

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ
УЧРЕЖДЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ
«БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ТРАНСПОРТА»

Кафедра «Строительные конструкции, основания и фундаменты»

М. В. БЕСПАЛОВА

ИНЖЕНЕРНАЯ ГЕОЛОГИЯ

Часть III

ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИЕ КАРТЫ И РАСЧЕТЫ

*Одобрено методической комиссией факультета ПГС
в качестве лабораторного практикума*

Гомель 2013

УДК 624.131.1

ББК 26.3

Б53

Р е ц е н з е н т – геолог 1-й категории открытого акционерного общества «Гомельгеосервис» *Г. А. Литвин.*

Беспалова, М. В.

Б53 Инженерная геология. В 4 ч. Ч. III. Гидрогеологические карты и расчеты : лабораторный практикум / М. В. Беспалова ; М-во образования Респ. Беларусь, Белорус. гос. ун-т трансп. – Гомель : БелГУТ, 2013. – 32 с.

ISBN 978-985-554-199-9 (ч. III)

Рассмотрены основные теоретические сведения по основам гидрогеологии. Приведена методика построения карты гидроизогипс по данным замера уровня грунтовых вод в скважинах. Даны основные расчетные формулы и методы решения задач по динамике подземных вод, а также основные сведения о химическом составе подземных вод.

Предназначено для работы по курсам «Инженерная геология», «Геология, механика грунтов, основания и фундаменты», «Дорожное грунтоведение и механика земляного полотна дорог», «Дорожное грунтоведение и механика земляного полотна», «Инженерные изыскания в строительстве» (раздел «Инженерная геология») студентам факультета «Промышленное и гражданское строительство» и строительного факультета всех форм обучения.

УДК 624.131.1

ББК 26.3

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение.....	4
1 Краткие сведения из теории.....	5
1.1 Ненапорные воды.....	9
1.1.1 Определение расхода при горизонтальном положении водоупора.....	9
1.1.2 Определение расхода при водоупоре, имеющем наклон в сторону движения потока.....	10
1.1.3 Определение расхода в толще, состоящей из слоев с различной фильтрационной способностью.....	11
1.1.4 Определение притока воды к горизонтальному совершенному дренажу...	12
1.1.5 Определение притока воды к горизонтальному несовершенному дренажу.....	13
1.1.6 Определение положения кривой депрессии, создаваемой работой дренажа.....	14
1.1.7 Определение притока воды в совершенные колодцы и скважины.....	16
1.1.8 Приток воды в несовершенный колодец.....	17
1.1.9 Определение дебита колодца при новом положении уровня.....	17
1.1.10 Определение коэффициента фильтрации по данным действительной скорости движения подземных вод.....	18
1.2 Напорные воды.....	18
1.2.1 Определение расхода подземного потока.....	18
1.2.2 Определение дебита артезианских колодцев и скважин.....	19
2 Построение карты гидроизогипс и решение по ней некоторых гидрогеологических вопросов.....	20
2.1 Методика выполнения работы.....	20

2.2	Задание на выполнение лабораторной работы «Построение карты гидроизогипс и определение направления и скорости грунтового потока»	25
3	Задачи по теме «Движение подземных вод и гидрогеологические расчеты» ...	26
4	Химический состав подземных вод	28
	Список литературы	32

ВВЕДЕНИЕ

Основная цель данного пособия – ознакомить студентов с основными понятиями, положениями и закономерностями гидрогеологии, подготовить их к использованию гидрогеологических знаний в практической работе и в прикладных исследованиях по данной тематике.

В данном пособии представлены необходимая терминология, общие сведения о движении подземных вод и их химическом составе.

Рассмотрена методика построения карты гидроизогипс и решение по ней некоторых гидрогеологических вопросов.

На основании изложенного материала студенты должны уметь выполнять следующие виды работ:

- составлять карту гидроизогипс по имеющемуся топографическому плану с нанесенными на нем разведочными выработками и с данными о глубине установившегося уровня воды в каждой выработке;

- определять направление движения подземных вод в отдельных пунктах карты;

- составлять гидрогеологические разрезы по заданной литологии;

- определять по карте гидроизогипс скорость движения подземных вод при известном коэффициенте фильтрации в пунктах наименьшего и наибольшего ее значения;

- уметь решать простейшие гидрогеологические задачи;

- расшифровывать данные химического анализа подземной воды.

Сведения, изложенные в пособии, могут быть использованы и для самостоятельной работы студентов над материалом практической

части курсов «Инженерная геология» и «Геология, механика грунтов, основания и фундаменты».

1 КРАТКИЕ СВЕДЕНИЯ ИЗ ТЕОРИИ

Гидрогеология – наука, изучающая происхождение, условия залегания, состав, закономерности движения распространения подземных вод в земной коре. Также изучается взаимодействие подземных вод с горными породами, поверхностными водами и атмосферой.

По условиям залегания, питания и движения среди подземных вод выделяются несколько разновидностей.

Наиболее близко к поверхности располагаются *почвенные воды*, образующиеся за счет увлажнения почв атмосферными осадками и конденсации влаги из воздуха. Это воды висячие, не подстилаемые водоупорными горизонтами. Они имеют большое значение в питании растений и процессах выветривания содержащихся в почве минералов, но хозяйственного значения не имеют.

Ниже зоны почвенных вод располагается толща практически сухих пород, содержащих в небольших количествах пленочную воду. Если в этой толще имеются прослойки или линзы водоупоров, то в периоды обильной инфильтрации (просачивания) атмосферных и поверхностных вод (периоды дождей, таяния снега, половодий и пр.) над ними происходит образование временных скоплений гравитационных вод. Мощность пород, насыщенных такими водами, не превышает обычно 1 м. Эти временные водоносные горизонты называются *верховодки*.

Первый от поверхности Земли постоянно существующий в пределах рассматриваемой территории водоносный горизонт называется горизонтом *грунтовых вод*. Верхняя граница зоны постоянного насыщения пород грунтовыми водами носит название зеркала (или уровня) грунтовых вод. Зеркало грунтовых вод редко бывает горизонтальным. Часто оно повторяет рельеф и имеет четко выраженный наклон в сторону пониженных мест. Питание грунтовых вод осуществляется за счет инфильтрации атмосферных осадков, талых вод, вод поверхностных водоемов. Мощность водоносного горизонта непостоянна и изменяется как по площади (в зависимости от рельефа), так и во времени (в зависимости от

количества атмосферных осадков, режима водоемов). Колебание уровня грунтовых вод во времени определяет наличие так называемой зоны периодического насыщения, находящейся непосредственно над зоной постоянного насыщения и являющейся водоносной в периоды повышения уровня грунтовых вод.

Водоносные горизонты, залегающие ниже горизонта грунтовых вод, разделяющиеся пластами водоупорных пород, называются *межпластовыми водами*. Последние, в свою очередь, разделяются на *межпластовые безнапорные* и *межпластовые напорные (или артезианские) воды*.

Водоупор или *водоупорный слой* – это горная порода, практически не пропускающая через себя воду, или относительно (по сравнению с водопроницаемыми слоями пород) водонепроницаемый ее слой. Чаще всего это горизонты глин. Водоупор, покрывающий водоносную породу, образует *водоупорную кровлю*, а подстилающий водоносную породу – *водоупорное ложе*.

Безнапорные межпластовые воды отличаются от грунтовых тем, что находятся между двумя выдержанными водоупорными пластами. Эти воды не заполняют полностью водоносный слой. Межпластовые напорные (артезианские воды) – подземные воды, заключенные между водоупорными слоями и находящиеся под гидравлическим давлением. Вскрытые искусственным путем артезианские воды поднимаются выше кровли водоносного пласта. При достаточном напоре они изливаются на поверхность земли, а иногда даже фонтанируют. Линия, соединяющая отметки установившегося напорного уровня в скважинах, образует *пьезометрический уровень*.

Кроме вышеперечисленных имеются *воды спорадического распространения*, представляющие собой скопление подземных вод в гидравлически разобренных линзах и пропластах, залегающих на различной глубине и находящихся внутри осадочной водо- или слабопроницаемой толщи. Они бывают как напорные, так и безнапорные.

Гидрогеологические карты – карты, отображающие условия залегания и распространения подземных вод. Данные карты составляются по результатам гидрогеологической съемки с учетом геологических и тектонических карт и содержат данные о качестве и

производительности водоносных горизонтов, размерах, форме, положении древнего фундамента водонапорных систем, о взаимоотношении геологической структуры, рельефа и подземных вод.

На мелкомасштабных гидрогеологических картах (мельче 1 : 500000) изображаются наиболее важные особенности гидрогеологического строения территории, границы гидрогеологических бассейнов, области питания, напора и разгрузки подземных вод; выделяются районы с преимущественным развитием различных типов подземных вод.

На среднемасштабных гидрогеологических картах (1 : 200000 – 1 : 100000) дополнительно даются количественные показатели, характеризующие состояние подземных вод в определенный промежуток времени.

Крупномасштабные гидрогеологические карты (крупнее 1 : 50000) применяются для решения специальных задач на стадиях технического и рабочего проектирования: для выбора участков водозабора, выявления запасов подземных вод, изучения обводненности месторождения, установления условий осушения или орошения участка и т. п.

При инженерно-геологических исследованиях для освещения гидрогеологических условий наиболее часто составляется *карта гидроизогипс*, изображающая в изолиниях поверхность (зеркало) подземных вод. Для составления карты гидроизогипс необходимо иметь сеть разведочных выработок, расположенных в пределах исследуемого участка.

По карте гидроизогипс можно определить:

- направление грунтового потока;
- глубину залегания грунтовых вод;
- уклон грунтового потока;
- характер взаимосвязи грунтовых вод с поверхностными;
- условия питания и разгрузки;
- скорость движения водного потока и пр.

Направление движения грунтовых вод берут по нормали к двум смежным гидроизогипсам. Движение воды направлено от более высоких отметок уровня к более низким.

Глубину залегания грунтовых вод в любом заданном пункте определяют по разности отметок горизонтали поверхности и

гидроизогипсы. Уклон потока подземных вод для любого участка вычисляют делением сечения карты гидроизогипс на кратчайшее расстояние между двумя гидроизогипсами, взятое в масштабе карты.

Связь грунтовых вод с поверхностными устанавливают по характеру сопряжения гидроизогипс с рекой. В природе наблюдаются два основных случая: первый – грунтовые воды питают поверхностные, второй – поверхностные воды питают грунтовые. Кроме того, реки могут одновременно питать и дренировать грунтовые воды.

По соотношению и характеру изменения гидроизогипс можно получить представление о потоке. Участки замкнутых гидроизогипс с высокими отметками указывают на положение водоразделов грунтовых вод, где условия питания наиболее благоприятны. Зоны с нулевой глубиной до воды указывают на участки выхода подземных вод на поверхность земли.

В случае напорных подземных вод карта изолиний, соединяющих одинаковые отметки напорных уровней, называется *картой гидроизопьез*.

Динамика подземных вод – раздел гидрогеологии о движении вод в горных породах земной коры.

Передвижение воды в горных породах зависит от водных свойств горных пород и степени насыщенности их негравитационной и гравитационной водой. Различают два режима движения подземных вод:

1) *негравитационное движение* – это движение парообразной влаги (от слоя с большей температурой к слою с меньшей температурой), движение физически связанной воды (от частиц более влажных к менее влажным), движение воды в капиллярах (под действием поверхностных сил) как сверху вниз, так и снизу вверх. Следовательно, основными факторами негравитационного движения являются размеры частиц, величина диаметров пор, температура воды, концентрирование воды, концентрация порового раствора и пр. Этот вид движения носит также название *миграции*;

2) *гравитационное движение* обусловлено действием сил тяжести и происходит в зонах аэрации и насыщения при наличии разности напоров и уклонов в самых разнообразных породах.

В породах, находящихся в состоянии максимального смачивания, но не насыщенных полностью, передвижение гравитационной воды

происходит в виде свободного просачивания, называемого *инфильтрацией*.

В породах, полностью заполненных водой, ниже зеркала подземных вод в зоне полного насыщения движение воды носит название *фильтрации*. Фильтрация воды происходит при наличии гидростатического давления (напора).

Фильтрация воды в горных породах происходит по порам, т. е. промежуткам между отдельными частицами породы, по трещинам или пустотам. В первом случае вода движется в виде отдельных параллельных капель или струй без разрыва сплошности потока, и такое движение называется *ламинарным*. Оно характеризуется небольшими скоростями движения.

Движение воды по пустотам, крупным тектоническим нарушениям, для которого характерны большие скорости, вихреобразность, пульсация и перемешивание струй, называется *турбулентным*.

В строительной практике чаще всего имеют дело с ламинарным движением, которое свойственно всем рыхлым обломочным породам (песок, гравий, галечник, супеси, суглинки и т. д.).

Ламинарное движение подчинено основному закону фильтрации (закону Дарси), имеющему следующее выражение:

$$Q = kIF, \quad (1)$$

где Q – расход, т.е. количество воды, протекающее через данное сечение в единицу времени; k – коэффициент фильтрации, характеризующий водопроницаемость породы и представляющий собой кажущуюся скорость движения воды при градиенте, равном единице; I – гидравлический градиент, т. е. уклон зеркала подземных вод; F – сечение породы, через которое происходит фильтрация воды.

Указанное выражение может служить для определения расхода подземного потока в том или ином сечении, в частности, для подсчета количества воды, протекающей к горизонтальному водосбору. В зависимости от конкретных условий это выражение может несколько видоизмениться. Ниже рассматриваются наиболее типичные примеры решения гидрогеологических задач для различных целей.

1.1 Ненапорные воды

1.1.1 Определение расхода при горизонтальном положении водоупора

На рисунке 1 изображен случай, когда положение водоупора горизонтально. Здесь скважинами 1 и 2, находящимися друг от друга на расстоянии l , вскрыт водоносный слой, приуроченный к пескам, залегающим на горизонтальной поверхности водоупорных глин. Движение воды, согласно положению зеркала подземных вод, – слева направо. Мощность водоносного слоя в скважине 1 – h_1 и в скважине 2 – h_2 .

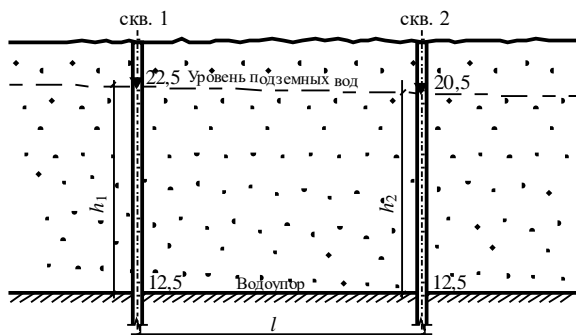


Рисунок 1 – Водоносный слой при горизонтальном положении водоупора

Для определения расхода пользуемся формулой (1).

Из рисунка 1 видно, что если отрезок кривой депрессии между скважиной 1 и 2 принять за прямую, значения I и F могут быть заменены следующими выражениями:

$$I = \frac{h_1 - h_2}{l} \quad \text{и} \quad F = \frac{h_1 + h_2}{2} B,$$

где B – ширина подземного потока (в направлении, перпендикулярном к чертежу).

Подставляя в основную формулу это выражение, имеем:

$$Q = k \frac{h_1 - h_2}{l} \frac{h_1 + h_2}{2} B = k \frac{h_1^2 - h_2^2}{2l} B. \quad (2)$$

Для получения единичного расхода, т. е. соответствующего 1 м ширины потока, выражение (2) имеет еще более простой вид:

$$Q = k \frac{h_1^2 - h_2^2}{2l}. \quad (3)$$

1.1.2 Определение расхода при водоупоре, имеющем наклон в сторону движения потока

На рисунке 2 изображен случай, когда водоупор имеет уклон, совпадающий с уклоном зеркала подземных вод, т. е. с направлением движения воды. В этом случае площадь, через которую фильтруется вода (на 1 пог. м ширины потока), определяется так же, как и ранее, т. е.

$$F = \frac{h_1 + h_2}{2}.$$

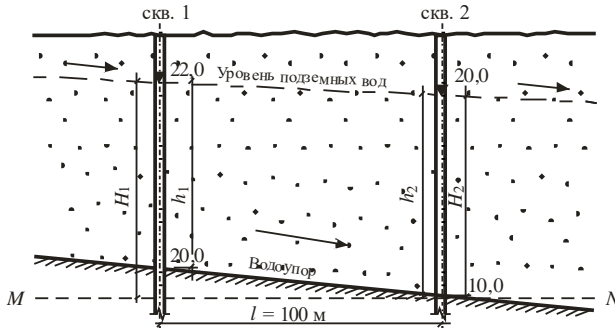


Рисунок 2 – Водоносный слой при наклонном водоупоре (уклон водоупора совпадает с уклоном зеркала подземных вод)

Для вычисления гидравлического градиента необходимо провести вспомогательную горизонтальную линию MN (см. рисунок 2) и определить ординаты H_1 и H_2 , тогда

$$I = \frac{H_1 - H_2}{l}.$$

Единичный расход определяется по формуле

$$Q = k \frac{H_1 - H_2}{l} \frac{h_1 + h_2}{2}. \quad (4)$$

1.1.3 Определение расхода в толще, состоящей из слоев с различной фильтрационной способностью

На рисунке 3 изображен разрез, в котором водосодержащая толща состоит из двух слоев песка с различными значениями коэффициента фильтрации (k_1 – для верхнего и k_2 – для нижнего слоя). Подошва и

кровля нижнего слоя расположены горизонтально. В этом случае расход подсчитывается отдельно для каждого слоя.

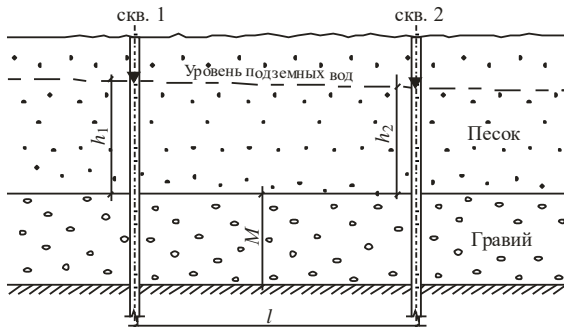


Рисунок 3 – Водоносный слой, приуроченный к двум различным по составам толщам

При определении расхода нижнего слоя следует учесть, что площадь сечения в данном случае является постоянной, и для единичного расхода она равна мощности слоя, т. е. $F = M$. Гидравлический градиент будет тот же, что и для верхнего слоя, т. е. $(h_1 - h_2)/l$. Таким образом, расход

нижнего слоя $Q_2 = k_2 \frac{h_1 - h_2}{l} M$. Общий расход $Q = Q_1 + Q_2$.

При наличии нескольких слоев общий расход определяется по следующему выражению:

$$Q = (k_1 F_1 + k_2 F_2 + k_3 F_3 + \dots + k_n F_n) \frac{h_1 - h_2}{l}. \quad (5)$$

1.1.4 Определение притока воды к горизонтальному совершенному дренажу

Дренажем называется сооружение, имеющее целью перехват (или понижение) и отвод подземных вод. Простейшим видом дренажа является траншея, заполненная хорошо фильтрующим материалом (например, чистым гравием и галечником). Если такой дренаж расположить поперек движения потока подземных вод, то он является как бы преградой для дальнейшего движения воды (рисунок 4). Благодаря более высоким фильтрационным свойствам материала, заполняющего дренажную траншею, и наличию продольного уклона дна дренажа (перпендикулярно к чертежу) подземная вода, подходя к дренажу, будет заполнять какую-то его часть и отводиться в

продольном направлении. Участок по правую сторону дренажа, таким образом, будет осушен. Во избежание фильтрации воды из дренажа может быть устроена гидроизоляция.

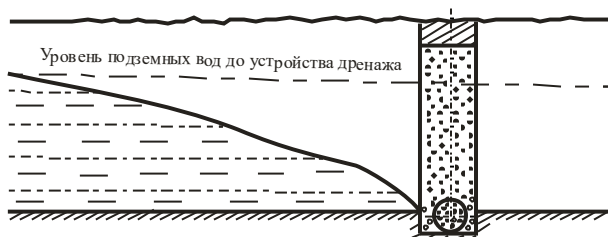


Рисунок 4 – Совершенный дренаж, расположенный поперек движения воды

Дренаж называется совершенным, если его основание достигает водоупора (см. рисунок 4). При расположении его поперек движения потока такой совершенный дренаж вызывает полный перехват воды. В первый момент работы дренажа приток будет больше расхода. Приближение притока к расходу будет происходить по мере выработки устойчивой кривой депрессии.

При горизонтальном положении зеркала подземных вод, а также при расположении дренажа вдоль движения потока (при небольших гидравлических градиентах) приток воды в дренаж определяется в соответствии со схемой, приведенной на рисунке 5.

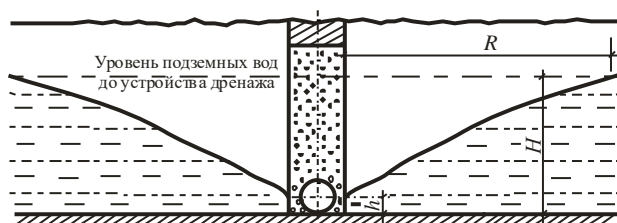


Рисунок 5 – Схема работы дренажа при горизонтальном положении зеркала подземных вод

Дренаж создает понижение уровня подземных вод в пределах зоны его влияния (см. рисунок 5). В сечении, перпендикулярном к расположению дренажа, поверхность пониженного уровня имеет

форму воронки. Приток воды с каждой стороны на 1 м дренажа, как и в предыдущих случаях, определяется по формуле $Q = kIF$, при этом

$I = \frac{H-h}{R}$, а среднее значение $F = \frac{H-h}{2}$ (см. рисунок 5). Отсюда

$$Q = k \frac{H^2 - h^2}{2R}, \quad (6)$$

где k – коэффициент фильтрации, м/сут; H – мощность водоносного слоя, м; h – высота столба воды в дренаже, зависящая от конструкции дренажа, его ширины и уклона (принимается в пределах 0,2–0,5 м); R – радиус влияния дренажа, приближенное значение которого может быть получено из выражения

$$R = 1,95(H-h)\sqrt{Hk}. \quad (7)$$

При подсчете притока с обеих сторон полученное значение надо удвоить.

1.1.5 Определение притока воды к горизонтальному несовершенному дренажу

Если основание дренажа не достигает водоупора, т. е. дренаж не прорезает всю мощность водоносного слоя, то такой дренаж называется несовершенным (рисунок б). При расположении такого дренажа поперек движения потока его приток составляет только часть общего расхода. Если обозначить общий расход через Q , а приток в несовершенный дренаж Q_n , то можно записать следующее соотношение: $Q_n = \alpha Q$, где α – коэффициент, зависящий от глубины врезки несовершенного дренажа. Для приближенных подсчетов коэффициент α может быть принят равным отношению h_d/h , где h_d – глубина врезки дренажа в водоносный слой, а h – полная мощность водоносного слоя в месте дренажа.

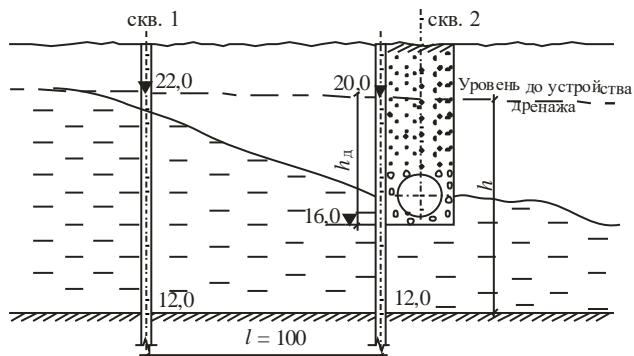


Рисунок 6 – Несовершенный дренаж

1.1.6 Определение положения кривой депрессии, создаваемой работой дренажа

В ряде случаев является необходимым установить расчетным путем понижение подземных вод в зоне действия дренажа. Для этого необходимо определить положение кривой депрессии, образующейся при работе дренажа. Уравнение кривой депрессии имеет следующий вид:

$$y = \sqrt{\frac{2qx}{k} + h^2}, \quad (8)$$

где y – искомая ордината, соответствующая мощности водоносного слоя в точке, удаленной от дренажа на расстоянии x (рисунок 7); q – единичный расход; x – расстояние между дренажем и точкой, в которой определяется ордината y ; k – коэффициент фильтрации; h – толщина слоя воды в дренаже (принимается произвольно в пределах 0,2–0,5 м).

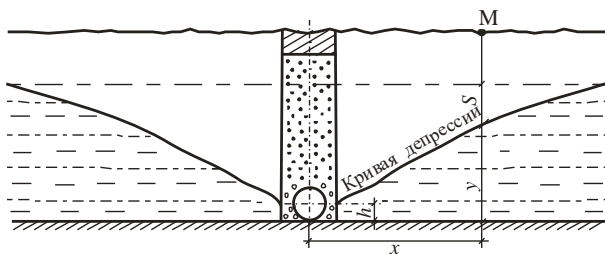


Рисунок 7 – Кривая депрессии, образуемая в результате работы дренажа

Задаваясь различными значениями x (например, 2, 5, 10, 20 м и т. д.), получаем соответствующие значения y , по которым строится кривая депрессии, имеющая вид параболы.

Если пренебречь толщиной слоя воды в дренаже и определить из уравнения (8) x , то получим следующее выражение:

$$x = \frac{ky^2}{2q}. \quad (9)$$

Выражением (9) можно пользоваться при определении расстояния между дренажем и пунктом, где необходимо понизить уровень подземных вод на определенную величину. Так, например, требуется понизить уровень подземных вод в точке М на величину S (см. рисунок 7). Ордината y в точке М, согласно условию, $y = H - S$. Тогда наибольшее расстояние дренажа от точки М

$$x_{\max} = \frac{k(H - S)^2}{2q}. \quad (9a)$$

Таким путем определяется расстояние между двумя дренажами при заданной величине понижения в точке, равноудаленной от каждого из них (на середине):

$$L = 2x = \frac{k(H - S)^2}{q}. \quad (9б)$$

При учете инфильтрации атмосферных осадков расстояние между дренажами при заданном понижении определяется из уравнения

$$L = 2(H - S) \sqrt{\frac{k}{W}}, \quad (10)$$

где W – величина инфильтрации, т. е. толщина слоя воды, просачивающегося в единицу времени, выраженная в тех же единицах, что и коэффициент фильтрации.

1.1.7 Определение притока воды в совершенные колодцы и скважины

Приток воды в колодец или скважину возникает при ее откачке. В этом случае уровень в них понижается и в пределах влияния откачки создается депрессионная поверхность в форме воронки. Чем более понижается уровень воды в колодце или скважине при откачке, тем более увеличивается приток или так называемый дебит.

Дебит совершенного колодца или скважины при заданном понижении уровня воды в них определяется из следующего выражения:

$$Q = 1,37k \frac{H^2 - h^2}{\lg R - \lg r}, \quad (11)$$

где k – коэффициент фильтрации; H – мощность водоносного слоя до откачки; h – столб воды в колодце или скважине, равный $H - S$; R – радиус влияния; r – радиус скважины или колодца (рисунок 8).

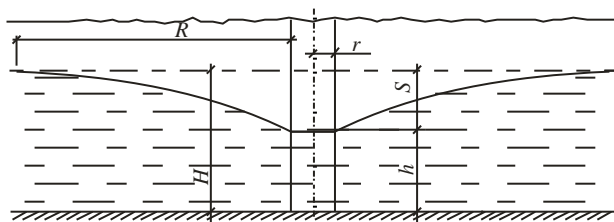


Рисунок 8 – Схема притока воды в совершенный колодец

Выражение (11) может иметь следующий вид:

$$Q = 1,37k \frac{(H - h)(H + h)}{\lg R - \lg r},$$

или, заменяя $h = H - S$, имеем

$$Q = 1,37k \frac{(H - H + S)(H + H - S)}{\lg R - \lg r} = 1,37k \frac{(2H - S)S}{\lg R - \lg r}. \quad (12)$$

Этой же формулой можно пользоваться при определении притока воды в котлован квадратной или близкой к ней формы, пройденный до водоупора.

Величина радиуса влияния принимается от центра котлована, а

величина r определяется из выражения $r = \sqrt{F/\pi}$, где F – площадь котлована.

При известном дебите, определенном опытным путем из формул (11) и (12), может быть определен коэффициент фильтрации

$$k = 0,73Q \frac{\lg R - \lg r}{H^2 - h^2} = 0,73Q \frac{\lg R - \lg r}{(2H - S)S}. \quad (13)$$

1.1.8 Приток воды в несовершенный колодец

Если дно колодца не достигает водоупора, такой колодец называется несовершенным (рисунок 9). Его дебит при прочих равных условиях будет меньше дебита совершенного колодца:

$$Q = 1,37k \frac{(2H - S)S}{\lg R - \lg r} \sqrt{\frac{t + 0,5r}{h}} \sqrt[4]{\frac{2h - t}{h}}. \quad (14)$$

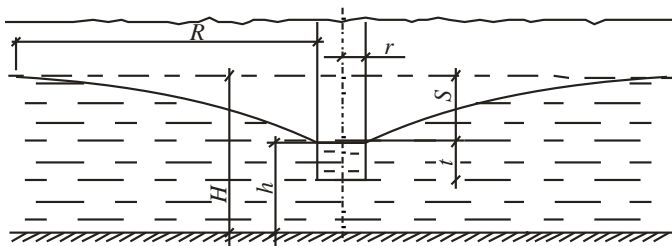


Рисунок 9 – Схема притока воды в несовершенный колодец

При большой мощности водоносного слоя приведенная формула (14) требует введения поправок.

1.1.9 Определение дебита колодца при новом положении уровня

Если известен дебит колодца при каком-то понижении (что может быть получено опытным путем при откачке), можно подсчитать дебит при новом другом понижении. Обозначим известный дебит при понижении S_1 через Q_1 , а дебит при новом понижении S_2 через Q_2 . Мощность водоносного слоя – H .

Тогда

$$Q_2 = Q_1 \frac{(2H - S_2)S_2}{(2H - S_1)S_1}. \quad (15)$$

1.1.10 Определение коэффициента фильтрации по данным действительной скорости движения подземных вод

Коэффициент фильтрации представляет собой кажущуюся скорость при градиенте, равном единице, т. е. скорость, с которой фильтруется вода как бы через все сечение породы (через поры и твердые частицы). Фактически фильтрация происходит только через поры, и действительная скорость движения воды всегда больше кажущейся. Переход от действительной скорости, значение которой мы получаем, например, при опытах с красителями, к кажущейся скорости и отсюда к коэффициенту фильтрации производится следующим образом:

$$v_K = v_{\text{д}} n, \quad (16)$$

где v_K – кажущаяся скорость; $v_{\text{д}}$ – действительная скорость; n – пористость в долях единиц.

При содержании в породах физически связанной воды в формулу (16) входит активная пористость.

Коэффициент фильтрации

$$k = v_K / I, \quad (17)$$

где I – гидравлический градиент, определяемый параллельно при опыте с красителями.

1.2 Напорные воды

1.2.1 Определение расхода подземного потока

При постоянной мощности M водоносного слоя, содержащего напорные воды (рисунок 10), единичный расход подземного потока рассчитывается по формуле

$$Q = kI \frac{h_1 - h_2}{l}, \quad (18)$$

где k – коэффициент фильтрации; M – мощность водоносного слоя; h_1 и h_2 – относительная высота пьезометрических уровней в скважине 1 и 2 соответственно; l – расстояние между скважинами.

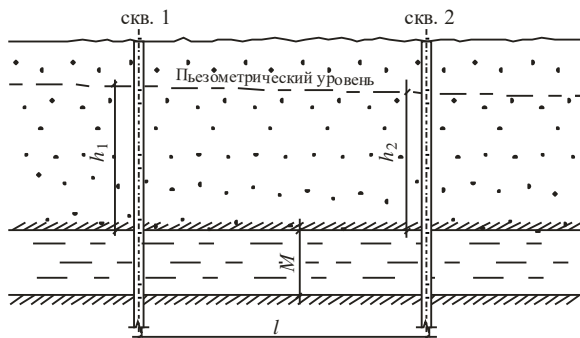


Рисунок 10 – Напорный водоносный слой

1.2.2 Определение дебита артезианских колодцев и скважин

Дебит артезианских колодцев и скважин

$$Q = \frac{2,73kM(H - h)}{\lg R - \lg r}, \quad (19)$$

где k – коэффициент фильтрации; M – мощность водоносного слоя; H – пьезометрический уровень (рисунок 11); h – высота столба воды в колодце или скважине; R – радиус влияния; r – радиус колодца.

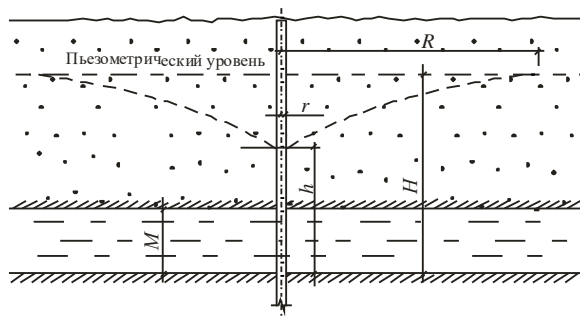


Рисунок 11 – Схема притока воды в артезианскую скважину

Если колодцем или скважиной вскрыта только кровля слоя,

содержащего напорные воды, дебит может быть определен по формуле

$$Q = 4krS, \quad (20)$$

где k – коэффициент фильтрации колодца или скважины; S – величина понижения.

2 ПОСТРОЕНИЕ КАРТЫ ГИДРОИЗОГИПС И РЕШЕНИЕ ПО НЕЙ НЕКОТОРЫХ ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИХ ВОПРОСОВ

2.1 Методика выполнения работы

В каждом варианте заданий приводится участок местности с рельефом в виде горизонталей (см. рисунок 16). На участке пробурено 11 скважин. В таблице исходных данных отражены результаты замеров глубины залегания зеркала грунтовых вод в каждой скважине (см. таблицу 1).

В заданном масштабе наносим на карту план расположения скважин, обозначая их кружками диаметром 2 мм (рисунок 12). Так как по заданию необходимо построить гидрогеологический профиль по железнодорожной трассе, то наносим и ее, показывая месторасположение и нумерацию пикетов.

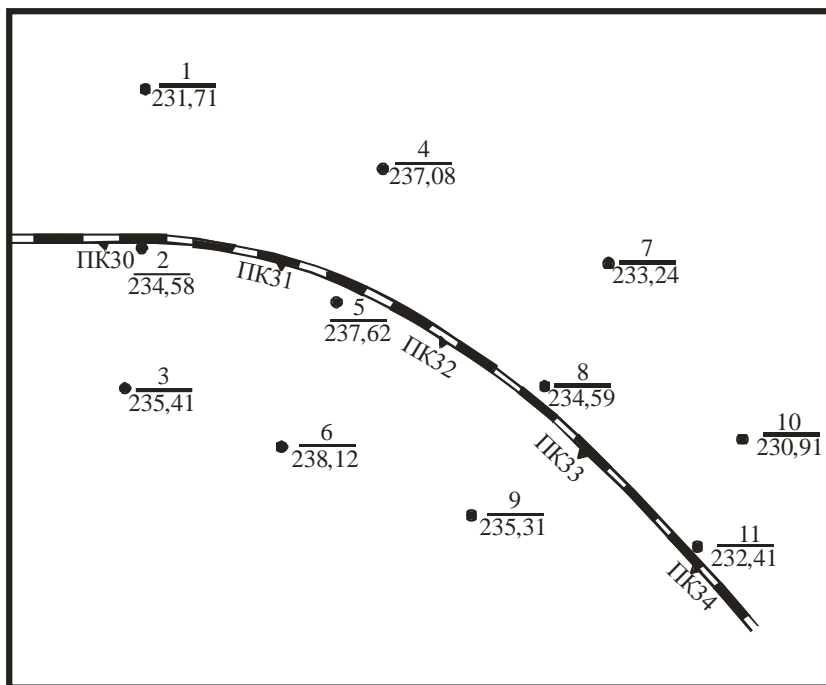


Рисунок 12 – Местоположение скважин с нумерацией и абсолютными отметками грунтовых вод

Справа от каждой скважины в числителе записывают номер скважины, в знаменателе – абсолютную отметку уровня грунтовых вод в скважине.

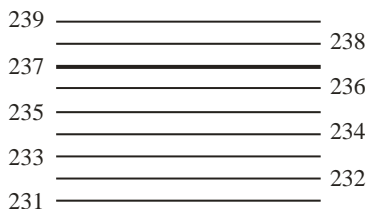
Абсолютные отметки уровня грунтовых вод в каждой скважине вычисляем как разность между отметкой устья скважины и глубиной залегания установившегося уровня грунтовых вод.

Далее, путем интерполяции, определяем отметки уровней грунтовых вод между скважинами, и точки с одинаковыми отметками уровней грунтовых вод соединяем линиями – гидроизогипсами. По заданию сечение гидроизогипс – через 1 м.

Интерполяцию удобно производить с помощью палетки (рисунок 13, а), представляющей собой систему параллельных линий (масштабную сетку), проведенных на кальке на равном расстоянии друг от друга, обычно 3–5 мм. Выполняется интерполяция в такой последовательности. Точки, отметки уровней которых подлежат интерполяции, соединяют вспомогательной прямой линией (после работы линии стираются). Палетка накладывается на одну из точек

таким образом, чтобы отметка на палетке и отметка точки совпадали. Эта точка фиксируется путем прокола булавкой. Далее палетка поворачивается вокруг булавки до тех пор, пока отметка второй точки не совпадет с отметкой на палетке. На пересечении отрезка, соединяющего точки с масштабной сеткой палетки, находим искомые точки (рисунок 13, б). Целесообразно производить интерполяцию, соединяя ближайшие точки отрезками так, чтобы последние образовывали в плане треугольники или четырехугольники. При составлении карты гидроизогипс нельзя интерполировать между точками, расположенными по разные стороны поверхностных водотоков и водоемов.

а)



б)

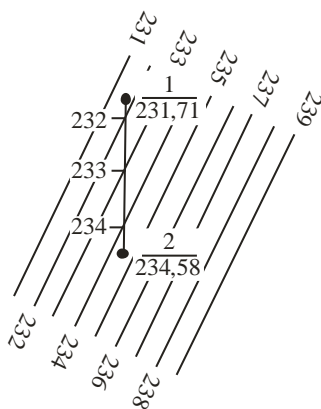


Рисунок 13 – Палетка для интерполяции (а) и схема интерполяции (б)

Полученные гидроизогипсы подписываем. Гидроизогипсы, кратные пяти, выделяем жирной линией (рисунок 14). Цвет гидроизогипс – синий или голубой.

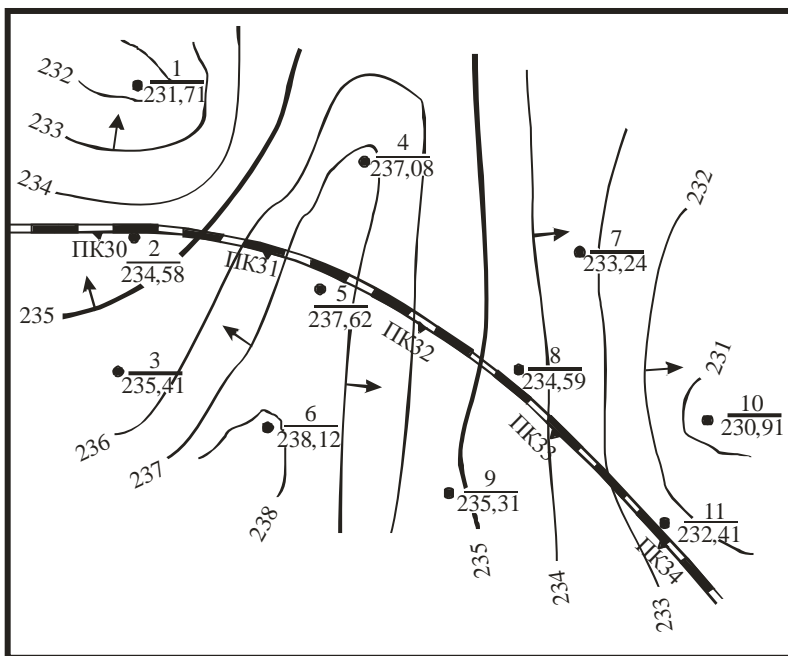


Рисунок 14 – Карта гидроизогипс

Карта гидроизогипс позволяет решать ряд важных практических вопросов. Прежде всего, она позволяет видеть направление движения подземных вод в любой точке. Это направление определяется линией, перпендикулярной к гидроизогипсам. На карте гидроизогипс показываем направление движения подземных вод в виде красных стрелок, проведенных перпендикулярно к гидроизогипсам.

Зная коэффициент фильтрации породы водоносного слоя, по карте гидроизогипс можно определить скорость движения подземного потока:

$$v = kI,$$

где k – коэффициент фильтрации, м/сут; I – гидравлический градиент или градиент напора, т. е. отношение разницы отметок поверхности водоносного слоя в двух точках к расстоянию между ними.

Расположение указанных точек должно находиться на линии, характеризующей направление движения подземного потока, т. е. на перпендикуляре к гидроизогипсам. Скорость движения на отдельных

участках карты может быть различна. Наибольшая скорость будет иметь место там, где наблюдается сгущение гидроизогипс.

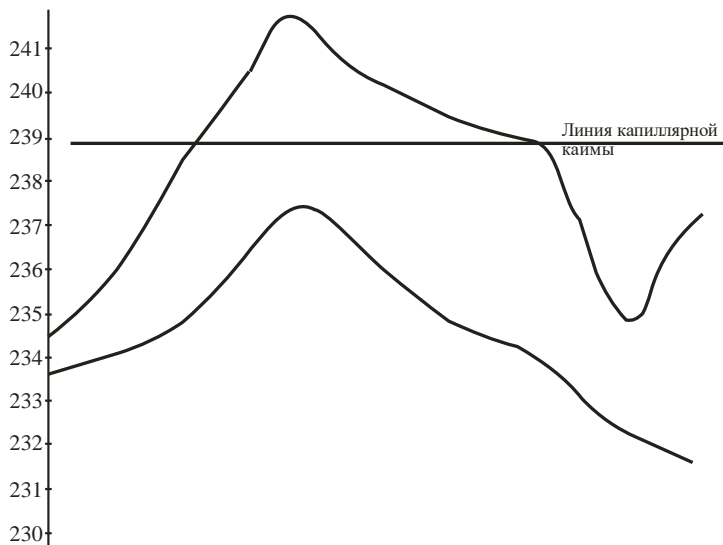
Линия для построения топографического и гидрогеологического профилей задана по железнодорожной трассе. По горизонтальной оси профиля откладываются расстояния, по вертикальной – высоты или глубины. Топографический профиль строится по горизонталям и высотным отметкам топографической или гипсометрической карты.

К линии профиля (железнодорожной трассе) прикладываем полоску бумаги с ровным краем и отмечаем на ней начало рамки, ограничивающей план горизонталей. Далее, идя по железнодорожной трассе, отмечаем ее пересечения с горизонталями, указывая местоположение и номера пикетов, принимая за прямую участок трассы от пикета до пикета. Переносим на бумагу пересечения горизонталей, нужно подписывать их высоты. Для построения гидрогеологического профиля используем карту гидроизогипс.

Топографический и гидрогеологический профили (рисунок 15) строим на миллиметровой бумаге формата А4; полоска бумаги с нанесенными точками пересечения горизонталей и гидроизогипс остается в качестве инструмента для работы.

В начале профиля (линия рамки плана горизонталей или гидроизогипс) построим вертикальную ось со шкалами высот; на них отметим положение всех горизонталей и гидроизогипс, которые пересекаются линией профиля. Сначала переносим на профиль с полоски бумаги точки пересечения горизонталей, сдвигая полоску вверх и вниз до уровня соответствующей горизонтали и тщательно следя за тем, чтобы начало профиля на полоске бумаги все время совпадало с вертикальной шкалой. Полученные на разных высотах точки соединяем линией. Затем в том же порядке строим гидрогеологический профиль. В первой горизонтальной строке под профилем (см. рисунок 15) отмечаем места расположения и номера пикетов, учитывая привязку к вертикальной шкале. Расстояние между пикетами равно 100 м. Для вычисления абсолютных отметок поверхности земли и поверхности воды на пикетах и промежуточных точках проводим вертикальные линии до пересечения с топографическим или гидрогеологическим профилем и сносим на вертикальную ось, записывая полученные результаты во вторую и третью строки под профилем.

Топографический и гидрогеологический профили
по железнодорожной трассе



Расстояние, м		100		100		100		100	
Пикеты	30		31		32		33		34
Абсолютные отметки поверхности земли	236,01	238,39	240,35	241,23	240,16	239,49	239,05	237,10	235,09
Абсолютные отметки уровня грунтовых вод	234,19	234,90	236,40	237,25	236,01	234,91	234,36	233,09	232,12
									231,61

Рисунок 15 – Топографический и гидрогеологический профили

Далее на топографическом профиле показываем проектную линию максимального углубления выемки с учетом высоты капиллярного поднятия $h_{\text{кап}} = 1,5$ м. От самой высокой точки гидрогеологического профиля откладываем в масштабе высоты капиллярного поднятия и проводим горизонтальную линию.

На миллиметровой бумаге топографический профиль изобразить черным или коричневым цветом, гидрогеологический – синим или голубым, линию высоты капиллярного поднятия – красным.

2.2 Задание на выполнение лабораторной работы

«Построение карты гидроизогипс и определение направления и скорости грунтового потока»

Исходные данные для выполнения:

1 План в горизонталях (рисунок 16).

2 Глубина установившегося уровня, м (таблица 1).

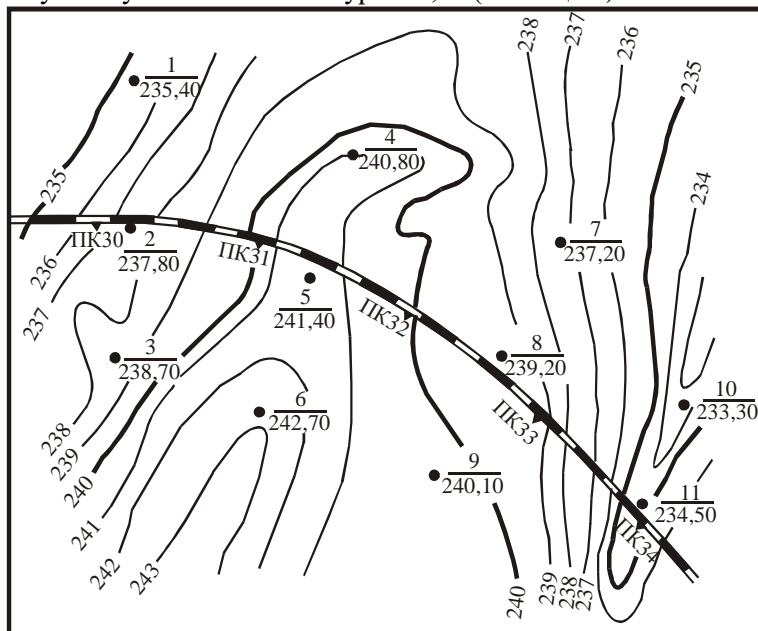


Рисунок 16 – План в горизонталях. М 1 : 4000

Т а б л и ц а 1 – Исходные данные

Номер скважины	Варианты глубин установившегося уровня, м														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	3,15	4,58	3,52	3,25	2,70	3,09	3,58	3,37	3,20	2,91	3,25	2,50	2,51	2,84	3,19
2	2,61	4,18	3,05	2,85	2,20	2,67	3,18	2,97	2,40	2,51	2,85	2,30	2,01	2,34	2,39
3	2,64	4,28	3,15	2,95	2,80	2,77	3,28	3,07	2,50	2,61	2,95	2,70	2,11	2,44	2,49
4	3,25	4,78	3,71	3,45	3,20	3,27	3,78	3,57	3,30	3,11	3,45	3,00	2,61	2,94	3,29
5	3,45	4,98	3,91	3,65	3,40	3,47	3,98	3,77	3,50	3,31	3,65	3,70	2,81	3,14	3,49
6	3,95	5,48	4,40	4,15	3,97	3,58	4,48	4,27	3,60	3,81	4,15	3,80	3,31	3,68	3,59
7	3,58	5,08	4,00	3,75	4,00	4,08	4,08	3,87	4,00	3,41	3,75	3,90	2,91	2,24	3,99
8	4,08	5,58	4,52	4,25	5,00	4,28	4,58	4,37	4,60	3,91	4,25	4,75	3,41	3,78	4,59
9	4,27	5,78	4,70	4,45	4,35	1,89	4,78	4,51	4,20	4,11	4,45	4,00	3,61	3,98	4,19
10	1,88	3,33	3,70	2,05	1,60	1,58	2,38	2,17	3,00	1,71	2,05	3,25	1,21	2,10	2,99
11	1,55	3,08	2,73	1,75	1,70	1,52	2,08	1,87	3,00	1,41	1,75	3,11	0,91	1,90	2,95

Необходимо:

1 Подсчитать абсолютные отметки уровня грунтовых вод в скважинах.

2 Построить карту гидроизогипс по отметкам уровня грунтовых вод методом интерполяции (сечение гидроизогипс через 1 м).

3 Вычислить по карте скорость движения подземных вод при коэффициенте фильтрации, равном 8 м/сут.

4 Определить направление движения подземных вод в отдельных пунктах карты.

5 Вычислить абсолютные отметки поверхности земли и поверхности воды на пикетах.

6 Построить топографический и гидрогеологический профили по железнодорожной трассе.

7 Показать на топографическом профиле проектную линию максимального углубления выемки с учетом высоты капиллярного поднятия $h_{\text{кап}} = 1,5$ м.

3 ЗАДАЧИ ПО ТЕМЕ «ДВИЖЕНИЕ ПОДЗЕМНЫХ ВОД И ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИЕ РАСЧЕТЫ»

На основании проработки вышеизложенного материала студенты должны уметь решать простейшие гидрогеологические задачи. В качестве примеров подобных задач приводятся следующие:

1 Определить необходимую длину водозаборной галереи, располагаемой поперек движения подземного потока, для получения его расхода 180 м³/сут. Коэффициент фильтрации песков $k = 50$ м/сут. Остальные данные см. на рисунке 1. Расстояние между скважинами $l = 50$ м.

2 Определить единичный расход подземного потока при наклонном водоупоре. Коэффициент фильтрации – 10 м/сут. Остальные данные см. на рисунке 2.

3 Построить схему и определить единичный расход грунтового потока по результатам замеров, выполненных в двух скважинах, расположенных на расстоянии 200 м по направлению течения, если коэффициент фильтрации однородных водовмещающих пород равен

5,2 м/сут. Определить действительную скорость потока.

Исходные данные к задаче приведены в таблице:

Результаты замеров	№ скв.		№ скв.		№ скв.		№ скв.	
	1	2	1	2	1	2	1	2
	Варианты							
	1		2		3		4	
Абсолютные отметки, м:								
устья скважины	32,1	30,3	22,4	20,7	56,1	55,3	83,8	84,1
уровня грунтовых вод	28,0	24,2	–	–	–	–	81,6	80,5
кровли водоупора	17,8	18,3	8,6	8,8	48,6	44,3	–	–
Мощность водоносного пласта, м	–	–	–	–	5,2	6,7	3,4	2,3
Глубина залегания уровня грунтовых вод, м	–	–	3,2	6,6	–	–	–	–
Пористость, %	40	40	42	42	38	38	40	40

4 Определить радиус влияния совершенного дренажа при мощности водоносного слоя 10 м. Коэффициент фильтрации – 10 м/сут.

5 Определить единичный приток воды в несовершенный дренаж, изображенный на рисунке 6. Коэффициент фильтрации – 20 м/сут.

6 Определить понижение уровня подземных вод в точке, отстоящей на 10 м от дренажа (без учета инфильтрации), при следующих известных данных: единичный расход – 2 м³/сут, коэффициент фильтрации – 10 м/сут. Мощность водоносного слоя 6 м (см. рисунок 7). Величиной h можно пренебречь.

7 Определить расстояние между дренажами с учетом инфильтрации при следующих данных: мощность водоносного слоя – 4 м, необходимое понижение – 2 м, коэффициент фильтрации – 10 м/сут, величина инфильтрации – 2,5 мм/сут.

8 Определить приток воды в котлован, пройденный до водоупора. Площадь котлована 15,7 × 20 м. Мощность водоносного слоя – 4 м, радиус влияния – 100 м, коэффициент фильтрации – 10 м/сут.

9 Определить дебит колодца при понижении уровня на 4 м, если известно, что его дебит при понижении 2 м равен 3 м³/сут, мощность водоносного слоя – 6 м, коэффициент фильтрации – 10 м/сут.

10 Определить коэффициент фильтрации, если известно, что

действительная скорость движения подземных вод равна 2 м/сут, падение уровня подземных вод на 100 м равно 1 м, пористость водосодержащей породы 30 %.

11 Постройте схему и определите приток воды в совершенную скважину, вскрывшую напорные воды. Радиус влияния определить по формуле Зихарда: $R \approx 10S\sqrt{k}$.

Исходные данные к задаче приведены в таблице:

Данные для расчета	Варианты			
	1	2	3	4
Абсолютные отметки, м:				
устья скважины	42,5	73,4	65,1	87,3
подошвы верхнего водоупора	–	46,3	–	23,4
кровли нижнего водоупора	13,4	–	–	17,8
пьезометрического уровня	39,6	–	67,8	–
динамического уровня при откачке	36,1	63,8	–	86,6
Мощность водоносного слоя, м	–	15,9	–	–
Напор над подошвой верхнего водоупора, м	14,2	22,8	34,9	–
Напор над кровлей нижнего водоупора, м	–	–	43,7	71,6
Понижение уровня (S), м	–	–	4,0	–
Коэффициент фильтрации, м/сут	9,6	4,5	11,5	6,2
Диаметр скважины, мм	305	254	152	203

4 ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ ПОДЗЕМНЫХ ВОД

Химический состав подземных вод зависит от их происхождения, а также от степени и характера водообмена и взаимодействия с горными породами, по которым они протекают. В процессе движения подземных вод происходят выщелачивание горных пород или включений в них и обогащение вод минеральными солями. Общую минерализацию подземных вод составляет сумма растворенных в них веществ. Она обычно выражается в г/л или мг/л. В глубинных водах (в погруженных частях структур) в условиях затрудненного водообмена происходят наибольшая концентрация растворенных веществ и значительное увеличение общей минерализации. К настоящему времени опубликовано много классификаций подземных вод по их минерализации и химическому составу. В классификации В. И. Вернадского, О. А. Алексина, А. М. Овчинникова и др. выделяются следующие группы подземных вод:

- сверхпресные – с общей минерализацией менее 0,2 г/л;
- пресные – от 0,2 до 1 г/л;
- слабосолоноватые – от 1 до 3 г/л;
- сильносолоноватые – от 3 до 10 г/л;
- соленые – от 10 до 35 г/л;
- рассолы – свыше 35 г/л.

В классификации М. С. Гуревича и Н. И. Толстихина приводится более дробное разделение указанных групп исходя из учета потребностей и использования подземных вод для решения различных задач. Слабосолоноватые воды могут использоваться для нецентрализованного водоснабжения, орошения, соленые – для оценки минеральных (лечебных) вод. Выделение подгрупп рассолов необходимо для правильной оценки термальных, промышленных подземных вод и вод нефтяных месторождений.

Основной химический состав подземных вод определяется содержанием наиболее распространенных трех анионов – HCO_3^- , SO_4^{2-} , Cl^- и трех катионов – Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ . К наиболее известным классификациям относятся классификации С. А. Щукарева, Н. И. Толстихина, В. А. Сулина, О. А. Алекина. Соотношение указанных шести элементов определяет основные свойства подземных вод – щелочность, соленость и жесткость.

Химическая классификация состава воды С. А. Щукарева основана на определении главных ионов в количестве более 25 %-экв.

По преобладающим анионам воде присваивают название: хлоридная, сульфатная, гидрокарбонатная, хлоридно-сульфатная, хлоридно-гидрокарбонатная, сульфатно-гидрокарбонатная и хлоридно-сульфатно-гидрокарбонатная; по преобладающим катионам: натриевая, магниевая, кальциевая, натриево-магниевая, натриево-кальциевая, магниевое-кальциевая и натриево-магниевое-кальциевая.

По общей минерализации каждый класс подразделяется на группы: А – до 1,5 г/л, В – 1,5–10 г/л, С – более 10 г/л.

При характеристике гидрохимических типов на первое место ставится преобладающий анион. Так, например, пресные воды в

большинстве случаев гидрокарбонатно-кальциевые или гидрокарбонатно-кальциево-магниевые, а соленоватые – могут быть сульфатно-кальциево-магниевыми.

В таблице 2 приведена классификация подземных вод по С. А. Щукареву.

Т а б л и ц а 2 – Химическая классификация подземных вод С. А. Щукарева

Элемент	HCO ³⁻	HCO ³⁻ SO ₄ ²⁻	HCO ³⁻ SO ₄ ²⁻ Cl ⁻	HCO ³⁻ Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	SO ₄ ²⁻ Cl ⁻	Cl ⁻
Mg ²⁺	1	8	15	22	29	36	43
Ca ²⁺ , Mg ²⁺	2	9	16	23	30	37	44
Ca ²⁺	3	10	17	24	31	38	45
Na ⁺ , Ca ²⁺	4	11	18	25	32	39	46
Na ⁺	5	12	19	26	33	40	47
Na ⁺ , Ca ²⁺ , Mg ²⁺	6	13	20	27	34	41	48
Na ⁺ , Mg ²⁺	7	14	21	28	35	42	49

Рассмотрим, например, определение класса, группы и наименование подземной воды по классификации Щукарева по следующим результатам химического анализа: HCO³⁻ – 353 мг/л; SO₄²⁻ – 126 мг/л; Cl⁻ – 168 мг/л; Na⁺ – 247 мг/л; Ca²⁺ – 8 мг/л; Mg²⁺ – 26 мг/л.

Теоретически суммы анионов и катионов, выраженные в мг-экв форме, должны быть равны, поэтому для определения погрешности пересчитываем данные анализа из мг/л в мг-экв/л, используя пересчетные коэффициенты (таблица 3).

Т а б л и ц а 3 – Коэффициенты для пересчета содержания в воде главных ионов из мг в мг-экв

Ионы	HCO ³⁻	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻	Na ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺
Коэффициенты	0,0164	0,0208	0,0282	0,0435	0,0499	0,0822

Содержание в воде HCO³⁻ равно: 353·0,0164 = 5,79 мг-экв/л; SO₄²⁻ – 126·0,0208 = 2,62 мг-экв/л; Cl⁻ – 168·0,0282 = 4,74 мг-экв/л; Na⁺ – 247·0,0435 = 10,74 мг-экв/л; Ca²⁺ – 8·0,0499 = 0,40 мг-экв/л; Mg²⁺ – 26·0,0822 = 2,14 мг-экв/л.

Отдельно суммируются содержание анионов и катионов. Относительная погрешность анализа

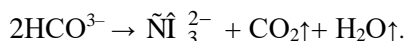
$$\delta = \left[|(13,15 - 13,281)| \right] / (13,15 + 13,28) \cdot 100 \approx 0,5 \%$$

Далее выражаем химический состав воды в %-экв форме, приняв суммы анионов и катионов за 100 % каждую, и сводим расчеты в таблицу 4.

Т а б л и ц а 4 – Химический состав подземных вод (к примеру)

Анионы	Содержание			Катионы	Содержание		
	мг/л	мг-экв/л	%-экв		мг/л	мг-экв/л	%-экв
НСО ³⁻	353	5,79	44	Na ⁺	247	10,74	81
SO ₄ ²⁻	126	2,62	20	Ca ²⁺	8	0,40	3
Cl ⁻	168	4,74	36	Mg ²⁺	26	2,14	16
ИТОГО	647	13,15	100	ИТОГО	281	13,28	100

В связи с тем, что при анализе воды сухой остаток не определялся, вычисляют его приближенно. При выпаривании все негазообразные вещества, кроме гидрокарбоната-иона, переходят в сухой остаток. Гидрокарбонат-ион распадается по уравнению



При этом в виде диоксида углерода и паров воды теряется около 0,5 его массы (точно 0,508). Экспериментально определенный сухой остаток всегда больше вычисленного (с учетом 0,5НСО³⁻), иногда на 5–12 %. Учитывая это, общую минерализацию (сухой остаток) приближенно вычисляют по формуле

$$M \approx (1,05 \dots 1,12)(0,5\text{НСО}_3^- + \text{SO}_4^{2-} + \text{Cl}^- + \text{Na}^+ + \text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+} \approx \\ \approx 1,1(0,5 \cdot 353 + 126 + 168 + 247 + 8 + 26) \approx 827 \text{ мг/л.}$$

По классификации Шукарева (см. таблицу 2) вода называется хлоридно-гидрокарбонатная натриевая и относится к 26-му классу А.

Формулу солевого состава составляют в виде дроби, в числителе которой записывают анионный состав воды (%-экв) в убывающем порядке, а в знаменателе – катионный. Перед дробью записывают содержание газов и специфических элементов, если они имеются в воде, и общую минерализацию *M*. В названии читаются первые два аниона, а затем первые два катиона. При записи названия воды

анионный и катионный составы пишут в форме дроби:

$$M_{0,8} \frac{\text{HCO}_3 44\text{Cl}36\text{SO}_4 20}{\text{Na}81\text{Mg}16\text{Ca}3}.$$

Название воды: пресная, гидрокарбонатно-хлоридно-натриево-магниевая.

На основании проработки вышеизложенного материала необходимо вычислить погрешность химического анализа подземной воды, определить ее класс, группу и наименование по классификации Шукарева, а также записать состав воды в виде формулы солевого состава в соответствии с предложенными вариантами:

Вариант	Содержание, мг/л					
	HCO ³⁻	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻	Na ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺
1	268	121	56	298	25	42
2	408	183	6245	3438	499	166
3	649	231	722	468	34	140
4	264	4846	5395	131	3825	767
5	992	667	762	736	301	58
6	358	110	559	231	124	22
7	–	6310	1018	212	1117	1204
8	195	17	21	33	26	18
9	290	184	95	312	45	28
10	399	190	2326	2665	520	140
11	655	180	820	510	65	198
12	275	3669	6105	175	2996	950
13	998	520	830	920	340	65
14	368	125	630	235	132	36
15	–	7205	1280	265	1235	1362
16	210	26	16	35	29	22

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 **Комаров, Н.С.** Краткое руководство к лабораторным занятиям по курсу геологии для студентов железнодорожных институтов / Н. С. Комаров. – Л.: ЛИИЖТ, 1960. – 63 с.
- 2 **Чернышев, С. Н.** Задачи и упражнения по инженерной геологии: учеб. пособие / С. Н. Чернышев, А. Н. Чумаченко, И. Л. Ревелис – Мн.: Выш. шк., 2002. – 254 с.

3 **Ананьев, В. П.** Инженерная геология: учеб. для вузов / В. П. Ананьев. – М.:
Высш. шк., 2002. – 510 с.

Учебное издание

БЕСПАЛОВА Марина Вячеславовна

ИНЖЕНЕРНАЯ ГЕОЛОГИЯ

Часть III

Гидрогеологические карты и расчеты

Лабораторный практикум

Редактор Н. А. Д а ш к е в и ч

Технический редактор В. Н. К у ч е р о в а

Компьютерный набор и верстка М. В. Б е с п а л о в о й

Подписано в печать 22.05.2013 г. Формат 60×84¹/₁₆.
Бумага офсетная. Гарнитура Times. Печать на ризографе.
Усл. печ. л. 1,86. Уч.-изд. л. 1,68. Тираж 500 экз.
Зак. № . Изд. № 44

Издатель и полиграфическое исполнение
Белорусский государственный университет транспорта:
ЛИ № 02330/0552508 от 09.07.2009 г.
ЛП № 02330/0494150 от 03.04.2009 г.
246653, г. Гомель, ул. Кирова, 34.

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ
УЧРЕЖДЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ
«БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ТРАНСПОРТА»

Кафедра «Строительные конструкции, основания и фундаменты»

М. В. БЕСПАЛОВА

ИНЖЕНЕРНАЯ ГЕОЛОГИЯ

Часть III

ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИЕ КАРТЫ И РАСЧЕТЫ

Лабораторный практикум

Гомель 2013