

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
УФИМСКАЯ ГОСУДАРСТВЕННАЯ АКАДЕМИЯ
ЭКОНОМИКИ И СЕРВИСА**

**С.Г.Ковалев, Р.Р.Хабибуллин,
В.В.Лапиков, Г.М.Абдюкова**

Практикум

по общей геологии с основами гидрогеологии и гидрологии

*Учебное пособие для студентов экологических,
географических и геологических
специальностей высших учебных заведений*

УФА – 2007

ББК

С.Г.Ковалев, Р.Р.Хабибуллин, В.В.Лапиков, Г.М.Абдюкова. Практикум по общей геологии с основами гидрогеологии и гидрологии. *Учебное пособие для студентов экологических, географических и геологических специальностей высших учебных заведений.*

ISSBN

Практикум является второй частью учебного пособия «Общая геология с основами гидрогеологии и гидрологии». В книге приведены задачи и практические упражнения, теоретическое обоснование которых приведено в первой части. В целом материал соответствует дисциплинам ДПП.01 – Геология с геохимией; 073200 – Общая гидрология (включая предмет «Гидрогеология»), входящие в программу «Естественнонаучное образование» – 540110.

Книга предназначена для студентов, изучающих предметы «Общая геология» и «Общая гидрогеология» на естественнонаучных факультетах университетов и вузов, как соответствующего профиля, так и для студентов других специальностей, изучающих эти предметы в качестве общеобразовательных. Она также будет полезна аспирантам и соискателям ученой степени.

Рецензенты:

Заведующий лабораторией гидрогеологии и геоэкологии Института геологии УНЦ РАН, доктор геолого-минералогических наук, профессор

Р.Ф.Абдрахманов

Профессор кафедры геологии и геоморфологии Башкирского государственного университета, доктор геолого-минералогических наук

С.К.Мустафин

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение	4
1. Общая геология	5
1.1. Минералы	6
1.2. Горные породы	10
1.3. Тектонические движения	16
1.4. Время в геологии	18
2. Гидрогеология	20
2.1. Водно-физические и коллекторские свойства горных пород. Движение подземных вод	20
2.2. Химический состав подземных вод	23
3. Гидрология	32
3.1. Реки. Морфометрические характеристики речных бассейнов ..	32
3.2. Речной сток, работа рек, речные наносы	48
3.3. Водобалансовые расчеты	60

ВВЕДЕНИЕ

Предлагаемый сборник задач и практических упражнений является второй частью учебного пособия «Общая геология с основами гидрогеологии и гидрологии», вышедшим ранее.

В данном учебном пособии собраны задачи и упражнения, призванные закрепить у студентов теоретические знания по предмету «Общая геология с основами гидрогеологии и гидрологии». Задачи и упражнения подобраны таким образом, чтобы студенты могли использовать принципы их решения в будущей практической деятельности.

Насыщенность учебного пособия графическими материалами обусловлена тем, что, как правило, в высших учебных заведениях, где предметы геология, гидрогеология и гидрология не являются профильными, студенты лишены полевой практики и не имеют возможности ознакомления с типовыми коллекциями.

Задачи и упражнения, входящие в блок, посвященный вопросам общей геологии, нацелены на закрепление у студентов теоретических знаний по основам минералогии и петрографии; на умение охарактеризовать геологические процессы во времени и правильно оценивать их последствия и результаты.

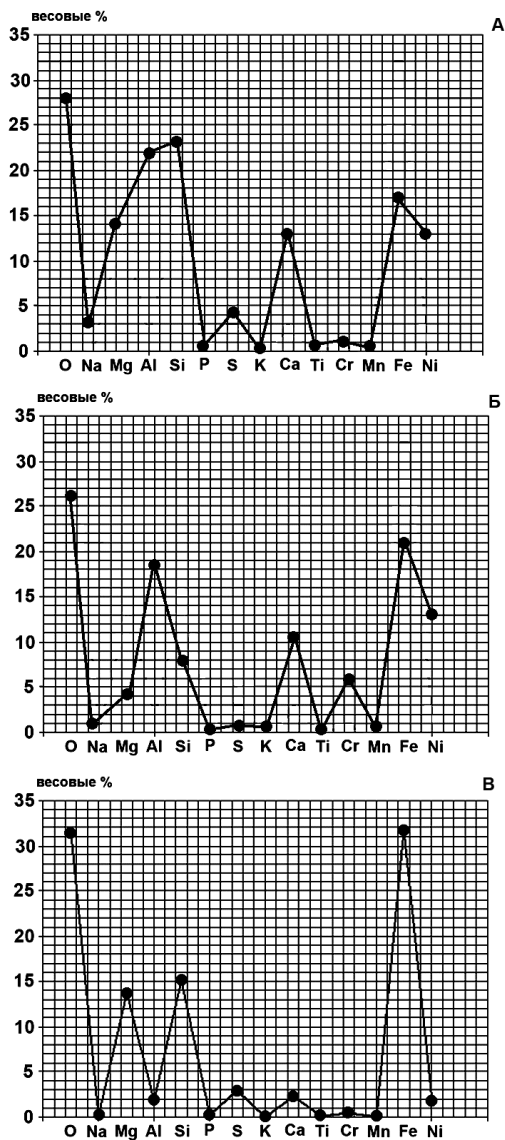
В гидрогеологическом блоке приведены типовые задачи, позволяющие путем практических расчетов оценить водно-физические и коллекторские свойства горных пород, рассчитать формулы химического состава подземных вод и получить практические представления о расчетах запасов подземных вод.

Упражнения, входящие в гидрологический блок, призваны сформировать у студентов навыки решения наиболее распространенных задач по оценке морфометрических характеристик речных бассейнов, расчету речного стока, работы рек, а также простейших воднобалансовых расчетов.

В тех случаях, когда материалов в первой части учебника «Общая геология с основами гидрогеологии и гидрологии» не достаточно, в данном учебном пособии в краткой форме приводятся необходимые данные и примеры решения близких по содержанию упражнений.

При подготовке учебного пособия, наряду с использованием учебника Н.А.Соломенцева с соавторами (1961), были заимствованы материалы из коллективного труда «Гидрогеология СССР», том XV, посвященного характеристике подземных вод РБ. Кроме того, многие гидрологические задачи специально составлены на материалах по гидрологии Башкирии, что, как мы надеемся, поможет будущим специалистам в их дальнейшей работе на предприятиях и в организациях Республики.

1. ОБЩАЯ ГЕОЛОГИЯ

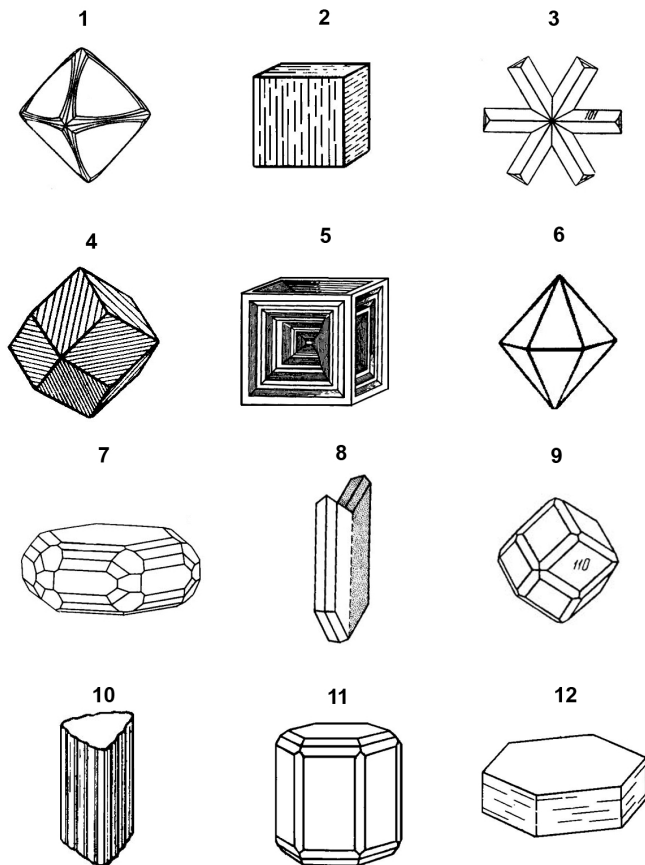


1. На каком из графиков (А, Б, В) содержания элементов соответствуют среднему составу Земли?

1.1. Минералы

1.1.1. Расположите минералы в порядке убывания их твердости, составив шкалу Мооса:

Топаз – $\text{Al}_2(\text{F,OH})_2[\text{SiO}_4]$, Гипс – $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, Кальцит – CaCO_3 , Алмаз – C , Ортоклаз – $\text{K}[\text{AlSi}_3\text{O}_8]$, Флюорит – CaF_2 , Тальк – $\text{Mg}_3[\text{OH}]_2[\text{Si}_4\text{O}_{10}]$, Кварц – SiO_2 , Корунд – Al_2O_3 , Апатит – $\text{Ca}_5(\text{F,Cl})[\text{PO}_4]_3$.



1.1.2. Определите минералы по типичным формам их кристаллов, изображенных на рисунке.

1.1.3. Назовите минерал по его описанию, приведенному ниже:

№	Описание минерала
1	Цвет светлый латунно-желтый, часто с побежалостью желтовато-бурого и пестрого цветов. Черта буровато- или зеленовато-черная. Блеск сильный металлический. Твердость 6–6,5. Относительно хрупок. Спайность весьма несовершенная. Излом неровный, иногда раковистый. Уд. вес 4,9–5,2. Термоэлектричен. Облик кристаллов: кубический, пентагондодекадрический, реже октаэдрический. Размеры кристаллов достигают нескольких сантиметров в поперечнике. В многочисленных горных породах и рудах наблюдается в виде вкрапленных кристалликов или округлых зерен.
2	Цвет кристаллических разностей железо-черный до стально-серого. В тончайших пластинках он просвечивает густо-красным цветом. Черта вишнево-красная. Блеск полуметаллический. Иногда наблюдается синеватая побежалость. Полупрозрачен в очень тонких пластинках. Твердость 5,5–6. Хрупок. Спайность отсутствует. Характерна грубая отдельность по ромбоэдру. Уд. вес 5,0–5,2. Часто встречается в пластинчатых, ромбоэдрических и таблитчатых кристаллах, образующихся в пустотах.
3	Чистые массы прозрачны и бесцветны или имеют белый цвет. Но часто те или иные красящие пигменты обуславливают окраску в различные цвета: серый, желтый, красный, бурый и черный и др. Иногда наблюдается очень характерная синяя окраска в виде пятен или полос, особенно на участках, подвергшихся сильной деформации. Твердость 2. Хрупок. При продолжительном одностороннем давлении обнаруживает способность к пластической деформации. Спайность весьма совершенная по кубу. Уд. вес. 2,1–2,2. Обладает слабой электропроводностью, исключительно высокой теплопроводностью. Легко растворим в воде: до 35% при комнатной температуре. Гигроскопичен.
4	Большей частью бесцветный или молочно-белый, но иногда окрашен примесями в различные (обычно светлые) оттенки серого, желтого, розового, красного, бурого и черного цветов. Блеск стеклянный. Твердость 3. Хрупок. Спайность совершенная по {1011}. Уд. вес 2,6–2,8, для химически чистых кристаллов 2,72 при 23°C. В крупнокристаллических разностях легко узнается по ромбоэдру спайности, сравнительно низкой твердости (легко царапается острием ножа или иглы) и бурному выделению CO ₂ от капли HCl. Широко известны натечные образования в виде сталактитов и сталагмитов в пещерах.
5	Цвет белый. Отдельные кристаллы часто водяно-прозрачны и бесцветны. Бывает окрашен также в серый, медово-желтый, красный, бурый и черный цвета. Блеск стеклянный, на плоскостях спайности – перламутровый отлив. Твердость 1,5 (чертится ногтем). Весьма хрупок. Спайность весьма совершенная; спайные выколки имеют ромбическую форму с углами 66 и 114°. Уд. вес 2,3. Обладает заметной растворимостью в воде. Замечательной особенностью является то обстоятельство, что растворимость его при повышении температуры достигает максимума при 37–38°C, а затем довольно быстро падает.

1.1.4. Назовите минерал из группы силикатов по его описанию, приведенному ниже:

№	Описание минерала
1	Сингония моноклинная. Редко наблюдается в таблитчатых кристаллах гексагонального и ромбического облика. Характерны листоватые, чешуйчатые, плотные массы, называемые стеатитом или мыльным камнем. Цвет бледно-зеленый или белый с желтоватым, буроватым, зеленоватым, иногда интенсивным оттенком. Тонкие листочки прозрачны или просвечивают. Блеск стеклянный с перламутровым отливом. Твердость около 1. Жилен на ощупь. Листочки гибки, но не упруги. Спайность весьма совершенная. Уд. вес 2,7–2,8. Плохой проводник тепла и электричества. Огнеупорен.
2	Назван по оливково-зеленому цвету. Минерал весьма широко распространен в природе как породообразующий минерал в ультраосновных изверженных породах. Обычно распространен в зернистых агрегатах. Хорошо образованные кристаллы встречаются сравнительно редко. Цвет желтый с зеленоватым оттенком; чаще бесцветен, совершенно прозрачный; иногда приобретает ложный зеленый оттенок, обязанный серпентину, развивающемуся вдоль трещин. Блеск стеклянный, жирный. Твердость 6,5–7. Хрупок. Излом часто раковистый. Уд. вес 3,3–3,5 (возрастает с увеличением содержания FeO).
3	Сингония моноклинная. Хорошо образованные кристаллы встречаются сравнительно редко. Обычно они имеют короткостолбчатый облик. Сплошные массы чаще всего представлены зернистыми агрегатами, но в контактово-метасоматических образованиях встречаются шестоватые или радиально-лучистые агрегаты. Редко бывает бесцветный. Обычно окрашен в различные, преимущественно бледные оттенки грязно-зеленого или серого цвета. Блеск стеклянный. Твердость 5,5–6. Хрупок. Спайность по призме (110) средняя с углом 87°. Уд. вес 3,27–3,38. Минерал широко распространен в основных и ультраосновных изверженных породах.
4	Является довольно частым акцессорным минералом в ряде кислых и щелочных изверженных горных пород (гранитах, сиенитах, нефелиновых сиенитах). Сингония тетрагональная. Кристаллы очень характерны. В неправильных зернах встречается реже. Облик кристаллов короткостолбчатый, изометрический, реже дипирамидальный. Бесцветный, но чаще окрашен в желтый, оранжевый, красный, реже зеленый цвет. Блеск алмазный, иногда жирный. Твердость 7–8. Спайность обнаруживается редко. Излом неровный или раковистый. Уд. вес 4,68–4,70.
5	Минерал часто наблюдается в виде игольчато-лучистых агрегатов. Цвет – бутылочно-зеленый разных оттенков: от светлых зеленовато-серых до темно-зеленых. Уд. вес 3,1–3,3 (увеличивается с возрастанием содержания FeO). По морфологическим признакам и строению агрегатов различают разновидности: нефрит и амиант. Замечательной особенностью второй разновидности является его способность механическим путем расщепляться на тончайшие эластичные и прочные волокна. Кроме того, они обладают огнеупорностью и кислотоупорностью.

1.1.5. Напишите названия минералов по приведенным ниже формулам, объединив их в группы по химическому составу (силикаты, фосфаты, карбонаты и др.):

ZrSiO₄, FeS₂, FeAsS, FeTiO₃, FeFe₂O₄, Cu, Mg₂SiO₄, KCl, CaCO₃, MgCO₃, Ca[Al₂Si₂O₈], MgCO₃, CaSO₄, Fe₂SiO₄, NaCl, CaMg[Si₂O₆], Mg₂[Si₂O₆], CuFeS₂, K[AlSi₃O₈].

1.1.6. Напишите формулы и название класса минералов, приведенных в таблице ниже.

№ п/п	Минерал	Формула	Класс
1	магнетит		
2	галенит		
3	галит		
4	кальцит		
5	алмаз		
6	гипс		
7	гематит		
8	апатит		
9	пентландит		
10	циркон		
11	флюорит		
12	оливин		
13	сфалерит		
14	турмалин		
15	сильвин		
16	диопсид		
17	пирротин		
18	сидерит		
19	актинолит		
20	медь		
21	альбит		
22	ильменит		
23	нефелин		
24	пирит		
25	магнезит		
26	биотит		
27	арсенопирит		
28	талък		
29	железо		

1.2. Горные породы

1.2.1. Составьте таблицу по образцу, распределив названные ниже горные породы по основным генетическим типам:

кварцит, габбро, песчаник, диорит, известняк, амфиболит, конгломерат, дунит, серпентинит, алевролит, базальт, гнейс, риолит, эглогит, глинистый сланец, гранит, доломит, мрамор.

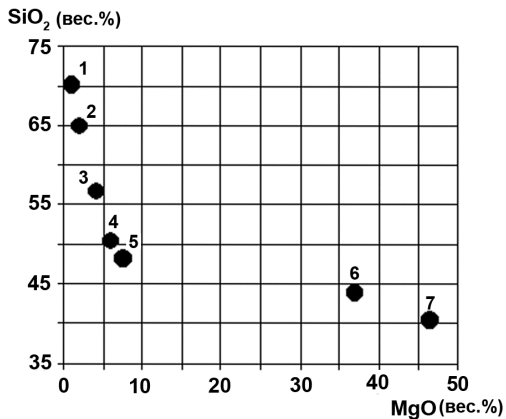
Магматические	Осадочные	Метаморфические

1.2.2. Назовите магматические горные породы по их минеральному составу, приведенному в таблице ниже.

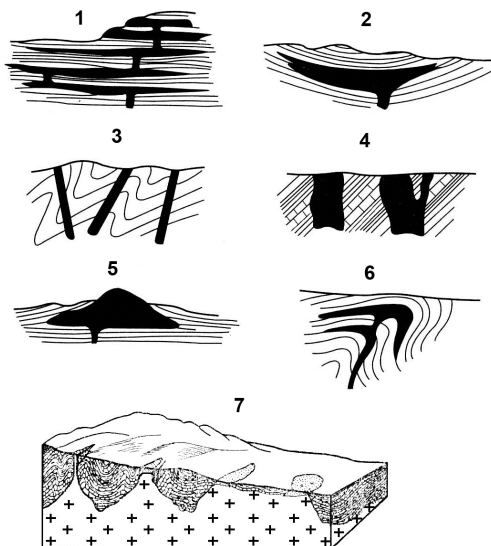
№	Минеральный состав (в объемных %)
1	плагиоклаз №25-50 (55-95), роговая обманка (0-40), биотит (0-40), клинопироксен (редко до 5-20), кварц (редко до 5)
2	плагиоклаз (35-65), оливин (35-60), клинопироксен (<10), ортопироксен (<10), роговая обманка (<5)
3	оливин (40-80), ортопироксен (10-50), клинопироксен (10-50), роговая обманка (<5)
4	плагиоклаз (35-65), оливин (30-60), клинопироксен (<5), роговая обманка (<5)
5	оливин (40-90), ортопироксен (10-60), клинопироксен (<10), роговая обманка (<5)
6	оливин (90-100), хромит (5), ортопироксен + клинопироксен (<10)
7	кварц (20-60), плагиоклаз (10-65), фельдшпатоиды (35-90)
8	плагиоклаз (35-65), клинопироксен (35-65), ортопироксен (<5), оливин (<5), роговая обманка (<5)

1.2.3. Разделите перечисленные ниже магматические породы на интрузивные и эффузивные:

базальт, гранит, андезит, пикрит, дунит, габбро, гарцбургит, риолит, диорит, пироксенит.



1.2.4. На диаграмму $\text{SiO}_2\text{-MgO}$ нанесены средние составы магматических пород по Р.А.Дэли (№№ 1–7). Определите, что это за породы и к какому классу по содержанию кремнезема они относятся.

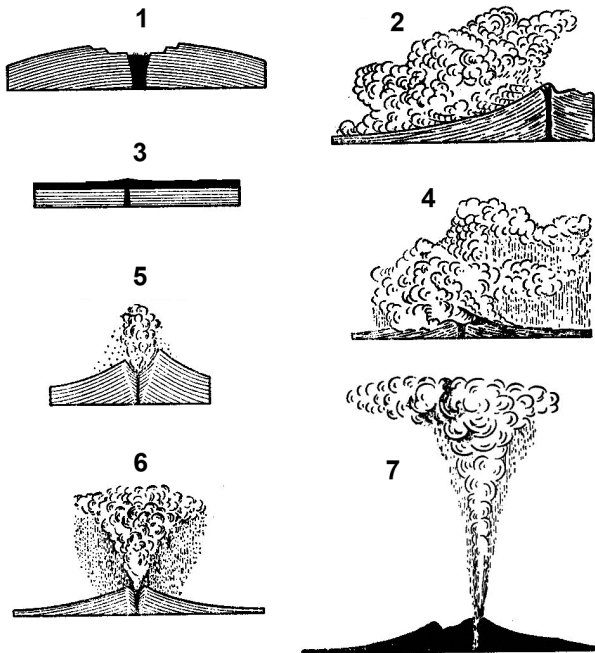


1.2.5. Составьте таблицу по образцу, вписав названия форм интрузивных магматических пород, изображенных на рисунке, подразделив их на конкордантные (согласные) и дискордантные (несогласные).

Согласные	Несогласные

1.2.6. Составте таблицу по образцу, разделив перечисленные ниже формы тел магматических пород на эффузивные и интрузивные: нект, диатрема, силл, лополит, кальдера, дайка, кратер, апофиза, шток, факолит, лавовый поток, лакколит.

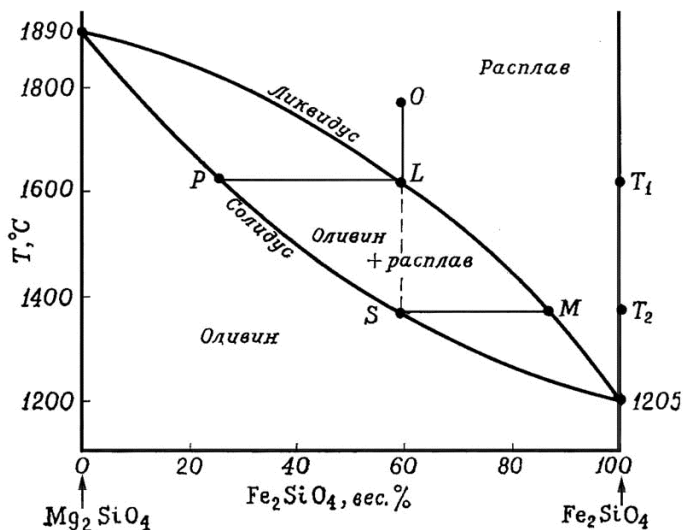
Интрузивные	Эффузивные



1.2.7. Назовите каждый тип вулканических извержений, изображенный на рисунке. Дайте его краткую характеристику.

1.2.8. Вставьте в таблицу размеры обломков соответствующих пирокластических пород.

Название рыхлых пород	Размер обломков (в мм)
вулканический пепел	
вулканический песок	
лапилли	
вулканические бомбы	



1.2.9. Опишите ход кристаллизации расплава, начальный состав которого соответствует точке *O* на рисунке.

1.2.10. Заполните пустые графы в таблице, приведенной ниже.

Окатанные обломки	Неокатанные обломки	Диаметр обломков (в мм)
Гравий	?	?
Галька	?	?
Валун	?	?

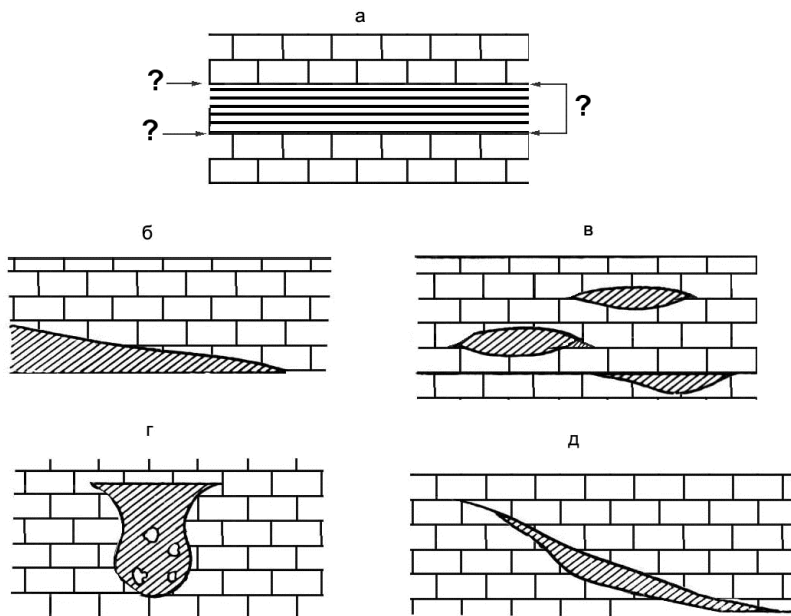
1.2.11. Дайте описание породам «конгломерат» и «брекчия» по схеме: класс – генетическая группа – состав – сходство (отличия).

1.2.12. Распределите перечисленные ниже породы по генетическим группам, вписав их названия в соответствующую графу таблицы:
конгломерат, известняк, фосфорит, торф, песчаник, гипс, алевролит, глина, опока, диатомит, галит, бурый уголь, доломит, ангидрит.

Терригенные	Хемогенные	Биогенные

1.2.13. Дайте характеристику минерального состава каждого из трех типов песчаников, приведенных в таблице ниже.

Кварцевые	Аркозовые	Граувакковые



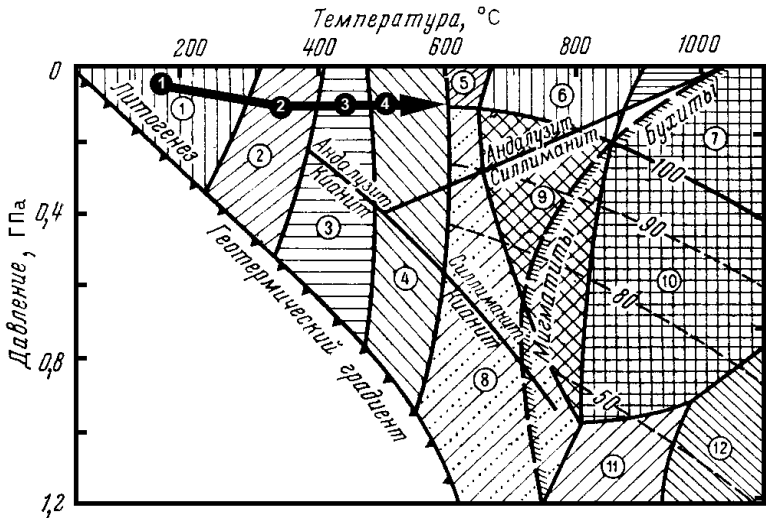
1.2.14. Дайте определение термину «слой», описав его элементы, отмеченные на рисунке знаком вопроса. Назовите формы залегания осадочных пород и дайте краткую характеристику их образования.

1.2.15. Подразделите перечисленные ниже породы на паропороды и ортопороды. Если отдельные породы попадают в обе группы, дайте им краткую характеристику, пояснив, почему Вы поместили эту породу в данную группу:

мрамор, кварцит, гнейс, катаклазит серпентинит, филлит, кристаллический сланец, амфиболит, парагнейс, хлорит-тальковый сланец, милонит.

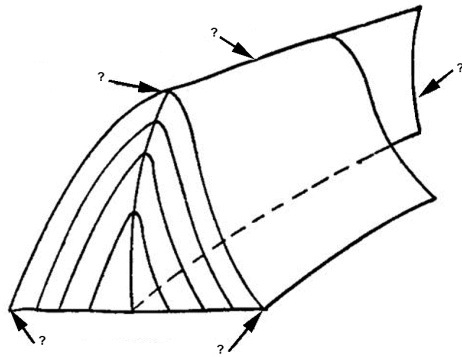
1. слюдяной сланец, глина, глинистый сланец, гнейс;
2. известняк, ил известковый, мрамор;
3. кварцит, песок, песчаник.

глинистый сланец, кианит-биотитовый гнейс, филлит, метабазальт, амфиболит, эпидот-актинолит-хлоритовый сланец, эклогит.

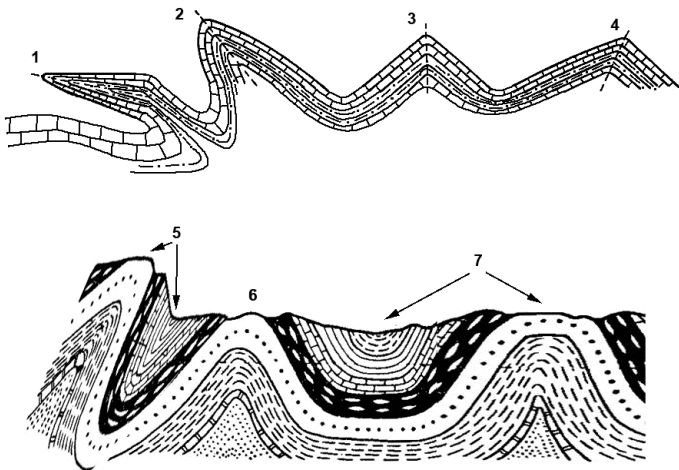


15

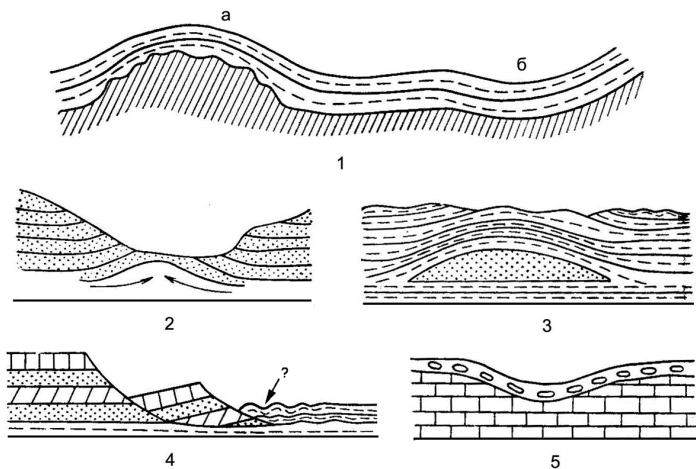
1.3. Тектонические движения



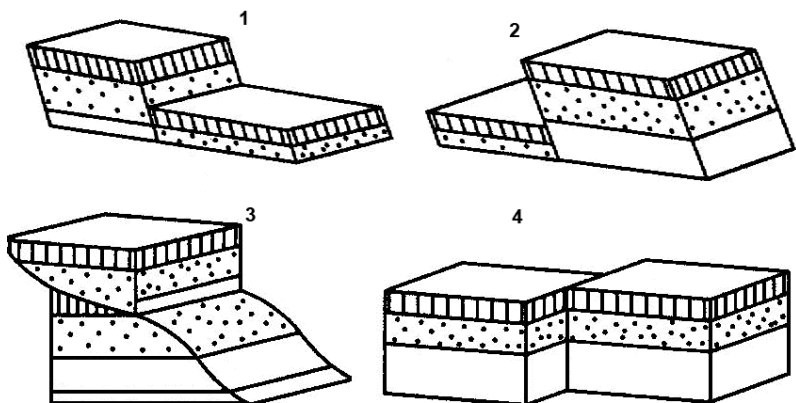
1.3.1. Дайте названия элементам складки, помеченным знаком вопроса.



1.3.2. Опишите складки, обозначенные на рисунке цифрами (от 1 до 7), охарактеризовав их: а) по наклону крыльев относительно горизонта; б) по форме замка; в) по расположению крыльев относительно осевой поверхности.



1.3.3. Назовите типы экзогенных (атектонических) складок, изображенные на рисунке под номерами от 1 до 5; опишите условия их образования.



1.3.4. Охарактеризуйте виды разрывных нарушений, изображенные на рисунке, определив висячий и лежащий бок; укажите стрелками направления смещений.

1.4. Время в геологии

1.4.1. Из перечисленных ниже названий эр и периодов составьте стратиграфическую шкалу:

Мел, Ордовик, Девон, Четвертичный, Палеозой, Силур, Архей, Триас, Неоген, Мезозой, Рифей, Кембрий, Карбон, Юра, Кайнозой, Палеоген, Протерозой, Пермь.

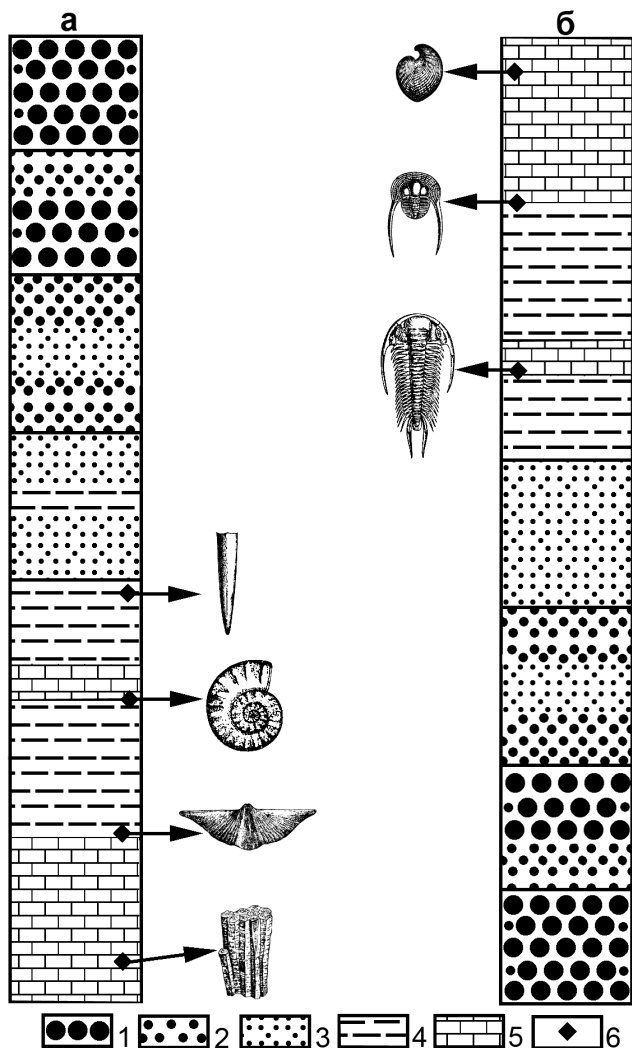
1.4.2. Вставьте перечисленные ниже названия веков в соответствующую графу таблицы, расположив их в хронологическом порядке (снизу вверх, от древних к молодым):

Жединский, Гжельский, Татарский, Эмский, Казанский, Кунгурский, Сакмарский, Ассельский, Московский, Турнейский, Касимовский, Уфимский, Артинский, Фаменский, Франский, Башкирский, Визейский, Живетский, Серпуховской, Эйфельский, Зигенский.

Пермь	Карбон	Девон

1.4.3. В приведенную ниже таблицу вставьте время начала и продолжительности каждого периода или эры.

Эра, период	Начало, млн. лет	Продолж., млн. лет	Эра, период	Начало, млн. лет	Продолж., млн. лет
Четвертичный			Силур		
Неоген			Ордовик		
Палеоген			Кембрий		
Мел			Рифей		
Юра			Кайнозой		
Триас			Мезозой		
Пермь			Палеозой		
Карбон			Протерозой		
Девон			Архей		



1.4.4. На рисунке представлены два разреза: а и б. Опишите физико-географические (фациальные) условия формирования пород и их последовательность во времени, определив тип разреза (трансгрессивный или регрессивный). Опишите находки фауны и дайте заключение о возрасте отложений.

Условные обозначения: 1–конгломераты, 2–гравелиты, 3–песчаники, 4–глинистые сланцы, 5–известняки, 6–точки находок фауны.

2. ГИДРОГЕОЛОГИЯ

2.1. Водно-физические и коллекторские свойства горных пород. Движение подземных вод

Для определения скорости течения подземных вод при ламинарном движении применяется формула Дарси:

$$v = k \cdot i,$$

где **k** – коэффициент фильтрации, или коэффициент водопроницаемости, определяемый опытным путем (см/сек, м/час, м/сутки); **i** – гидравлический уклон, представляющий собой отношение напора **h** (м) к длине пути потока **l** (м), т. е. $i = \frac{h}{l}$.

Из формулы Дарси следует, что:

1) при параллельноструйчатом (ламинарном) движении подземной воды скорость потока пропорциональна гидравлическому уклону (градиенту падения);

2) если $i = 1$, то $v = k$, т. е. коэффициент фильтрации численно равен скорости движения (фильтрации) воды подземного потока при уклоне, равном единице. При этом необходимо иметь в виду, что **v** (скорость фильтрации) – величина фиктивная, так как она отнесена ко всей площади поперечного сечения фильтруемого слоя, а не к площади пор, через которые проходит поток.

На основании многочисленных опытов исследования движения воды в зернистых породах установлено, что коэффициент фильтрации **k** зависит от ряда показателей, в которых отражены различные условия фильтрации воды в песках. Одним из первых показателей является пористость породы: чем больше количество пор, тем лучше условия для фильтрации. Вторым показателем является действующий диаметр зерен и третьим – температура фильтрующей воды. Величина коэффициента фильтрации (**k**) изменяется в широких пределах и составляет (м/сут):

хорошо проницаемые (почвы, галечники, закарстованные породы)	>100
водопроницаемые (крупнозернистые пески, трещиноватые породы)	100–10
слабо водопроницаемых (мелкозернистые пески, супеси, суглинки)	10–0
весьма слабо водопроницаемых (суглинки, глины)	0,1–0,001

Зная скорости течения подземной воды, можно определить ее расход. Под расходом понимают то количество воды, которое протекает через площадь поперечного сечения водоносного слоя в единицу времени.

Расход воды определяется по формуле:

$$Q = v_{\text{ср}} \cdot \omega,$$

где Q – расход воды ($\text{м}^3/\text{час}$ или $\text{м}^3/\text{сутки}$); $v_{\text{ср}}$ – средняя скорость подземных вод ($\text{м}/\text{сутки}$); ω – площадь поперечного сечения водоносного слоя (м^2).

Таблица 2.1.1

Значения общей пористости различных типов горных пород

Типы пород	Породы	Средняя пористость, %
Свежие осадки	Илы глинистые	50,0
	Торф	80,0
	Почвы	55,0
Породы верхней части коры выветривания	Пески	35,0
	Лёсс	45,0
	Суглинки	35,0
	Глины	35,0
Осадочные породы	Песчаники	10–20,0
	Глины	20–40,0
	Гипс	1,0
	Мел	30,0
Метаморфические породы	Сланцы глинистые	4,0
	Кварциты, гнейсы, мрамора	2,0
Магматические породы	Граниты, сиениты	1,0
	Эффузивные породы	2,0
	Интрузивные породы	1,0

Пример. Подземный поток движется в породах, для которых коэффициент фильтрации = 0,01, а гидравлический уклон 0,01, тогда средняя скорость $v_{\text{ср}}$ по формуле Дарси будет равна 0,0001 м/сек. При мощности водоносного слоя 10 м и ширине слоя, перпендикулярного направлению течения воды, 100 м, получим поперечное сечение водоносного слоя, равное 1000 м^2 . Пустоты занимают 25% площади водоносного слоя, т. е. 250 м^2 , которые и будут составлять площадь поперечного сечения потока. Следовательно, расход воды будет:

$$Q = 250 \cdot 0,0001 = 0,025 \text{ м}^3/\text{сек},$$

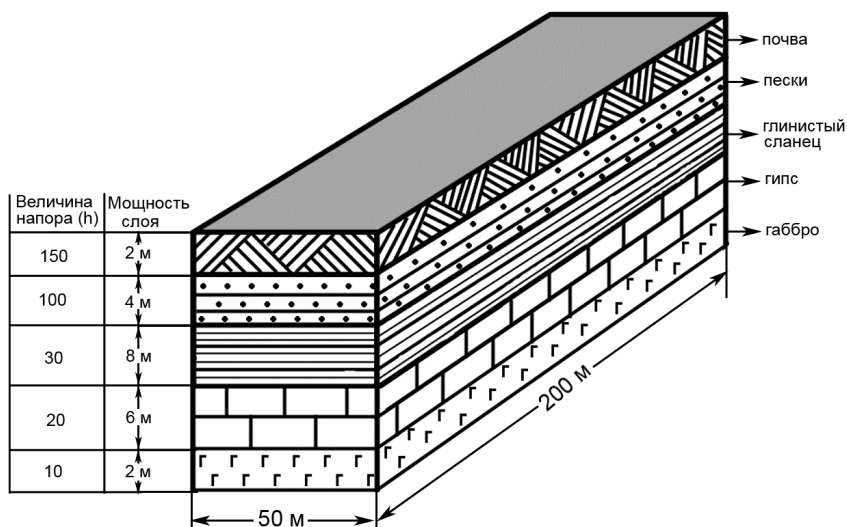
а количество воды за сутки:

$$0,025 \cdot 60 \cdot 60 \cdot 24 = 2160 \text{ м}^3.$$

2.1.1. Какие из перечисленных ниже литологических разновидностей пород являются водоносными, а какие водоупорными? Составьте таблицу по образцу, приведенному ниже.

Пески, глинистые сланцы, мергели, известняки, габбро, каменная соль, глины, гравелиты, тяжелые суглинки, трещиноватые граниты, гипс, слабосцементированные конгломераты, плотный хорошо разложившийся торф.

Водоносные	Водоупорные



2.1.2. Рассчитайте скорость движения подземных вод и расход ($\text{м}^3/\text{сут}$), используя данные, приведенные на рисунке (выше) и в таблице 2.1.1. Расчеты произвести как для каждого слоя в отдельности, так и для всего разреза в целом. Для расчетов использовать среднюю величину коэффициента фильтрации.

2.2. Химический состав подземных вод

Выражение концентрации раствора по молярной или эквивалентной концентрации. Данный способ выражения концентрации раствора применяется в трех вариантах: 1) по числу грамм-молекул (или грамм-ионов) растворенного вещества в 1 л раствора; 2) по числу грамм-эквивалентов растворенного вещества в 1 л раствора; 3) по числу миллиграмм-эквивалентов растворенного вещества в 100 г раствора.

Раствор, в 1 л которого содержится 1 грамм-молекула вещества, т. е. количество граммов вещества, численно равное его молекулярному весу (например, 58,454 г NaCl, 120,38 г MgSO₄, и т. п.), называется молярным раствором (М).

Для обозначения молярных концентраций принято ставить химические формулы данных веществ в квадратные скобки, например: [MgSO₄].

Раствор, в 1 л которого содержится 1 грамм-эквивалент вещества, т. е. количество граммов вещества, численно равное его эквивалентному весу (например, 58,454 : 1 = 58,454 г NaCl, 120,38 : 2 = 60,19 г MgSO₄, 133,34 : 3 = 44,45 г AlCl₃ и т.п.), называется нормальным раствором (н.).

Величина, в тысячу раз меньше грамм-эквивалента, называется миллиграмм-эквивалентом (мг-экв), а в миллион раз меньше – микрограмм-эквивалентом (мкг-экв). Для обозначения концентраций, выраженных в мг-экв/л принято ставить перед соответствующим ионом значок *r* (например, *r*Na⁺, *r*Ca²⁺, *r*C⁻ и т. п.).

В гидрогеологической практике чаще всего концентрация веществ в воде выражается в мг/л и мг-экв/л, а для микрокомпонентов в мкг/л.

Перевод различных форм выражения концентрации раствора. Для перевода различных форм выражения концентраций водных растворов в форму выражения мг/л можно пользоваться соответствующими коэффициентами. Искомые результаты достигаются умножением соответствующих данных на эти коэффициенты:

Весовые проценты	d*·10000
Весовые промилле (‰)	d·1000
p.p.m.	d
Грамммы на литр	1000
Микрограммы на литр или мг/м ³ ...	0,001

Для перевода различных концентраций в концентрацию, выраженную

* d – удельные веса испытуемых растворов; А – основность вещества (или для ионов – их валентность).

в мг-экв/л, пользуются коэффициентами:

Молярные растворы (М)	A*1000
Нормальные растворы (н.)	1000
Микрограмм-эквивалент на 1 л	0,001
Миллиграмм-эквиваленты в 100 г раствора ...	d·10

Пересчет из мг/л в мг-экв/л может производиться умножением на следующие коэффициенты, а пересчет из мг-экв/л в мг/л производится умножением на эквивалентные веса соответствующих ионов:

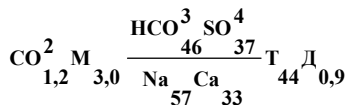
Ион	Коэффициент	Эквивалентный вес	Ион	Коэффициент	Эквивалентный вес
Na ⁺	0,0435	22,99	Ba ²⁺	0,0146	68,68
K ⁺	0,0256	39,10	Sr ²⁺	0,0228	43,81
Ca ²⁺	0,0499	20,04	Cl ⁻	0,0282	35,46
Mg ²⁺	0,0822	12,16	Br ⁻	0,0125	79,92
Fe ³⁺	0,0537	18,62	J ⁻	0,0079	126,91
Fe ²⁺	0,0358	27,92	F ⁻	0,0526	19,00
Al ³⁺	0,111	8,99	SO ₄ ²⁻	0,0208	48,03
Mn ²⁺	0,0364	27,47	HCO ₃ ²⁻	0,0164	61,02
Zn ²⁺	0,0306	32,69	NO ₃ ⁻	0,0333	62,01
Cu ²⁺	0,0315	31,77	NO ₂ ⁻	0,0217	46,01
Pb ²⁺	0,0096	103,60	HS ⁻	0,0302	33,07

Выражение химического состава воды в виде формул. Наряду с графиками и диаграммами в гидрогеологической практике для изображения химического состава воды широко пользуются формулами.

Из формул наибольшей популярностью пользуются формула Курлова и формула солевого состава воды.

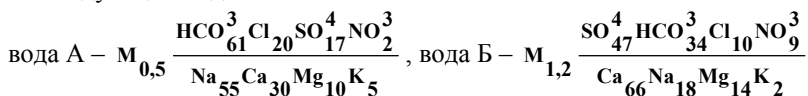
Формула Курлова представляет собой псевдодробь, в числителе которой представлены анионы (в %-экв.) в убывающем порядке их содержания, а в знаменателе — в таком же порядке катионы.

Ионы, присутствующие в количестве менее 10%-экв., в формуле не указываются. Формула сопровождается дополнительными данными. Слева от дроби указываются в г/л: количество газов и активных элементов при содержании их не меньше нижних норм, отличающих обычные воды от минеральных, и М — сумма минеральных веществ в граммах до первого десятичного знака. Справа от дроби указываются температура воды и дебит в л/сек. Так, химический состав воды одного из источников, характеризующейся температурой +44°C, дебитом 0,9 л/сек, суммой минеральных веществ 3,0 г/л, содержанием свободной углекислоты 1,2 г/л и процент-эквивалентным содержанием HCO₃ — 46, SO₄ — 37, Na⁺ — 57, Ca²⁺ — 33, может быть выражен формулой Курлова:



Формула солевого состава воды отличается от формулы Курлова тем, что в ней указаны все основные анионы и катионы, независимо от их содержания, и не указаны температура и дебит воды. Формулой солевого состава воды особенно удобно пользоваться в тех случаях, когда требуется проводить большое количество анализов, так как она позволяет упрощать табличный материал и делать его более наглядным.

Выраженные в виде этой формулы результаты анализа воды А состава (в мг-экв/л): $\text{HCO}_3^- = 5,0$; $\text{SO}_4^{2-} = 1,40$; $\text{Cl}^- = 1,64$; $\text{NO}_3^- = 0,16$; $\text{Ca}^{2+} = 2,46$; $\text{Mg}^{2+} = 0,82$; $\text{Na}^+ = 4,51$; $\text{K}^+ = 0,41$; (сухой остаток – 466 мг/л) и воды Б состава: $\text{HCO}_3^- = 6,32$; $\text{SO}_4^{2-} = 8,75$; $\text{Cl}^- = 1,86$; $\text{NO}_3^- = 1,67$; $\text{Ca}^{2+} = 12,29$; $\text{Mg}^{2+} = 2,60$; $\text{Na}^+ = 3,34$; $\text{K}^+ = 0,37$; (сухой остаток – 1152 мг/л), приобретают следующий вид:



Вода получает название по первым двум анионам и первым двум катионам в убывающем порядке (если количество второго аниона или катиона меньше 10%-экв., его название опускается). Так, вода А будет называться *гидрокарбонатно-хлоридно-натриево-кальциевая*, а вода Б – *сульфатно-гидрокарбонатно-кальциево-натриевая*.

Жесткость воды и ее виды. Жесткостью воды называется содержание в ней растворимых солей кальция и магния, выраженное в мг-экв/л. 1 мг-экв жесткости отвечает содержанию 20,04 мг/л Ca^{2+} и 12,16 мг/л Mg^{2+} . Для измерения малых жесткостей принимается тысячная доля мг-экв или мкг-экв в 1 л воды.

Различают пять видов жесткости: общую; устранимую (или временную); неустранимую (или постоянную); карбонатную и некарбонатную (остаточную).

Общая жесткость обусловлена наличием всех солей кальция и магния и вычисляется путем суммирования мг-экв этих ионов.

Устранимая (временная) и карбонатная жесткости обусловлены одними и теми же гидрокарбонатными (и карбонатными) солями кальция и магния, но имеют различное значение. Разница между ними заключается в том, что устранимая жесткость есть величина экспериментальная, пока-

зываются, на сколько уменьшается общая жесткость после длительного кипячения пробы, а карбонатная жесткость является величиной расчетной, вычисляемой по найденному в воде количеству гидрокарбонат- и карбонат-иона. Устраняемая жесткость всегда меньше карбонатной жесткости (чаще всего на 1–1,5 мг-экв). Карбонатная жесткость численно равна количеству мг-экв гидрокарбонатных и карбонатных ионов, содержащихся в воде. Однако когда она оказывается больше, чем общая жесткость, ее считают равной общей жесткости.

Неустраняемая (постоянная) и не карбонатная жесткости обусловлены хлористыми, сернокислыми, азотнокислыми и другими некарбонатными солями кальция и магния. Неустраняемая (постоянная) жесткость равна разности от вычитания из общей жесткости устраняемой (временной) жесткости; некарбонатная жесткость равна разности от вычитания из общей жесткости карбонатной жесткости.

Оценка природных вод по степени жесткости по О.А.Алекину

Оценка воды	Жесткость, мг-экв
Очень мягкая	до 1,5
Мягкая	1,5–3
Умеренно-жесткая	3–6
Жесткая	6–9
Очень жесткая	выше 9

Характеристические коэффициенты химического состава вод.

Коэффициент	Для каких вод вычисляется	Значения коэффициентов	
		Воды океанов	Средняя речная вода
$\frac{rSO_4^{2-}}{rCl^-}$	Для вод любого состава	0,10	1,57
$\frac{rCa^{2+}}{rMg^{2+}}$	То же	0,20	3,67
$\frac{rNa^+}{rCl^-}$	То же	0,85	1,79
$\frac{rCl^- - rNa^+}{rMg^{2+}}$	Для соленых вод	0,67	-
$\frac{rCl^- - rNa^+}{rSO_4^{2-}}$	То же	1,28	-
$\frac{rCl^- - rNa^+}{rCl^-}$	То же	0,13	-

Прогнозные эксплуатационные запасы подземных вод. Прогнозные эксплуатационные запасы подземных вод часто представляют модулем эксплуатационных запасов ($Mэ$), который выражается в л/сек с 1 км². Для расчета $Mэ$ в трещиноватых породах, характерных для большей части территории Республики Башкортостан, используется формула:

$$Mэ = 0,64 \cdot \mu \cdot S, \text{ или } Mэ = 0,32 \cdot \mu \cdot H$$

а для рыхлых аллювиальных четвертичных и неогеновых отложений формула:

$$Mэ = \frac{0,24KH^2}{505 + \frac{0,75KH}{\mu}},$$

где $Mэ$ – модуль естественных запасов (л/сек с 1 км²), S – максимально возможное понижение уровня воды (м), H – средняя мощность водоносного горизонта или комплекса (м), K – коэффициент фильтрации (м/сут), μ – коэффициент водоотдачи пород.

2.2.1. *Расчитайте общую, карбонатную и некарбонатную жесткость для химического состава вод, приведенных в таблицах 2.2.1 и 2.2.2. Оцените их по степени жесткости, согласно оценке О.А.Алекина. Расчитайте среднюю жесткость по каждому из бассейнов, указанному в таблицах, проведите сравнительный анализ, объясните различия в жесткости, обращая внимание на водоносные породы.*

2.2.2. *Расчитайте формулы солевого состава вод по данным, приведенным в таблице 2.2.1. Напишите названия вод по химическому составу.*

2.2.3. *Расчитайте формулы Курлова и солевого состава вод по данным, приведенным в таблице 2.2.2. Напишите названия вод по химическому составу.*

2.2.4. *Расчитайте значения модуля прогнозных эксплуатационных запасов вод в отложениях разного геологического возраста, приведенных в таблице 2.2.3.*

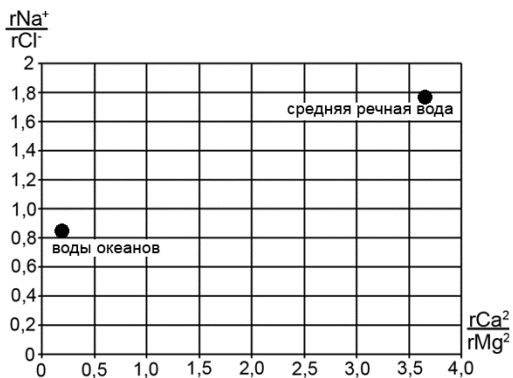
Таблица 2.2.1

Химический состав подземных вод Южноуральского региона (в мг-экв/л)*

№	Порода	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	HCO ₃ ⁻	Na ⁺ +K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺
Волго-Камский артезианский бассейн							
1	Доломиты	0,1	0,17	4,49	0,05	3,2	1,6
2	Известняки	0,09	0,5	3,3	0,36	2,0	1,71
3	Известняки	0,04	0,2	3,2	0,3	2,4	1,0
4	Известняки	0,2	0,09	4,8	0,47	4,1	0,75
5	Известняки	0,05	0,53	3,4	0,59	2,7	0,75
6	Известняки	0,05	0,34	5,2	0,69	3,5	1,7
7	Известняки	0,05	0,51	7,0	0,76	3,9	2,9
9	Песчаники	0,1	3,85	5,5	0,19	6,76	2,5
9	Песчаники	0,09	1,03	5,05	1,27	4,4	0,55
10	Сланцы глинистые	2,06	1,84	7,8	8,29	1,53	1,94
11	Аргиллиты	0,09	7,55	6,15	2,44	6,55	5,0
Бассейн трещинных вод Центрально-Уральского поднятия							
12	Песчаники	0,9	0,52	2,49	1,04	1,5	1,4
13	Известняки	0,19	0,29	4,8	0,25	4,55	0,62
14	Серицит-кварцевая порода	0,1	0,51	1,8	0,57	1,02	0,82
15	Хлорит-талк-серицитовые сланцы	11,42	2,52	–	9,74	1,68	2,52
16	Кварц-слоистые сланцы	0,98	1,02	2,9	1,14	1,58	1,58
17	Хлорит-талк-серицитовые сланцы	0,34	3,79	6,0	5,61	3,99	0,58
18	Кварциты	0,79	0,42	8,19	5,18	1,75	1,65
Бассейн трещинных вод Тагило-Магнитогорского прогиба							
19	Галечник	4,85	5,0	8,0	9,2	3,0	5,6
20	Известняк	32,9	36,6	7,0	42,0	27,2	7,3
21	Известняк	0,38	0,87	3,9	1,07	3,14	0,94
22	Известняк	16,1	8,97	7,2	17,61	5,91	8,75
23	Известняк	17,54	8,1	3,5	17,98	6,12	5,04
24	Известняк	21,4	4,86	3,4	17,78	6,12	5,76
25	Порфириты	12,9	4,5	3,8	8,2	2,6	10,4
26	Порфириты	6,93	2,7	5,0	7,68	3,5	3,45
27	Песчаники	2,07	1,12	7,0	5,21	2,65	2,33
28	Алевролиты	0,1	0,5	4,3	1,61	2,35	1,35
29	Туффиты	0,2	2,4	2,4	0,07	1,75	4,15
30	Туфопесчаники	0,09	0,31	3,4	0,5	2,32	1,09
31	Туфопесчаники	5,51	0,8	0,4	2,13	3,5	1,08
32	Туфопесчаники	67,32	15,23	4,1	17,43	36,95	33,4
33	Глинистые сланцы	2,04	0,22	4,8	0,51	3,5	3,05

Примечание: При расчетах формул солевого состава сумму Na⁺+K⁺ считать как Na⁺.

* Здесь и далее табличные данные приводятся по «Гидрогеологии СССР, том XV».



2.2.5. Рассчитайте средние значения химического состава вод, приведенных в таблице 2.2.1 для каждого бассейна. После этого рассчитайте их характеристические коэффициенты. Нанесите полученные данные на диаграммы. Проведите анализ полученных диаграмм, уделив особое внимание генезису вод каждого бассейна.

Таблица 2.2.2

Химические составы вод родников (в мг-экв/л)

№	Порода	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	HCO ₃ ⁻	Na ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	t°C/ дебит
Волго-Камский артезианский бассейн								
1	Галечники	0,1	0,12	6,9	0,59	4,9	1,65	18/1,7
2	Пески	0,1	0,43	4,0	0,52	2,99	1,28	17/0,07
3	Пески	1,6	0,2	6,6	3,28	3,0	2,3	16/0,3
4	Пески с галькой	1,05	0,89	8,3	4,54	3,25	2,75	15/1,0
5	Конгломераты	4,03	1,69	3,8	7,83	0,85	0,84	18/2,75
6	Доломиты	0,23	1,41	5,5	0,4	3,69	2,95	14/0,3
7	Известняки	0,21	0,21	5,2	1,68	3,59	1,14	12/0,5
9	Известняки	0,4	14,4	5,0	1,6	13,6	4,6	12/2,0
9	Известняки	-	0,41	0,3	1,14	3,05	2,81	14/2,4
10	Известняки	-	0,3	6,7	1,65	3,15	2,84	12/0,5
11	Известняки	0,09	0,3	6,4	0,78	3,7	2,7	12/1,5
12	Известняки	4,48	3,04	9,4	5,85	1,42	9,65	18/1,0
13	Песчаники	0,2	1,2	5,8	1,0	3,4	2,8	18/2,5
14	Песчаники	0,09	0,51	4,7	0,76	2,45	2,63	14/3,7
15	Сланцы глинистые	0,36	0,12	5,6	0,79	5,32	1,98	15/33
16	Аргиллиты	0,1	0,45	3,65	0,21	3,24	0,75	17/1,3
Бассейн трещинных вод Центрально-Уральского поднятия								
17	Песчаники	0,15	0,24	0,4	0,49	0,2	0,1	15/1,0
18	Известняки	1,0	3,78	2,2	4,21	2,0	0,77	16/3,0
19	Слюдистые сланцы	-	1,0	1,6	0,9	0,8	0,9	18/0,5
20	Серицит-кварце- вые сланцы	0,1	0,12	0,65	0,05	0,05	0,76	18/0,75
21	Сerpентиниты	0,1	0,08	6,8	0,01	0,99	5,98	16/1,9
22	Глинисто-хлорито- вые сланцы	0,2	0,22	0,6	0,36	0,44	0,22	12/0,9
Бассейн трещинных вод Тагило-Магнитогорского прогиба								
23	Кварциты	1,03	1,2	0,8	2,26	0,44	0,33	19/0,7
24	Песчаник	1,3	1,97	3,4	2,4	1,97	2,43	14/0,5
25	Порфирит	-	0,2	3,6	0,99	1,6	1,21	12/1,5
26	Порфирит	0,48	0,29	4,0	0,17	2,28	2,12	16/1,0
27	Порфирит	0,38	0,41	2,6	0,34	1,94	0,81	14/2,5
28	Известняк	0,1	0,26	2,3	0,27	1,75	0,64	18/3,7
29	Известняк	0,24	0,17	2,8	0,37	2,1	0,9	15/33
30	Туфы	-	0,21	1,8	0,08	1,48	0,57	17/1,7
31	Диабазы	0,19	0,21	5,2	2,48	2,53	0,63	18/21
32	Туфы	0,1	0,41	4,25	0,36	1,0	3,4	21/11,5
33	Туфы	0,19	0,42	2,3	0,61	2,15	0,78	18/1,0
34	Туффиты	0,05	0,29	3,2	0,94	1,93	0,67	18/3,0
35	Диабазы	0,05	0,29	3,2	0,94	1,93	0,67	12/0,75
36	Диабазы	0,1	0,84	1,8	1,46	1,05	0,26	13/1,6
37	Диабазы	0,85	1,89	2,8	3,07	1,16	1,36	14/0,2

Примечание: Дебит приводится в л/сек.

Таблица 2.2.3

Воды отложений	Площадь, км ²	Н, м	S	К-Н, м ³ /сут	μ
Аллювиальных четвертичных и неогеновых в долинах рек:					
а) крупных	11400	12	6	720	0,25
б) малых	7000	10	5	54	0,15
Терригенных верхнепермских и триасовых (Прибельская равнина)	34480	64	32	46	0,008
Терригенно-карбонатных казанского яруса (Бугульминско-Белебеевская возвышенность)	11600	48	31	112	0,015
Карбонатных нижнепермских (Уфимское плато)	12500	58	32	400	0,02
Карбонатных карбоновых (восточный склон Урала)	1100	76	38	450	0,02
Терригенных нижнепермских и карбоновых (Приайская равнина)	8400	62	31	331	0,01
В зоне региональной трещиноватости вулканогенных девонских и силурийских (восточный склон Урала)	12000	57	28	46	0,005

3. ГИДРОЛОГИЯ

3.1. Реки. Морфометрические характеристики речных бассейнов

Извилистость и разветвленность рек. Извилистость реки характеризуется коэффициентом извилистости и определяется отношением длины участка реки (L), измеренной по карте, к длине прямой (l), соединяющей начало и конец участка, т. е.

$$k_{\text{изв}} = \frac{L}{l}.$$

При определении извилистости реки ее разбивают на отдельные участки по характеру извилистости и для каждого участка в отдельности устанавливают коэффициент извилистости. Коэффициент извилистости всегда больше единицы. Нередко речное русло разветвляется на несколько протоков, рукавов, образующих остров. Степень разветвленности реки выражается отношением суммы длин всех без исключения протоков, в том числе и участка главного русла $l_1 + l_2 + L$, к длине соответствующего участка главного русла. Такая характеристика называется коэффициентом разветвленности и вычисляется по формуле

$$k_{\text{разв}} = \frac{l_1 + l_2 + \dots + l_n + L}{L}.$$

Морфометрические характеристики бассейна. К основным морфометрическим характеристикам речного бассейна относят: площадь, длину, наибольшую и среднюю ширину, коэффициент асимметрии.

Площадь бассейна (F , км²). Для определения площади бассейна реки применяется ряд методов: измерение планиметром, определение с помощью геодезических таблиц, измерение палеткой, графическим методом.

Длина площади бассейна (L , км) определяется расстоянием по прямой от устья реки до наиболее отдаленной точки бассейна.

Наибольшая ширина бассейна (км) проводится перпендикулярно длине его в наиболее широком месте.

Средняя ширина бассейна ($B_{\text{ср}}$, км) определяется путем деления площади бассейна на его длину, т. е.

$$B_{\text{ср}} = \frac{F}{L} \text{ км.}$$

Коэффициент асимметрии бассейна (a). Главная река может занимать

симметричное положение (посреди бассейна) или боковое, т. е. подходить к одному из водоразделов. Обычно положение главной реки бывает асимметрично. Мерой асимметрии является коэффициент, определяемый по формуле:

$$a = \frac{F_{\Lambda} - F_{\Pi}}{F_{\Lambda} + F_{\Pi}},$$

2

где F_{Λ} – площадь левобережной части бассейна в км². F_{Π} – площадь правобережной части бассейна в км².

Конфигурация речного бассейна. Речные бассейны в большинстве случаев имеют грушевидную форму и характеризуются сужением в верховьях и низовьях и расширением в средней части. Конфигурация бассейна характеризуется коэффициентом развития длины водораздельной линии бассейна – r , представляющим собой отношение длины водораздельной линии (S) к длине окружности круга (S'), площадь которого равна площади бассейна, т. е.

$$r = \frac{S}{S'} = \frac{S}{2\sqrt{\pi F}} = 0,282 \frac{S}{\sqrt{F}},$$

где S – длина водораздельной линии в километрах; F – площадь бассейна (в км²).

Наименьшее возможное значение коэффициента r равно единице; с его увеличением форма речного бассейна больше отличается от формы круга.

График нарастания площади бассейна реки характеризует постепенное увеличение (нарастание) площади бассейна реки по длине от истока к устью. Для построения этого графика на топографической карте проводят водораздельные линии бассейнов притоков главной реки, определяют площади бассейна притоков, межприточных участков и расстояния от устья главной реки до мест впадения притоков и составляют таблицу изменения площадей по длине реки для правого и левого берегов. На основании данных таблицы строится график, на котором откладывается по горизонтальной – площади межприточных участков и площади бассейнов притоков в местах впадения их в главную реку.

Пример*. *Определить морфометрические характеристики бассейна р. Ледок до устья. Дано: выкопировка из топографической карты масштаба 1:25000 (см. рис.3.1.1.). Водоразделы главной реки и ее притоков нанесены пунктиром.*

Решение. В данном случае бассейн р. Ледок делится на три бассейна

* Здесь и далее примеры со знаком «*» даны по Н.А.Соломенцеву и др., 1961.

притоков и пять межприточных участков. Определяем площади бассейнов притоков и межприточных участков, данные о которых помещаем в табл. 3.1.1.

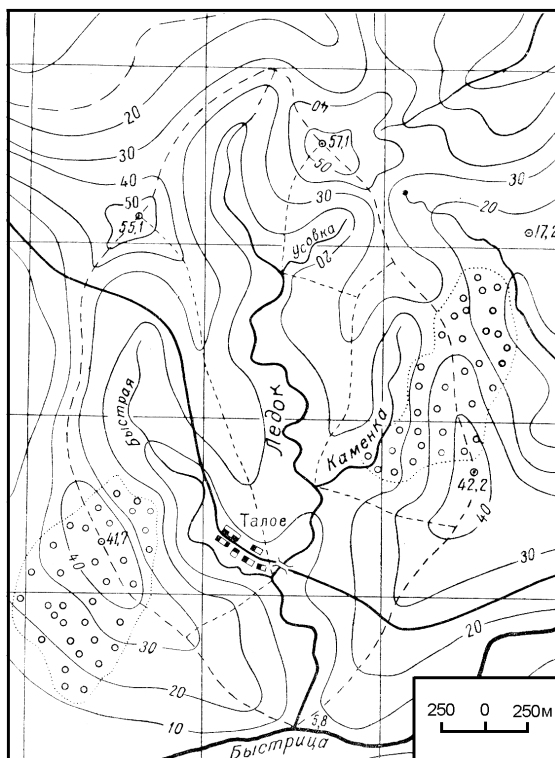


Рис. 3.1.1. Выкопировка топографической карты бассейна р. Ледок.

а) длина бассейна р. Ледок составляет 3,75 км,

б) наибольшая ширина бассейна р. Ледок – 2,25 км,

в) средняя ширина бассейна вычисляется по формуле $V_{ср} = \frac{F}{L} = \frac{5,66}{3,75} =$

1,51 км,

г) коэффициент асимметрии бассейна определяется по формуле $a =$

$$\frac{F_A - F_{II}}{F_A + F_{II}} = \frac{3,08 - 2,58}{\frac{5,66}{2}} = 0,18,$$

д) коэффициент развития длины водораздельной линии вычисляется по формуле $r = 0,282 \frac{S}{\sqrt{F}} = \frac{9,16}{\sqrt{5,66}} = 1,08$.

Для построения графика нарастания площади бассейна по длине р. Ледок составляют вспомогательную табл. 3.1.1. Далее строится график (рис. 3.1.2.).

Таблица 3.1.1

Данные к построению графика нарастания площади бассейна р. Ледок

Площадь	Расстояние от устья, км	Площадь, км ²		Площадь	Расстояние от устья, км	Площадь, км ²	
		F	ΣF			F	ΣF
Правый берег				Левый берег			
Межприточный участок 1	—	1,04	1,04	Межприточный участок 3	—	0,31	0,31
р. Быстрая	1,11	1,70	2,74	р. Усовка	3,66	0,37	0,68
Межприточный участок 2	—	0,34	3,08	Межприточный участок 4	—	0,40	1,08
				р. Каменка	1,82	0,89	1,97
				Межприточный участок 5	—	0,61	2,58

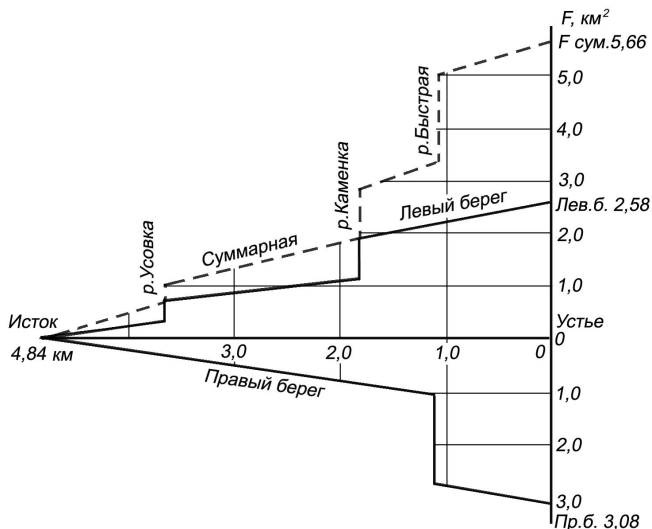
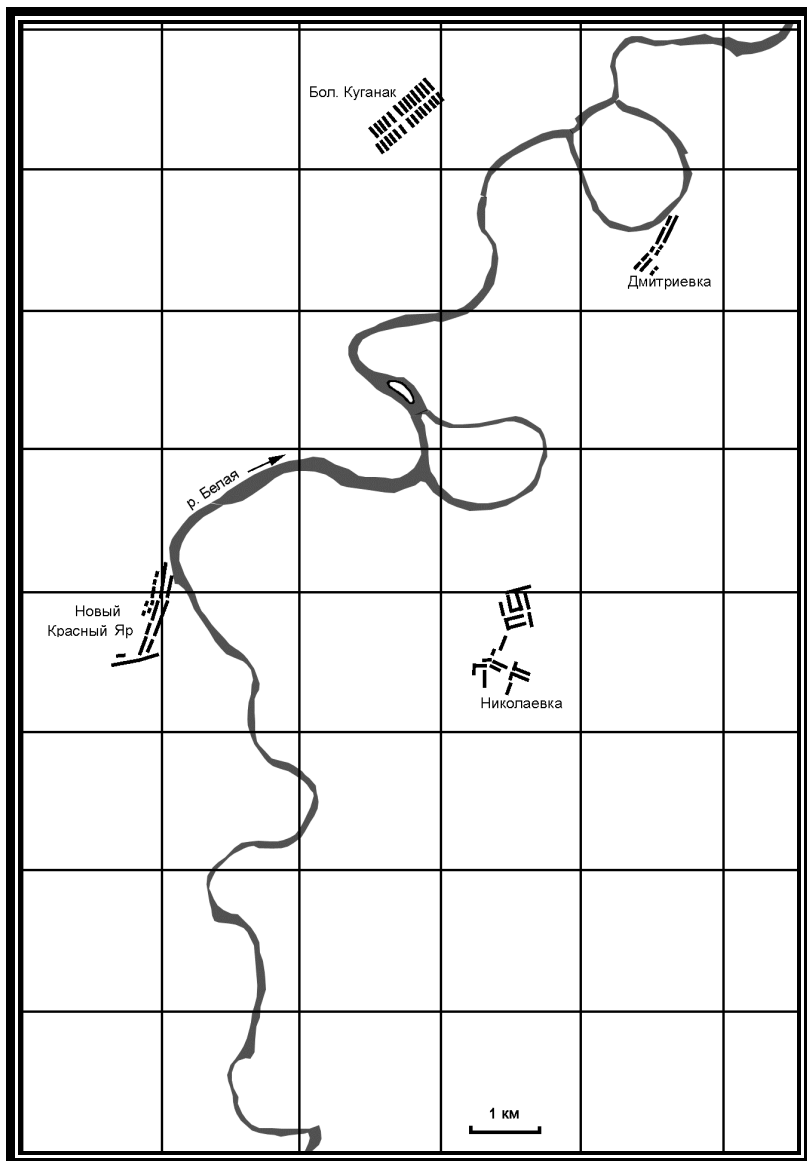
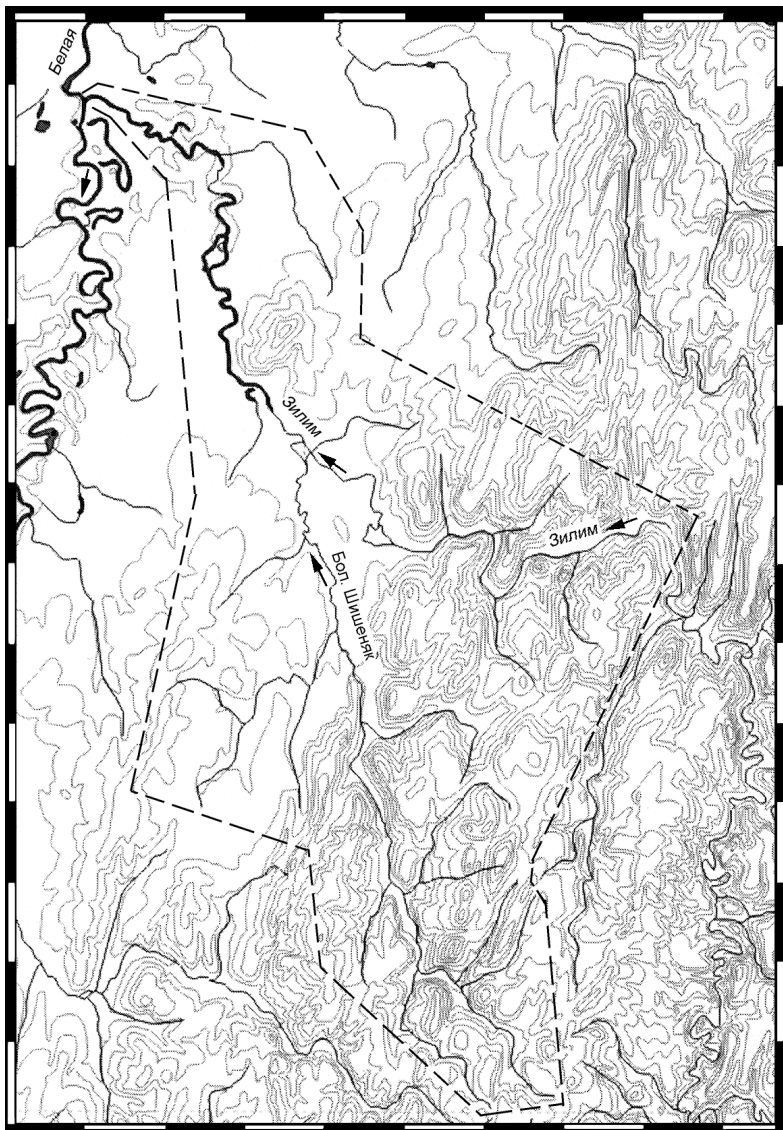


Рис. 3.1.2. График нарастания площади бассейна р. Ледок



3.1.1. Рассчитать коэффициенты извилистости и разветвленности реки Белая.



3.1.2. Рассчитать морфометрические характеристики бассейна реки Зилим (площадь, длину, среднюю ширину, коэффициент асимметрии и конфигурацию), который околонтурен пунктирной линией. Построить график нарастания площади бассейна реки Зилим, используя пример, приведенный выше. Масштаб: одно деление рамки карты равно 1 км.

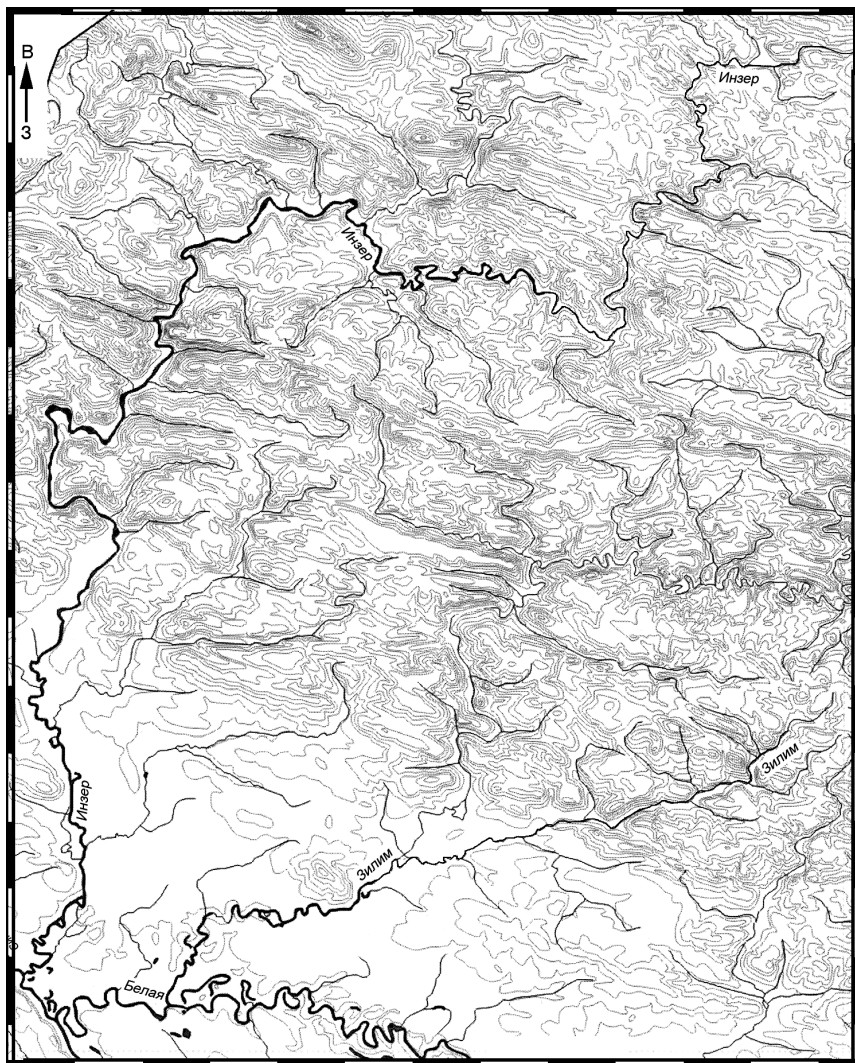


Рис. 3.1.2. Схема бассейнов рек Инзер и Зилим.

3.1.3. Определить густоту речной сети бассейнов рек Инзер и Зилим (рис. 3.1.2.) тремя различными способами. Сравнить полученные результаты. Масштаб – одно деление рамки карты равно 1 км.

Определение густоты речной сети производят несколькими способами:

1. Подсчитывается суммарная длина в километрах всех рек, находящихся на данной площади, и делится на величину этой площади (в км²), т. е.

$$D = \frac{\Sigma L}{F}, \text{ км/км}^2.$$

Это отношение дает коэффициент густоты речной сети. Рассмотренный способ рекомендуют применять в тех случаях, когда густота речной сети равномерна для данной площади, а также для небольших площадей.

2. Второй метод заключается в том, что исследуемая площадь на карте крупного масштаба делится на квадраты со стороной 2 км и сумма длин всех рек каждого квадрата делится на его площадь – 4 км². Этот метод дает подробную характеристику густоты речной сети для различных частей исследуемой площади. Распределение густоты речной сети по данной территории может быть представлено линиями равной густоты – изоденсами.

3. По третьему способу вся площадь бассейна данной реки, включая и ее притоки, делится на отдельные площадки, ограниченные водотоками и водораздельной линией. Чем гуще речная сеть, тем меньше площадка. Если между двумя соседними реками таких площадок будет n , а площадь исследуемой территории F , то густота речной сети (D) будет равна

$$D = \frac{F}{n}.$$

В этом способе нет надобности измерять длину рек.

Определенные тем или иным способом характеристики густоты речной сети являются в некоторой мере условными, так как зависят от масштаба карт, по которым они определялись.

Продольный профиль реки. При выработке профиля равновесия, кроме всего прочего, большую роль играет уклон речной долины. Разность отметок (Δh) водной поверхности истока (H_1) и устья – H_2 (или каких-либо двух точек по длине реки) называют падением реки. Отношение величины падения (Δh) к длине реки (или длине данного участка реки) называется уклоном реки, т. е.

$$i = \frac{H_1 - H_2}{L} = \frac{\Delta h}{L} = \text{tg}\alpha.$$

Уклон реки представляет собой величину безразмерную и выражается в виде десятичной дроби или в промиллях (‰). Например, средний уклон

р. Оки, выраженный десятичной дробью равен $i = \frac{159,5\text{м}}{1477\text{км}} = 0,00011$, что

соответствует в промиллях 0,11‰, т.е. на 1 км протяжения реки падение в среднем составляет 0,11 м.

Пример.* Построить продольный профиль р. Мсты на участке 385–370 км от устья. Дано: ведомость отметок dna, бровок правого и левого берегов, уровней воды и расстояния от устья р. Мсты (табл. 3.1.2).

Решение. Масштабы для продольного профиля выбираются с таким расчетом, чтобы все характеристики по длине участка реки были четко видны на чертеже. В данном примере принимаем горизонтальный масштаб 1 см – 1000 м, вертикальный – 1 см – 1 м. Построение продольного профиля удобно выполнять на миллиметровой бумаге. Готовый профиль приведен на рис. 3.1.3.

Таблица 3.1.2

Данные к построению продольного профиля р. Мсты
на участке 385–370 км от устья

Расстояние от устья, км	Отметки dna, м, абс.	Отметки бровок берегов, м, абс.		Отметки уровней воды, м, абс.		Падение на участке, м	Длина участка, км	Уклон, ‰, м/км
		правого	левого	max	min			
385,0	62,27	63,54	65,05	62,12	62,91	0,26	3,4	0,08
384,2	62,00	67,76	63,60					
383,4	61,36	63,00	64,90					
382,8	61,65	65,10	63,64					
382,4	61,42	66,81	64,90					
381,8	61,89	65,35	63,88					
381,6	61,22	64,75	63,50	62,65	62,91	0,19	4,6	0,04
380,8	61,94	62,95	64,80					
380,4	61,72	66,22	64,41					
380,0	61,92	65,10	64,00					
379,7	61,62	64,15	63,75					
379,5	61,90	63,55	63,65					
378,7	61,60	64,50	64,05	63,90	62,46	0,21	1,4	0,15
378,0	60,95	64,05	65,10					
377,7	61,34	65,00	63,00					
377,0	61,15	64,72	65,45					
376,4	61,70	64,00	63,52					
375,6	61,50	62,98	65,24					
374,0	60,60	64,62	63,00	63,35	62,10	0,15	5,6	0,06
372,7	60,88	64,32	66,61					
371,9	60,59	64,10	63,20					
370,9	60,80	62,45	64,15					
370,0	60,52	64,15	63,92					

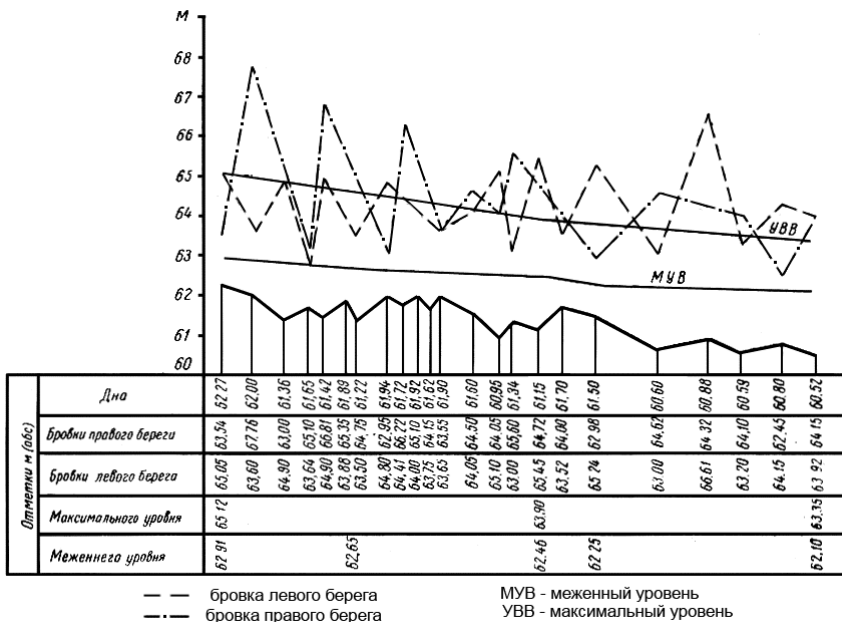


Рис. 3.1.3. Продольный профиль р. Мсты на участке 385–370 км от устья.

3.1.4. Определить продольный уклон водной поверхности на участке реки длиной 1,5 км, если отметки уровня воды в начале и конце рассматриваемого участка равны $H_{\text{нач}} = 73,240$ м и $H_{\text{кон}} = 72,952$ м.

3.1.5. Определить средний уклон р. Невы в виде десятичной дроби. Длина реки равна 74 км, а общее падение 4,3 м.

3.1.6. Вычислить средний уклон р. Терека в промилле. Отметка истока 2713 м, отметка устья – 28 м. Длина Терека 591 км.

3.1.7. Определить средний уровень р. Зап. Двины, если падение реки от истока до устья составляет 221 м. Общая длина реки 1003 км.

3.1.8. Построить продольный профиль р. Зилим на участке 70 – 60 км от устья (табл. 3.1.3). Требуется: 1. Построить продольный профиль реки с нанесением отметок дна, бровок берегов, максимального и меженного уровней воды. 2. Вычислить уклон меженного уровня воды на

участке реки 70 – 60 км от устья. 3. Определить уклон поверхности воды для участков с характерными переломами линии меженного уровня воды.

Таблица 3.1.3

Данные к построению продольного профиля р. Зилим
на участке 70–60 км от устья

Расстояние от устья, км	Отметка дна, м абс.	Отметка бровок берегов, м абс.		Отметка уровней воды, м абс.		Падение на участке при меженном уровне, м	Длина участка, км	Уклон, ‰, м/км
		правого	левого	максимального	меженного			
70,0	226,52	232,75	235,10	230,05	228,64			
69,1	226,90	228,80	229,70					
68,6	228,08	234,00	231,61					
67,7	226,41	232,67	228,92					
67,5	227,40	232,35	232,18					
67,1	225,56	231,77	230,65	229,70	228,52			
66,6	227,82	234,30	228,90					
66,4	226,94	234,45	228,75					
65,8	227,35	234,85	231,98		228,10			
65,5	226,00	235,05	231,00					
65,0	227,12	235,40	228,95					
64,4	226,29	228,71	234,05	229,19	228,00			
63,9	227,32	233,95	228,73					
63,3	226,64	233,38	232,30					
62,6	226,90	235,10	236,01					
62,4	226,25	235,72	234,58					
61,8	226,72	232,30	231,79					
61,2	226,65	233,05	235,78					
60,4	224,92	236,02	229,10					
60,0	225,15	234,55	232,45	227,92	226,82			

Вычисление средней величины осадков для площади речного бассейна. Для вычисления средней величины осадков речного бассейна необходимо иметь данные об осадках по наблюдениям на метеорологических станциях, расположенных как на площади данного речного бассейна, так и на ближайших к нему. Средний слой осадков для изучаемого речного бассейна может быть вычислен по одному из следующих способов:

1. *Способ среднего арифметического.* Среднее количество осадков вычисляется как среднее арифметическое из данных всех метеорологических станций, расположенных на территории речного водосбора, по формуле:

$$x_{\text{ср}} = \frac{\sum x_i}{n} \text{ мм},$$

где $\sum x_i$ – сумма осадков метеостанций, принятых для расчета; n – число станций. Применение этого метода может быть рекомендовано для предварительных подсчетов, если: а) метеостанции равномерно распределены по площади водосбора, б) показания смежных станций незначительно различаются между собой (не более 10%), в) водосбор имеет сравнительно равнинный характер.

2. *Метод квадратов.* По этому способу рассматриваемый речной водосбор делится на равновеликие квадраты (рис. 3.1.4., а), размеры и число которых назначают в зависимости от величины площади речного водосбора и числа станций, находящихся на данном водосборе и поблизости от линии водораздела на смежных водосборах. Далее вычисляют среднюю величину осадков для каждого квадрата как среднее арифметическое из показаний всех имеющихся на нем станций. При положении станции на границе двух квадратов ее показания относятся к этим квадратам; для квадратов, в которых отсутствуют метеорологические станции, величина осадков находится путем интерполирования между значениями соседних станций. Полученные для каждого квадрата величины средних количеств осадков выписываются на карте в центре квадрата. Среднее количество осадков для речного водосбора определяют по формуле:

$$x_{\text{ср}} = \frac{\sum x_i}{n} \text{ мм},$$

где $\sum x_i$ – сумма средних количеств осадков по всем квадратам; n – число квадратов. Проверка расчета по этому способу производится повторным вычислением $x_{\text{ср}}$, но при ином расположении и числе квадратов. Расхождение в результатах обоих вычислений не должно превышать 5%.

3. *Метод взвешивания* состоит в том, что нанесенные на карту точки расположения метеорологических станций соединяются прямыми линиями, при помощи которых площадь водосбора делится на сеть треугольников (рис. 3.1.4., б). Из середины каждой линии треугольника проводятся перпендикуляры, определяющие границы участка водосбора, прилегающего к данной станции. Площади этих участков, относящихся к каждой станции, определяют тот вес, с которым должны быть приняты осадки соответствующих метеостанций при вычислении средней величины слоя осадков для речного водосбора по формуле:

$$x_{\text{ср}} = \frac{x_1 f_1 + x_2 f_2 + x_3 f_3 + \dots + x_n f_n}{f_1 + f_2 + f_3 + \dots + f_n}, \text{ мм}$$

где $x_1, x_2, x_3 \dots x_n$ – величина осадков соответствующей станции; $f_1, f_2, f_3 \dots f_n$ – площади участков водосбора, тяготеющих к каждой станции. Правильность графического построения проверяется тем, что перпендикуляры к трем сторонам треугольника всегда пересекаются в одной точке.

4. *Метод изогьет.* На карту речного водосбора наносят данные осадков всех метеорологических станций и проводят изогьеты (рис. 3.1.4., в) – линии равного количества осадков, выраженные в миллиметрах. Затем, планиметром определяют площади, ограниченные изогьетами в пределах данного речного водосбора, и по формуле вычисляют среднюю высоту осадков для всего водосбора:

$$x_{cp} = \frac{\frac{x_1 + x_2}{2} f_1 + \frac{x_2 + x_3}{2} f_2 + \frac{x_3 + x_4}{2} f_3 + \dots + \frac{x_{n-1} + x_n}{2} f_n}{f_1 + f_2 + f_3 + \dots + f_n}, \text{ мм}$$

где $x_1, x_2, x_3 \dots x_n$ – значения осадков по изогьетам; $f_1, f_2, f_3 \dots f_n$ – площади, ограниченные изогьетами и линией водораздела. Метод изогьет является наиболее точным.

Пример.* Вычислить среднее годовое количество осадков для бассейна р. Ледок до устья. Дано: Выкопировка из топографической карты бассейна р. Ледок до устья (рис. 3.1.4). Среднегодовое количество осадков по метеорологическим станциям в бассейне р. Ледок.

№ станций	1	2	3	4	5	6	7	8	
Осадки, мм	518	502	492	505	482	487	491	477	
№ станций	9	10	11	12	13	14	15	16	17
Осадки, мм	471	481	481	467	461	464	459	433	413

Решение: 1. Метод среднего арифметического. Среднее годовое количество осадков для бассейна вычисляется по формуле $x_{cp} = \frac{\sum x_i}{n}$, где $\sum x_i$

$$= 8084, n = 17. \text{ Следовательно } x_{cp} = \frac{8084}{17} = 475 \text{ мм.}$$

2. Способ квадратов. Площадь бассейна разделена на 11 равновеликих квадратов (см. рис. 3.1.4., а). Полученные средние значения осадков выписываются в каждом квадрате (обведено кружком). Среднее годовое количество осадков для бассейна определяется путем деления суммы средних осадков каждого квадрата на их число, т. е. $x_{cp} = \frac{\sum x_i}{n}$, где $\sum x_i =$

$$5272, n = 11. \text{ Тогда } x_{cp} = \frac{5272}{11} = 479 \text{ мм.}$$

3. Метод изогьет. На карту бассейна (см. рис. 3.1.4., в) наносят данные атмосферных осадков всех метеорологических станций за приведен-

ный период времени. Затем через 20 мм проводят изогии. Далее определяют площади (в делениях планиметра) между изогиями и данные вычислений помещают в таблицу 3.1.4.

Средняя величина осадков для бассейна подсчитывается по формуле:

$$x_{cp} = \frac{\sum x_i n_i}{\sum n_i} = \frac{456690}{955} = 478 \text{ мм.}$$

Таблица 3.1.4

№ п/п.	Значения изогий, мм	Полусумма значений двух соседних изогий X мм	Площадь между изогиями, в делениях планиметра	Произведение
1	520–500	510	145	73950
2	500–480	490	360	176400
3	480–460	470	286	134420
4	460–440	450	102	45900
5	440–420	430	30	12900
6	420–400	410	32	13120
			Σ 955	456 690

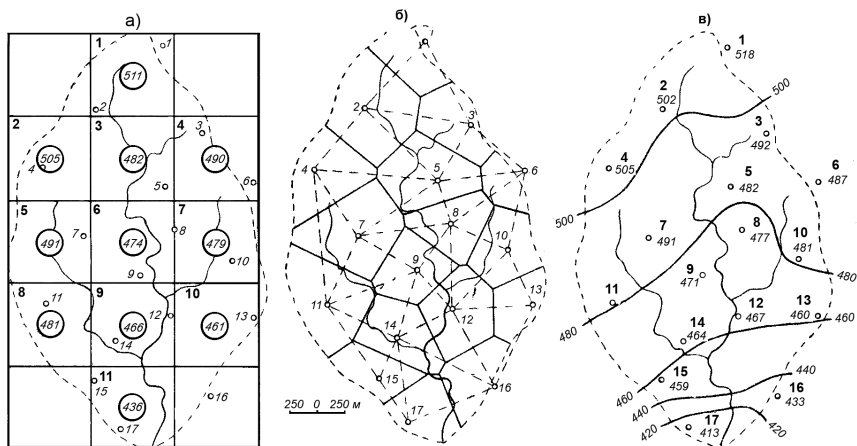


Рис. 3.1.4. Схемы применения различных методов для определения средней величины осадков в бассейне р. Ледок

3.1.9. Определить среднее годовое количество осадков для бассейна р. Южный Буг до г. Вознесенска. Дано: 1. Выкопировка из карты бассейна р. Южный Буг до г. Вознесенска (рис. 3.1.5). 2. Среднегодовое количество осадков по метеорологическим станциям, расположенным в бассейне р. Южный Буг и вне его (табл. 3.1.5). Требуется: Определить среднее годовое количество осадков для бассейна р. Южный Буг до г. Вознесенска методами: а) среднего арифметического, б) квадратов, в) изогиеит. Полученные величины осадков сравнить между собой.

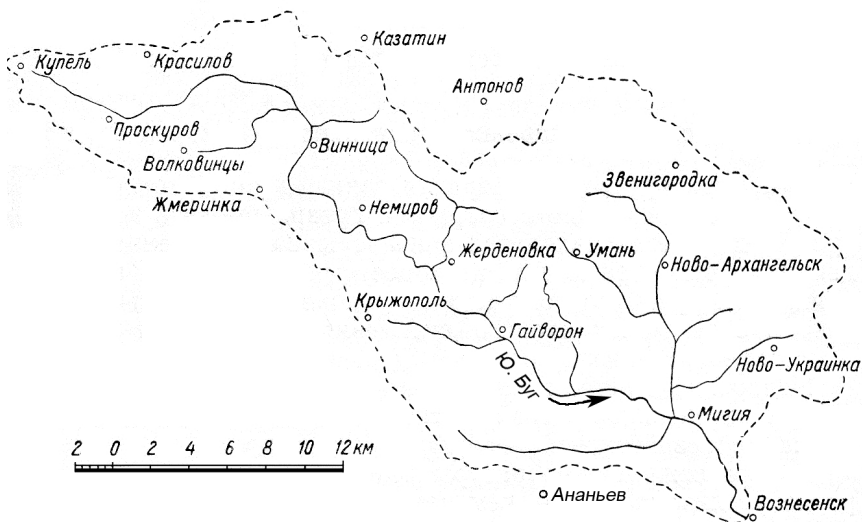


Рис. 3.1.5. Выкопировка из карты бассейна р. Южный Буг

Таблица 3.1.5

№ п/п	Наименование станций	Среднее годовое количество осадков, мм	№ п/п	Наименование станций	Среднее годовое количество осадков, мм
1	Красилов	542	11	Жерденовка	487
2	Купель	566	12	Гайворон	432
3	Проскуров	570	13	Умань	472
4	Волковинцы	540	14	Звенигородка	468
5	Казатин	556	15	Ананьев	395
6	Винница	476	16	Мигия	448
7	Жмеринка	480	17	Кировоград	476
8	Немиров	497	18	Ново-Украинка	418
9	Антонов	470	19	Ново-Архангельск	485
10	Крыжополь	518	20	Вознесенск	407

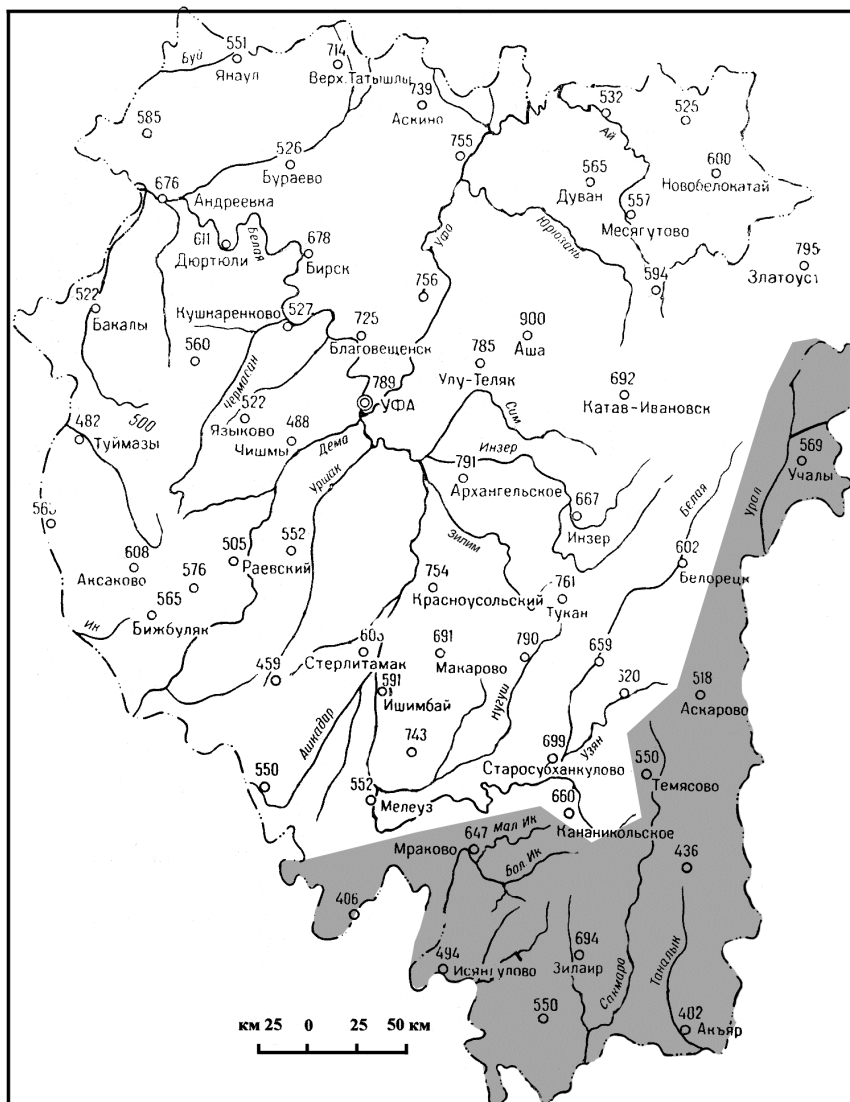


Рис. 3.1.6. Выкопировка из карты бассейна р. Белой в пределах Республики Башкортостан. Серой заливкой выделен бассейн р. Урал. Цифры на схеме – годовое количество осадков (в мм).

3.1.10. Определить среднее годовое количество осадков для бассейна р. Белой в пределах Республики Башкортостан. Дано: Выкопировка из карты бассейна р. Белой в пределах Республики Башкортостан (рис. 3.1.6). Требуется: Определить среднее годовое количество осадков для бассейна р. Белой в пределах Республики Башкортостан методами: а) среднего арифметического, б) квадратов, в) изогнет. Полученные величины осадков сравнить между собой.

3.2. Речной сток, работа рек и речные наносы

Единицы измерения стока. В практике гидрологических расчетов в целях учета и сопоставления стока для различных рек или для различных створов на одной реке выработаны особые характеристики стока, из которых наиболее распространенные приводятся ниже.

1. Объем стока реки, который протекает через данный створ реки за какой-либо период времени (за год, месяц, сутки), выражается в м³ или км³.

2. Расход воды в кубических метрах за секунду (**Q**, м³/с) характеризует водность реки у данного створа (пункта) в любой момент времени. Для сопоставления водности реки у разных створов или для различных рек пользуются значением среднего расхода реки за какой-либо длительный период (многолетний, за год, за месяц). Значение среднего расхода реки за какой-либо период можно определить путем деления объема стока за этот период на число секунд в нем, т. е.

$$Q_{\text{ср}} = \frac{W}{T}, (\text{м}^3/\text{с}), \text{ откуда } W = Q_{\text{ср}} T$$

3. Модуль стока (**М**) – расход воды, стекающий за одну секунду с единицы площади бассейна реки. В практике гидрологических расчетов модуль стока выражают в литрах за секунду с 1 км² площади бассейна. Зная для какого-либо пункта на реке расход воды (**Q**) и площадь бассейна (**P**), модуль стока определяют из соотношения:

$$M = \frac{1000Q}{F}, \text{ л/с.}$$

4. Высота слоя стока (**h**) представляет собой выраженную в миллиметрах высоту слоя воды, который получится, если объем стока реки распределить равномерно по площади бассейна. Если известны объем стока за

какой-либо период (W) и площадь бассейна (P), то высота стока определяется из выражения:

$$h = \frac{W \cdot 10^3}{F \cdot 10^6} = \frac{W}{1000F}, \text{ или } h = \frac{Q_{\text{ср}} T}{1000F} \text{ (мм)}.$$

5. Коэффициент стока (η) представляет собой отношение слоя стока (h) с данной площади за какой-то промежуток времени к величине слоя осадков (x), выпавших на эту площадь за тот же промежуток времени

$$\eta = \frac{h}{x}.$$

Коэффициент стока является безразмерной величиной, которая всегда меньше единицы. Величина его показывает, какая доля осадков, выпавших в бассейне, стекает в реку. Значение коэффициента стока можно вычислить точно только для длительного многолетнего периода.

6. Модульные коэффициенты представляют собой отношение стока данного года или какого-либо периода к их среднемугодовому значению. Модульные коэффициенты характеризуют водность данного года; так, годы с модульным коэффициентом больше 1,0 являются многоводными, а годы с модульным коэффициентом меньше единицы – маловодными.

Пример.* Требуется определить многолетние характеристики стока для р. Белой у с. Николаевского, если известны: площадь бассейна $F = 24600 \text{ км}^2$, средняя годовая высота осадков – $x = 892 \text{ мм}$ и средние годовые расходы Q_p , выписанные в табл. 3.2.1.

Вычисляем сумму средних годовых расходов за весь период лет ($\Sigma Q_i = 8282 \text{ м}^3/\text{сек}$) и делением ее на число лет в периоде ($n = 34$ года) определяем первую характеристику среднего многолетнего стока:

а) средний годовой расход

$$Q_{\text{ср}} = \frac{\Sigma Q_i}{n} = \frac{8282}{34} = 243,6 \text{ м}^3/\text{сек},$$

затем, пользуясь вычисленным значением ($Q_{\text{ср}} = 243,6 \text{ м}^3/\text{сек}$, определяем и все другие характеристики,

б) суммарный объем стока

$$W = 243,6 \times 31,56 \times 10^6 = 7,68 \text{ км}^3$$

в) высота слоя стока

$$h = \frac{31560Q}{F} = \frac{31560 \times 243,6}{24600} = 312 \text{ мм},$$

г) модуль стока

$$M = \frac{Q_{\text{ср}} \times 1000}{F} = \frac{243,6 \times 1000}{24600} = 9,9 \text{ л/сек с } 1 \text{ км}^2,$$

д) коэффициент стока

$$\eta = \frac{h}{x} = \frac{312}{892} = 0,35.$$

Таблица 3.2.1

№ п/п.	Год	Средний расход, м³/сек	Модульный коэффициент	№ п/п.	Год	Средний расход, м³/сек	Модульный коэффициент
1	1896	218	0,89	18	1913	459	1,88
2	1897	309	1,29	19	1914	308	1,27
3	1898	180	0,74	20	1915	270	1,11
4	1899	190	0,78	21	1916	271	1,11
5	1900	197	0,81	22	1917	134	0,55
6	1901	236	0,97	23	1918	173	0,71
7	1902	222	0,91	24	1919	385	1,58
8	1903	239	0,98	25	1920	210	0,86
9	1904	130	0,53	26	1921	165	0,68
10	1905	153	0,63	27	1922	360	1,48
11	1906	282	1,16	28	1923	227	0,93
12	1907	247	1,02	29	1924	212	0,87
13	1908	260	1,07	30	1925	269	1,10
14	1909	225	0,92	31	1926	257	1,06
15	1910	148	0,61	32	1927	254	1,04
16	1911	243	0,99	33	1928	186	0,76
17	1912	408	1,68	34	1929	255	1,05
Сумма за 34 года						8282	243,6
Среднее						34,00	1,00

Модульные коэффициенты стока для каждого года определяются путем деления значения расхода данного года на средний многолетний и вписываются в соответствующую графу в таблице. 4. Заметим, что сумма модульных коэффициентов за расчетный ряд лет должна быть равна числу лет (в нашем примере $n = 34$).

3.2.1. Определить многолетние характеристики р. Сев. Донец у г. Чугуева, для которой площадь водосбора $F = 10300 \text{ км}^2$, средняя годовая высота осадков $x = 524 \text{ мм}$. Имеются стоковые данные за 26 лет, среднегодовые значения расходов воды приводятся ниже, в таблице 3.2.2.

3.2.2. Определить многолетние характеристики (средний годовой расход, суммарный объем стока, высоту слоя стока, модуль стока и коэффициент стока) рек Республики Башкортостан, данные по которым приведены в таблице 3.2.3. Необходимые данные по количеству осадков взять с рис. 3.1.6.

Таблица 3.2.2

№ п/п	Год	Расход, м ³ /сек	№ п/п	Год	Расход, м ³ /сек
1	1928	98,8	14	1941	278
2	1929	131	15	1944	39,1
3	1930	105	16	1945	109
4	1931	84,4	17	1946	141
5	1932	166	18	1947	132
6	1933	78,5	19	1948	50,1
7	1934	66,9	20	1949	51,0
8	1935	37,7	21	1950	46,9
9	1936	66,5	22	1951	121
10	1937	135	23	1952	124
11	1938	37,7	24	1953	125
12	1939	118	25	1954	41,0
13	1940	161	26	1955	170

Таблица 3.2.3

Река, гидрометрический пункт	Площадь водосбора, км ² / Расстояние створа от истока реки, км	Период на- блюдений, годы	Средний расход, м ³ /сек
Белая, д/о «Арский Камень»	2300/133	1932–1962	13,5
Белая, дер. Сыртланово	10100/484	1931–1962	63,5
Белая, г. Стерлитамак	21000/688	1919–1962	119
Белая, г. Уфа	100000	1878–1962	747
Белая, г. Бирск	121000	1881–1962	847
Нугуш, с. Новосеитово	353/41	1936–1962	3,97
Нугуш, хут. Андреевка	2870/192	1934–1962	31,9
Ашкадар, хут. Веселый	2250/129	1934–1962	6,83
Уфа, с. Янбай	31800/556	1950–1962	188
Уфа, с. Караидель	36400/642	1912–1958	244
Уфа, пост Дудкинский	53000	1931–1943	351
Дема, дер. Дюсяново	4030/146	1952–1962	16,6
Дема, дер. Бочкарева	12500/481	1947–1962	42
Чермасан, дер. Новоюрманово	3570161	1950–1962	7,9
Быстрый Танып, пгт. Чернушка	667/49	1950–1962	5,05
Быстрый Танып, дер. Алтаево	4860/242	1935–1962	29,8
Сюнь, с. Миньярово	4140/170	1945–1962	13,6
Ик, с. Нагайбаково	12300/317	1934–1962	45,5
Урал, с. Кизильское	15100	1926–1955	26,7
Сакмара, с. Сакмара	28700	1920–1955	128

Работа и мощность рек. Вода рек, стекающая по земной поверхности под действием силы тяжести, непрерывно производит значительную работу, которая зависит от скорости движения и от переносимых масс воды. Величина работы равна произведению веса стекающей воды на высоту падения реки, т. Е.

$$A = \gamma P H$$

где A – работа реки (в кг/м или т/м); γ – вес единицы объема (в т/м³); P – вес стекающей воды (в кг или т); H – падение реки в метрах.

Работа реки, производимая в единицу времени, называется мощностью, т. е.

$$N = \gamma \frac{P}{t} H.$$

Так как $\gamma = 1000 \text{ кг/м}^3$, а $\frac{P}{t} = Q \text{ м}^3/\text{с}$, то $N = 1000 QH \text{ кгМ/с}$.

Мощность водотока, если известен его средний многолетний расход Q (м³/с) и величина естественного падения – H (м), может быть выражена формулой (в киловаттах; 1квт = 102 кгМ/с):

$$N = \frac{1000}{102} QH = 9,8QH \text{ кВт.}$$

Если величину мощности (N) данного участка реки разделить на длину его (L), выраженную в километрах, получим удельную километровую мощность реки

$$N_{\text{уд}} = \frac{N}{L} \text{ кВт/км.}$$

Сумма мощностей участков реки на всем ее протяжении называется полной мощностью реки $\Sigma N = \Sigma(9,8 \cdot QH)$. Частное от деления полной мощности реки на площадь водосбора F называется удельной мощностью бассейна реки

$$n = \frac{\Sigma N}{F} \text{ кВт/км}^2.$$

Для наглядной характеристики реки в энергетическом отношении строят так называемый кадастровый водноэнергетический график (рис. 3.2.1), на котором приводятся совмещенные графики продольного профиля, нарастания среднего годового расхода, нарастания площади бассейна, суммарных и удельных мощностей реки. Основными расчетными данными, определяющими энергетические ресурсы каждого в отдельности участка реки, являются падение и расход воды на участке реки. При наличии этих данных водноэнергетические ресурсы отдельных водотоков подсчитываются путем поучасткового суммирования по расчетной формуле:

$$N = 9,8 \sum_{i=1}^{l=n} \frac{Q_{\text{lh}} + Q_{\text{lk}}}{2} H_i \text{ кВт,}$$

где Q_{lh} и Q_{lk} – соответственно средний многолетний расход воды в начале и в конце участка реки l ; H_l – падение реки на участке; n – число участков.

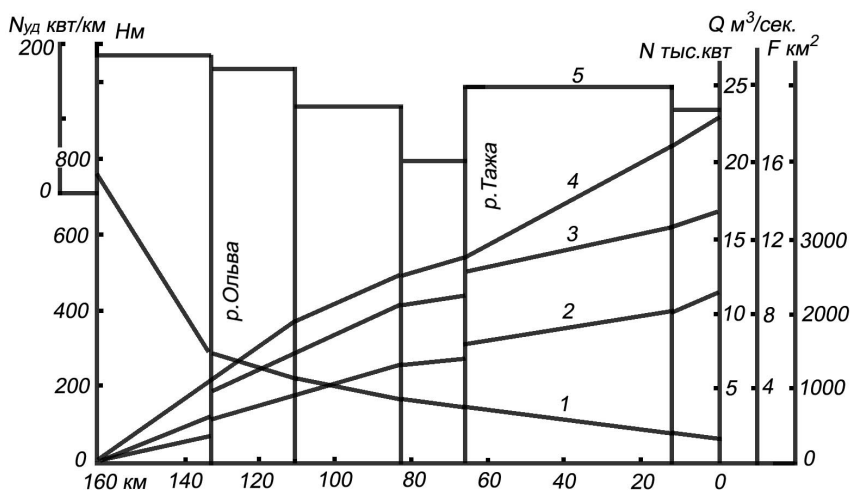


Рис. 3.2.1. Водноэнергетический кадастровый график р. Коквы (по Н.А.Соломенцеву и др.). Совмещенные графики: 1–продольного профиля реки, 2–нарастания площади бассейна, 3–нарастания среднего годового расхода, 4–суммарной мощности, 5–удельной мощности.

Метод поучасткового суммирования мощности позволяет оценить энергетические ресурсы по отдельным участкам реки, что особенно важно для практических целей. Запасы водной энергии подсчитываются обычно в табличной форме для всей реки с суммированием по участкам, кроме этого, делаются подсчеты удельной мощности на 1 км длины реки. Наряду с табличными материалами существенной частью водноэнергетического кадастра являются наглядные графические приложения, построение которых начинается с нанесения на график продольного профиля реки, затем на тот же график наносятся графики нарастания расходов воды и площадей по длине реки, графики суммарной и удельной мощности.

Пример.* Рассмотрим последовательность вычисления табл. 3.2.4, по данным которой будет построен кадастровый график р. Коквы (правый приток р. Сосьвы). Сначала вычисляют осредненный на участке реки

расход воды в м³/сек (графа 7 таблицы 3.2.4), например, на участке устье р. Ольвы – с. Коквенские Печи расход равен $\frac{3,7 + 5,8}{2} = 4,8$ м³/сек. Затем определяют падение на каждом участке (графа 8) путем вычисления отметок последовательно расположенных пунктов по длине реки; падение на участке от истока р. Коквы до устья р. Ольвы составляет 760-290 = 470 м. Средняя годовая мощность (графа 9) определяется умножением осредненного на участке расхода воды в м³/сек (графа 7,) на падение реки этого участка в метрах (графа 8) и на коэффициент перехода в квт – 9,8; так, для участка от истока до устья р. Ольвы мощность реки равна $1,2 \times 470 \times 9,8 = 5,5$ тыс. квт. Годовая выработка энергии (графа 11) вычисляется умножением мощности на количество часов в году (8760 часов), т. Е. $5,5 \text{ тыс. квт} \times 8760 \text{ час.} = 48 \text{ млн. квт-ч.}$ Величина удельной мощности (графа 13) находится как частное от деления средней годовой мощности (графа 9) на длину участка реки в км (графа 12); например, $5500 \text{ квт} : 30 \text{ км} = 183 \text{ квт/км.}$

Таблица 3.2.4

Подсчет гидроэнергетических ресурсов р. Коквы

Название створов (пунктов)	Расстояние от устья, км	Отметки, м	Площадь водосбора		Средний годовой расход воды, м ³ /сек		Осредненный на участке расход воды, м ³ /сек	Падение реки на участке, м	Средняя годовая мощность, тыс. квт	Суммарная мощность, тыс. квт	Годовая выработка энергии, млн. квт. час	Длина участка	Удельная мощность на 1 км, квт
			Без притока	С притоком	Без притока	С притоком							
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Исток	163	760	—	0	—					0			
Устье р. Ольвы	133	290	351	566	2,3	3,7	1,2	470	5,5	5,5	48	30	183
с. Коквенские Печи	111	212	898	898	5,8	5,8	4,8	78	3,7	9,2	80	22	168
с. Галка	83	163	1288	1288	8,4	8,4	7,1	49	3,4	12,6	110	28	121
Устье р. Тажа	66	153	1386	1562	9,0	10,2	8,7	10	0,8	13,4	117	17	47
с. Серово	12	81	2070	2070	12,5	12,5	11,4	72	8,0	21,4	187	54	148
Устье	0	70	2285		13,5		13,0	11	1,4	22,8	200	12	11

3.2.3. Подсчитать гидроэнергетические ресурсы для рек Республики Башкортостан (рр. Белая, Нугуш, Уфа, Дема, см. табл. 3.2.5). Построить водноэнергетический кадастровый график р. Белая, используя пример, приведенный выше.

Таблица 3.2.5

Река, гидрометрический пункт	Площадь водосбора, км ²	Расстояние створа от истока реки, км	Отметка дна, м абс.	Средний годовой расход, м ³ /сек
Белая, д/о «Арский Камень»	2300	133	478	13,5
Белая, дер. Сыртланово	10100	484	312,3	63,5
Белая, г. Стерлитамак	21000	688	122,6	119
Белая, г. Уфа	100000	910	81,04	747
Белая, г. Бирск	121000	1112	70,4	847
Нугуш, с. Новосеитово	353	41	382,7	3,97
Нугуш, хут. Андреевка	2870	192	159,6	31,9
Уфа, с. Янбай	31800	556	163,7	188
Уфа, с. Караидель	36400	642	139,9	244
Уфа, пост Дудкинский	53000	832	84,7	351
Дема, дер. Дюсяново	4030	146	107,7	16,6
Дема, дер. Бочкарева	12500	481	87,0	42

Сток взвешенных наносов. Количество наносов, содержащихся в единице объема воды, определяет ее мутность, которую выражают в г/м³. Взвешенные наносы являются наиболее изученной частью твердого стока рек. Основная масса их поступает в реки путем смыва с поверхности бассейна. Установление нормы стока взвешенных наносов производится различными способами в зависимости от степени изученности реки в отношении стока наносов. При наличии длительного ряда наблюдений по стоку взвешенных наносов (10 лет и более) норма стока наносов вычисляется аналогично вычислению нормы жидкого стока. При очень коротком ряде наблюдений (1–2 года) норма стока взвешенных наносов может быть определена одним из указанных ниже способов.

Первый способ основан на допущении, что годовая величина взвешенных наносов прямо пропорциональна годовому стоку воды, т. е. что

$$\frac{R_i}{Q_i} = \frac{R_0}{Q_0}$$

откуда, зная сток наносов за годы наблюдений R_i и соответственно за те же годы сток воды Q_i , а также норму годового стока воды Q_0 , можно определить норму взвешенных наносов из соотношения

$$R_0 = \frac{Q_0}{Q_i} R_i.$$



Рис. 3.2.2. Карта распределения средней мутности рек европейской части России. Залито серым – Павловское водохранилище.

Пример.* Требуется определить норму стока взвешенных наносов р. Синюхи у Синюхина Брода, для которой подсчитан средний годовой расход взвешенных наносов $R_i = 24,8$ кг/сек и средний годовой расход воды $Q_i = 53,2$ м³/сек. Норма стока воды для этого пункта составляет $Q_0 = 34,0$ м³/сек.

Подставляя известные значения в формулу, будем иметь: $R_0 = \frac{Q_0}{Q_i} R_i = \frac{34,0}{53,2} \cdot 24,8 = 15,9 \text{ кг/сек}$. Средняя мутность определяется из формулы $\rho_{cp} = \frac{R_0 \cdot 1000}{Q_0} = \frac{15,9 \cdot 1000}{34,0} = 469 \text{ г/м}^3$.

При отсутствии наблюдений над стоком взвешенных наносов норму стока приблизительно можно определить по карте распределения средней мутности рек. Карты средней мутности рек России имеют значительно меньшую точность, чем карты жидкого стока, что объясняется меньшим количеством наблюденных данных по твердому стоку, а также и значительно меньшей точностью его измерения.

Определение для неизученной реки среднего годового расхода взвешенных наносов (нормы наносов) производится по формуле:

$$R_0 = \frac{\rho_{cp} Q_0}{1000} \text{ кг/сек},$$

где R_0 – норма взвешенных наносов, ρ_{cp} – средняя мутность, определенная по карте, Q_0 – средний многолетний расход воды (норма стока воды).

Влекомые (донные) наносы. Методы вычисления стока влекомых наносов разработаны еще очень слабо, что объясняется как несовершенством полевых измерений, так и сложностью самого движения донных наносов. При расчетах твердого стока (в качестве первого приближения) величину среднего стока влекомых наносов принимают в долях от величины среднего стока взвешенных наносов

$$S_0 = K \cdot R_0,$$

где S_0 – средняя многолетняя величина стока влекомых наносов в кг/сек; R_0 – средняя многолетняя величина стока взвешенных наносов в кг/сек и K – коэффициент, принимаемый для равнинных рек равным 0,05–0,10 и для горных рек – 0,10–0,50.

Расчеты заиления водохранилищ. Для определения продолжительности заиления водохранилища в первую очередь необходимо знать среднее годовое количество наносов, поступающих в водохранилище, которое можно установить по данным наблюдений или при их отсутствии по карте распределения наносов.

Обычно количество наносов, приносимых рекой, выражается в весовых единицах. Для перехода от веса наносов к объему необходимо определить объемный вес их, который зависит от крупности частиц и их уплотнения. Объемный вес достаточно уплотненных илистых отложений составляет 0,5 –

0,8 т/м³, песчаных отложений 1,3 – 1,6 т/м³ и гравелистых 1,8 – 2,0 т/м³.

Среднее годовое количество наносов, поступающих в водохранилище, можно определить по формуле:

$$R_0 = \frac{\rho_{\text{ср}} W_0 (1 + r)}{\gamma \cdot 10^6} \text{ м}^3,$$

где $\rho_{\text{ср}}$ – средняя мутность реки, определенная по данным наблюдений или по карте мутности в г/м³; W_0 – средний годовой объем притока воды $W_0 = Q_{\text{ср}} 31,56 \cdot 10^6$; γ – объемный вес наносов и r – величина влекомых (донных) наносов в долях от объема взвешенных наносов, которая принимается от 0,01 до 0,10 (в среднем 0,05) для равнинных рек и от 0,10 до 0,80 – для горных рек.

Зная объем водохранилища W_B и годовое количество наносов, поступающих в него – R_0 , можно определить продолжительность заиления водохранилища по такому соотношению:

$$n = \frac{W_u}{R_0 (1 - \alpha)},$$

где n – число лет заиления водохранилища; W_B – объем водохранилища в м³, R_0 – годовой объем наносов, поступающих в водохранилище в м³ и α – доля мелких фракций наносов, которые транзитом проходят через водохранилище и сбрасываются в нижний бьеф; для равнинных рек ее можно ориентировочно принять равной 0,30 – 0,40 общего объема наносов.

Пример.* Требуется определить средний годовой объем наносов и продолжительность заиления водохранилища на р. Остер (приток р. Десны). Площадь водосбора $F = 250 \text{ км}^2$. Средний годовой расход воды $Q_{\text{ср}} = 0,82 \text{ м}^3/\text{сек}$, объем водохранилища $W_B = 115 \text{ тыс. м}^3$.

По карте (рис. 3.2.2) для зоны, в пределах которой протекает р. Остер, средняя мутность составляет от 50 до 150 г/м³. Учитывая рельеф и почвы бассейна, в качестве расчетной принимаем среднюю мутность $\rho_{\text{ср}} = 100 \text{ г/м}^3$. Как для равнинной реки принимаем долю влекомых (донных) наносов $r = 0,05$ и объемный вес наносов $\gamma = 0,80$. Годовой приток реки $W_0 = 0,82 \times 31,56 \times 10^6 = 25,9 \text{ млн. м}^3$. Общее количество наносов, поступающее за год в водохранилище, определяем по формуле R_0

$$= \frac{\rho_{\text{ср}} W_0 (1 + r)}{\gamma \cdot 10^6} = \frac{100 \times 25,9 \times 10^6 (1 + 0,05)}{0,8 \times 10^6} = 3400 \text{ м}^3.$$

Транзитную часть наносов мелких фракций, сбрасываемых в нижний бьеф, принимаем $\alpha = 0,30$ общего объема наносов. Продолжительность заиления водохранилища

$$\text{определится из соотношения } n = \frac{W_u}{R_0 (1 - \alpha)} = \frac{115000}{3400 (1 - 0,30)} = 48 \text{ лет.}$$

3.2.4. Требуется определить норму стока взвешенных наносов р. Тетерева у г. Житомира, для которой имеются такие данные: средний годовой расход взвешенных наносов за 1990 г. $R = 2,93$ кг/сек, средний годовой расход воды за 1990 г. $Q = 23,8$ м³/сек и средний многолетний расход воды (норма) $Q_0 = 16,3$ м³/сек.

3.2.5. Требуется определить средний годовой объем наносов и продолжительность заиления водохранилища на равнинной реке при следующих данных: площадь водосбора $F = 720$ км², средний годовой приток реки $Q_0 = 1,56$ м³/сек, средняя мутность реки $\rho_{cp} = 320$ г/м³, объем водохранилища $W_B = 820$ тыс. м³.

3.2.6. Определить нормы стока взвешенных наносов для рек, приведенных в таблице 3.2.6. Среднюю мутность определить по карте (см. рис. 3.2.2).

Таблица 3.2.6

Река, гидрометрический пункт	Площадь водосбора, км ²	Средний годовой расход, м ³ /сек	Средняя мутность, г/м ³	Норма наносов, кг/сек
Белая, д/о «Арский Камень»	2300	13,5		
Белая, дер. Сыртланово	10100	63,5		
Белая, г. Стерлитамак	21000	119		
Белая, г. Уфа	100000	747		
Белая, г. Бирск	121000	847		
Нугуш, с. Новосеитово	353	3,97		
Нугуш, хут. Андреевка	2870	31,9		
Уфа, с. Янбай	31800	188		
Уфа, с. Караидель	36400	244		
Уфа, пост Дудкинский	53000	351		
Дема, дер. Дюсяново	4030	16,6		
Дема, дер. Бочкарева	12500	42		

3.2.5. Требуется определить средний годовой объем наносов и продолжительность заиления Павловского водохранилища при следующих данных: площадь водосбора реки Уфа – $F = 47,1$ тыс. км², средний годовой приток $Q_0 = 188$ м³/сек, среднюю мутность определить по карте (см. рис. 3.2.2), полный объем водохранилища $W_B = 1411$ млн. м³.

3.3. Воднобалансовые расчеты

Уравнение водного баланса. Для исследования количественных соотношений между отдельными элементами водного режима какой-либо территории применяется метод водного баланса, сущность которого заключается в том, что за любой промежуток времени можно для изучаемой территории установить приход и расход влаги, и изменение ее запасов.

Для расчета водного баланса на карте выделяется замкнутый бассейн реки, ограниченный водораздельной линией, площадь которого является водосборной для поверхностного стока. Для такого бассейна за рассматриваемый период времени приходную часть водного баланса будут составлять (см. рис. 3.3.1): осадки (X), выпавшие на поверхность бассейна, конденсация паров воздуха (Z_1) и количество воды, поступившей путем подземного стока (W_1) с соседних бассейнов.

Расходную часть водного баланса составят: поверхностный русловый сток (Y), испарение с поверхности воды, снега, почвы, растительности и транспирация (Z_2), подземный отток воды в соседние бассейны (W_2).

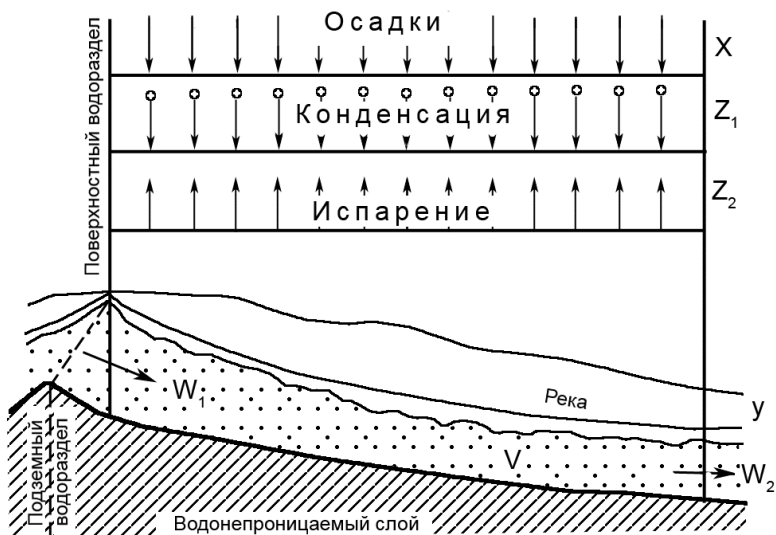


Рис. 3.3.1. Схема элементов водного баланса.

Кроме указанных элементов приходной и расходной частей водного баланса, необходимо учесть, что в бассейне на каждый рассматриваемый момент времени имеются запасы влаги (U), которые находятся как на поверхности бассейна (в углублениях рельефа, в руслах речной сети, в озерах и др.), так и в подземном слое. Эти запасы влаги в засушливый период уменьшаются, и тогда расходная часть водного баланса будет превышать приходную часть на величину ΔU , а во влажный период будет наблюдаться обратное явление.

Таким образом, уравнение водного баланса для замкнутого бассейна за произвольный отрезок времени будет иметь такой общий вид:

$$X + Z_1 + W_1 = Y + Z_2 + W_2 \pm \Delta U.$$

В этом уравнении все элементы водного баланса даны в одних величинах, в виде слоя воды (в мм), т. е. объема воды, деленного на площадь рассматриваемой территории.

Приходную часть водного баланса составляют не только осадки и приток подземных вод со стороны, но и конденсация влаги на площади бассейна, которая для засушливых районов может составлять до 50% по отношению к годовым осадкам. Если обозначить разность между испарением (Z_2) и конденсацией (Z_1) через Z , т. е. $Z = Z_2 - Z_1$ эта разность будет всегда положительной. Для крупных бассейнов можно приближенно считать, что приток подземных вод из соседних бассейнов компенсируется таким же количеством подземных вод, уходящих за пределы бассейна, т. е. что $W_1 = W_2$.

С учетом этих допущений уравнение водного баланса примет упрощенный вид:

$$X = Y + Z \pm \Delta U.$$

Таким образом, водный баланс для замкнутого бассейна за любой период времени составляется из таких основных элементов:

- а) притока влаги в виде осадков, выпавших на поверхность бассейна;
- б) расходования влаги на поверхностный сток и на испарение (точнее, испарение минус конденсация);
- в) накопления или убыли запасов влаги, имевшихся к началу периода на поверхности бассейна и в подземном слое.

3.3.1. Рассчитать водные балансы (дефицит или избыток влаги) для площадей водосбора рек Республики Башкортостан по данным, приведенным в таблице 3.3.1. Обратить внимание на приведение величин к одному виду.

Таблица 3.3.1

Река, гидро- метрический пост	Площадь водосбора, км ²	Среднегодовые величины			
		Подземный сток (объем, млн. м ³)	Речной сток, мм	Осадки, мм	Суммарное испарение, мм
р. Лемеза, п. Ниж. Лемезы	1130	155	488	805	462
р. Инзер, п. Калышта	1950	107	303	690	468
р. Зилим, п. Таишево	2260	82	496	682	475
р. Юрюзань, п.Екатериновка	418	18	329	628	441
р. Нугуш, п. Андреевка	2680	126	336	845	479
р. Большой Ик, п. Мраково	1950	66	281	600	450
р. Зилаир, п. Акьюлово	1190	32	146	628	470
р. Сакмара, п. Акьюлово	4640	72	60	552	420
р. Уфа между п. Янбай – Верх. Суян	600	177	353	710	440
р. Уфа между п. Верх. Суян – Шафеево	750	44	386	710	440
р. Уфа между п. Шафеево – Кр. Ключ	4200	549	144	710	440
р. Уфа между п. Кр. Ключ – Дудкинский	4900	536	289	710	440
р. Юрюзань между п. Чул- пан – Атнаш	2700	208	94	779	440
р. Юрюзань между п. Ат- наш –Бурунгут	551	88	114	779	440
р. Бирь, п. Мал. Сухозово	1280	175	72	672	440