в ній рівні води повторно визначається вогкість породи, починаючи з тої ж глибини на певних віддальх від спробної свердловини — напр. 0,5; 1,0; 2,0 м (аналогічно контрольним свердловинам). Крім того, на достатній відстані від цієї свердловини, але за можливими межами її депресійної кривої робиться контрольне визначення вогкості зразків породи, починаючи від зазначеної глибини (1,0 м над рівнем води в спробній свердловині) по змозі до найбільших глибин.

Порівнення всіх цих даних дозволяє досить точно провести межу збільшення вогкості, тобто межу депресійної кривої. Нижче, в таблиці 6, ми подаємо приблизні дані для такого визначення, при чому для спрощення значення вогкостей подано для глибини через 0,5 м (взято з практичного прикладу).

Таблиця 6

Розподіл вогкостей в породі до і після випробовання її водопоглинальною свердловиною

Глибина в м	Вогкість зразків у %				
	Спробна свердловина до випробов.	I контр.	II контр.	III контр.	IV контр.
0,5	11,8	11,3	11,0	10,9	11,0
1,0	12,0	11,8	12,0	11,5	11,5
1,5	14,0	14,0	13,5	14,0	13,5
2,0	14,5	14,0	14,0	14,0	14,5
2,5	16,0	15,0	16,0	15,0	15,8
3,0	13,0	19,0	14,0	12,5	12,0
3,5	14,0	21,0	19,5	13,0	12,0
4,0	16,0	21,0	22,0	14,0	15,0
4,5	16,0	—	23,0	14,5	15,3
5,0	16,0	—	—	16,0	16,0
5,5	17,2	—	—	18,0	16,5
6,0	17,5	—	—	19,0	16,5

Контрольні свердловини I, II, III є в межах депресійної кривої через 1,0; 2,0 та 4,0 м від спробної, а контрольна IV поза межами депресійної кривої. За наведеними даними можна визначити, що депресійна крива проходить:

На віддалі 1,0 м від шурфа на глибину від поверхні	2,75 м
" 2,0 " " " " "	3,25 "
" 4,0 " " " " "	5,00 "

Можна заперечувати, що депресійна крива обмежує зону безпосереднього звогчення гравітаційними водами, які інфільтруються з шурфа, а зону звогчення породи капілярними водами над вищеназваною. Але, капілярне піднесення на близьких точках у тій самій породі за однаковий відтинок часу буде майже тотожним, і тому лінія капілярного піднесення повинна йти паралельно до кривої, що обмежує зону гравітаційного звогчення породи під водопоглинальною вирібкою.

Вище було сказано, що для формули К. Козлова має значення лише висотна різниця між окремими точками названої депресійної кривої, а тому не грає ніякої ролі той факт, чи враховуємо ми цю різницю за межею капілярного чи гравітаційного звогчення.

Щодо формули Козлова-Дюпюї, то для неї величини H , h_1 , h_2 , відраховуються від депресійної кривої до

поверхні ґрунтових вод або водонепроникливого шару. Ці величини здебільшого чималі, щоб збільшення їх на висоту капілярного піднесення (яке практично за час дослідів не перевищує 50—70 см навіть для глинястих порід) не відбувалося на відповідних обчисленнях коефіцієнта фільтрації випробовуваних порід.

Практичне застосування формул Козлова та Козлова-Дюпюї

Після цих коротеньких зауважень наведемо дані щодо практичного застосування описаних формул Козлова й Козлова-Дюпюї. Провадячи польові роботи над визначенням водопроникливості порід у природних умовах методом водопоглинальних шурфів (описані роботи в с. Іванівці) та свердловин (роботи над дослідженням нижнього Дніпра УНДГІ), для значної частини водопоглинальних вирібок визначили їх депресійні криві (див. рис. 10 в кінці статті). Це дає змогу обчислити коефіцієнти фільтрації випробованих порід за зазначеними формулами і перевірити точність останніх, порівнявши коефіцієнти фільтрації порід за цими формулами з лабораторним визначенням. Останні можуть бути достатнім практичним критерієм, бо польовими дослідженнями випробувано переважно більшеш однорідні породи.

Методику випробовування порід водопоглинальними шурфами описано вище; нам лишається сказати кілька слів про практичне проведення методу водопоглинальних свердловин. Останні проби робили відкритим стаканом, оскільки звичайне свердлування полірує стінки вирібки і перешкоджає воді вільно інфільтрувати в породу. Стінки свердловин обмежували металевими дірчатими трубами без сіток для глинястих порід і обтягнутими сітками для пісків. Рівень води в свердловинах підтримували за допомогою згаданого поплавця системи Жарія. Воду в свердловину наливали доти, поки не одержували стабільних витрат на одиницю часу.

Дані про витрати води з водопоглинальних шурфів по окремих днях подано вище в таблиці 1; такі ж дані про водопоглинальні свердловини зібрано з таблиці 7.

Далі в таблиці 8 подано обчислення коефіцієнтів фільтрації порід за даними випробовування їх водопоглинальними вирібками. Для шурфів та свердловин з порівнюючим великим стовпом води ці коефіцієнти обчислювали за формулою Козлова (4), для водопоглинальних свердловин з чималим стовпом води — за формулою Козлова-Дюпюї (6), нарешті, для одного випадку (свердловина 10/12 у с. Ново-Київці) за формулою Дюпюї (2), оскільки свердловину було опущено майже до водонепроникливого шару;

в цьому випадку замість величин рівнів води у контрольних свердловинах використано дані про положення депресійної кривої.

В таблиці 8 подано всі дані, потрібні для обчислення K за зазначеними формулами, а також наведено для порівняння величини коефіцієнтів фільтрації, визначених у лабораторії.

Треба сказати, що, як показали порівняльні підрахунки, коефіцієнт фільтрації точніше можна обчислити за формулами для випадків двох контрольних свердловин на промені, при цьому останні слід брати на деякій відстані від шурфа чи свердловини (1—1,5 м), оскільки біля самої водопоглинальної вирібки спад депресійної кривої різкий і нехарактерний.

Основні фізично-механічні властивості порід, що їх треба знати для визначення типу порід, порівняння їх з іншими тощо частково вже подано в таблиці 2 для першої серії польових дослідів у с. Іванівці. Для решти порід району Нижнього Дніпра ці дані зібрано в таблиці 9.

Як видно з наведених у таблиці 8—9 даних, водопоглинальними свердловинами ми випробували породи на глибину від 2,0 до 10 м (рахуючи до дна свердловини); щодо шурфів, то їх глибина не перевищувала 2,0 м від поверхні. Досліджені породи належать виключно до четвертинних; більшість з них леси та лесуваті суглинки; піскуваті досліджені породи являють собою алювіальні відклади, сучасні на р. Вовчий (с. Іванівка, шурфи №№ 4, 5) або давні—на терасі р. Дніпра (с. Ново-Київка, свердл. № 10/12).

Порівнюючи наведені в цих таблицях значення визначених лабораторно та обчислених за формулами коефіцієнтів фільтрації порід, бачимо, що вони досить близькі між собою. Для водопоглинальних шурфів (лише для одного випадку—с. Іванівка, шурф № 3-б) лабораторний коефіцієнт фільтрації породи вдвоє перевищує значення того ж коефіцієнта, обчисленого за формулою Козлова. Розходження всіх інших випадків значно менші.

Для водопоглинальних свердловин точність обчислення коефіцієнтів фільтрації порід за формулами Дюпюї та Козлова трохи менша, проте й для цих випадків зазначені коефіцієнти фільтрації одного порядку з визначеними лабораторно.

Значне розходження зазначених коефіцієнтів (Тимирязівка, свердл. 17/20) пояснюється, очевидно, тим, що зразок для лабораторного визначення коефіцієнта фільтрації було взято вище тої глибини, на якій випробовувала породу водопоглинальна свердловина. Отже, оцінюючи точність обчислення коефіцієнта фільтрації порід за даними водопоглинальних свердловин за формулами Козлова, не слід брати на увагу цього випадку.

Щоденні витрати води

Загальні відомості: № вирібки, місце, випробовувана порода, глибина свердловини, висота стовпа води та глибина до водовмісного горизонту		1
Св. № 1/3, с. Павлівка, працювала в лесі; глїб. 2,60 м, стовп води 1,50 м, глїб. до водовм. горизонту 21,85 м	1. Заг. витрата в $см^3/доб$. . . 2. Перес. витр. в $см^3/год$. . . 3. Витр. в $см^3/год$ на $1 см^2$. . .	196 992 8 208 1,08
Св. № 6/8, с. Чаплинка, працювала в лесі; глїб. 2,75 м, стовп води 1,70 м, глїб. до водовмісн. горизонту 19,85 м	1. Заг. витр. в $см^3/доб$. . . 2. Перес. витр. в $см^3/год$. . . 3. Витр. в $см^3/год$ на $1 см^2$. . .	526 000 20 231 7,52
Св. № 10/12, с. Ново-Київка, працювала в піску; глїб. св. 4,75 м, стовп води 2,00 м, глїб. до водонепрон. породи 4,75 м	1. Заг. витр. в $см^3/доб$. . . 2. Перес. витр. в $см^3/год$. . . 3. Витр. в $см^3/год$ на $1 см^2$. . .	482 500 20 101 3,51
Св. № 12/14, с. Ново-Київка, працювала в суглинку; глїб. св. 9,70 м, стовп води 4,20 м, глїб. до водовм. горизонту 14,0 м	1. Заг. витр. в $см^3/доб$. . . 2. Перес. витр. в $см^3/год$. . . 3. Витр. в $см^3/год$ на $1 см^2$. . .	176 200 7 342 1,02
Св. № 15/18, с. Тимирязівка, працювала в лесі; глїб. св. 10 м, стовп води 7 м, глїб. до водонепрон. шару 17,0 м	1. Заг. витр. в $см^3/доб$. . . 2. Перес. витр. в $см^3/год$. . . 3. Витр. в $см^3/год$	756 400 31 517 1,64
Св. № 17/20, с. Тимирязівка, працювала в лесі; глїб. св. 3,50 м, стовп води 2,00 м, глїб. до водонепрон. шару 17,0 м	1. Заг. витр. $см^3/доб$ 2. Перес. витр. $см^3/год$ 3. Витр. в $см^3/год$ на $1 см^2$. . .	472 700 19 696 3,61

Таблиця 7

з водопоглинальних свердловин

Дні досліду

2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
149 300	114 900	122 400	149 600	141 000	108 580	78 920	70 664	69 761	69 832
6 221	4 788	5 100	6 221	5 875	4 524,1	3 288	2 944	2 907	2 910
1,38	1,05	1,12	1,37	1,29	0,98	0,72	0,65	0,64	0,64
675 500	644 800	677 800	597 300	471 000	421 000	438 000	477 000	429 000	409 000
28 146	28 033	29 604	24 889	19 625	17 542	18 250	19 875	17 875	17 042
5,30	5,28	5,57	4,68	3,50	3,28	3,41	3,75	3,36	3,20
298 700	297 600	337 100	252 500	185 100	191 100	168 727	—	—	—
12 445	12 400	14 046	10 521	7 718	7 962	7 030	—	—	—
2,17	2,16	2,45	1,83	1,33	1,39	1,22	—	—	—
179 500	114 800	114 500	120 000	121 000	118 000				
7 474	4 783	4 778	5 000	5 041	4 910	До цього свердловина працювала 10 день при меншому стовпі води в свердловині			
1,04	0,66	0,66	0,68	0,70	0,67				
578 300	543 000	497 000	451 000	364 000	385 300	407 000	444 100	—	—
24 513	22 625	20 706	18 798	15 192	16 054	17 000	18 546	—	—
1,27	1,12	1,07	0,90	0,78	0,83	0,89	0,97	—	—
408 500	245 300	260 800	255 000	263 000	262 000	293 000	284 000	—	—
17 033	10 221	10 866	10 578	10 932	10 914	12 204	11 830	—	—
3,17	1,91	2,02	1,95	2,03	2,03	2,27	2,20	—	—

Таблиця 8

Порівнення коефіцієнтів фільтрації, обчислених за формулами, лабораторно визначеними

Місцевість та № виробки	Випробовувана порода	Глибина до водоєм. гор. або водопр. шару (м)	Затяжна витрата вод. на 1 см^2 водн. водн. у $\text{см}^3/\text{год}$	h_1 (у м)	h_2 (у м)	r_1 (у м)	r_2 (у м)	К за формулами		К в лаборатор. визначен.
								К в $\text{см}^3/\text{год}$	За чіною форм.	
с. Іванівка, ш. № 1	Суглинок	7,0	9 000	6,65	2,30	1,13	2,13	0,0061	Козлова	—
" " № 3-а	Лесуватий суглин.	4,5	35 300	3,70	2,00	2,25	4,15	0,1464	"	0,115
" " № 3-б	"	4,8	4 800	4,80	2,65	1,20	3,10	0,060	"	0,115
" " № 4	Пісок, глина	2,5	29 700	2,25	1,20	0,75	2,20	0,972	"	0,720
" " № 5	Пісок з гумусом	—	34 200	1,50	0,50	0,90	1,80	2,05	"	3,60
с. Павлівка, ш. № 1	Лес	21,85	18 000	20,61	19,41	1,71	2,64	0,0792	"	0,054
" " св. № 1/3	"	21,85	2 910	18,95	17,89	1,0	2,0	0,0144	"	0,054
с. Чап'їнка, св. № 6/8	"	19,85	18 000	17,87	15,61	1,50	1,90	0,00618	"	0,0184
с. Ново-Кіївка, св. № 10/12	Пісок	4,75	7 500	2,16	1,46	1,00	2,00	0,0659	Дюпюї	0,133
" " св. № 12/14	Алювіальний суглинок	14,00	5 000	8,38	6,94	1,00	2,00	0,0131	Дюпюї-Козлова	0,005 0,0075
с. Тимирязівка, св. № 15/18	Лес	17,0	18 540	4,58	13,86	1,10	1,60	0,0282	"	0,0176
" " св. № 17/20	"	17,0	12 000	16,12	14,50	0,30	1,5	0,0623	"	—

Таблиця 9

Фізично-механічні властивості випробуваних порід району Дніпра

Тип породи, номер і місце вірібки	Питома вага	Обсягова вага	Порозність в %	Мехсклад у %, фракції в мм				К в см/год за лаборат. визначенням	
				1,0 — 0,25	0,25 — 0,05	0,05 — 0,01	0,01 — 0,005		0,005 — 0,001
Лес, Павлівка, св. № 1/3	2,66	1,39	47	—	15,5	25,3	39,5	19,7	0,054
Лес, Чаплинка, св. № 6/8, г. либ. 2,0 м	2,59	1,50	42	—	2,0	28,5	28,0	7,2	0,0342
Теж, глиб. 3,8 м	2,63	1,48	44	—	11,5	32,5	26,0	5,4	0,0184
Глинястий пісок, Ново-Київка, св. № 10/12	2,62	1,72	37	10,5	71,5	8,5	1,8	5,7	0,133
Суглинок, св. № 12/14 з глиб. 5,0 м	2,64	1,30	50	4,9	47,5	10,4	16,5	7,2	0,00756
Теж, з глиб. 7,0 м	2,70	1,34	51	2,3	38,2	14,4	14,1	4,5	0,00576
Теж, з глиб. 9,0 м	2,63	1,30	50	0,8	15,5	24,2	22,0	4,6	0,0050
Лес, Тимирязівка, с., № 17/20	2,63	1,41	47	—	3,8	26,2	25,5	6,8	0,0176

Висновки

Всі наведені вище матеріали стверджують, що метод водопоглинальних вирібок цілком придатний для визначення водопроникливості порід у природних умовах. При неглибокому заляганні від поверхні порід, що їх треба випробувати, можна закладати водопоглинальні шурфи, в інших випадках слід використовувати водопоглинальні свердловини.

Витрата води з водопоглинальних вирібок на одиницю змоченої площі залежить від багатьох факторів, вплив яких ми не можемо ще точно врахувати; через це водопроникливість випробовуваних порід краще характеризувати стандартною величиною коефіцієнта фільтрації. Проте, не відкидається можливість у деяких випадках визначити загальну водопроникливість породи даними витрат води на одиницю змоченої площі спробої вирібки, — але тоді слід користуватися методом водопоглинальних шурфів з захисною водною оболонкою.

Для обчислення коефіцієнта фільтрації за даними водопоглинальних вирібок можна використовувати формули Козлова, Дюпюї та Козлова-Дюпюї, залежно від умов досліду. Ці формули вимагають лише визначення депресійної кривої, що не викликає значних технічних труднощів, і разом з тим дають досить точні щодо практичних вимог наслідки.

Проведені нами досліди показують, що формули Дюпюї-Козлова та Дюпюї можна використовувати з майже однаковою точністю як при близькому заляганні ґрунтових вод до поверхні, так і тоді, коли інфільтраційні води утворюють ще підвищений горизонт біля водопоглинальної вирібки. Разом з тим усі вказані формули однаково можна застосовувати і для глинястих, і для піскуватих порід.

Безперечно, дальше розроблення зазначених методів водопоглинальних вирібок дозволить удосконалити їх, специфікувавши методику досліджень та уточнивши залежність між даними польового випробовання й дійсним коефіцієнтом фільтрації порід для різних своєрідних умов: порід різного типу, різних умов залягання їх тощо.

В. Г. Ткачук

Водопоглощающие шурфы и скважины, как метод определения водопроницаемости рыхлых пород в природных условиях

Резюме

Предлагаемая статья является попыткой подойти к анализу движения вод, создаваемого в условиях исследования водопроницаемости рыхлых неводоносных пород методом

водопоглощающих шурфов и скважин. Вначале дается краткое описание принципов метода водопоглощающих шурфов и обзор главнейшей литературы по этому вопросу. Затем приводится описание первой серии полевых опытов по исследованию водопроницаемости пород разного типа водопоглощающими шурфами. Последние были устроены по методу Болдырева в виде квадратных колодцев, вырытых в породах, подлежащих исследованию, с постоянной подачей в них воды до определенного уровня (рис. 1). Кроме того, под шурфами были поставлены контрольные воронки для перехвата просачивающейся под шурфом воды (по способу, предложенному Бутовым) (рис. 3). Параллельно с полевыми работами было произведено лабораторное исследование физико-механических свойств пород. Данные последнего с параллельными данными об установившихся расходах на единицу смоченной площади шурфов и величинами коэффициентов фильтрации, высчитанными по данным просачивания через контрольные лейки (для тех шурфов, где последнее имело место), приведены в таблице 2.

Анализ указанных данных позволил автору сделать следующее предположение: под водопоглощающими шурфами нет стопроцентного заполнения пор породы водою, а, следовательно, имеет место не фильтрационное движение воды, а просачивание гравитационной воды, сопровождаемое сильным капиллярным движением вверх и в стороны от зоны смачивания породы гравитационной водою (рис. 5).

Последнее обстоятельство является причиной того, что расходы воды из водопоглощающих шурфов являются несравнимо большими по сравнению с фильтрационными свойствами тех же пород.

Проверка влажности пород под водопоглощающими шурфами как для песчаных, так и для суглинистых грунтов вполне подтвердила указанное предположение автора. Таким образом, на основании данных водопоглощающих шурфов при принятом до сих пор способе их оборудования ни в коем случае нельзя делать выводов о фильтрационных свойствах исследуемых грунтов, так как общий расход воды на единицу смоченной площади шурфа является результатом совместного влияния движения вод разных типов: гравитационного, капиллярного и т. д.

В настоящее время мы не имеем возможности количественно учесть размер движения воды того или иного типа под водопоглощающим шурфом; вследствие этого общая характеристика водных свойств какой-либо породы по данным исследования ее несколькими водопоглощающими шурфами может быть совершенно отличной при разных размерах шурфов, различной их форме, изменениях в них уровней воды. Поэтому для того, чтобы метод водопогло-

щающих шурфов мог иметь действительно практическое значение, автор предлагает изменить оборудование водопоглощающего шурфа с тем, чтобы, по возможности, уменьшить влияние капиллярного и молекулярного движения на центральную часть колонны породы, по которой идет просачивание из шурфа, а главное — сделать его более или менее равномерным. Для этого автор предлагает (рис. 6) разбить шурф на две части, причем, хотя вода подается в обе части, представление о водопроницаемости породы выводится на основании данных расходов только по внутреннему сегменту, поскольку на расходы внешнего оказывают большое влияние капиллярное и молекулярное движение.

В таблице 5 приводятся данные второй серии полевых опытов над двумя параллельными шурфами, оборудованными по предложенному способу. Они подтверждают, что при достаточной площади, так называемой внешней защитительной оболочки, влияние капиллярного движения на внутреннюю часть смоченной зоны под шурфом становится более равномерным, а кроме того значительно ослабляется.

Однако, и при таком оборудовании шурфа расходы воды на единицу смоченной площади центральной его части превышают значения коэффициента фильтрации исследованной породы; поэтому такими данными можно характеризовать только общую водопроницаемость породы.

Далее автор предлагает для опробования водопроницаемости пород, лежащих на значительной глубине от поверхности, метод водопоглощающих скважин с наливанием в них воды; поскольку метод нагнетания требует сложного технического оборудования и не может быть применим в широких размерах, кратко указывается методика проведения исследований таким способом.

Характеристика водопроницаемости породы расходом воды из водопоглощающей установки в единицу времени на единицу смоченной площади является недостаточной. Она зависит от многих трудно учитываемых факторов и потому не дает сравнимых результатов. Желательным является определение для исследуемой породы стандартных величин, характеризующих ее водопроницаемость, как например коэффициента фильтрации пород.

Для определения последнего по данным исследования пород методом водопоглощающих шурфов и скважин автор приводит формулу, математически обоснованную инж. Козловым, имеющую следующий вид:

$$K = \frac{Q \left(\ln \frac{r_2}{r_1} \right)^2}{\pi (h_1 - h_2)},$$

где K — коэффициент фильтрации, r_1 , r_2 — расстояния до центра контрольных скважин от центра опытной установки, h_1 — высота воды в контрольных скважинах от водоносного горизонта или водопроницаемой породы.

Кроме того, по мнению автора, в отдельных случаях возможно применение формул Дюпюи для неводоносных пород и комбинированной вышеприведенной — Козлова и Дюпюи.

Под водопоглощающими шурфами и скважинами, с наливанием воды в последние, очень редко образовывается искусственный водоносный горизонт; поэтому в значениях h_1 , h_2 и т. д. принимаются высоты над водоносным горизонтом и водопроницаемым слоем не уровней воды в контрольных скважинах, а верхней границы зоны увлажнения инфильтрационными водами.

В таблицах 7 и 8 приводятся данные о расходах воды из ряда водопоглощающих скважин и коэффициентах фильтрации опробованных пород, как подсчитанных по вышеуказанным формулам, так и определенных лабораторным путем. Сравнение последних указывает, что подсчет K по этим формулам дает практически достаточно точные результаты.

Приведенные материалы позволяют автору сделать вывод о том, что применение методов водопоглощающих шурфов и скважин с дальнейшим подсчетом коэффициентов фильтрации опробованных пород по приведенным формулам является вполне рациональным, дающим достаточно точное представление о фильтрационных свойствах пород и потому заслуживающим широкого практического применения.

V. Tkatschuk

Wasseraufnahmefähige Schürfe und Löcher als Methode zur Feststellung wasserdurchlässiger Bodenarten

Zusammenfassung

Vorliegende Abhandlung ist ein Versuch die Wasserbewegung zu analysieren, die bei der Untersuchung der Wasserdurchlässigkeit der Bodenarten an Hand der Methode wasseraufnahmefähiger Schürfe erzeugt wird. Am Anfang wird eine kurze Beschreibung der Grundlagen der Methode wasseraufnahmefähiger Schürfe und eine Übersicht der hauptsächlichsten Literatur über diese Frage gegeben. Darauf folgt die Beschreibung der ersten Serie von Feldversuchen zur Erforschung der Wasserdurchlässigkeit der Bodenarten durch wasseraufnahmefähige Schürfe verschiedener Typen. Letztere waren nach

der Methode von Boldyrew in Form von quadratförmigen in den zu erforschenden Bodenarten gegrabenen Brunnen errichtet und hatten einen beständigen Zufluss von Wasser bis zu einem bestimmten Wasserstand (Abb. 1). Ausserdem waren unter den Schürfen Kontroll-Trichter aufgestellt zum Abfangen des unter den Schürfen durchsickernden Wassers (nach der von Butow vorgeschlagenen Methode) (Abb. 3). Gleichzeitig mit den Feldversuchen wurde eine Laboratoriumsuntersuchung der physikalisch-mechanischen Eigenschaften der Bodenarten vorgenommen. Die Angaben der letzteren mit den parallelen Daten über die festgestellten Wassermengen auf eine Einheit der befeuchteten Schurffläche und den Grössen der Durchlässigkeitszahl, welche nach den Angaben des Durchsickers durch Kontroll-Trichter (für diejenigen Schürfe, wo ein Durchsickern stattfand) berechnet wurden, sind in Tab. 2 angeführt.

Die Analyse der erwähnten Angaben gestattet dem Verfasser folgende Voraussetzung zu machen: unter den wasseraufnahmefähigen Schürfen gibt es kein 100%-iges Anfüllen der Bodenartenporen mit Wasser, es findet folglich keine Filtrationsbewegung des Wassers statt, sondern ein Durchsickern des Gravitationswassers, welches von einer starken kapillaren Bewegung aufwärts und seitwärts von der Zone der Befeuchtung der Bodenart durch Gravitationswasser begleitet wird (Abb. 5).

Der letzte Umstand scheint die Ursache dessen zu sein, dass der Verbrauch der Wassermengen aus den wasseraufnahmefähigen Schürfen ein bedeutend grösserer ist im Vergleich zu den Filtrationseigenschaften derselben Bodenarten.

Die Kontrolle der Feuchtigkeit der Bodenarten unter den wasseraufnahmefähigen Schürfen sowohl für Sand- als auch Lehmböden bestätigte vollauf die erwähnte Voraussetzung des Verfassers. Auf diese Weise kann man auf Grund der Daten wasseraufnahmefähiger Schürfe bei der bisher angenommenen Methode der Bearbeitung auf keinen Fall über die Filtrationseigenschaften der untersuchten Böden Schlüsse ziehen, da der gesamte Wasserverbrauch (allgemeine Wassermenge) auf die Einheit der angefeuchteten Schurffläche das Resultat einer gemeinsamen Einwirkung der Wasserbewegung verschiedener Typen ist: Gravitations-, kapillaren u. s. w.

Gegenwärtig haben wir keine Möglichkeit quantitativ den Masstab der Wasserbewegung dieser oder jener Art unter den wasseraufnahmefähigen Schürfen zu berechnen; infolgedessen kann die allgemeine Charakteristik der Wasserdurchlässigkeit irgend einer Bodenart nach den Untersuchungsangaben mehrerer wasseraufnahmefähiger Schürfe ganz verschieden sein bei verschiedenen Grössen der Schürfe, ihrer verschiedenen Form und den Veränderungen der Wasserstände in ihnen. Deshalb, damit die Methode der wasseraufnahmefähigen

higen Schürfe eine tatsächliche praktische Bedeutung haben könnte, schlägt der Autor vor, die Errichtung wasseraufnahmefähiger Schürfe derart umzuändern, dass der Einfluss der kapillaren und molekularen Bewegung auf den zentralen Teil der Säule der Bodenart, längs welcher die Durchsickerung aus dem Schurf vor sich geht, nach Möglichkeit verringert würde, um dieselbe mehr oder weniger gleichmässig zu gestalten. Hierfür schlägt der Verfasser vor (Zeichnung № 6), den Schurf in zwei Segmente zu teilen, wobei, obgleich das Wasser in beide Segmente gegeben wird, die Vorstellung über die Wasserdurchlässigkeit der Bodenarten auf Grund der Wassermengenangaben nur nach dem inneren Segment gefolgert wird, insofern als auf die Wassermengen des äusseren Segments die kapillare und molekulare Bewegung eine grosse Einwirkung ausübt.

In Tab. 5 werden Angaben der zweiten Serie der Feldversuche von zwei parallelen Schürfen angeführt, die nach der vorgeschlagenen Methode eingerichtet sind. Sie bestätigen, dass bei einer genügenden Fläche, der sogenannten äusseren Schutzhülle, der Einfluss der kapillaren Bewegung auf den inneren Teil der befeuchteten Zone unter dem Schurf sich gleichmässiger gestaltet, und ausserdem bedeutend geschwächt wird. Allein, auch bei solcher Einrichtung des Schurfes übertreffen die Wassermengen pro Einheit der benetzten Fläche seines zentralen Teiles die Werte des Filtrationskoeffizienten der untersuchten Bodenart; deswegen kann man mit solchen Angaben nur die allgemeine Wasserdurchlässigkeit des Gesteins charakterisieren.

Im weiteren schlägt der Verfasser zur Erprobung der Wasserdurchlässigkeit der Gesteine, die sich auf einer bedeutenden Tiefe von der Oberfläche befinden, die Methode der wasseraufnahmefähigen Löcher vor, mit Wassereinguss in dieselben; sofern die Druckmethode eine komplizierte technische Einrichtung erfordert und nicht in grossem Masstabe angewandt werden kann, wird hier kurz die Methodik der Durchführung der Untersuchungen auf diese Weise angegeben.

Die Charakteristik der Wasserdurchlässigkeit der Gesteine durch die Wassermenge aus der wasseraufnahmefähigen Einrichtung in der Zeiteinheit pro Einheit der benetzten Fläche ist ungenügend; sie hängt von vielen schwer zu berechnenden Faktoren ab und gibt deswegen keine vergleichbaren Resultate. Wünschenswert ist die Feststellung von Standard-Grössen für die zu untersuchende Bodenart, welche ihre Wasserdurchlässigkeit, wie z. B. den Filtrationskoeffizient charakterisiert.

Zur Feststellung des letzteren nach den Angaben der Untersuchung der Bodenarten mit Hilfe der Methode wasseraufnahmefähiger Schürfe und Löcher führt der Autor eine Formel

an, die von Ing. Koslow mathematisch begründet ist und folgendes Aussehen hat:

$$K = \frac{Q \left(\ln \frac{r_2}{r_1} \right)^2}{\pi (h_1 - h_2)^2},$$

wo: K —der Filtrationskoeffizient ist, r_1, r_2 —die Entfernungen vom Zentrum der Kontrolllöcher bis zum Zentrum der Versuchseinrichtung, h_1, h_2 —der Wasserstand in den Kontrollöchern vom wasserführenden Horizont oder der wasserundurchlässigen Bodenart.

Ausserdem ist nach der Meinung des Verfassers in einzelnen Fällen die Anwendung der Formeln von Dupui für nicht-wasserführende Bodenarten möglich, sowie der kombinierten obenerwähnten Formel von Koslow und Dupui.

Unter den wasseraufsaugenden Schürfen und Löchern mit Wassereinguss in letzteren bildet sich sehr selten ein künstlicher wasserführender Horizont; deswegen werden in den Werten h_1, h_2 u. s. w. die Höhen über dem wasserführenden Horizont und der wasserundurchlässigen Schicht nicht der Wasserstände in den Kontrollöchern gegeben, sondern der oberen Grenze der Benetzungszone durch Infiltrationsgewässer.

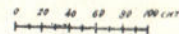
In den Tabellen 7 und 8 werden Angaben angeführt über die Wassermengen aus einer Reihe von wasseraufsaugenden Löchern und über die Filtrationskoeffizienten der erprobten Bodenarten, sowohl derjenigen, die nach den obenangegebenen Formeln berechnet wurden, wie auch derjenigen, die auf dem Wege der Laboratoriumsuntersuchungen festgestellt wurden. Der Vergleich der letzteren zeigt an, dass die Berechnung von K nach diesen Formeln praktisch ziemlich genaue Resultate ergibt.

Die angeführten Materialien gestatten dem Verfasser die Schlussfolgerung zu ziehen, dass die Anwendung der Methoden wasseraufsaugender Schürfe und Löcher mit einer weiteren Berechnung der Filtrationskoeffizienten der erprobten Bodenarten nach den erwähnten Formeln vollauf rationell ist. Sie gibt eine genügend genaue Vorstellung über die Filtrationseigenschaften der Bodenarten und verdient in grossem Masse praktisch angewendet zu werden.

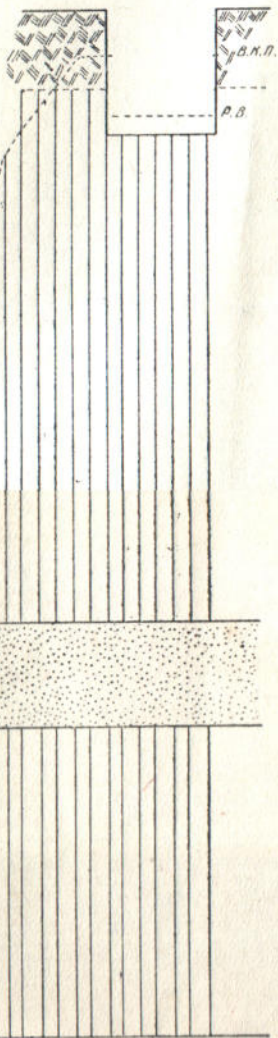
Межі поширення вогкості біля водопоглинальних шурфів

(депресійні криві)

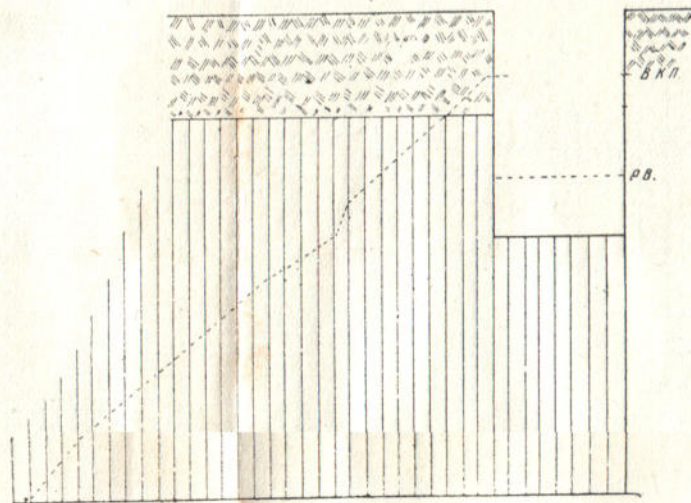
Масштаб: Горизонт. } 5:100
Вертик. }



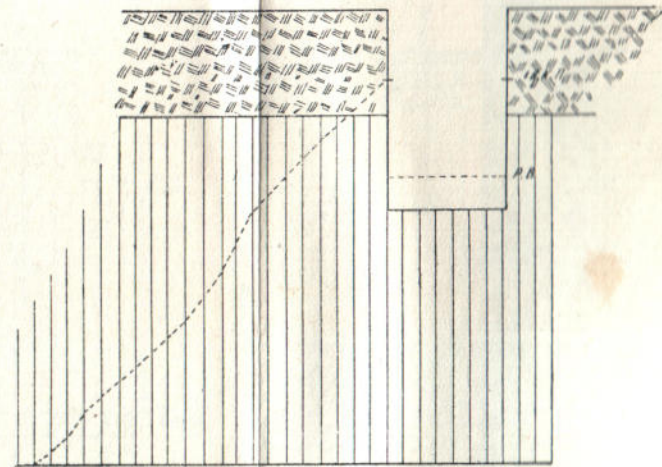
с. Іванівка, шурф № 1



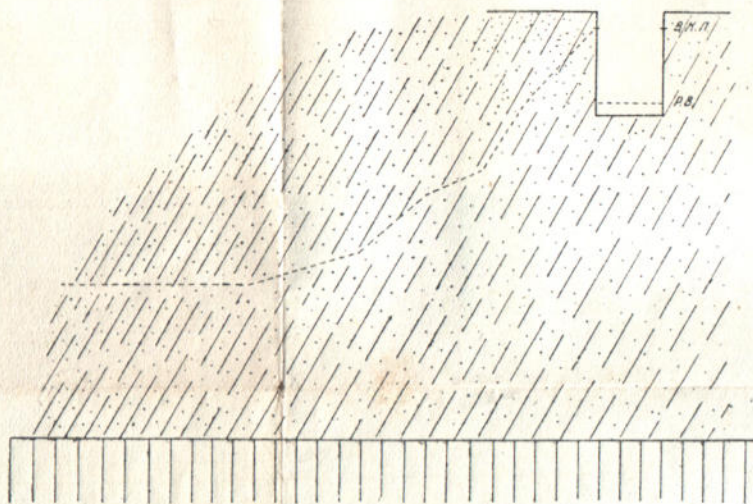
с. Іванівка, шурф № 3-а



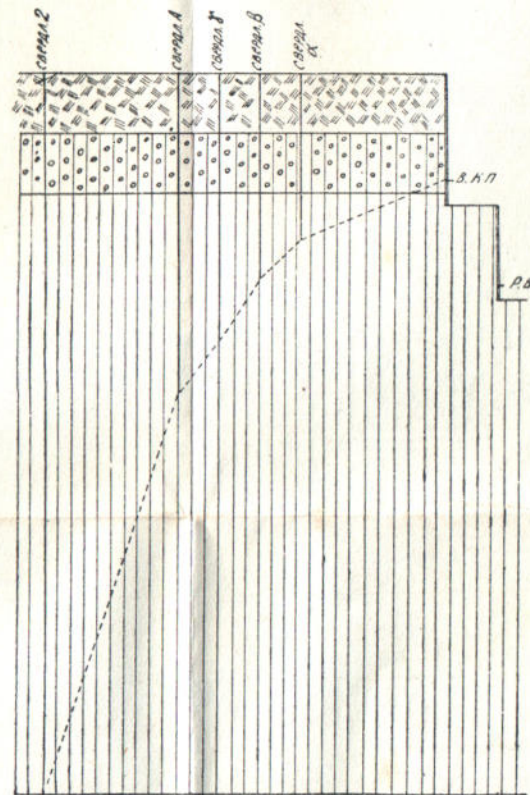
с. Іванівка, шурф № 3-б



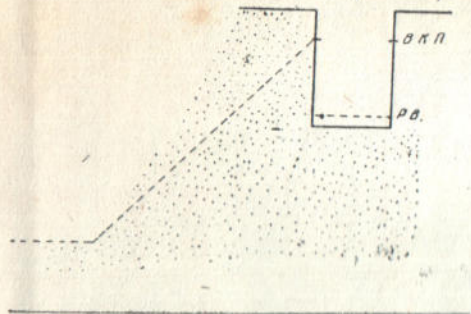
с. Іванівка, шурф № 4



с. Павлівка, шурф № 1



с. Іванівка, шурф № 5



Умовні знаки

- Грунт
- Лес та лесуват. суглинки
- Пісок
- Глинястий пісок
- Карбонатний горизонт
- В.К.П. Височина капляроного піднесення
- Р.В. Рівень води в шурфах

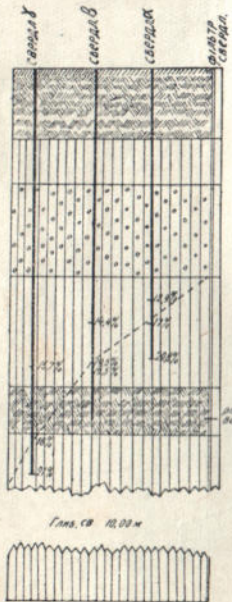
Межі поширення вогкості біля водопоглинальних свердловин.



Тимирязівка

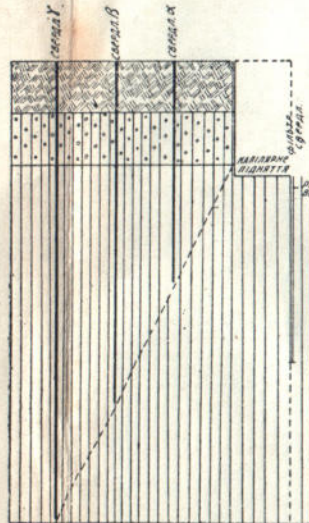
Свердл. № 15/18

Свердл. № 17/20



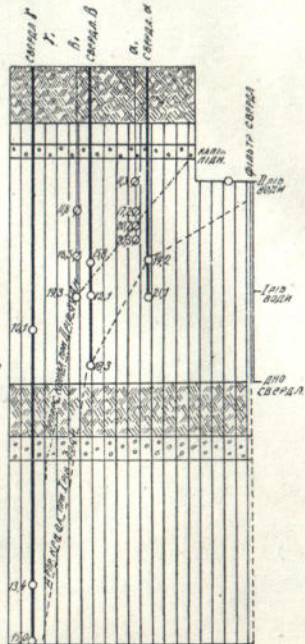
Павлівка

Свердл. № 1/3



Чаплінка

Свердл. № 6/8



Ново-Київка

Свердл. № 10/12

Свердл. № 12/14

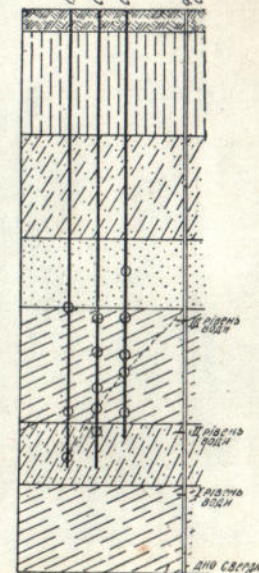
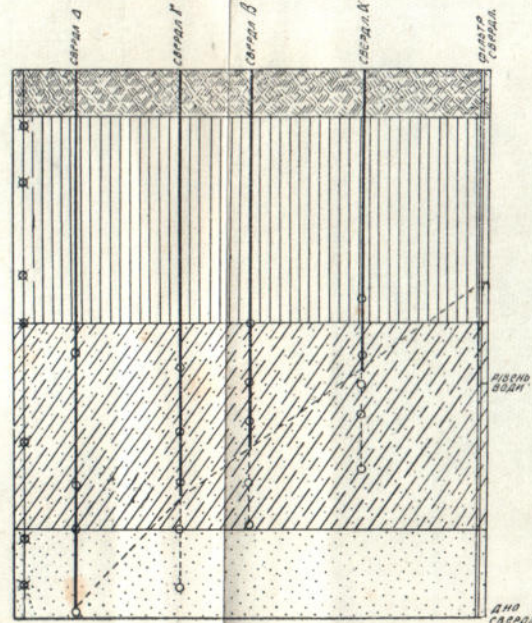


Рис. 10.