

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО СВЯЗИ

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ТЕЛЕКОММУНИКАЦИЙ ИМ. ПРОФ. М.А. БОНЧ-БРУЕВИЧА» (СПбГУТ)**

Кафедра экологии и безопасности жизнедеятельности

**ПРАКТИЧЕСКИЕ РАБОТЫ ПО ДИСЦИПЛИНЕ
«ГИДРОГЕОЛОГИЯ»**

**Направление подготовки 05.03.06 Экология и природопользование
Разработчик: доцент, к.г.-м.н. Гильдеева И.М.**

**Санкт-Петербург
2015**

ЗАДАНИЕ 1. ВЛАЖНОСТЬ ПЕСЧАНЫХ ПОРОД

Влажностью песчаных пород называется количество воды, содержащееся в порах, трещинах и пустотах породы.

Влажность воздушно-сухого образца породы называется гигроскопической влажностью.

Количество воды в породе может быть отражено весовой влажностью, объемной влажностью или коэффициентом влагонасыщения. В настоящее время широко используется весовой метод определения влажности по ГОСТу 5180-64. Весовой влажностью песчаных пород называется процентное отношение веса воды в породе к весу породы, высушенной при температуре 105 °С до постоянного веса.

1.1. Определение влажности песков весовым способом

Ход определения:

1. Взвесить бюкс с крышкой, (g_0).
2. Взять пробу исследуемой породы примерно 20 г, поместить в бюкс и закрыть крышкой.
3. Бюкс с пробой взвесить (g_1), поставить в сушильный шкаф, открыть крышку, постепенно поднять температуру до 100–105 °С и выдержать образец в шкафу при этой температуре в течение 3-х часов.
4. Закрывать в сушильном шкафу бюкс с высушенной породой крышкой, перенести в эксикатор, на дне которого насыпан хлористый кальций или другое вещество, поглощающее пары воды, и охлаждать в течение 30–40 мин.
5. Взвесить охлажденный бюкс с породой, а затем поставить его в сушильный шкаф для дополнительного высушивания в течение 1 часа.
6. Повторять операции, указанные в пп. 4 и 5, до тех пор, пока разница между двумя последующими взвешиваниями станет не более 0,02 г. За результат взвешивания принять наименьший вес бюкса с породой (g_2).
7. Вычислить влажность песка по формуле:

$$W = \frac{g_1 - g_2}{g_2 - g_0} \cdot 100 \%, \text{ где}$$

g_1 – вес бюкса с крышкой и породой до высушивания,

g_2 – то же после высушивания, г;

g_0 – вес пустого бюкса с крышкой, г.

8. Все взвешивания производить на технических весах с точностью до 0,01 г. Результаты вычисления выражать с точностью до 0,01.
9. Для каждого образца породы произвести не менее двух определений весовой влажности и взять среднее арифметическое из результатов этих определений.
10. Данные анализа и вычислений занести в журнал (таблица 1).

Таблица 1

Журнал определения влажности песков весовым способом

№ бюкса	Вес бюкса, г	Вес бюкса с влажным песком, г	Вес бюкса сухим песком, г		Влажность песка в %
			1	2	
	g_0	g_1	g_2	g_2	$W = \frac{g_1 - g_2}{g_2 - g_0} \cdot 100 \%$
30	24,25	44,25	44,15	44,10	0,7

Необходимое оборудование: бюксы с хорошо притертыми крышками, весы технические, электрические, эксикатор, сушильный шкаф с термометром.

ЗАДАНИЕ 2. ФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПЕСЧАНЫХ ПОРОД

К физическим свойствам песчаных пород относятся минералогическая плотность, объемная масса и пористость.

Минералогической плотностью породы называется отношение веса минерального скелета породы к занимаемому объему в г/см^3 .

Минералогическая плотность песков тесно связана с минералогическим составом и зависит от удельного веса минералов, слагающих породу.

Для песчано-глинистых пород ее величина изменяется от 2,5 до 2,8 г/см^3 .

Различают определение минералогической плотности незасоленных и засоленных пород.

2.1. Определение минералогической плотности незасоленных пород

Подготовка образца:

1. Образец воздушно-сухой породы размельчить в фарфоровой ступке резиновым пестиком. Методом квартования отобрать пробу весом 100–200 г и просеять ее сквозь сито с диаметром отверстий 1 мм. Остаток на сите раздробить и соединить с породой, прошедшей через сито.
2. Пробу тщательно перемешать и взять навеску для определения минералогической плотности из расчета 15 г на каждые 100 см^3 емкости мерной колбы (пикнометра), в которой будет производиться определение минералогической плотности.
3. Из той же средней пробы взять две навески для определения гигроскопической влажности.

Ход определения:

1. Взвесить на технических весах хорошо высушенный пикнометр (обозначить его вес g).
2. Осторожно высыпать через воронку взятую навеску в пикнометр, определить вес пикнометра с породой (g_1), чистый вес воздушно-сухой породы ($g = g_1 - g'$) и вес абсолютно сухой породы, внести поправку на гигроскопическую влажность по формуле:

$$g_0 = 1 + 0,01W,$$

где W – гигроскопическая влажность, %.

3. Налить в пикнометр на 1/2 его объема дистиллированной воды, несколько раз взболтать и прокипятить породу с водой на песчаной бане для удаления адсорбированного воздуха и расчленения агрегатов. Песок кипятить – 30 мин. При кипячении не допускать разбрызгивания сус-пензии. При образовании пены снижать температуру бани.
4. Пикнометр слегка остудить, долить дистиллированной водой, кипяченной в течение 1 часа, до мерной черты и окончательно охладить в ванне с водой до постоянной температуры (20 °С). Температуру измерить термометром с точностью до 0,5 °С.
5. Установить нижний край мениска суспензии строго на уровне мерной черты пикнометра, добавляя по каплям дистиллированную воду. Тщательно протереть пикнометр снаружи фильтровальной бумагой и взвесить (g_2).
6. Содержимое пикнометра вылить, пикнометр тщательно промыть, налить до черты кипяченной дистиллированной воды, имеющей температуру 20 °С, и взвесить (g_3).
7. На основании полученных данных произвести расчеты минералогической плотности по формуле:

$$\gamma = \frac{\text{вес скелета породы}}{\text{вес воды в объеме скелета породы}} = \frac{g_0}{g_0 + g_3 - g_2 \gamma_0},$$

где γ_0 – минералогическая плотность воды.

8. Определение производить параллельно в двух пикнометрах. Расхождения между двумя параллельными определениями должно быть не более 0,02 г/см³. Вычислить среднее арифметическое из полученных результатов.
9. Данные определения занести в журнал (таблица 2).

Журнал определения минералогической плотности

№	№ образца пикнометра	Вес пикнометра, г	Вес пикнометра с породой, г	Вес пикнометра с воздушно-сухой породой, г	Гигроскопическая влажность, %	Вес породы с поправкой на гигроскопическую влажность, г	Вес пикнометра с породой в вакууме, г	Вес пикнометра с породой, г	$\gamma = \frac{g_0}{g_3 - g_2}$ $g_{\text{минералогическая плотность}} + g - g$ Г/см ³
		g _г	g ₁	g	W	g ₀	g ₂	g ₃	
1	27	31,10	45,67	14,57	2,0	14,29	139,25	130,70	$\frac{g_0}{g_3 - g_2}$ 03 2 2,50

Необходимое оборудование : весы технические электрические, два пикнометра емкостью не менее 100 см³, сушильный шкаф, фарфоровая ступка с резиновым пестиком, сито с отверстиями 2 мм, песчаная баня, термометр, бюксы.

2.2. Определение минералогической плотности засоленных пород

Определение минералогической плотности засоленных пород производится аналогичным способом, как и незасоленных. В качестве жидкости необходимо применять аполлярную жидкость (керосин, толуол), так как вода растворяет соленую часть породы. При этом жидкость и порода предварительно вакуумируются для удаления воздуха.

2.3. Определение объемной массы

Объемной массой породы называется отношение веса исследуемого образца породы при естественной влажности и пористости к его объему.

Численно объемная масса породы равна весу единицы объема породы в естественном состоянии.

Величина объемной массы песчано-глинистых пород изменяется от 1,30 до 2,40 г/см³.

Для песков с нарушенной структурой объемная масса определяется при двух состояниях: при рыхлом и плотном сложении.

2.4. Определение объемной массы при рыхлом сложении песков *Ход*

определения:

1. Взвесить бюкс объемом примерно 50 см^3 (все взвешивания и вычисления производить с точностью $0,01 \text{ г}$).
2. Заполнить бюкс воздушно-сухим песком. Для этого взять воронку с длинным носиком и вставить носик в бюкс, наполнить воронку песком. Затем, придерживая бюкс левой рукой, правой медленно поднимать воронку, чтобы песок высыпался из нее (поднимать носик воронки выше $1-2 \text{ см}$ от поверхности песка не допускается). Избыток песка удалить линейкой, чтобы поверхность его была на одном уровне с краями бьюкса.
3. Бюкс с песком взвесить.
4. Определить объем бьюкса, используя мерный сосуд и воду.
5. Вычислить объемную массу песка в рыхлом состоянии (т. е. минимальное значение объемной массы δ_{\min}) по формуле:

$$\delta_{\min} = \frac{g_1 - g_0}{V} \text{ г/см}^3, \text{ где}$$

g_0 – вес пустого бьюкса, г;

g_1 – вес бьюкса с песком, г;

V – объем бьюкса, см^3 .

6. Определение выполнять не менее трех раз и принять среднее значение из двух меньших данных.
7. Данные опытов занести в журнал (таблица 3).

2. 5. Определение объемной массы при плотном сложении песков *Ход*

определения:

1. Взвесить сухой металлический бюкс емкостью не менее 200 см^3 , диаметром не менее 5 см (все взвешивания и вычисления производить с точностью до $0,01 \text{ г}$).
2. Заполнить бюкс воздушно-сухим песком. Песок загружать небольшими порциями при постоянном уплотнении путем постукивания о боковые стенки бьюкса деревянной трамбовкой.
3. Взвесить бюкс, заполненный песком.
4. Определить объем бьюкса, используя мерный сосуд и воду.
5. Вычислить объемную массу песка в плотном состоянии (т. е. максимальное значение объемной массы δ_{\max}) по формуле:

$$\delta_{\max} = \frac{g_1 - g_0}{V} \text{ г/см}^3, \text{ где}$$

g_0 – вес пустого бьюкса, г;

g_1 – вес бьюкса с песком, г;

V – объем бьюкса, см^3 .

6. Определение произвести с трехкратным контролем.
7. Данные определения занести в журнал (таблица 3).

Таблица 3

Журнал для определения объемной массы песков

№ опыта	Рыхлое сложение				
	Вес пусто- го бьюкса, г	Вес бьюкса с песком, г	Объем бьюкса, см ³	Объемная масса, г/см ³	
				По дан- ным опыта	Среднее значение
	g ₀	g ₁	V	δ _{min}	δ _{min}
1	13,9	114,35	71	1,41	
2	15,3	119,5	70	1,48	1,44
Плотное сложение					
				δ _{max}	δ _{max}
1	13,9	149,98	71	1,89	
2	15,3	132,8	70	1,65	1,72

Необходимое оборудование: металлический бьюкс объемом 250 см³, металлический бьюкс объемом около 50 см³, весы технические электрические, воронки, линейка, деревянная трамбовка.

2.6. Определение пористости песчаных пород

Под пористостью породы понимают суммарный объем всех пор в единице объема породы независимо от их заполнения и взаимосвязи. Численно пористость определяется процентным отношением объема пор в породе ко всему объему породы. Величина пористости песчано-глинистых пород лежит в пределах от 25 до 50 %. В практике гидрогеологических работ часто используют коэффициент приведенной пористости (ε), под которым подразумевают отношение объема всех пор к объему, занимаемому минеральным скелетом, выраженное в долях единицы.

$$\varepsilon = \frac{V_n}{V_s}$$

где V_n – объем всех пор, см³;

V_s – объем скелета породы, см³.

В лабораторных условиях производят определение пористости для песчаных пород метода насыщения пор водой.

Ход определения:

1. Сухой чистый бьюкс объемом около 50 см³ для песков рыхлого сложения и 250 см³ для песков плотного сложения наполнить исследуемым

образцом. Подравнять поверхность песка линейкой вровень с краями бьюкса.

2. Произвести насыщение песка в бьюксе водой. Насыщение вести из бюретки или из мерного цилиндра. Конец насыщения регистрируется появлением блестящей на свету тонкой водной пленки. Количество воды, израсходованное на насыщение песка, будет соответствовать объему его пор V_n .
3. Освободить бьюкс от песка и замерить объем пустого бьюкса с помощью мерного цилиндра, объем бьюкса будет соответствовать объему породы V . Формула для расчета:

$$n = \frac{V_n}{V} \cdot 100 \% .$$

4. Произвести контрольное измерение пористости.
5. Все данные опытов занести в журнал (таблица 4).

Таблица 4

Журнал определения пористости песков

№ опыта	Объем воды пошедший на насыщение песка, см ³	Объем бьюкса, см ³	Пористость, %
	V_n	V	$n = \frac{V_n}{V} \cdot 100 \%$
1	23	71	32,8
2	22,5	71	31,6

Пористость глинистых пород можно рассчитать по данным минералогической плотности и объемной массы по формуле:

$$\left(\frac{\delta}{\gamma} \right) \cdot 100 \% , \text{ где}$$

δ – объемная масса песка, г/см³;

γ – минералогическая плотность, г/см³.

ЗАДАНИЕ 3. ГРАНУЛОМЕТРИЧЕСКИЙ СОСТАВ ПЕСЧАНЫХ ПОРОД

3.1. Ситовой анализ

Гранулометрический состав песчаных пород определяется с помощью ситового анализа по ГОСТу 12536-67. Ситовой анализ предусматривает просеивание исследуемого образца через набор сит и взвешивание остающегося материала на каждом сите. Для просеивания песков применяется стандартный набор сит с диаметром отверстий 10; 5; 2; 1; 0,5; 0,25 и 0,1 мм.

Ход определения:

1. Поместить исследуемый песок в фарфоровую ступку и пестиком разрушить все комочки и агрегаты.
2. Взять навеску методом средней пробы в количестве 500 г.
3. Поместить навеску на верхнее сито и произвести отсев в течение 3-х минут.



Рис. 1. Комплект сит для гранулометрического анализа

4. Взвесить выделенные фракции на каждом сите, занести данные в журнал (таблица 5), произвести расчет.

Содержание каждой выделенной фракции A в процентах определяется как отношение веса фракции ($g_{фр}$) к весу воздушно-сухой навески, взятой для анализа (g):

$$A = \frac{g_{фр}}{g} \cdot 100 \% .$$

Таблица 5

Журнал ситового анализа

	Фракции песка, мм							
	>10	10–5	5–2	2–1	1–0,5	0,5–0,25	0,25–0,1	<0,1
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Вес тары (чашечки), г	30,1	30,6	31,0	30,5	31,4	30,0	81,7	31,0
Вес тары с песком, г	35,6	45,6	51,1	75,5	81,8	114,0	336,7	56,0
Вес фракции, г	5,5	15,0	20,1	45,0	50,4	84,0	225,0	25,0
Содержание фракции, %	1	3	4	9	10	17	51	5

3.2. Гранулометрический анализ пород методом отмучивания

Этот метод заключается в разделении породы на фракции по скорости падения частиц в воде, находящейся в спокойном состоянии.

Сабаниным установлена зависимость между диаметром частиц и скоростью их падения в воде, характеризующаяся следующими данными:

Диаметр частиц, мм	Скорость падения частиц в воде, мм/с
0,05	0,2 (1 см за 5 с)
0,01	0,02 (1 см за 50 с)
0,005	0,0046 (1 см за 36 мин)
0,001	0,00012 (1 см за 2 часа 24 мин)

Скорость падения частиц в воде v можно рассчитать по Стоксу:

$$v = \frac{2}{9} g r^2 \frac{\gamma - \gamma_w}{\eta} \text{ см/с, где}$$

g – ускорение силы тяжести

см/с²; r – радиус частиц, см;

γ – минералогическая плотность частиц,

г/см³; γ_w – плотность воды, г/см³;

η – коэффициент вязкости воды.

Эта формула учитывает зависимость скорости падения частиц не только от размера частиц и их минералогической плотности (т. е. минералогического состава), но и от вязкости воды, которая изменяется с изменением температуры.

Формула Стокса содержит ряд условных допущений, что делает ее приближенной.

Исследованиями установлено, что практическими пределами применимости формулы Стокса являются размеры частиц 0,1–0,0001 мм.

Наконец следует иметь в виду, что результаты анализа по методу отмучивания зависят от состава воды, употребляемой для анализа (дистиллированная вода или вода, содержащая электролиты), от объема и концентрации суспензии, а также от формы сосуда, в котором производится отмучивание.

Для получения сравнимых результатов условия производства анализа должны быть стандартными.

Метод отмучивания применяется как самостоятельный способ гранулометрического анализа песчаных и супесчаных грунтов с небольшим содержанием частиц менее 0,01 мм. При этом можно выделить фракции более 0,5 мм; 0,5–0,25 мм; 0,25–0,1 мм; 0,1–0,05 мм; 0,05–0,01 мм и менее 0,01 мм.

В общей схеме анализ методом отмучивания сводится к приготовлению суспензии (смеси воды с взвешенными в ней частицами анализируемого грунта), взмучиванию, отстаиванию и сливанию через время T , про-

шедшее от конца взмучивания слоя суспензии высотой h . При этом все частицы скорость падения, которых меньше $T \frac{h}{T}$, будут сливаться, т. е. отде-

ляться. Произведя многократное взмучивание и сливание, можно, зная соотношение между диаметром частиц и скоростью их падения в воде, выделить фракции частиц определенных размеров и определить их количественное содержание в анализируемом грунте.

Гранулометрический анализ методом отмучивания производится в приборе Сабанина.



Рис. 2. Прибор Сабанина для гранулометрического состава

Прибор Сабанина с необходимыми принадлежностями включает: гранулометрический стакан диаметром 6–8 см и высотой 10 см на котором снизу вверх нанесены деления через 1 см; стеклянный сифон 2 внутренним диаметром 8 мм и высотой 12 см с зажимом; штатив с уравнильным столиком; банки для слива суспензии; сито с отверстиями 0,25 мм; фарфоровые чашки; уровень; песочные часы; промывалку; стеклянную палку с резиновым наконечником. Кроме того, применяется сито 0,5 мм, не входящее в комплект прибора Сабанина (рис. 1).

Установка прибора:

1. Привести уравнильный столик в горизонтальное положение при помощи уравнильных винтов штатива. Горизонтальность столика проверять уровнем.
2. На уравнильный столик поставить градуированный стакан, наполненный дистиллированной водой до деления 2.
3. Заполнить сифон водой и установить его конец в стакан так, чтобы нижний край мениска, образующегося при втягивании воды сифоном, был на уровне 2 см от дна стакана; в таком положении сифон закрепить

неподвижно. Весь прибор должен быть установлен так, чтобы деление 2 находилось на уровне глаз.

4. Под другой конец сифона с зажимом установить одну из батарейных банок.

Подготовка образца:

1. Поместить анализируемый воздушно-сухой образец в фарфоровую ступку и растереть резиновым пестиком комочки и агрегаты породы.
2. Отобрать среднюю пробу, взвесить 50 г, просеять через сито 0,5 мм и определить процентное содержание фракций больше 0,5 мм (суммарное).
3. Из отсева взять способом квартования среднюю пробу весом 5–6 г. Одновременно с отбором проб для гранулометрического анализа отобрать вторую пробу (около 5 г) для определения гигроскопической влажности, третью (около 2 г) – для проверки содержания в песке воднорастворимых солей и четвертую для определения минералогической плотности песка. Все взвешивания вести на технических весах с точностью до 0,01 г.
4. Пробу, отобранную для проверки содержания воднорастворимых солей, растереть в фарфоровой чашке резиновым пестиком, добавив 4–6 мл дистиллированной воды.
5. Добавить в чашку 20 мл дистиллированной воды, прокипятить содержимое чашки в течение 5–10 мин, перелить в стеклянный цилиндр емкостью около 300 см³, добавить дистиллированной воды до 200 мл и оставить в покое на одни сутки. Если в течение суток суспензия скоагулирует (на дне пробирки выпадет рыжий осадок хлопьевидной структуры, а жидкость над осадком станет прозрачной), то это значит, что песок содержит воднорастворимые соли. В этом случае в вес средней пробы песка, взятого для гранулометрического анализа необходимо ввести поправку на вес воднорастворимых солей.
6. Для определения количества воднорастворимых солей, содержащихся в анализируемом песке, перенести пробу, отобранную для гранулометрического анализа, в воронку с бумажным фильтром и промыть дистиллированной водой до исчезновения реакции на хлор и серную кислоту. Указанные реакции проделать в отдельных пробирках. В каждую пробирку собрать около 2 мл фильтра и добавить по несколько капель в одну 10%-го раствора азотной кислоты и азотнокислого серебра (для проверки на хлор), а в другую 10%-го раствора соляной кислоты и хлористого бария (для проверки на серную кислоту).
7. Промывные воды собрать в один мерный сосуд, измерить объем, взболтать и отобрать в предварительно взвешенные стеклянные стаканчики или тигли две пробы 100 мл. Обе пробы выпарить на песчаной бане,

высушить при температуре 100–105 °С и взвесить (общий вес их обозначить g).

8. По весу сухого остатка в обоих стаканчиках определить вес воднорастворимых солей во всей пробе породы (до ее промывания) по формуле:

$$g_{BC} = 200 \frac{g_1 V}{V_1}, \text{ где}$$

g – вес воднорастворимых солей во всей пробе песка, г;

V – объем фильтра, мл;

g₁ – вес сухого остатка в 200 мл фильтра, г.

9. Полученный вес (гв.с.) является поправкой на содержание воднорастворимых солей. Эту величину надо вычесть из веса средней пробы песка после внесения в нее поправки на содержание гигроскопической воды.
10. После поправки на коагуляцию пробу породы (отмытую от воднорастворимых солей, если они содержались) перенести в колбу емкостью 250–300 мл, смывая с фильтра дистиллированной водой с помощью промывалки. Объем воды, затрачиваемой на смывание пробы в колбу, не должен превышать 200 мл. Долить в колбу 1 мл 25%-го раствора аммиака.
11. Закрыть колбу пробкой, в которую вставлена стеклянная трубка длиной 15–20 см, обернутая мокрой фильтровальной бумагой (можно также применить обратный холодильник) и поставить колбу на асбестовую сетку над газовой грелкой и кипятить в течение 1 часа, считая с момента, когда вода закипела.

Ход работы:

Определение содержания фракций 0,5–0,25 мм

1. После кипячения колбу охладить и перенести ее содержимое на сито с отверстиями 0,25 мм. Сито, предварительно смоченное, должно стоять в фарфоровой чашке емкостью около 0,5 л. Тщательно промыть водой колбу из промывалки, чтобы на стенках не осталось следов песка.
2. Перенесенный на сито песок держать в воде. Вести подводный отсев, приподнимая сито и вновь его опуская. Операцию продолжать до тех пор, пока из сита не начнет вытекать чистая вода. Полноту отсева контролировать, перенося сито в другую фарфоровую чашку и снова под-вергая песок промыванию, пока из сита не начнет вытекать чистая вода.
3. Собрать оставшиеся на сите частицы 0,5–0,25 мм, в предварительно взвешенную маленькую фарфоровую чашечку, слить после отстаивания избыток воды, выпарить на песчаной бане и перенести в термостат, сушить при температуре 100–105 °С. Высушивание породы вести до постоянного веса. Каждый раз перед взвешиванием остаток в фарфоровой чашечке охлаждать в эксикаторе в течение 15 мин.

4. Высушенный песок проверить на полноту просева сквозь сито с отверстиями 0,25 мм. Частицы, оставшиеся на сите 0,25 мм (фракция 0,5–0,25) и частицы, прошедшие сквозь сито 0,25 мм, взвесить на технических весах.

Определение фракций мельче 0,01 мм

1. Суспензию, прошедшую через сито 0,25 мм, собранную в большую фарфоровую чашку, взмутить мешалкой с резиновым наконечником и слить верхний слой жидкости без осадка по стеклянной палочке в стакан для отмучивания, наполнив его до деления 2.
2. Взмутить суспензию мешалкой, дать отстояться и по истечении 11 мин 52 с после окончания взмучивания слить при помощи сифона мутную жидкость до деления 2. Время отстаивания отмечать по секундомеру.
3. За указанный промежуток времени все частицы крупнее 0,01 мм опустятся ниже деления 8, а между делением 2 и 8 останутся частицы меньше 0,01 мм, которые сливаются через сифон в банку.
4. Долить стакан суспензией, оставшейся в фарфоровой чашке до деления 8 и повторить операцию: взмутить содержимое стакана, дать отстояться в течение 11 мин 52 с, слить до деления 2. Повторять эту операцию до тех пор, пока вода над осадком в стакане не станет прозрачной.
5. После осветления воды в стакане над осадком, дополнить стакан дистиллированной водой до деления 4 и произвести взмучивание, отстаивание и сливание до тех пор, пока после отстаивания в продолжение 3 мин 57 с слой жидкости между делениями 4 и 2 не будет свободен от взвешенных частиц песка.
6. Для проверки полноты отмучивания содержимое стакана перевести в фарфоровую чашку, растереть резиновым пестиком, перевести вновь в стакан, долить дистиллированной водой до деления 8 и взмутить. Если по прошествии 11 мин 52 с слой воды между делениями 8 и 2 не будет содержать взвешенных частиц песка, то отделение фракции мельче 0,01 мм можно считать окончанным. В противном случае, следует продолжить отмучивание до полного выделения фракций мельче 0,01 мм, которые собираются в банке под сливным концом сифона.

Определение содержания фракций 0,05–0,01 мм

1. После окончания отмучивания банку с частицами меньше 0,01 мм убрать, поставить под сливной конец сифона новую банку долить стакан водой до деления 8, взмутить и через 28 с после окончания взмучивания слить до отметки 2, отмечая время по секундомеру.
2. Повторять отмучивание до тех пор, пока после отстаивания в течение 28 с слой жидкости между делениями 8 и 2 будет свободен от взвешен-

ных частиц. По окончании отмучивания в стакане будут содержаться частицы 0,25–0,05 мм, а в слитой в банку жидкости – частицы 0,05–0,01 мм.

3. Осадок в стакане с частицами 0,25–0,05 мм собрать в предварительно взвешенный стаканчик, выпарить и высушить до постоянного веса при температуре 100–105 °С, охладить в эксикаторе и взвесить на технических весах с точностью до 0,01 г. Аналогичную операцию произвести с частицами 0,05–0,01 мм.

Обработка результатов анализа:

1. Вычислить содержание фракций в процентах от общей навески песка, взятой для анализа. Для этого определить вес пробы, взятой для анализа (g) с учетом поправок на гигроскопическую влажность (W) и содержание воднорастворимых солей (g_{BC}) $g = g_0 - g_{BC}$. Расчет произвести по формуле:

$$g = \frac{100g_1}{100 + W}, \text{ где}$$

g_1 – вес воздушно-сухой пробы, г;

g – вес пробы с учетом поправок на гигроскопическую влажность и содержание воднорастворимых солей, г.

2. Расчет содержания отдельных фракций Φ произвести по формуле:

$$\Phi = \frac{A(100 - B)}{g}, \%, \text{ где}$$

A – вес высушенной фракций, г;

B – суммарное содержание фракций, крупнее 0,5 мм, %;

g – вес пробы, взятой для анализа с учетом поправок на гигроскопическую влажность и содержание воднорастворимых солей, г.

3. Данные анализа занести в журнал (таблица 6).

Журнал гранулометрического анализа методом отмучивания

Описание образца: супесь желтая с включением кварцевых зерен диаметром до 2 мм.

Вес воздушно-сухой навески – g_1 , г.

Гигроскопическая влажность – W , г.

Растворимые соли – g_{BC} – нет.

Вес пробы с учетом поправки на гигроскопическую влажность – g_0 –5 г.

Таблица 6

	Фракции песка, г				
	>0,5	0,5–0,25	0,25–0,5	0,5–0,01	<0,1
Вес тары, г	30,6	30,6	30,6	30,6	–
Вес тары с песком, г	45,12	34,97	31,0	30,67	–
Вес фракции, г	14,52	4,37	0,4	0,07	0,16
Содержание фракции, %	24,04	60,48	5,38	1,01	3,67

4. По полученным данным построить график гранулометрического состава образца.

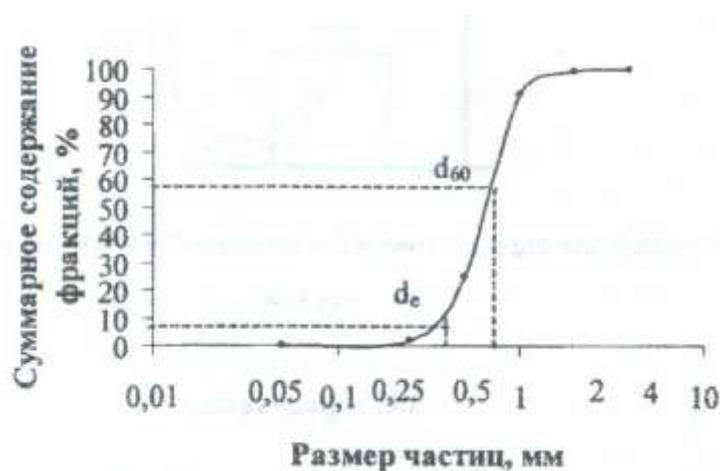


Рис. 3. Интегральная кривая гранулометрического состава песков в полулогарифмическом масштабе

ЗАДАНИЕ 4. ВЛАГОЕМКОСТЬ И ВОДООТДАЧА

4.1. Определение максимальной молекулярной влагоемкости песков

Определение максимальной молекулярной влагоемкости песков производится с помощью металлической трубы (колонна Лебедева, рис. 4), высотой 100 см и диаметром 5 см. На дно трубы впаяна конусообразная трубка с сеткой. Вся труба разделена на отсеки длиной 10 см, имеющие винтовую нарезку. При желании вся труба может быть разобрана на составные части.

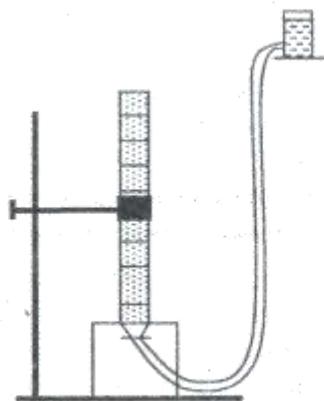


Рис. 4. Прибор для определения максимальной молекулярной влагоемкости песков

Ход определения:

1. Заполнить трубу песком с легкой трамбовкой.
2. Водонасытить песок снизу через резиновую трубку из напорного бачка.
3. Снять резиновую трубку со дна прибора и дать гравитационной воде свободно стечь. Оставить трубу в покое на сутки.
4. Взять шпателем навеску песка по 30–50 г из каждого отсека в предварительно взвешенные металлические боксы и взвесить на технических весах.
5. Высушить взятые пробы до постоянного веса в сушильном шкафу, взвесить и для каждой пробы вычислить влажность.
6. По полученным данным выделить в верхней части прибора зону постоянной влажности, в которой влажность колеблется в пределах десятых долей процентов; влажность этой зоны представляет собой максимальную молекулярную влагоемкость.
7. Все данные занести в журнал (табл. 7).

Таблица 7

Журнал определений максимальной молекулярной влагоемкости и капиллярной влагоемкости песков методом высоких колонн

Номер бокса и трубки	Влажность в %	Зона влажности	Влагоемкость в %	
			Максимальная молекулярная	Капиллярная
1	1,5			
2	1,7	Устойчивой влажности	1,8	
3	1,6			
4	1,8			
5	1,9			
6	1,7			
7	6,2	Переходная		
8	14,8	Максимальной влажности		
9	15,0			15,2
10	15,7			

4.2. Определение капиллярной влагоемкости песков

Капиллярной влагоемкостью W_k называется максимальное количество воды, удерживаемое в капиллярных порах.

Для глинистых грунтов и мелкозернистых песков капиллярная влагоемкость мало отличается от полной влагоемкости.

Определение капиллярной влагоемкости производится в колонне Лебедева (рис. 4).

1. По прекращении стока из прибора гравитационной воды, взять из нижних трех отсеков пробы песка в количестве 80–10 г каждая, в предварительно взвешенные бюксы и взвесить.
2. Высушить пробы песка в сушильном шкафу до постоянного веса.
3. Вычислить для каждой пробы влажность, которая в зоне максимальной влажности характеризует капиллярную влажность.
4. Данные опыта записать в журнал (табл. 7).

4.3. Определение полной влагоемкости песков

Полной влагоемкостью W_t называется максимальное количество воды, заключенное в породе при полном насыщении ее водой. При таком состоянии породы водой заполняются все поры и пустоты.

Определение полной влагоемкости производится следующим образом:

1. В предварительно взвешенный стеклянный или металлический стакан, объемом 200 см^3 , насыпать с легкой утрямбовкой испытуемый песок.
2. Насытить песок водой до появления на поверхности песка тонкой пленки воды и взвесить.
3. Высушить навеску в сушильном шкафу при температуре $105 \text{ }^\circ\text{C}$ до постоянного веса и вычислить влажность, которая будет равна искомому значению полной влагоемкости.

4.4. Определение водоотдачи песков

Водоотдачей называется способность песков, насыщенных водой, отдавать ее под действием силы тяжести. Для песчаных пород водоотдача численно равна разности между полной влагоемкостью и максимальной молекулярной влагоемкостью.

Водоотдачу песков можно приближенно вычислить по разности между пористостью и максимальной молекулярной влагоемкостью.

Пример. Полная влагоемкость $W_t = 30,5 \%$. Максимальная молекулярная влагоемкость $W_m = 5,0 \%$. Следовательно, водоотдача равна $V = W_t - W_m = 30,5 - 5,0 = 25,5 \%$.

В гидрогеологии пользуются понятием – «недостаток насыщения», μ . Под этим термином понимается количество воды, необходимое для полно-

го водонасыщения породы. Величина недостатка насыщения численно равна водоотдаче.

ЗАДАНИЕ 5. КАПИЛЛЯРНЫЕ СВОЙСТВА ПОРОД

Под капиллярными свойствами пород понимают высоту и скорость капиллярного поднятия воды в порах породы.

5.1. Определение высоты капиллярного поднятия

1. Взять стеклянную трубку диаметром 2–3 см и высотой 0,5–1 м (рис. 5). Нижний конец обвязать марлей и наполнить через воронку песком с легкой трамбовкой. Песок загружать в трубку так, чтобы не происходила сортировка зерен, падающих в воздухе внутри трубки. С этой целью присоединить к концу воронки резиновую трубку и вначале опустить ее на дно трубки, а затем, по мере загрузки, приподнимать кверху.

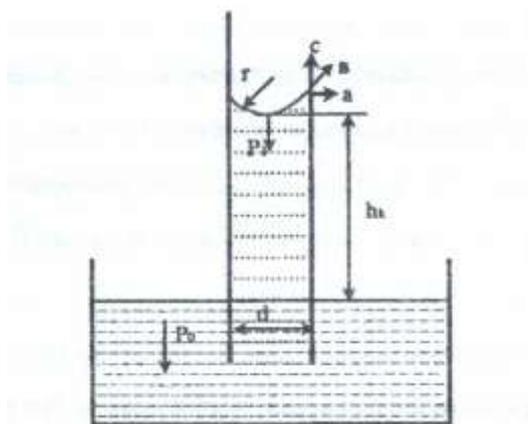


Рис. 5. Схема сил, действующих при капиллярном поднятии

r – радиус кривизны мениска (трубки), см;

h_k – высота капиллярного поднятия, см; P_t

– поверхностное давление; P_0 – давление над плоскостью;

σ – сила поверхностного натяжения;

c – вертикальная составляющая сил поверхностного натяжения; a – горизонтальная составляющая сил поверхностного натяжения

2. Укрепить трубку с песком в штативе. Опустить нижний конец ее в воду на 0,5–1 см. Этот уровень поддерживать в течение всего опыта.
3. Заметить время погружения трубки в воду и следить за скоростью поднятия воды по окраске песка, меняющейся вследствие увлажнения его поднимающейся водой. При неравномерном поднятии воды отсчеты брать по среднему уровню. Считать нужно не от погруженного конца, а от поверхности воды.

4. Положение уровня воды отмечать сначала через 5, 10, 20, 30 мин, а затем через час, полтора, два, три и сутки от начала опыта.
5. Полученные данные отмечать в журнале (таблица 8) и построить график зависимости скорости движения капиллярных вод от высоты капиллярного поднятия песков.

Таблица 8

Журнал определения высоты капиллярного поднятия в песках

Время от начала опыта	Высота поднятия воды, в мм	Скорость движения капиллярной воды $V = \frac{s}{t}$ мм/мин
5 мин	84	16,8
10 мин	171	17,1
20 мин	207	10,3
30 мин	221	7,3
1 час	240	6,0
1 час 30 мин	250	2,7
2 часа	275	2,2
3 часа	280	1,5
сутки	320	0,23

ЗАДАНИЕ 6. ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ФИЛЬТРАЦИИ ПЕСКОВ

Определение коэффициента фильтрации песков осуществляется в приборе Тима, трубке Каменского и приборе КФ-ООМ.

6.1. Определение коэффициента фильтрации песков в приборе Тима

Описание прибора:

Основной частью прибора является металлический цилиндр с глухим дном (рис. 6).

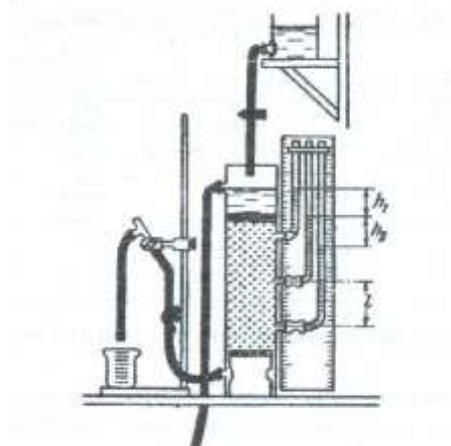


Рис. 6. Прибор Тима для определения коэффициента фильтрации

В нижнюю часть, на 5 см выше дна цилиндра, вкладывается плотная сетка. Цилиндр имеет три боковые трубки, которые соединяются со стек-лянными пьезометрами, выведенными на панель с миллиметровой шкалой.

У верхнего края цилиндра с другой стороны имеется еще одна боковая трубка с резиновым шлангом для стока воды. Такая же трубка находится в нижней части цилиндра под сеткой. К ней присоединяется резиновая труб-ка, предназначенная для насыщения песка водой и для регулирования на-пора и стока фильтрующейся воды во время опыта.

Загрузка прибора:

1. Измерить объем цилиндра до высоты наполнения песком (на 1 см выше верхнего отверстия пьезометра) и по заданной плотности, соответствующей естественной, вычислить навеску песка.
2. Навеску тщательно перемешать и засыпать небольшими порциями с легкой трамбовкой в цилиндр на сетку, следя за тем, чтобы песок рас-пределялся равномерно по сечению цилиндра. Поверх песка насыпать слой гравия толщиной 2–3 см для предохранения песка от размыва водой.
3. Капиллярно насытить песок водой через нижнюю трубку, которую для этой цели соединить с водным резервуаром. Водонасыщение производится для удаления заземленного воздуха и для заполнения всех пор водой. В процессе насыщения наблюдать за наполнением водой пьезометрических трубок и следить за тем, чтобы в их нижних концах не задерживался воздух. Для этого после появления воды в трубках удалять пузырьки воздуха, сжимая соединительные резиновые трубки. Пузырьки воздуха можно удалить, также наклоняя прибор в сторону, противоположную пьезометрическим трубкам.
4. По окончании насыщения подачу воды снизу повесить, чтобы она появилась над поверхностью песка.
5. Затем прекратить подачу воды снизу. Зажать резиновую трубку винтовым зажимом, отсоединить ее от резервуара и укрепить на штативе в лапке на уровне поверхности песка.
6. Подача воды в прибор для фильтрации осуществляется сверху через сифон, связанный с водным резервуаром. Установить с помощью винтового зажима очень слабый ток воды из резервуара, необходимый для поддержания уровня воды в приборе на одной высоте. При этом избыток воды из прибора будет стекать из верхней боковой трубки.

Ход определения:

1. Сразу после загрузки прибора и водонасыщения песка проверить работу пьезометров. Для этого поднять нижнюю боковую трубку до верха цилиндра. В этом случае уровни воды в пьезометрических трубках долж-

ны устанавливаться на одной высоте. При хорошо водопроницаемом песке это происходит быстро в течение 1–2-х минут. Отметить на миллиметровой шкале положение уровней воды в пьезометрах и принять их за первоначальные, от которых вести дальнейшие отсчеты. После этого приступить к опытам.

2. Опустить регулируемую трубку, зажатую лапкой на штативе, на несколько сантиметров ниже уровня воды в приборе, примерно, на высоту колена первого пьезометра. В результате этого в приборе создается напорный градиент, под влиянием которого осуществляется фильтрация воды с соответствующей скоростью.
3. Для измерения напорного градиента вести наблюдения за показаниями пьезометрических трубок до тех пор, пока в них не установится постоянный уровень.
4. Данные наблюдения записывать в журнал (таблица 9). Первую запись произвести тогда, когда вода в трубках займет стационарное положение (на глаз), вторую запись – через 5 минут, после первой. Если при этом уровень окажется тот же, что и при первой записи, можно приступить к измерению расхода фильтрующей воды.
5. По достижению стационарного положения уровня в пьезометрических трубках замерить расход воды в фильтрационной резиновой трубке в течение 5 минут при помощи мерного сосуда.
6. После измерения расхода воды снова записать показания пьезометрических трубок. Если их показания до и после расхода окажутся одинаковыми, то это является свидетельством стационарного уровня (положения) воды во время опыта. Если же после измерения расхода показания пьезометрических трубок изменяются, то в случае малого изменения (не более 2–3 мм) можно при вычислении взять среднее из двух показаний.
7. После замера расхода воды и взятия контрольных отсчетов по пьезометрическим трубкам, повторить опыт еще при двух напорах, величина которых регулируется положением трубки на штативе. Целесообразно начать определение с минимальных величин падения напора (1–2 см), дойти до максимально возможного в данном приборе.
8. Во время опытов одновременно со снятием отсчетов по пьезометрам производить замеры температуры воды в двух местах: в цилиндре при входе воды в песок и в мерном сосуде при выходе воды, профильтровавшийся через песок. Для расчета берется среднее арифметическое из двух замерных температур.
9. Вычислить для каждого опыта температурную поправку по формуле
$$\tau = 0,7 + 0,03t,$$
 где
t – температура воды при опыте.
10. По данным каждого опыта произвести расчет коэффициента фильтрации по формулам:

$$K = \frac{v}{J} ; v = \frac{Q}{F} ; Q = \frac{\omega}{t} ; F = \frac{\pi d^2}{4} ; J = \frac{\Delta h}{I}, \text{ где}$$

v – скорость фильтрации, см/с;

Q – расход воды, см³/сек;

F – площадь поперечного сечения прибора, см²; J – напорный градиент;

h – разность уровней, см;

ω – объем профильтровавшейся воды, см³;

I – расстояние между пьезометрическими трубками по оси прибора, см.

11. Вычисленные значения коэффициентов фильтрации привести к температуре 10 °С, используя температурную поправку (τ):

$$K_{10} = \frac{K}{\tau}, \text{ см/с}$$

12. Данные опыта занести в журнал (табл. 9).

Таблица 9

Журнал определения коэффициента фильтрации в приборе Тима

№ опыта	Кол-во профильтровавшейся воды, см ³	Время фильтрации, с	Расход, см ³ /с	Скорость фильтрации, см/с	Средняя разность уровня воды	Напорный градиент	Коэффициент фильтрации, см/с	Температурная поправка	Коэффициент фильтрации при 10°, см/с
	ω	T	$Q = \frac{\omega}{t}$	$V = \frac{Q}{F}$	Δh	$J = \frac{\Delta h}{I}$	$K = \frac{v}{J}$	τ	$K_{10} = \frac{K}{\tau}$
1	111.0	525	0,210	0,0035	2,0	0,20	0,017	1,18	0,0144

Внутренний диаметр прибора – d см.

Площадь сечения фильтрующей колонны – $F = \frac{\pi d^2}{4}$ см².

Расстояние между пьезометрическими трубками по оси прибора – b см.

Необходимое оборудование и материалы: прибор Тима, два термометра, мерный стакан, секундомер, резервуар с водой (стеклянный стакан с сифоном), деревянная трамбовка, штатив, резиновая трубка диаметром 0,8–1 см, длиной 1 м, четыре зажима.

6.2. Определение коэффициента фильтрации в трубке Каменского

Прибор состоит из стеклянной трубки (рис. 7) диаметром 2–4 см, длинной около 25 см, на которой имеется миллиметровая шкала. На нижнем конце трубки укрепляется сетка или конец завязывается марлей. На дно марли насыпается гравий, препятствующий проникновению песка.

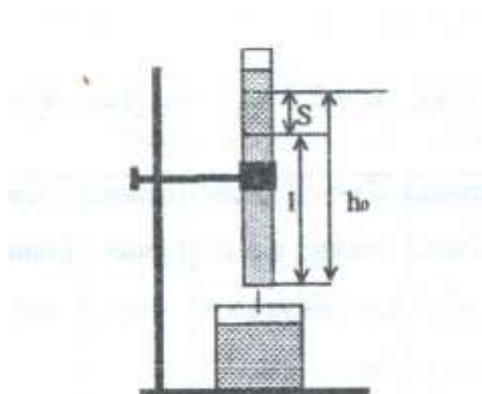


Рис. 7. Установка трубки Каменского

Загрузка прибора:

1. Укрепить трубку на штативе и осторожно небольшими порциями наполнить трубку песком до высоты 10 см, с легкой трамбовкой. По мере заполнения вести водонасыщение песка.
2. Увеличить подачу воды снизу, чтобы она образовывала над песком слой 1–2 см.
3. Насыпать над песком слой гравия толщиной 1–2 см для предохранения песка от размыва.
4. Разметить шкалу так, чтобы деление 0 находилось вверху трубки, а конец ее принять за 20.

Ход определения:

1. Поставить под трубку стакан для сбора фильтрующей воды.
2. Наполнить трубку водой сверху и произвести 3 наблюдения за падением воды в трубке. Вторично заполнить трубку водой и секундомером отметить момент прохождения мениска воды в трубке через нулевое деление, а затем через ряд последовательных делений: 3, 5, 7.
3. Для контроля вновь наполнить трубку водой и повторить наблюдения.
4. Одновременно с наблюдениями произвести замер температуры воды.
5. Для расчета коэффициента фильтрации Г.Н. Каменским предложена формула:

$$K = \frac{l}{T} \varphi \left(\frac{s}{h_0} \right), \text{ где}$$

K – коэффициент фильтрации, см/с;

h_0 – первоначальный напор, см;

S – падение уровня, см;

l – длина пути фильтрации (высота столба песка в трубке),

см; T – время фильтрации, с.

Для удобства вычислений Г.Н. Каменским составлена таблица ряда значений $\varphi \left(\frac{s}{h_0} \right)$, которыми следует пользоваться при расчете коэффициента фильтрации.

6. Данные опыта записать в журнал (таблица 10).

Таблица 10

Журнал определений коэффициента фильтрации в трубке Каменского

№ О п ы - та	Крат- кое опи- сание поро- ды	Пер- во- нач. на- пор, см	Паде- ние уров- ня	Вре- мя филь- тра- ции, сек	На- пор	Зна- чение функ- ции	Длина пути филь- тра- ции	Кoeffи- циент фильтра- ции, см/сек	Тем- пера- тура, °С	Тем- пе- ра- тур- ная поп- рав- ка	Кoeffиц. фильтрац. при 10°С, см/сек
		h^0	s	T	$\frac{s}{h_0}$	$\varphi \frac{s}{h_0}$	l	$K = \frac{L}{T} \varphi \frac{s}{h_0}$	t	τ	$K_{10} = \frac{K}{\tau}$
	Мел- ко- зер- нис- тый песок	20	5	960	0,265	0,308	10	0,0031	16	1.18	0,0026

Необходимое оборудование: стеклянная трубка длиной 30 см с миллиметровой шкалой, секундомер, термометр, штатив с лапкой, 2 стеклянных стакана.

Таблица значений функции $\varphi \frac{s}{h_0} = -\ln \left(1 - \frac{s}{h_0} \right)$

(к опытам в трубке Каменского)

$\frac{s}{h_0}$	$\varphi \frac{s}{h_0}$	Δ	$\frac{s}{h_0}$	$\varphi \frac{s}{h_0}$	Δ	$\frac{s}{h_0}$	$\varphi \frac{s}{h_0}$	Δ
0,01	0,010		0,34	0,416		0,67	1,109	
		0,010			0,015			0,030
0,02	0,020		0,35	0,431		0,68	1,139	
		0,010			0,015			0,033
0,03	0,030		0,36	0,446		0,69	1,172	
		0,010			0,016			0,032
0,04	0,040		0,37	0,462		0,70	1,204	
		0,011			0,016			0,034
0,05	0,051		0,38	0,478		0,71	1,238	
		0,011			0,016			0,035
0,06	0,062		0,39	0,494		0,72	1,273	
		0,010			0,016			0,036
0,07	0,073		0,40	0,510		0,73	1,309	
		0,010			0,017			0,038
0,08	0,083		0,41	0,527		0,74	1,347	
		0,011			0,018			0,039
0,09	0,094		0,42	0,545		0,75	1,386	
		0,011			0,017			0,041
0,10	0,105		0,43	0,562		0,76	1,427	
		0,01			0,018			0,043
0,11	0,117		0,44	0,580		0,77	1,470	
		0,011			0,018			0,044
0,12	0,128		0,45	0,598		0,78	1,514	
		0,011			0,018			0,047
0,13	0,139		0,46	0,616		0,79	1,561	
		0,012			0,019			0,048
0,14	0,151		0,47	0,635		0,80	1,609	
		0,012			0,019			0,052
0,15	0,163		0,48	0,654		0,81	1,661	
		0,011			0,019			0,054
0,16	0,174		0,49	0,673		0,82	1,715	
		0,012			0,020			
0,17	0,186		0,50	0,693		0,83	1,771	
		0,010			0,020			0,062
0,18	0,196		0,51	0,713		0,84	1,833	
		0,014			0,021			0,064

Продолжение таблицы 11

$\frac{s}{h_0}$	$\frac{S}{h_0}$	Δ	$\frac{s}{h_0}$	$\frac{S}{h_0}$		$\frac{s}{h_0}$	$\frac{S}{h_0}$	
0,19	0,210		0,52	0,734		0,85	1,897	
		0,013			0,021			0,069
0,20	0,223		0,53	0,755		0,86	1,966	
		0,013			0,022			0,074
0,21	0,236		0,54	0,777		0,87	2,040	
		0,012			0,022			0,080
0,22	0,248		0,55	0,799		0,88	2,120	
		0,013			0,022			0,087
0,23	0,261		0,56	0,821		0,89	2,207	
		0,013			0,023			0,096
0,24	0,274		0,57	0,844		0,90	2,303	
		0,014			0,024			0,105
0,25	0,288		0,58	0,868		0,91	2,408	
		0,013			0,024			0,118
0,26	0,301		0,59	0,892		0,92	2,526	
		0,014			0,025			0,133
0,27	0,315		0,60	0,916		0,93	2,659	
		0,014			0,025			0,154
0,28	0,329		0,61	0,941		0,94	2,813	
		0,017			0,026			0,183
0,29	0,346		0,62	0,967		0,95	2,996	
		0,011			0,027			0,223
0,30	0,357		0,63	0,994		0,96	3,219	
		0,014			0,028			0,298
0,31	0,371		0,64	1,022		0,97	3,507	
		0,014			0,028			0,405
0,32	0,385		0,65	1,050		0,98	3,912	
		0,015			0,029			0,693
0,33	0,400		0,66	1,079		0,99	4,605	
		0,016			0,030			

6.3. Определение коэффициента фильтрации песков в приборе КФ-ООМ

Прибор состоит из металлического стакана с заостренным краем, дна, которое надевается на нижнюю часть цилиндра, и латунной сетки, вставляемой в дно (рис. 8). На верхнюю часть цилиндра устанавливается муфта с латунной сеткой и со стеклянным мерным цилиндром (мариотто-вым сосудом), на одной стороне которого нанесена миллиметровая шкала. Телескопическое приспособление, состоящее из подставки, винта и планки с делением напорного градиента от 0 до 1.

Ход определения:

1. Заполнить металлический стакан песком с легкой трамбовкой и определить его объемный вес.
2. Произвести водонасыщение песка снизу, так, чтобы сверху выступила вода.

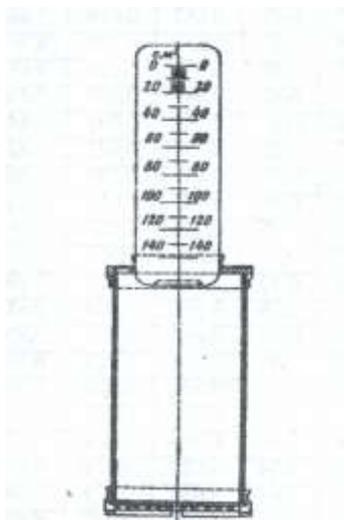


Рис. 8. Прибор КФ-ООМ (Спецгео)

3. Надеть дно на стакан прибора, поместить прибор в телескопическое приспособление и вращением винта поднять подставку до совмещения и отметки на планке напорного градиента величиной 1 с верхним краем крышки.
4. Заполнить мерный цилиндр водой, опрокинуть над трубкой и укрепить в верхней крышке, которая одевается на другой конец металлического стакана. Горлышко сосуда должно отстоять от поверхности грунта на 0,5–1 мм. В таком виде мерный цилиндр автоматически поддерживает над грунтом постоянный уровень воды в 1–2 мм. Как только, вследствие фильтрации воды, уровень понизится в мерный цилиндр прорвется пузырь воздуха, и соответствующее количество воды из него выйдет. Этим достигается постоянство градиента.
5. Заметить по шкале уровень воды в цилиндре, пустить секундомер и через определенный интервал времени (100 с) заметить второй уровень.
6. Для контроля вновь заполнить цилиндр водой и повторить наблюдения. Повторить наблюдения несколько раз и вычислить среднее значение коэффициента фильтрации.
7. Рассчитать коэффициент фильтрации по формуле:

$$K = \frac{Q}{TF} \cdot 864, \text{ где}$$

Q – объем воды профильтровавшейся за время T, см;

T – время фильтрации, с;

F – площадь поперечного сечения трубки, см²;

864 – переводной коэффициент размерности из см/с в м/сут.

Журнал определения коэффициента фильтрации песков в приборе Кф-00М
(трубка Спецгео)

№ опы-та	Описание породы	Время фильтрации, сек	Объем про-фильт-ровав-шейся воды см ³	Кoeffи-циент фильтра-ции, м/сут	Средний коэффи-циент фильтра-ции, м/сут	Тем-пе-ратура воды, °С	Темпе-ратур-ная поправ-ка	Кoeffи-циент фильтра-ции при t °С, м/сут
		T	Q	K	K ср	t	τ	$K_{10} = \frac{K}{\tau}$
1	Мелко-зерни-стый пе-сок	286	20	2,16	2,16	18	1,24	1,74

6.4. Определение коэффициента фильтрации песков по эмпирическим формулам

Вычисление коэффициента фильтрации по эмпирическим формулам основано на использовании данных гранулометрического состава песков, его пористости вязкости и других показателей, влияющих на величину ко-эффициента фильтрации.

Наиболее известными являются формулы Хазена и Сликтера.

Формула Хазена

$$K = C d \tau_e^2, \text{ м/сут, где}$$

k – коэффициент фильтрации, м/сут;

C – эмпирический коэффициент, зависящий от степени однородности и пористости песка; τ – температурная поправка;

d – эффективный или действующий диаметр, определяемый по кривой гранулометрического состава, мм.

$$C = 400 + 40(n - 26), \text{ где}$$

n – пористость, %.

Формула Хазена применима лишь для определения коэффициента фильтрации песков с действующим диаметром d_e от 0,1 до 3,0 мм и коэффициентом неоднородности $f = d_{60}/d_e < 5$.

Формула Сликтера

$$K = 88,3 d_e^2 m \frac{1}{\mu}, \text{ где}$$

k – коэффициент фильтрации, м/сут;

m – числовой коэффициент, зависящий от пористости и определяется по таблице (табл. 13);

μ – коэффициент вязкости воды, определяемый по таблице (табл. 14);

d_e – эффективный или действующий диаметр, определяемый по кривой гранулометрического состава песка, мм.

Таблица 13

Значение коэффициента m в зависимости от пористости n

n	m	n	m	n	m	n	m
0,26	0,01187	0,32	0,02352	0,38	0,04151	0,44	0,06776
0,27	0,01350	0,33	0,02601	0,39	0,04524	0,45	0,07295
0,28	0,01517	0,34	0,02878	0,40	0,04922	0,46	0,07838
0,29	0,01694	0,35	0,03163	0,41	0,05339	0,47	0,08455
0,30	0,01905	0,36	0,03473	0,42	0,05789		
0,31	0,02122	0,37	0,03808	0,43	0,06267		

Таблица 14

Изменение коэффициента вязкости μ в зависимости от температуры t

t	μ	t	μ	t	μ	t	μ
0	0,0178	9	0,0135	18	0,0105	27	0,0087
1	0,0172	10	0,0131	19	0,0103	28	0,0085
2	0,0167	11	0,0127	20	0,0101	29	0,0083
3	0,0162	12	0,0124	21	0,0099	30	0,0081
4	0,0157	13	0,0120	22	0,0097	35	0,0073
5	0,0152	14	0,0117	23	0,0095	40	0,0066
6	0,0147	15	0,0114	24	0,0093	45	0,0060
7	0,0143	16	0,0110	25	0,0091	50	0,0055
8	0,0139	17	0,0108	26	0,0089		

Формула Сликтера применима для песков, действующий диаметр которых изменяется в пределах от 0,01 до 5 мм, а коэффициент неоднородности может быть более 5.

ЗАДАНИЕ 7. ПОСТРОЕНИЕ СПЕЦИАЛЬНЫХ КАРТ

7.1. Построение карты гидроизогипс

По данным замера уровня грунтовых вод в скважинах, колодцах, источниках и шурфах можно построить карту поверхности (зеркала) грунтовых вод. Для этого необходимо иметь топографическую карту с горизонталями поверхности рельефа местности, выраженную в абсолютных отметках (рис. 9). На топографическую карту с горными выработками наносятся абсолютные отметки уровня грунтовых вод (табл. 15) и по ним методом интерполяции проводятся гидроизогипсы – это линии, соединяющие равные абсолютные отметки уровня грунтовых вод. По карте гидроизогипс можно получить необходимую для практических работ информацию.

1. Определить направление потока грунтовых вод путем проведения перпендикуляра (линии тока) между смежными гидроизогипсами (от гидроизогипсы с большей отметкой к гидроизогипсе с меньшей отметкой). Направление потока совпадает с перпендикуляром, отмечаемым на карте в виде стрелки.
2. Определить уклон потока грунтовых вод на площади любого участка. Для этого проводят прямую линию между крайними гидроизогипсами и рассчитывают разность абсолютных отметок между ними, и делят на расстояние (по нормали) между гидроизогипсами с учетом масштаба карты.
3. Характер залегания грунтовых вод и соотношение его рельефа поверхности и связью с рекой.
4. Глубину залегания уровня грунтовых вод в любой точке и на любом участке как разность абсолютных отметок земной поверхности и уровня грунтовых вод в любой точке или любом участке.

Уровень грунтовых вод подвержен колебаниям, поэтому карта гидроизогипс отражает положение зеркала грунтовых вод на определенную дату (неделя, сезон и т. д.).

Задача

На объекте бурения выявлено изменение уровня грунтовых вод.

По приведенным данным:

- а) построить карту гидроизогипс, сечение через 1 м;
- б) определить направление грунтового потока в левобережной и правобережной части реки Белая (рис. 9);
- в) вычислить средний уклон грунтового потока в левобережной и правобережной части реки Белая;
- г) установить взаимодействие поверхностного и подземного потоков;

д) построить карту глубин залегания подземных вод (интервалы 0–2 м, 2–4 м, 4–6 м, 6 и более метров).

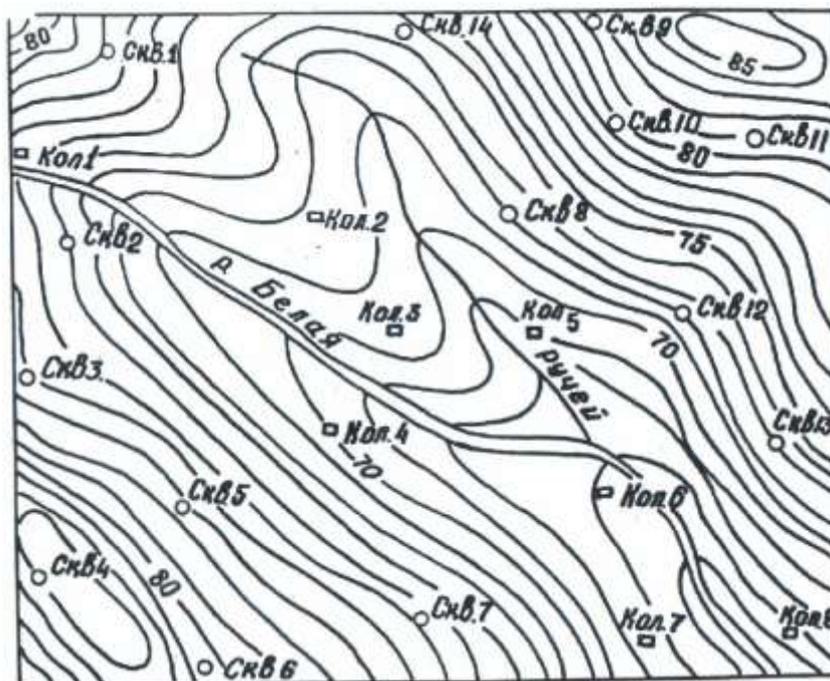


Рис. 9. Макет топографической карты, масштаб 1:1000

○ – скважины; □ – Колодцы

Таблица 15

Данные уровня грунтовых вод

№№ скважин	Абсолютная отметка устья скважины, м	Глубина залегания грунтовых вод от поверхности земли, м	Абсолютная отметка уровня воды, м
Скв. 1	78,2	3,4	
2	73,8	2,2	
3	76,1	2,3	
4	83,3	11,9	
5	77,1	6,3	
6	80,2	11,7	
7	74,4	7,4	
8	72,2	2,2	
9	81,7	7,0	
10	80,2	7,9	
11	81,2	9,2	
12	72,2	3,0	
13	73,8	7,7	

№№ скважин	Абсолютная отметка устья скважины, м	Глубина залегания грунтовых вод от поверхности земли, м	Абсолютная отметка уровня воды, м
14	74,0	0,7	
Кол. 1	75,0	0,3	
2	71,8	0,4	
3	70,5	1,0	
4	69,8	0,9	
5	68,9	1,3	
6	66,8	1,2	
7	67,4	2,5	
8	67,0	2,6	

7.2. Построение карты гидроизопьез

По данным замера пьезометрического уровня артезианских вод в пластах горных пород строят карты гидроизопьез.

Гидроизопьезами называются линии, соединяющие точки с одинаковыми абсолютными отметками пьезометрического уровня. На топографическую основу выносятся водопункты и горизонтالي земной поверхности с абсолютными отметками (рис. 10). Затем у водопункта (скважина, источник) проставляется абсолютная отметка пьезоуровня (таблица 16). Методом интерполяции проводятся гидроизопьезы. Они отражают характер пьезометрической поверхности напорного горизонта.

По карте гидроизопьез можно решить ряд задач.

1. Определить направление потока напорных вод. Для этого между смежными гидроизопьезами проводится перпендикуляр от большей гидроизопьезы к меньшей в виде стрелки.
2. Определить гидравлический уклон пласта. Он определяется по разности абсолютных отметок между смежными гидроизопьезами, разделенный на расстояние между ним и по прямой линии.
3. Выявить взаимосвязь между напорными и грунтовыми водами, и между напорными водами и поверхностными водотоками. Для этого проводят анализ изменения абсолютных отметок гидроизопьез, гидроизогипс и поверхностных вод. При взаимосвязи водных объектов абсолютные отметки будут одинаковыми.
4. Выявить зону возможного самоизлива напорных вод в скважинах при их бурении. При анализе изменения абсолютных отметок гидроизопьез выделяются одноименные с горизонталями земной поверхности. Такие места на карте фиксируются «засечками», а затем по ним проводится

контур, в пределах которого при разбурировании водного пласта вода под напором будет изливаться на земную поверхность.

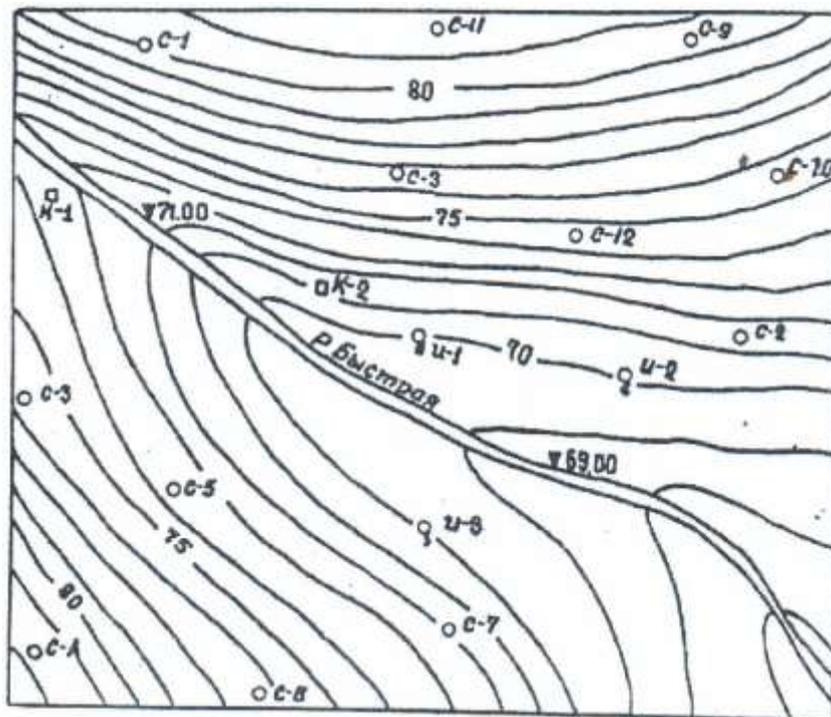


Рис. 10. Макет топографической карты, масштаба 1:1000
 о – скважины; q – источники; □ – колодцы; ▼ – водопосты

Задача

На объекте бурения отмечался самоизлив воды скважин и изменение пьезометрического уровня подземных вод. По данным бурения скважин построить карту гидроизогипс и гидроизопьез в районе р. Быстрая (сечение между изолиниями – 1 м).

Таблица 16

Данные бурения скважин

№ выработок	Абсолютная отметка устья скважин, м	Глубина залегания грунтовых вод, м	Абсолютная отметка уровня грунтовых вод, м	Глубина залегания пьезометрического уровня, м	Абсолютная отметка пьезометрического уровня, м
Скв. 1	80,0	5,76		8,72	
2	71,2	0,83		+1,22	
3	76,7	4,05		7,38	
4	81,6	6,27		13,08	
5	74,8	3,05		5,07	

№ выработок	Абсолютная отметка устья скважин, м	Глубина залегания грунтовых вод, м	Абсолютная отметка уровня грунтовых вод, м	Глубина залегания пьезометрического уровня, м	Абсолютная отметка пьезометрического уровня, м
6	77,3	4,48		8,03	
7	72,0	2,52		3,37	
8	76,5	4,67		4,85	
9	80,4	6,12		6,94	
10	75,5	3,53		2,20	
11	81,5	6,27		9,10	
12	74,3	3,03		2,21	
Кол.1	74,7	3,08		4,47	
2	71,1	0,75		0,12	

Примечание: знак + говорит о фонтанировании скважины. 7.3.

Построение гидроэкологических карт Задача

Построить карту экологической оценки подземных вод водозабора № 11 по нижеприведенным данным:

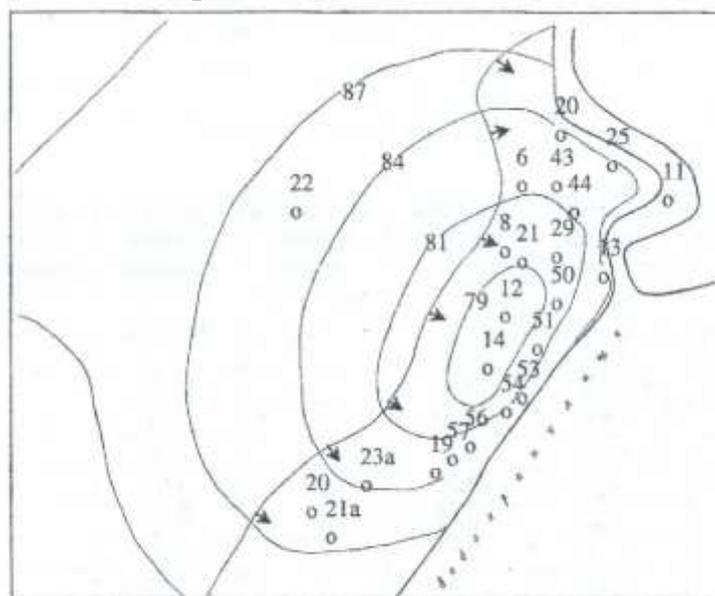
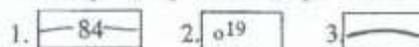


Рис. 16 Макет карты гидроизогипс берегового водозабора



1. гидроизогипса и ее абсолютная отметка; 2. скважина и ее номер;
3. контур водохранилища и реки.

а) построить карту распространения марганца (Mn^{2+}) в водах района водозабора;

б) выделить биогидрогеохимические зоны с учетом фоновой C_f , предельно допустимой (C_d), аномальной (C_a) концентрацией Mn^{2+} ;

в) провести экологическую оценку качества вод водозабора.

Вариант 1

№ п/п	№ скважины	Концентрации Mn^{2+} , мг/дм ³	Фоновая концентрация Mn^{2+} , мг/дм ³	Аномальная концентрация Mn^{2+} , мг/дм ³
1	204	–		
2	21a	0,47		
3	20a	0,7		
4	23a	0,53		
5	19	0,35		
6	57	1,47		
7	56	0,48		
8	54	0,5		
9	53	1,13		
10	14	0,48		
11	51	1,04		
12	50	0,40		
13	12	0,05		
14	13	0,20		
15	29	0,15		
16	21	0,04		
17	8	0,32		
18	44	0,07		
19	4	1,26		
20	6	1,03		
21	11	0,24		
22	25	0,55		
23	20	0,42		
24	22	0,72		
25	221	0,121		
Водохранилище				
26	У скв. 11	0,82		
27	У скв. 55	0,43		

Вариант 2

№ п/п	№ скважины	Концентрация Mn^{2+} , мг/дм ³	Фоновая концентрация Mn^{2+} , мг/дм ³	Аномальная концентрация Mn^{2+} , мг/дм ³
1	204	0,12		
2	21а	0,3		
3	20а	0,67		
4	23а	0,62		
5	19	0,40		
6	57	0,92		
7	56	0,84		
8	54	0,95		
9	53	1,28		
10	14	0,35		
11	51	0,62		
12	50	0,38		
13	12	0,5		
14	13	0,18		
15	29	0,48		
16	21	0,03		
17	8	0,58		
18	44	0,67		
19	43	0,19		
20	6а	0,04		
21	11	0,20		
22	25	0,52		
23	20	0,05		
24	22	0,22		
25	6	0,30		
26	221	0,04		
Водохранилище				
27	У скв. 11	0,80		
28	У скв. 55	0,40		

№ п/п	№ скважины	Концентрации Mn^{2+} , мг/дм ³	Фоновая концентрация Mn^{2+} , мг/дм ³	Аномальная концентрация Mn^{2+} , мг/дм ³
1	204	0,01		
2	21а	0,15		
3	20а	0,62		
4	23а	0,48		
5	19	0,37		
6	57	1,47		
7	51	0,79		
8	54	0,97		
9	53	–		
10	14	0,3		
11	51	–		
12	50	0,67		
13	12	0		
14	13	0,15		
15	29	0,85		
16	21	0,03		
17	8	–		
18	44	0,73		
19	43	–		
20	6	0,24		
21	11	–		
22	25	–		
23	20	–		
24	22	–		
Водохранилище				
25	У скв. 11	–		
26	У скв. 55	–		

Список литературы

1. Всеволожский В.А. Основы гидрогеологии.
2. Смирнова А.Я. Методическое руководство к лабораторным работам по гидрогеологии. (ч.1) / Воронеж. Изд. ЛОП ВГУ, 2000.
3. Справочное руководство гидрогеолога // Под. ред. В.М. Максимова. Л.: Недра, 1967. Т.1.
4. Гавич И.К., Лучшева А.А. Семенова С.М. Сборник задач по общей гидрогеологии. М.: Высшая школа, 1964.
5. Чаповский Е.Г. Лабораторные работы по грунтоведению. М.: Недра 1975. Изд. 4.