

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Сибирский государственный университет геосистем и технологий»
(СГУГиТ)

Л. А. Черновский

ГИДРОЛОГИЯ

Утверждено редакционно-издательским советом университета
в качестве практикума для обучающихся по направлению подготовки
05.03.06 Экология и природопользование (уровень бакалавриата)

Новосибирск
СГУГиТ
2020

УДК 556.5
Ч493

Рецензенты: доктор химических наук, профессор кафедры физики, химии
и инженерной графики СГУВТ *В. П. Зайцев*

кандидат биологических наук, доцент, СГУГиТ *Л. Ю. Анон-
ченко*

Черновский, Л. А.

Ч493 Гидрология [Текст] : практикум / Л. А. Черновский. – Новосибирск :
СГУГиТ, 2020. – 55 с.

ISBN 978-5-907320-11-6

Практикум подготовлен кандидатом сельскохозяйственных наук, доцентом
кафедры экологии и природопользования СГУГиТ Л. А. Черновским.

Содержит 11 практических работ по дисциплине «Гидрология».

Тематика заданий подобрана с учетом специфики профессиональной ори-
ентации обучающихся по направлению подготовки 05.03.06 Экология и приро-
допользование (уровень бакалавриата).

Предназначен для обучающихся по направлению подготовки 05.03.06 Эко-
логия и природопользование (уровень бакалавриата).

Рекомендовано к изданию кафедрой экологии и природопользования
СГУГиТ, Ученым советом Института кадастра и природопользования СГУГиТ.

Печатается по решению редакционно-издательского совета СГУГиТ

УДК 556.5

ISBN 978-5-907320-11-6

© СГУГиТ, 2020

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	4
Практическая работа № 1. Главный водораздел земного шара и водосборы океанов	5
Практическая работа № 2. Природные воды.....	7
Практическая работа № 3. Гидрографические характеристики реки и ее водосбора	13
Практическая работа № 4. Вычисление основных характеристик стока реки	21
Практическая работа № 5. Построение графиков повторяемости и продолжительности (обеспеченности) стояния уровней воды в реке.....	24
Практическая работа № 6. Построение гидрографа и его гене- тический анализ	28
Практическая работа № 7. Строение русла реки и некоторые динамические характеристики потока	33
Практическая работа № 8. Морфометрические характеристики озер	37
Практическая работа № 9. Температурная стратификация озера.....	41
Практическая работа № 10. Расчеты испарения с водной поверх- ности и суши.....	44
Практическая работа № 11. Моря и озера России	51
Заключение.....	53
Библиографический список.....	54

ВВЕДЕНИЕ

Настоящий практикум предназначен для обучающихся по направлению подготовки 05.03.06 Экология и природопользование (уровень бакалавриата).

Знание основ гидрологии – необходимое условие для обучающихся по данному направлению подготовки, поскольку любые экологические проблемы, с которыми приходится сталкиваться в процессе природопользования, так или иначе связаны с водой.

Главная цель создания настоящего практикума – познакомить будущих специалистов с простейшими гидрологическими расчетами, применяемыми в процессах проектирования и эксплуатации водных объектов.

В практикуме приводится 11 практических работ. Каждое задание включает в себя исходные данные, общие теоретические сведения и рекомендации к выполнению работы (как под руководством преподавателя, так и самостоятельно), вопросы для самопроверки.

Тематика заданий подобрана в соответствии с программой теоретического курса и с учетом специфики профессиональной ориентации обучающихся.

В практикуме приведен библиографический список используемой литературы.

Практическая работа № 1

ГЛАВНЫЙ ВОДОРАЗДЕЛ ЗЕМНОГО ШАРА И ВОДОСБОРЫ ОКЕАНОВ

Цель работы – приобретение навыков отображения на карте водоразделов.

Необходимые принадлежности: контурная карта полушарий (мира); физическая карта мира (полушарий), физические карты материков; гелевая ручка со стержнем черного цвета и цветные карандаши.

Требуется:

- 1) подписать на контурной карте океаны и основные реки;
- 2) показать на карте главный водораздел земного шара;
- 3) выделить области внутреннего и внешнего стока;
- 4) показать водосборы океанов.

Общие теоретические сведения

Большая часть воды на Земле представлена в виде *водных объектов*, т. е. скоплений природных вод на земной поверхности или в верхних слоях земной коры, обладающих определенным гидрологическим режимом. Выделяют три группы водных объектов – водотоки, водоемы и особые водные объекты [1, 3].

Водотоки – водные объекты на земной поверхности с поступательным движением воды в руслах в направлении уклона (реки, ручьи).

Водоемы – водные объекты в понижениях земной поверхности с замедленным движением вод (океаны, моря, озера, водохранилища, пруды, болота).

Особые водные объекты – ледники и подземные воды.

Многие водные объекты обладают *водосбором*, под которым понимается часть земной поверхности или толщи почв и горных пород, откуда

вода поступает к данному водному объекту. Граница между смежными водосборами называется *водоразделом*.

Всю сушу земного шара можно условно представить в виде двух склонов: один в сторону Атлантического и Северного Ледовитого океанов, другой – в сторону Тихого и Индийского океанов. Границу между этими склонами принято называть *главным водоразделом земного шара*.

В свою очередь, в пределах каждого из этих склонов можно обнаружить два типа поверхностей суши: первый (*область внешнего стока*) – поверхность, с которой происходит сток речных вод в Мировой океан; второй (*область внутреннего стока или бессточные области*) – не дает стока в Мировой океан. Реки в бессточных областях несут свои воды в бессточные озера, где эти воды и испаряются.

Задание: на контурной карте полушарий (мира) обозначить океаны и реки. Показать главный водораздел земного шара. Показать границы бессточных областей. Показать водоразделы бассейнов океанов. Водосборы отдельных океанов и бессточные области выделить цветом. Оформить отчет.

Вопросы для самопроверки

1. Что такое водный объект?
2. Что такое водоток?
3. Что такое бессточная область?
4. Характерная особенность водотока.
5. Что называют орографическим водосбором?

Практическая работа № 2

ПРИРОДНЫЕ ВОДЫ

Цель работы – приобретение навыка описания природных вод.

Дано: результат лабораторного анализа химического состава природной воды, который приведен в табл. 2.1.

Таблица 2.1

Химический состав воды, мг/л

Вариант	pH	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	CO ₃ ²⁻	HCO ₃ ⁻
1	7,2	93	10	6	6	83	–	238
2	7,5	76	143	37	17	25	–	890
3	7,4	88,2	29,1	21,4	14,2	79,0	–	346,0
4	7,5	152,3	121,2	630,0	553,0	915,6	–	629,7
5	7,2	3,4	3,0	3,017	1,9	1,11	–	26,56
6	7,9	381,0	122	1402	815	1637	–	2245
7	9,2	0,5	1,5	103,9	5,0	0,98	40,0	160,0
8	8,8	44,0	32,7	221,5	17,0	64,6	86,4	683,4

Требуется: дать название природным водам и составить формулу Курлова.

Общие теоретические сведения

Природная вода представляет собой слабый раствор. Суммарное содержание в воде растворенных неорганических веществ (концентрация солей) выражают либо в виде минерализации M (г/л), либо в виде солёности S (г/кг, ‰).

По содержанию солей природные воды подразделяют на четыре группы:

– пресные ≤ 1 г/кг;

- *солончатые* < 1 , но ≤ 25 г/кг;
- *солёные* < 25 , но ≤ 50 г/кг;
- *высокосолёные (рассолы)* > 50 г/кг.

Определение минерализации или солёности проводят по *плотному остатку*. Плотный остаток определяют путем выпаривания определенного количества профильтрованной воды и высушивания остатка при 105°C до постоянного веса. Вес остатка измеряют в граммах. Количество взятой для выпаривания воды измеряют либо в литрах, либо в килограммах.

Концентрацию солей определяют как отношение плотного остатка к количеству взятой для выпаривания воды.

Если количество воды выражено в литрах, то концентрацию солей в воде называют *минерализацией*, если выражено в граммах, то *солёностью*.

Минерализацию можно определить и по химическому составу природной воды. В этом случае минерализацию определяют как сумму всех ионов в одном литре воды.

В природной воде в виде растворимых солей присутствуют кальций и магний, что придает воде особые свойства. Совокупность свойств воды, обусловленных содержанием в ней этих щелочноземельных элементов, называется *жесткостью воды*.

В разные годы жесткость воды в нашей стране измерялась в разных единицах. До 1972 г. жесткость измерялась в мг-экв/л. С января 1989 г. – в моль/м³, а с января 2005 г., с введением в действие ГОСТ Р 52029–2003, жесткость выражается в градусах жесткости ($^{\circ}\text{Ж}$).

Градус жесткости соответствует концентрации щелочноземельного элемента, численно равной $1/2$ его моля, выраженной в мг/дм³ (г/м³).

Численные значения жесткости, измеренные в мг-экв/л, моль/м³ и $^{\circ}\text{Ж}$, несмотря на различия в обозначении, равны между собой.

В зависимости от содержания ионов кальция и магния природная вода может быть:

- *мягкой* ($^{\circ}\text{Ж} \leq 3,5$);
- *средней жесткости* ($3,5 < ^{\circ}\text{Ж} \leq 7$);
- *жесткой* ($7 < ^{\circ}\text{Ж} \leq 14$);
- *очень жесткой* ($^{\circ}\text{Ж} > 14$).

Очень важный показатель природной воды – это ее *активная кислотность*, или *водородный показатель* (pH).

По этому показателю все природные воды делятся:

- на *нейтральные* – $6,5 < \text{pH} \leq 7,5$;
- *слабощелочные* – $7,5 < \text{pH} \leq 8,5$;
- *щелочные* – $8,5 < \text{pH} \leq 9,5$;
- *сильнощелочные* – $\text{pH} > 9,5$;
- *слабокислые* – $5,5 < \text{pH} \leq 6,5$;
- *кислые* – $4,5 < \text{pH} \leq 5,5$;
- *очень кислые* – $\text{pH} \leq 4,5$.

Приведенная выше классификация природных вод по их минерализации не учитывает особенностей содержания отдельных ионов. В природной же воде могут быть абсолютно разные ионы, однако наибольшая доля среди них приходится на небольшую группу ионов. Это анионы: HCO_3^- – гидрокарбонат, SO_4^{2-} – сульфат, Cl^- – хлорид; и катионы: Ca^{2+} – кальций, Mg^{2+} – магний, Na^+ – натрий и K^+ – калий.

Существует классификация природных вод, сочетающая принцип деления по преобладающим анионам и катионам с делением по соотношениям между ионами. Согласно этой классификации все природные воды делятся по преобладающему аниону на 3 класса: *гидрокарбонатные (и карбонатные)*, *сульфатные* и *хлоридные*. Каждый класс по преобладающему катиону подразделяется на 3 группы: *кальциевую*, *магниевую* и *натриевую*.

Для определения степени преобладания того или иного иона, а следовательно, и отнесения воды к тем или иным классам и группам, содержание всех ионов должно быть сначала выражено в миллиграммах эквивалентных на литр (мг-экв/л), а затем преобразовано в процентное содержание от суммы катионов или анионов в зависимости от того, какой ион рассматривается. При определении класса и группы воды пользуются следующим правилом: *учитывают лишь те ионы, содержание которых не менее 25 %, причем сначала указываются те из них, которых меньше.*

В случае выражения химического состава в миллиграммах на литр (мг/л) для его перевода в миллиграммы эквивалентные на литр (мг-экв/л) необходимо количество мг/л иона разделить на его эквивалентную массу (мг).

Эквивалентная масса катионов: $\text{Ca}^{2+} - 20,0$; $\text{Mg}^{2+} - 12,15$; $\text{Na}^{+} - 23,0$.
Эквивалентная масса анионов: $\text{CO}_3^{2-} - 30,00$; $\text{HCO}_3^{-} - 61,0$; $\text{SO}_4^{2-} - 48,0$; $\text{Cl}^{-} - 35,5$.

Теоретически сумма всех мг-эквивалентов катионов должна быть равна сумме всех мг-эквивалентов анионов. Однако на практике часто эти суммы не совпадают. Различие в этих суммах может быть либо в пределах ошибки опыта (5 %), либо больше, что может быть следствием неполного химического анализа или результатом ошибки. В первом случае предпринимать каких-либо дополнительных действий не требуется, во втором следует искать причину большого расхождения.

При описании химического состава воды чаще всего показывают содержание в ней отдельных ионов в мг/л. Однако при таком способе отображения химического состава, прежде чем сформулировать название воды, необходимо проведение расчетов, что не всегда удобно.

Для более наглядного изображения химического состава природных вод удобно применять *формулу Курлова* [8]. В этой формуле, выражаемой в виде псевдодробы, в числителе в убывающем порядке пишут долю (%) мг-эквивалентов аниона с его символом, в знаменателе аналогичным способом – катионы с округлением до целого числа. Впереди дроби указывают минерализацию, рН, жесткость (°Ж) и, при необходимости, компоненты, придающие воде специфические свойства (содержание газов, микроэлементов и т. д.). Для подземных вод после дроби указывают температуру (°C) и дебит (D) воды ($\text{м}^3/\text{сутки}$).

В формуле Курлова обычно указывают лишь те ионы, концентрация которых превышает 10 %, однако рекомендуется вписывать все ионы, даже если их содержание очень незначительно.

Пример выполнения задания

Дать название природной воде, химический состав которой показан в табл. 2.2, в 1-й строке.

Пример выполнения работы

Номер строки	Единица измерения	pH	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	HCO ₃ ⁻
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	мг/л	6,92	79	37	35	12	66	418
2	мг-экв/л		3,95	3,04	1,52	0,34	1,37	6,85
3	мг-экв/л		8,51			8,56		
4	%		46	36	18	4	16	80

Ход работы

1. Определяем минерализацию воды (M). Для этого суммируем все числа в 1-й строке, в столбцах 4–9:

$$79 + 37 + 35 + 12 + 66 + 418 = 647,$$

отсюда $M = 647 \text{ мг/л} = 0,647 \text{ г/л} = 0,647 \text{ ‰}$. Следовательно, вода пресная.

2. Определяем активную кислотность воды. Вода имеет pH, равный 6,92 (1-я строка, столбец 3), следовательно, вода нейтральная.

3. Преобразуем химический состав воды из мг/л в мг-экв/л, для этого содержание каждого иона, выраженного в мг/л (1-я строка), делим на его эквивалентную массу. Результаты записаны в соответствующих столбцах 2-й строки.

4. Определяем жесткость воды (J). Для этого суммируем содержимое столбцов 4 и 5 2-й строки:

$$3,95 + 3,04 = 6,99;$$

$$J = 6,99 \text{ мг-экв/л} = 6,99 \text{ °Ж}.$$

Следовательно, вода средней жесткости.

5. Определяем сумму катионов и анионов. Результаты показаны в 3-й строке. Сумма катионов не совпадает с суммой анионов.

6. Оцениваем величину расхождения между этими суммами. Из большего числа вычитаем меньшее, делим на большее и умножаем на 100:

$$[(8,56 - 8,51) / 8,56] \cdot 100 = 0,6.$$

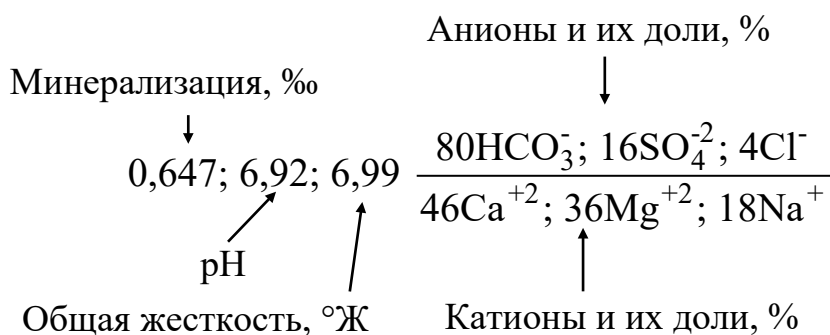
Полученное расхождение (0,6 %) значительно ниже допустимого (5 %), т. е. находится в пределах ошибки опыта. Можно действовать далее.

7. Определяем долю (%) каждого катиона в сумме катионов и каждого аниона в сумме анионов. Результаты показаны в 3-й строке.

8. Определяем класс воды. Из всех анионов только на долю гидрокарбоната приходится более 25 %, следовательно, вода относится к гидрокарбонатному классу.

9. Определяем группу воды. В сумме катионов более 25 % приходится на кальций и на магний, но магния (36 %) меньше, чем кальция (46 %), следовательно, вода относится к магниево-кальциевому классу.

10. Составляем формулу Курлова:



11. Даем полное название воды: вода пресная, нейтральная, средней жесткости, гидрокарбонатная, магниево-кальциевая.

Задание

1. Для каждого варианта химического состава воды (см. табл. 2.1) провести все расчеты аналогично приведенного выше примера.
2. Написать формулу Курлова.
3. Дать название природным водам.
4. Оформить отчет.

Вопросы для самопроверки

1. Как определяется минеральный состав природной воды?
2. Какие соли присутствуют в природной воде?
3. Что такое жесткость воды?
4. В чем измеряется жесткость воды?
5. Как формируется формула Курлова?

Практическая работа № 3

ГИДРОГРАФИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ РЕКИ И ЕЕ ВОДОСБОРА

Цель работы – освоение простейших приемов определения некоторых морфометрических характеристик реки и ее водосбора.

Необходимые материалы и оборудование: карта водосбора реки, синяя тушь, ручка, карандаш, циркуль, линейка, калька, палетка или миллиметровка.

Требуется:

- 1) показать водосбор главной реки, и в этом водосборе выделить водосборы ее притоков первого порядка;
- 2) определить длину главной реки и ее притоков; расстояния от устья главной реки до места впадения в нее притоков;
- 3) найти длину, наибольшую и среднюю ширину водосбора;
- 4) рассчитать извилистость главной реки, густоту речной сети и длину склонов, коэффициенты озерности, болотистости, лесистости;
- 5) рассчитать уклон реки;
- 6) найти площадь водосбора реки и притоков первого порядка;
- 7) показать гидрографическую схему реки;
- 8) построить график нарастания площади водосбора реки.

Общие теоретические сведения

Исток – место, где появляется постоянное течение воды в русле.

Устье – место впадения реки в другую реку, озеро или море.

Водораздел – граница между смежными водосборами. На карте водораздел отображается линией, соединяющей наивысшие точки между соседними водными объектами [1, 7]. Водораздел не пересекает ни один водоток.

Водосбор реки – часть земной поверхности, ограниченная водораздельной линией, от которой вода поступает в данную реку. Началом этой линии является устье реки по одному берегу, концом – это же устье, но по другому берегу. Водосбор любой реки состоит из водосборов ее притоков и территорий, откуда вода стекает непосредственно в эту реку.

Длина водосбора (L_v) – расстояние от устья реки до наиболее удаленной точки на линии водораздела. Если водосбор реки имеет более или менее правильную форму, то длину водосбора определяют как расстояние от устья реки до наиболее удаленной части водосбора по прямой. Если водосбор имеет ломаную форму, то сначала весь водосбор разбивают на отдельные более или менее правильные части. Длину водосбора реки определяют как сумму длин всех участков.

Средняя ширина водосбора ($B_{св}$) определяется как отношение площади водосбора (F) к длине водосбора.

Наибольшая ширина водосбора ($B_{наиб.}$) – это наибольший перпендикуляр к длине водосбора.

Длина реки (участка реки) (L) – протяженность основного русла реки от принятого истока до устья (от начала до конца участка).

Приток первого порядка – приток, непосредственно впадающий в главную реку.

Приток второго и последующих порядков – приток, впадающий в приток предыдущего порядка.

Коэффициент извилистости реки (развитие реки) (K) – отношение длины реки (L) к длине прямой линии (l), соединяющей исток и устье.

Гидрографическая сеть – совокупность всех водных объектов (водотоков и водоемов), расположенных в пределах какой-либо территории.

Речная сеть – совокупность всех водотоков на данной территории. Речная сеть является частью гидрографической сети. Изображение речной сети принято представлять в форме «Гидрографической схемы реки» [8].

Густота речной сети (D) – отношение суммы длин всех водотоков (L_i) к водосборной площади реки (F).

Уклон реки (участка реки) (I) – отношение превышения истока над устьем (концов участка), определяемого по разности высотных отметок (h) к соответствующей длине реки (участка) (L).

Падение и длина реки (участка) берутся в одной размерности, чаще всего в метрах. Уклон реки (участка) обычно выражают десятичной дробью либо в промилле.

Определение длины реки (притоков, расстояния от устья до притока). Длина реки на карте (выкопировке¹) может определяться курвиметром или циркулем-измерителем. При работе с циркулем длину реки измеряют постоянным раствором n , равным 1 или 2 мм. Величину n тщательно устанавливают перед началом работы и периодически проверяют в процессе. Длину реки измеряют от устья к истоку. При измерении на карте отмечают число отложений от устья реки до места впадения притоков. По ним определяют расстояния от устья главной реки до устья притоков. Длину реки (расстояние от устья до притока) вычисляют по формуле

$$L = n a,$$

где a – число отложений, а n – раствор циркуля в мм.

Истинная длина реки (притока, расстояния от устья до притока) определяется как произведение полученных по приведенному выше методу данных на масштаб карты. Выражается в километрах.

Для построения *гидрографической схемы реки* нужно знать длину главной реки и притоков всех порядков, расстояние от устья реки до места впадения притоков первого порядка, расстояние от устья притоков первого порядка до места впадения притоков второго порядка и т. д.

На схеме главная река изображается в виде отрезка прямой, левый конец которого обычно принимается за исток, правый – за устье. Затем на данном отрезке размечают места впадения притоков первого порядка (вверх – притоки левого берега, вниз – правого), к этим отметкам приводят прямые, пропорциональные длинам притоков, располагая их под любым углом². Аналогично поступают с притоками следующих порядков. У линий пишутся названия притоков (или их номера при отсутствии названия) и их длина в километрах. Масштаб схемы принимают с учетом

¹ Выкопировка – копия, снятая с какой-либо части большого или общего чертежа (карты).

² Чаще всего применяют угол, равный 45°.

формата листа. Пример оформления гидрографической схемы реки показан на рис. 3.1.

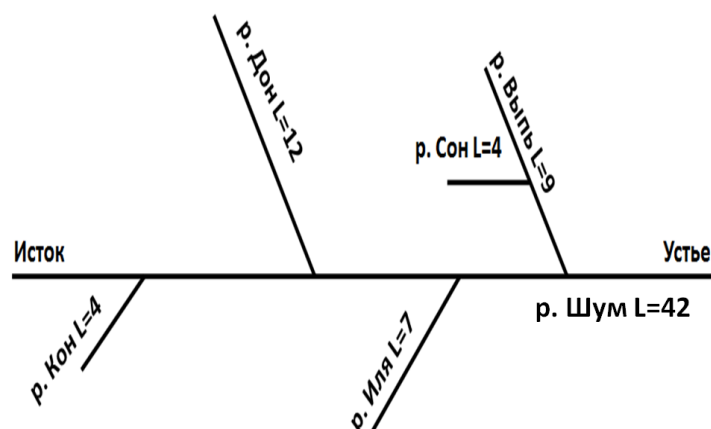


Рис. 3.1. Гидрографическая схема реки Шум

Определение площади водосбора производят либо палеткой, либо миллиметровкой. Измерение осуществляют следующим образом: накладывают палетку на выкопировку водосбора (или выкопировку водосбора на миллиметровку), подсчитывают количество целых клеток, уместившихся в пределах контура водосбора, и отдельно подсчитывают количество клеток, пересекаемых контуром водосбора. Последнее число делят на 2 и прибавляют к количеству целых клеток, сумму умножают на цену клетки палетки или миллиметровки. Полученное число и будет площадью рассматриваемого водосбора. Цена клетки палетки или миллиметровки (км^2) определяется исходя из размера стороны клетки и масштаба карты [6].

График нарастания площади водосбора. Данный график позволяет легко определить площадь водосбора выше любого створа, не прибегая к ее измерению и вычислению.

Построение графика нарастания площади водосбора (рис. 3.2) начинают с размещения на листе осей координат³. Для этого с правой стороны листа отмечают вертикальную ось, а на расстоянии около 1/3 высоты листа отмечают горизонтальную ось.

³ Предварительно необходимо учесть поля, формируемые в процессе разметки страниц.

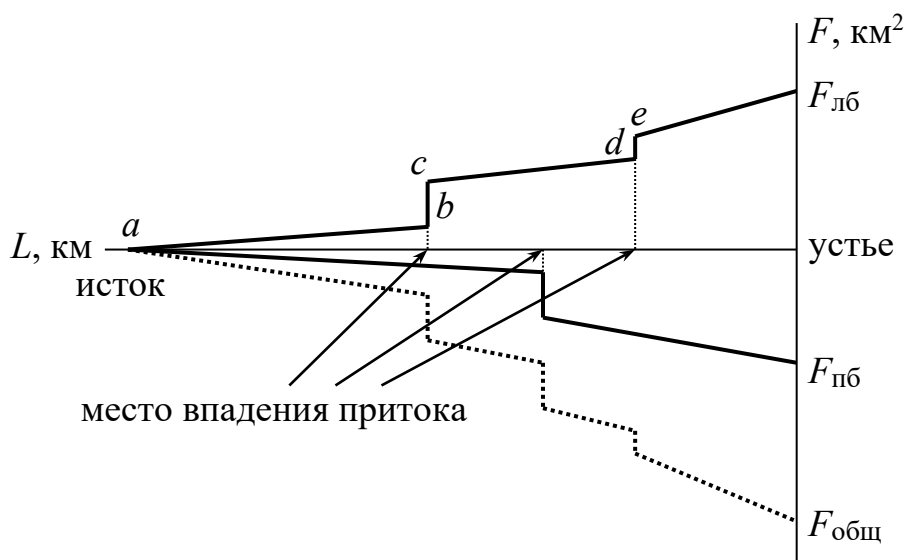


Рис. 3.2. График нарастания площади водосбора реки

$F_{\text{лб}}$ – площадь водосбора левого берега; $F_{\text{пб}}$ – площадь водосбора правого берега; $F_{\text{общ}}$ – общая площадь водосбора реки

На оси ординат откладывают площади водосборов, а на оси абсцисс – длину реки. Масштаб выбирают таким образом, чтобы в пределах листа на оси абсцисс уместилась вся длина реки, а на оси ординат – площадь всего водосбора реки вниз от оси абсцисс и площадь водосбора левого берега вверх от этой оси.

Графики нарастания площади водосбора строят отдельно для правого и левого берегов, размещая площадь нарастания левого берега вверх от оси абсцисс, а правого – вниз. Первой точкой a графика является исток реки, где площадь водосбора равна нулю. От истока до места впадения первого притока по левому берегу площадь водосбора реки возрастает за счет территории левого берега, откуда вода стекает непосредственно в эту реку (первое межбассейновое пространство (МБП) этого берега). В створе первого притока от истока реки откладывают площадь первого межбассейнового пространства. Полученную точку b графика соединяют с точкой a . В этой точке суммарная площадь водосбора реки увеличивается сразу на площадь водосбора первого притока, которая на графике изображается отрезком bc . Далее весь процесс построения графика продолжается

аналогичным образом до самого устья реки. Полученная линия *abcde...* графически отображает ход нарастания площади водосбора реки от истока до расчетного створа по левому берегу.

Таким же образом строят график по правому берегу. Суммарный график нарастания площади водосбора реки строится путем геометрического суммирования ординат графиков нарастания по правому и левому берегам.

Задание

1. Сделать выкопировку с карты. На ней должна быть отображена река со всеми ее притоками, а также водотоки соседних водосборов.
2. Показать границы водосбора реки и ее притоков первого порядка.
3. Определить все необходимые линейные параметры. Результаты измерения занести в табл. 3.1 и 3.2.

Таблица 3.1

Расстояние от устья реки до места впадения притоков
первого порядка

Наименование	Расстояние от устья, км
Левый берег	
Устье реки	
Приток 1	
.	
Приток n^*	
Исток реки	
Правый берег	
Устье реки	
Приток $n + 1$	
.	
Приток $n + m^{**}$	
Исток реки	
Длина реки (среднее значение)	

* количество притоков первого порядка по левому берегу реки;

** количество притоков первого порядка по правому берегу реки.

Таблица 3.2

Длина притоков всех порядков

Наименование притоков первого и последующих порядков	Длина притока, км
Приток 1 первого порядка	
Приток второго порядка	
Приток третьего порядка	
.	
Приток m первого порядка	
Приток второго порядка	
Приток третьего порядка	

4. По данным табл. 3.1 и 3.2 построить гидрографическую схему реки.

5. С помощью палетки (миллиметровки), учитывая масштаб карты, определить все необходимые площади. Результаты занести в табл. 3.3, располагая все водосборы в порядке их удаления от истока.

Таблица 3.3

Площади водосбора притоков реки и ее межбассейновых пространств

Наименование площади	Площадь, км ²	Площадь нарастающим итогом, км ²
Левый берег		
МБП 1		
Приток n		
МБП 2		
Приток $n - 1$		
.		
Приток 1		
МБП k		
Правый берег		
Весь бассейн реки		

6. Построить график нарастания площади водосбора реки.

7. При наличии в пределах водосбора реки лесов, озер, болот, определить их площадь и рассчитать коэффициенты (в %) лесистости, озерности и заболоченности бассейна реки.

8. На карте определить отметки высот и рассчитать уклон реки.
9. Оформить отчет.

Вопросы для самопроверки

1. Что называют водосбором реки?
2. Откуда берет начало река?
3. Как изображается водораздел на карте?
4. Как определить длину водотока?
5. Как определяется густота речной сети?
6. Что такое гидрографическая схема реки?

Практическая работа № 4

ВЫЧИСЛЕНИЕ ОСНОВНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК СТОКА РЕКИ

Цель работы – приобретение навыков расчета характеристик стока.

Дано: площадь водосбора реки (F) равна 9 980 км². Средняя многолетняя сумма осадков в бассейне реки (x) составляет 521 мм. Средние годовые расходы воды, мутность и минерализация вод реки в течение 15 лет даны в табл. 4.1.

Таблица 4.1

Средние годовые расходы воды, мутность
и минерализация воды реки

Год	Средний годовой расход (q), м ³ /с	Мутность, г/м ³	Минерализация, г/л
1	16,9	149	0,43
2	23,8	177	0,40
3	39,5	305	0,21
4	34,4	280	0,23
5	21,2	160	0,34
6	20,4	161	0,38
7	18,2	152	0,45
8	29,4	190	0,30
9	32,2	255	0,24
10	40,7	340	0,20
11	13,4	127	0,46
12	46,1	390	0,21
13	20,8	200	0,35
14	21,6	205	0,34
15	20,7	173	0,37

Требуется:

1) определить средние многолетние величины: а) расхода: воды, взвешенных наносов, ионного стока; б) объема годового стока: воды, взвешенных наносов, ионного стока.

шенных наносов, ионного стока; в) модуля: стока воды, стока взвешенных наносов, ионного стока; г) слоя стока; д) коэффициента стока;

2) определить самый маловодный и самый полноводный год.

Общие теоретические сведения

Расход воды (q) – объем воды, протекающей через поперечное сечение потока воды в единицу времени (обычно в $\text{м}^3/\text{с}$).

Сток воды – перемещение воды в процессе поверхностного стока и объем воды, прошедшей через данное поперечное сечение речного потока за какой-либо интервал времени (месяц, сезон, год) (W , м^3).

Норма стока – средний многолетний объем годового стока (м^3).

Водность – относительная характеристика стока воды за определенный интервал времени в сравнении с его средней многолетней величиной этой реки за аналогичный период или величиной стока за другой период того же года.

Слой стока – высота слоя воды, которая бы получилась при равномерном распределении по всей площади бассейна объема стока реки за определенный промежуток времени (обычно год), (H , мм).

Коэффициент стока – отношение слоя стока к слою выпавших на площадь водосбора осадков, обусловивших возникновение стока.

Наносы – твердые частицы, образованные в результате эрозии водосборов и русел и переносимые водотоками.

Взвешенные наносы – наносы, переносимые водным потоком во взвешенном состоянии.

Мутность – весовое содержание взвешенных наносов в единице объема смеси воды с наносами (s , $\text{г}/\text{м}^3$).

Расход взвешенных наносов – количество взвешенных наносов, переносимых через поперечное сечение речного потока в единицу времени (q_n , $\text{кг}/\text{с}$).

Сток взвешенных наносов – количество взвешенных наносов, перенесенных водой через поперечное сечение речного потока за интервал времени (W_n , т).

Модуль стока – количество воды, стекающее с единицы площади водосбора в единицу времени (обычно измеряется в $\text{л}/(\text{с} \cdot \text{км}^2)$).

Модуль стока взвешенных наносов – сток взвешенных наносов в единицу времени с единицы площади водосбора (обычно за год, т/км²).

Расход ионного стока – количество растворенных минеральных солей, переносимых через поперечное сечение речного потока в единицу времени ($q_{ис}$, кг/с).

Ионный сток – количество растворенных минеральных солей, перенесенных речным потоком через поперечное сечение речного потока за интервал времени ($W_{и}$, т).

Модуль ионного стока – сток растворенных минеральных солей в единицу времени с единицы площади водосбора (обычно за год, т/км²).

Задание: сначала рассчитать средние многолетние приведенных в табл. 4.1 величин, затем, используя вышеприведенные определения, вычислить все требуемые величины. Оформить отчет.

Вопросы для самопроверки

1. Дать определение расходу воды.
2. Что такое мутность?
3. Что такое минерализация?
4. Дать развернутую характеристику наносов.

Практическая работа № 5

**ПОСТРОЕНИЕ ГРАФИКОВ ПОВТОРЯЕМОСТИ
И ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТИ (ОБЕСПЕЧЕННОСТИ)
СТОЯНИЯ УРОВНЕЙ ВОДЫ В РЕКЕ**

Цель работы – приобретение навыков преобразования дискретных данных водомерных постов в доступные графические формы.

Дано: уровни стояния воды на реке на водомерном посту (табл. 5.1).

Таблица 5.1

Уровни воды в реке Томь по водомерному посту Крапивино
за навигационный период 1941 г., см

Дни месяца	Месяц						
	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X
1		557	780	490	244	194	158
2		562	758	461	236	185	158
3		551	724	400	228	178	160
4		543	745	449	220	170	160
5		576	761	508	230	180	162
6		600	730	453	245	194	170
7		615	701	420	236	220	186
8		551	665	460	227	243	211
9		500	634	525	213	257	245
10		448	603	436	200	270	250
11		553	580	420	199	254	241
12		601	549	321	197	244	234
13		654	514	334	193	229	223
14		709	487	337	190	211	211
15		756	450	312	186	195	200
16	250	801	410	306	181	190	201
17	311	852	378	297	179	183	208
18	368	870	331	289	176	175	231
19	439	805	379	281	175	167	243
20	495	706	405	274	174	160	250

Дни месяца	Месяц						
	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X
21	506	631	381	355	180	158	241
22	530	678	367	337	201	158	
23	543	704	340	315	229	156	
24	560	748	316	293	261	155	
25	451	770	294	271	274	155	
26	506	801	275	280	260	156	
27	575	825	289	276	247	154	
28	430	848	294	270	234	155	
29	462	832	297	264	215	156	
30	500	809	300	256	202	157	
31		790		250		157	

Требуется: построить график повторяемости и продолжительности стояния уровней воды в реке Томь на водомерном посту Крапивино.

Общие теоретические сведения

Расход воды и, следовательно, колебание уровня воды в реке зависят от времени года, условий питания реки и иных климатических и метеорологических условий [1, 8].

Знание закономерностей изменения расхода и уровней воды имеет большое значение для некоторых природопользователей.

Для обеспечения всех заинтересованных лиц необходимой им гидрологической информацией создана сеть водомерных постов, где определяется и ежедневный уровень стояния вод. Статистическая обработка накопленных за многолетний период наблюдения уровней стояния воды позволяет сформировать для каждого поста *таблицы и графики повторяемости и обеспеченности* ежедневных и характерных уровней воды.

Повторяемость уровней представляет количество дней стояния уровней в заданном интервале. Повторяемость, выраженная в процентах за рассматриваемый период, называется *частотой*.

Продолжительность стояния уровней – это количество дней, в течение которых наблюдались уровни выше заданного или равные ему. Продолжительность, выраженная в процентах, называется *обеспеченностью*.

Построение таких графиков ведется табличным методом, при этом используются многолетние данные⁴.

Задание

1. Среди данных табл. 5.1 выбрать минимальный и максимальный уровни. Разность между этими уровнями представляет собой возможный диапазон уровней за весь навигационный период.

2. Диапазон колебания уровней разбить на 15–20 интервалов через 10–50 см. Полученные интервалы занести в столбец 1 табл. 5.2, размещая их сверху вниз в порядке убывания уровня.

Таблица 5.2

Повторяемость и продолжительность уровней стояния воды реки Томи у села Крапивино за навигационный период (с 16/IV по 21/X)

Интервал уровня над нулем графика, см	Число дней стояния уровня в интервале по месяцам							Повторяемость стояния уровня		Продолжи- тельность	
	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	дни	%	дни	%
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
.											
Итого											

3. По данным табл. 5.1 определить число дней стояния уровней в каждом интервале в каждый месяц и записать в столбцы 2–8 табл. 5.2. В столбец 9 заносят число дней стояния уровня в интервале за весь период. Данные этого столбца отражают *повторяемость стояния уровней* по интервалам. Столбец 10 содержит данные о доле (%) стояния уровня в данном интервале за весь навигационный период и отражает *частоту стояния уровней*. Суммируя последовательно сверху вниз числа дней в столбце 9 и записывая эти суммы в столбец 11, получить *продолжи-*

⁴ В данном задании используются однолетние данные, что не позволяет получить полноценные графики повторяемости и обеспеченности уровней воды, но вырабатывает у обучающихся навык построения подобных графиков.

тельность стояния уровней за навигационный период. Определяя процентное отношение каждого числа дней в столбце 11 к общему числу дней, получить *обеспеченность уровней стояния* (столбец 12).

4. Построить графики *повторяемости (частоты)* и *продолжительности (обеспеченности)* стояния уровней воды. При построении графика повторяемости (частоты) стояния на оси ординат отметить уровни стояния с разбиением на интервалы. Ось абсцисс имеет две шкалы: одна – дни, другая – проценты (соответственно данные столбцов 9, 10). Количество дней (%) показывается на середине каждого интервала. Полученные точки соединить прямыми отрезками. На этом же рисунке построить график продолжительности (обеспеченности). Использовать данные столбцов 11 и 12. Число дней (%) отложить на нижней границе интервалов и соединяют прямыми линиями.

5. Оформить отчет.

Вопросы для самопроверки

1. Назначение водомерных постов.
2. В каких гидрологических данных нуждается судоходство?
3. Что такое обеспеченность?
4. Как строится график продолжительности стояния?

Практическая работа № 6

ПОСТРОЕНИЕ ГИДРОГРАФА И ЕГО ГЕНЕТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ

Цель работы – приобретение навыков построения гидрографа реки и его расчленения по видам питания.

Дано: ежедневные расходы воды в реке (табл. 6.1).

Таблица 6.1

Таблица ежедневных расходов воды реки Колпица
у села Подъяково за 1962 год, м³/с

Число	Месяцы											
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
1	26,4	39,1	36,5	39,2	121,1	43,3	33,4	30,3	26,0	24,8	21,9	9,3
2	24,8	38,6	36,6	39,8	119,0	41,8	39,4	30,3	27,1	25,0	21,2	10,1
3	24,1	38,7	36,5	40,4	137,3	39,7	40,3	35,9	27,2	24,6	20,8	11,7
4	24,0	38,6	36,1	42,4	122,3	58,6	35,8	38,5	27,8	24,2	20,1	13,2
5	24,5	39,1	36,7	49,3	119,0	37,0	32,1	41,2	28,2	24,7	18,3	13,7
6	24,4	38,6	36,2	57,1	156,0	36,8	30,4	47,2	28,2	24,7	18,0	13,5
7	25,8	38,6	36,7	82,3	118,4	35,8	29,1	35,9	27,6	24,8	17,7	12,9
8	26,6	39,0	36,1	94,2	107,5	35,8	29,1	30,9	27,9	24,4	17,5	13,2
9	29,2	40,0	35,8	115,0	95,6	35,1	28,6	30,3	37,3	24,4	20,1	12,1
10	31,4	40,5	36,1	129,0	86,5	34,5	28,3	29,3	37,6	24,9	18,5	11,0
11	33,6	39,0	36,0	114,0	80,2	32,2	27,5	29,3	47,2	25,8	17,6	10,8
12	34,7	39,6	35,9	108,0	73,9	31,2	27,5	29,0	46,9	24,1	19,2	10,2
13	36,8	40,5	36,0	94,8	70,4	30,3	27,5	29,0	46,9	23,7	18,7	9,8
14	38,5	40,4	35,8	137,1	67,6	28,8	27,5	29,3	37,2	23,3	17,5	9,7
15	39,9	40,5	35,8	238,1	64,1	28,3	26,9	29,3	36,5	23,3	16,8	9,2
16	40,6	40,0	35,8	267,8	62,0	28,2	26,9	28,7	46,5	23,7	15,9	9,3
17	40,9	40,4	35,5	271,3	59,9	28,4	26,9	29,0	46,2	24,1	14,4	9,3
18	41,1	40,3	36,4	313,5	56,4	27,9	26,9	29,0	47,7	24,5	14,7	9,1
19	41,2	40,0	37,7	367,0	55,7	27,2	26,9	29,0	46,7	25,3	13,9	9,1
20	40,8	39,5	38,6	328,0	56,4	26,6	28,2	29,6	36,4	26,1	12,9	8,9
21	40,5	40,0	40,7	298,1	57,1	26,3	28,1	28,9	35,7	24,5	12,5	9,4
22	40,5	39,0	41,2	290,6	57,8	25,7	28,2	28,9	36,3	24,1	11,0	9,7
23	40,5	39,2	41,6	282,0	56,4	25,8	28,2	28,6	32,3	23,6	10,7	10,2

Число	Месяцы											
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
24	41,2	38,8	41,5	253,1	53,8	27,2	28,9	28,6	26,6	22,3	10,6	11,1
25	41,1	39,0	41,9	232,7	50,0	27,6	28,6	28,3	25,6	22,3	9,5	11,2
26	41,6	39,4	42,2	230,4	48,3	29,2	29,2	28,3	25,8	23,0	8,9	12,2
27	41,6	39,2	42,0	216,2	49,7	27,9	29,6	28,4	26,1	23,7	8,1	12,7
28	41,6	40,2	40,3	181,0	54,1	28,5	29,0	28,4	25,9	24,1	8,4	13,2
29	41,1		39,4	149,0	53,8	28,5	29,0	27,9	25,9	24,1	8,1	13,5
30	40,6		38,0	128,4	50,7	33,2	29,0	26,5	25,9	23,7	8,8	14,7
31	40,6		36,6		47,9		29,7	26,5		22,6		15,2

Требуется:

- 1) построить гидрограф реки. Расчленить гидрограф на снеговое, дождевое и подземное питание;
- 2) определить основные характеристики годового стока: а) среднегодовой расход стока; б) объем стока, в том числе по типам питания.

Общие теоретические сведения

Закономерное изменение динамических и морфометрических характеристик реки во времени и вдоль реки называется *водным режимом реки*.

Во внутригодовом режиме рек выделяют ряд характерных фаз.

Половодье – фаза водного режима, ежегодно повторяющаяся в данных климатических условиях в один и тот же сезон и характеризующаяся наибольшим расходом воды, высоким и продолжительным подъемом уровня воды. Формирование половодья связано с таянием снега.

Межень – фаза водного режима, ежегодно повторяющаяся в один и тот же сезон, характеризующаяся малым расходом воды и длительным стоянием низкого уровня. В межень реки преимущественно питаются за счет подземных вод.

В любую из этих фаз может иметь место кратковременное увеличение расходов и уровней воды за счет интенсивных дождей. Данное явление носит название *паводок*.

Иными словами, внутригодовые (сезонные) колебания расхода воды рек обусловлены сезонными изменениями составляющих водного баланса, т. е. определяются преобладающим в данный сезон типом питания. Различают четыре основных вида питания рек.

1. *Дождевое питание.* Дожди, выпадающие весной, в начале лета и осенью обычно образуют поверхностный сток.

2. *Снеговое питание.* В умеренных широтах основным источником питания рек в весенний период служит вода снежного покрова.

3. *Подземное питание* обуславливает постоянство или большую продолжительность стока реки в течение года.

4. *Ледниковое питание* имеют лишь реки, вытекающие из районов с высокогорными ледниками и снежниками.

Изменение стока воды в реке и, следовательно, вклад каждого вида питания в формирование этого стока хорошо прослеживаются на *гидрографе реки* – графике зависимости расхода воды от времени года.

Одним из самых простых методов расчленения гидрографа по видам питания является метод Б. В. Полякова. Данный автор предложил считать, что в меженный период питание реки осуществляется преимущественно подземными водами, а в период половодья река переходит на снеговое питание, которое полностью вытесняет подземное питание в максимум половодья.

Рассмотрим расчленение условного гидрографа (рис. 6.1).

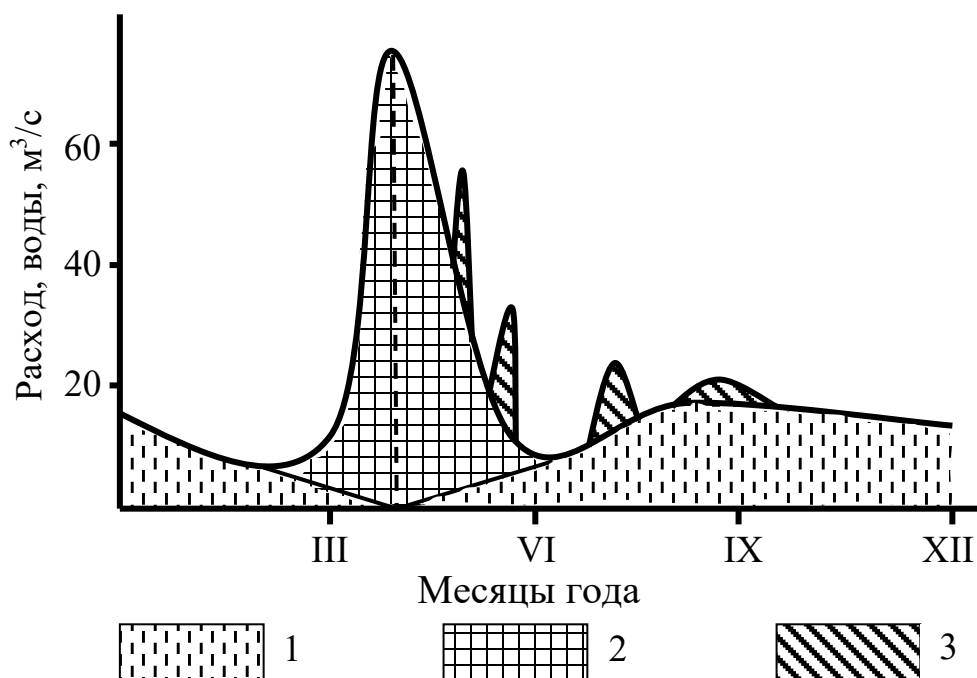


Рис. 6.1. Гидрограф реки с весенним половодьем:

1 – подземное питание; 2 – снеговое питание; 3 – дождевое питание

На гидрографе реки находим самый высокий пик расхода (максимум половодья), происхождение которого обязано снеговому питанию. Принимаем подземное питание в это время полностью отсутствующим. От оси абсцисс, от даты с нулевым питанием подземными водами проводим влево и вправо прямые отрезки к ближайшим впадинам (весенняя и летняя межень) на гидрографе. Область графика между этими отрезками и самым высоким пиком расхода относится к снеговому питанию, а все, что левее и правее этих отрезков, относится к подземному питанию.

В пределах подземного и снегового питания могут быть малые пики расходов. Все малые пики расходов отделяем отрезками, соединяя соседние впадины кривой. Все отрезанные малые пики относятся к дождевому питанию.

Задание

1. Используя данные табл. 6.1, построить график зависимости расхода воды в реке от времени года (гидрограф реки). График строится в программе Excel. Полученный график распечатать.

2. Расчленить полученный гидрограф по типам питания.

3. Определить площадь (см^2) на гидрографе, приходящуюся на каждый вид питания. Площадь определять методом, изложенным в практической работе № 3, полученные данные занести в табл. 6.2.

Таблица 6.2

Расчет вклада каждого вида питания в годовой сток реки

Тип питания	Площадь, см²	Соответствие между площадью графика и объемом стока, м³/см²	Объем питания	
			м³	%
Снеговое				
Подземное				
Дождевое				
Годовой объем стока				100

4. Для определения соответствия между площадью графика и объемом стока (питания) необходимо 1 сантиметр масштаба оси ординат умножить на 1 сантиметр масштаба оси абсцисс.

Например, ось ординат – 1 см равен $10 \text{ м}^3/\text{с}$; ось абсцисс – $1 \text{ см} = 15 \text{ суткам} = 15 \cdot 86\,400 \text{ с} = 1\,296 \cdot 10^3 \text{ с}$. Следовательно, одному квадратному сантиметру графика соответствует $1\,296 \cdot 10^4 \text{ м}^3$ стока (питания).

5. Оформить отчет.

Вопросы для самопроверки

1. Что такое водный режим реки?
2. Дайте определение водности.
3. Назовите типы питания реки.
4. Что такое гидрограф реки?
5. Кто предложил простейшую методику расчленения гидрографа по типам питания?
6. Как вычленяется в гидрографе подземное питание?

Практическая работа № 7

СТРОЕНИЕ РУСЛА РЕКИ И НЕКОТОРЫЕ ДИНАМИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПОТОКА

Цель работы – приобретение навыков камеральной обработки результатов гидродинамических замеров речного потока.

Дано: ведомость измеренных глубин и скоростей течения в поперечном сечении реки (табл. 7.1).

Таблица 7.1

Ведомость измеренных скоростей течения
в поперечном сечении реки

Номер промерной вертикали	Расстояние от левого берега	Глубина (h), м	Скорость течения (м/с) на промерных вертикалях в точках				
			0,1 h (от поверх- ности)	0,2 h	0,6 h	0,8 h	0,9 h
Урез левого берега	0	0,00					
1	10	0,66					
2	20	0,78	0,98	0,95	0,93	0,92	0,85
3	30	0,90	1,01	0,99	0,96	0,93	0,88
4	40	1,14	0,99	0,96	0,93	0,84	0,78
5	50	1,30	0,96	0,95	0,94	0,89	0,77
6	60	2,00	0,97	0,96	0,93	0,89	0,81
7	70	1,96	2,01	2,01	0,95	0,92	0,88
8	80	2,16	1,10	2,08	2,00	0,96	0,91
9	90	2,32	1,22	1,20	1,12	1,05	0,98
10	100	2,00	1,19	1,17	1,09	0,98	0,92
11	110	1,44	1,14	1,12	1,07	0,98	0,91
12	120	0,78	–	–	0,99	–	–
Урез правого берега	130	0,00					

Требуется: по данным табл. 7.1 построить профиль водного сечения реки, определить его площадь, ширину реки, смоченный периметр, гидравлический радиус, среднюю и максимальную глубины реки, провести изотахи, рассчитать расход воды.

Общие теоретические сведения

Руслом реки называется выработанное речным потоком ложе, по которому осуществляется сток речных вод без затопления поймы [3, 4].

В пределах русла реки выделяют собственно водный поток, который может быть охарактеризован некоторым количеством характеристик.

Поперечное сечение потока – плоскость, перпендикулярная общему (среднему) направлению течения потока и ограниченная профилем русла, а сверху – уровнем воды.

Водное сечение потока – поперечное сечение потока, предназначенное для проведения замеров глубин и определения расхода воды вертушкой.

Урез воды – линия пересечения поверхности воды в русле с берегом.

Ширина реки – кратчайшее расстояние между урезами воды на обоих берегах.

Для определения водного сечения потока и расхода водного потока необходимо формирование промерных вертикалей.

Вертикаль промерная (гидрологическая) – отвесная линия в пределах поперечного сечения потока от поверхности воды до дна водоема. Промерные вертикали устраиваются по всей ширине реки через определенное расстояние между ними. На промерных вертикалях определяют глубину (h , м) и скорость течения (v , м/с) водного потока в точках $0,1h$; $0,2h$; $0,6h$; $0,8h$ и $0,9h$ от поверхности.

Поперечный профиль реки – график изменения отметок дна по ширине реки.

Площадь поперечного сечения потока (W , м³) – определяется как сумма площадей прямоугольных треугольников и трапеций, на которые делится водное сечение потока промерными вертикалями:

$$W = \sum_{i=1}^n 0,5(h_i + h_{i+1}) b_i,$$

где b_i – расстояние между соседними вертикалями;

h_i и h_{i+1} – глубины на соседних вертикалях;

n – количество промерных вертикалей.

Средняя глубина реки – отношение площади водного сечения потока к ширине реки.

Смоченный периметр (P , м) – длина линии дна между урезами на поперечном сечении водного потока:

$$P = \sum_1^n \sqrt{b_i^2 + (h_{i+1} - h_i)^2}.$$

Гидравлический радиус (R , м) – отношение площади водного сечения потока к смоченному периметру.

Скорость течения (v , м/с) – путь, который частица воды проходит в единицу времени.

Изотаха – линия равных скоростей течения, проведенная на схеме скоростного поля поперечного сечения потока.

Расход воды (q , м³/с) – объем воды, протекающей через поперечное сечение потока в единицу времени. Рассчитывается по следующей формуле:

$$q = \frac{1}{4} \sum_1^n b_i (v_i + v_{i+1}) (h_i + h_{i+1}),$$

где v_i – средняя скорость водного потока на i -й промерной вертикали.

Задание

1. Построить график зависимости глубины речного русла от ширины реки. Масштаб выбрать в соответствии с размахом значений соответствующих величин в табл. 7.1.

2. Отметить на графике все промерные вертикали. Рассчитать площадь поперечного сечения потока.

3. Рассчитать смоченный периметр и гидравлический радиус.

4. Найти по промерной ведомости максимальную и вычислить среднюю глубину реки.

5. Отметить на каждой промерной вертикали точки измерения скорости и поставить возле них значение скоростей течения. Провести изотахи.
6. Определить среднюю скорость водного потока на каждой промерной вертикали и рассчитать расход воды.
7. Оформить отчет.

Вопросы для самопроверки

1. Как правильно организовать промерные вертикали? Зачем они нужны?
2. Что такое поперечный профиль реки?
3. Как определяется смоченный периметр?
4. Дайте определение гидравлическому радиусу.
5. Как определяется расход воды?
6. Что такое изотаха?

Практическая работа № 8

МОРФОМЕТРИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ОЗЕР

Цель работы – приобретение навыков анализа картографического отображения морфометрических характеристик водоема.

Дано: план озера с указанием изобат (рис. 8.1).

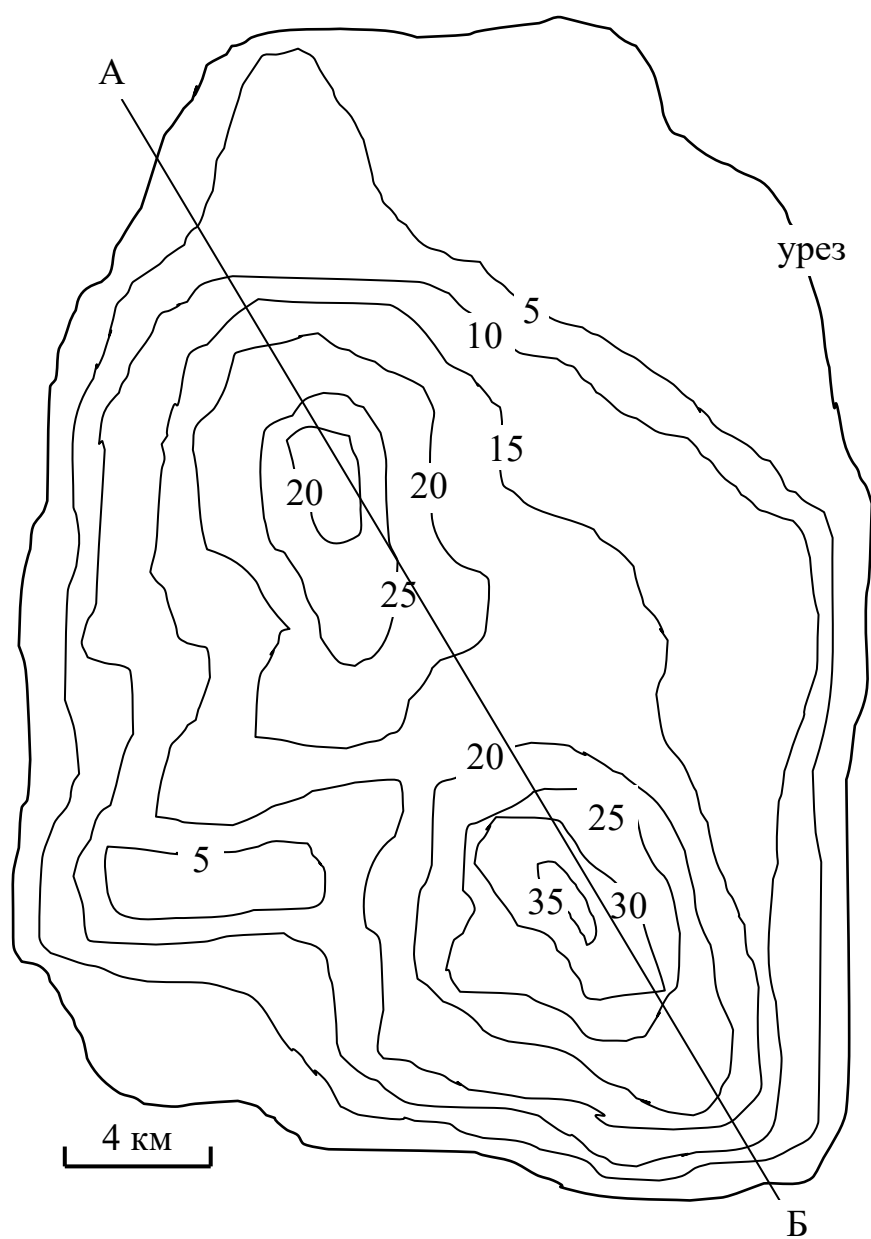


Рис. 8.1. План озера Татьянаино

Требуется:

- 1) вычислить следующие морфометрические характеристики озера:
а) длину; б) наибольшую и среднюю ширину; в) длину и развитие береговой линии; г) площадь; д) объем водной массы;
- 2) построить батиграфическую кривую;
- 3) построить профиль дна озера в плоскости А-Б.

Общие теоретические сведения

Основными морфологическими элементами озера являются: *котловина*, т. е. естественное понижение в земной поверхности, в пределах которого расположено озеро; *ложе*, или *чаша*, часть котловины, непосредственно занятая водой. Место контакта поверхности воды с котловиной принято называть *береговой областью*.

Как всякий водный объект, любое озеро можно охарактеризовать набором *морфометрических характеристик* (количественных выражений размеров чаши озера), к которым относятся следующие [1–3].

Длина озера (L , км) – кратчайшее расстояние между двумя наиболее удаленными друг от друга точками береговой линии озера, измеренное по его поверхности.

Максимальная ширина озера (км) – наибольшее расстояние между противоположными берегами в направлении, перпендикулярном длине.

Зеркало озера – водная поверхность озера.

Площадь озера (S , км²) – площадь зеркала озера.

Объем озера (V , км³) – объем водной массы в озере.

Средняя ширина озера (км) – определяется как отношение площади озера к его длине.

Длина береговой линии (L , км) – длина уреза воды.

Урез – линия соприкосновения водной поверхности озера с сушей.

Развитие береговой линии (K) – отношение длины береговой линии к длине окружности круга, имеющего площадь, равную площади озера.

Знание морфометрических характеристик необходимо не только для понимания основных закономерностей режима озера, но и для решения ряда практических задач. Например, если озеро судоходно, то необходимо знать распределение глубин в пределах всей акватории и, особенно, в зоне

береговой отмели. Кривые объема и площадей озера необходимы при расчете регулирования стока вытекающих из озера рек. Данные о глубинах, длине и ширине озера необходимы при расчете волнения и т. д.

Установить связь между некоторыми морфометрическими характеристиками можно по изобатам и батиграфическим кривым.

Изобата – изолиния на карте или плане, соединяющая точки одинаковых глубин водоема (озера).

Батиграфическая кривая – график зависимости площади озера от глубины.

Кривая объемов – график зависимости объема озера от глубины. Объем озера вычисляют, используя карту изобат. Изобатные поверхности условно делят весь объем озера на ряд слоев. Рассчитав объем каждого выделенного слоя, можно определить и объем всего озера.

Объем отдельного (V_i) слоя равен:

$$V_i = \frac{h}{2}(f_i + f_{i+1}),$$

где i – порядковый номер изобаты;

f_i – площадь, ограниченная i -й изобатой;

f_{i+1} – площадь, ограниченная $(i + 1)$ -й изобатой;

h – сечение изобат.

Задание

1. Сделать выкопировку плана озера.
2. Начертить профиль дна озера по линии А-Б.
3. Определить площадь озера и площади, ограниченные всеми изобатами.
4. Определить длину, максимальную ширину и глубину озера, длину береговой линии.
5. Рассчитать среднюю ширину и глубину озера, развитие береговой линии, объем озера.
6. Построить кривую площади и кривую объема.

Вопросы для самопроверки

1. Что представляет собой озерная чаша?
2. Перечислите морфометрические характеристики озера.
3. Как определяется длина озера?
4. Что такое развитие береговой линии?
5. Как можно использовать изобаты?
6. Как определить объем озера?
7. Как определить запас воды в озере ниже заданной глубины?

Практическая работа № 9

ТЕМПЕРАТУРНАЯ СТРАТИФИКАЦИЯ ОЗЕРА

Цель работы – приобретение навыков камеральной обработки замеров температуры воды в водоемах.

Дано: ведомость замера температуры воды в озере (табл. 9.1).

Таблица 9.1

Температура воды на различных глубинах озера Валдайское,
вертикаль 2, глубина 37 метров, °С

Окончание ледостава – 02.04.1988				Ледостав – 29.11.1989			
Глубина, м	Дата замера						
	05.04.88	02.07.88	30.07.88	30.08.88	10.09.88	12.11.88	29.01.89
0,1	3,3	19,7	20,2	16,0	14,0	4,2	0,7
2	3,3	19,6	20,1	16,0	13,9	4,2	1,6
5	3,3	15,3	19,5	16,0	13,7	4,3	1,9
10	3,3	10,6	12,3	15,5	13,7	4,3	2,2
15	3,2	9,6	10,3	10,6	10,5	4,3	2,4
20	3,3	8,5	9,6	9,7	10,2	4,3	2,5
30	3,3	8,1	9,3	9,4	9,2	4,3	2,9
У дна	3,4	7,9	9,3	9,2	9,0	4,3	3,0

Требуется:

- 1) построить график вертикального распределения температуры воды в замерные даты;
- 2) выделить графики, соответствующие: а) обратной температурной стратификации; б) весенней гомотермии; в) прямой температурной стратификации; г) осенней гомотермии. Объяснить причину своего выбора;
- 3) показать эпилимнион, металимнион, гиполимнион.

Общие теоретические сведения

Весной, по мере прогрева верхних слоев озерной воды, ее плотность повышается, возникает вертикальное перемешивание, приводящее к выравниванию температуры по всей глубине озера, наступает *весенняя гомотермия* (обычно при температуре около 4 °С). Дальнейшее повышение температуры сопровождается уменьшением плотности воды, конвективное перемешивание прекращается, верхние слои оказываются более теплыми, чем нижние. В озере устанавливается *прямая температурная стратификация* (увеличение температуры от дна к поверхности). Наиболее высокую температуру приобретает поверхностный слой воды (*эпилимнион*). Ниже этого слоя лежит *слой температурного скачка* (*металимнион*), а основная масса озерных вод сохраняет относительно невысокую температуру. Этот слой называется *гиполимнионом* [4, 5, 8].

В период осеннего охлаждения температура в поверхностном слое понижается, плотность воды повышается. Возникает активное конвективное перемешивание, устанавливается *осенняя гомотермия* (выравнивание температуры по всей глубине озера).

Дальнейшее понижение температуры ниже 4 °С, вплоть до ее замерзания, приводит к понижению плотности воды и к прекращению ее конвективного перемешивания, формируя *обратную температурную стратификацию*.

Закономерности вертикального изменения температуры воды в озере принято отображать особым видом графика – *графиком вертикального распределения температуры воды*. Данный график строится в системе прямоугольных координат. Ось ординат размещается слева, и на ней вниз откладываются глубины (м), на оси абсцисс – слева направо откладывается температура (°С).

Задание

1. По данным табл. 9.1 построить графики зависимости температуры воды от глубины озера в промерной точке в разное время года.
2. Выделить графики, соответствующие наиболее ярко выраженным признакам: а) обратной температурной стратификации; б) весенней гомо-

термии; в) прямой температурной стратификации; г) осенней гомотермии. Отметить даты.

3. На графике, отображающем прямую температурную стратификацию, тонкими горизонтальными линиями выделить слои воды, обладающие характерными свойствами и назвать их. Указать признаки, на основании которых было сделано выделение.

4. Оформить отчет.

Вопросы для самопроверки

1. Почему в озере устанавливается температурная стратификация?
2. Характерная особенность гипolimниона.
3. Как происходит процесс формирования осенней гомотермии?
4. Почему в весеннюю гомотермию создаются благоприятные условия для динамического перемешивания вод?

Практическая работа № 10

РАСЧЕТЫ ИСПАРЕНИЯ С ВОДНОЙ ПОВЕРХНОСТИ И СУШИ

Цель работы – приобретение простейших практических навыков расчета испарения с какой-либо территории.

Дано: физическая карта Новосибирской области.

Требуется: определить величину годового испарения с поверхности озера (водохранилища)⁵ и с бассейна реки.

Общие теоретические сведения

Расчеты испарения имеют важное значение для оценки водного баланса и водных ресурсов любого государства и региона [8]. Они используются при проектировании и эксплуатации водохранилищ, расчетов запаса воды в почвах, эксплуатации мелиоративных систем и т. д.

Испарение с водной поверхности. Прямые наблюдения над испарением с водной поверхности можно вести лишь в искусственных условиях. Это могут быть бассейны-эталон площадью 20 м² и глубиной 2 м или испарители особой конструкции (ГГИ – 3000 и ГГИ – 3000М).

В естественных условиях на испарение с водной поверхности оказывают влияние разные факторы, например, площадь водоема, его глубина и защищенность. Слой испаряющейся влаги с больших водоемов значительно больше, чем с малых вследствие увеличения скорости ветра и высоты волн. Водоемы, защищенные по берегам строениями, горами, высокой растительностью, испаряют влаги меньше, чем открытые.

Среднемноголетнее испарение (E_B) с малых водоемов, расположенных в равнинных условиях, определяют по выражению

$$E_B = E_{20} k_H k_{\text{зам}} k_{\beta} k_{\text{раст}},$$

⁵ Выбор реки и озера на усмотрение обучающегося.

где E_{20} – среднее многолетнее испарение с эталонного бассейна площадью 20 м^2 . Определяется по карте изолиний испаряемости, измеряется в миллиметрах;

k_H – поправочный коэффициент на глубину водоема. Зависит от природной зоны, в которой расположен водоем, и его средней глубины, определяется по табл. 10.1;

$k_{\text{зам}}$ – поправочный коэффициент на защищенность водоема от ветра древесной растительностью, крутыми берегами, строениями и другими препятствиями. Определяется по табл. 10.2 в зависимости от отношения средней высоты препятствий h (м) к средней длине разгона воздушного потока $L_{\text{ср}}$ (км). Высота препятствий принимается как средняя взвешенная ее величина по периметру водоема;

k_{β} – поправочный коэффициент на площадь водоема, определяется по табл. 10.3;

$k_{\text{раст}}$ – поправочный коэффициент, учитывающий зарастание водоема полупогруженными водными растениями, принимается по табл. 10.4. Если зарастание отсутствует или незначительное, то коэффициент принимают равным 1.

Таблица 10.1

Поправочный коэффициент на глубину водоема

Местоположение водоема	Глубина водоема, м					
	2	5	10	15	20	>25
Тундровая и лесная зоны	1,00	0,99	0,97	0,95	0,94	0,92
Лесостепная зона	1,00	0,98	0,96	0,95	0,94	0,92
Степная зона	1,00	0,96	0,95	0,94	0,93	0,93
Зона полупустынь	1,00	1,00	0,99	0,98	0,98	0,97
Зона пустынь	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00

Таблица 10.2

Коэффициент уменьшения испарения с защищенных водоемов

$h / L_{\text{ср}}$	0,01	0,03	0,05	0,07	0,10	0,20	0,30	0,40	0,50
$k_{\text{зам}}$	0,96	0,89	0,84	0,80	0,76	0,70	0,64	0,57	0,51

Таблица 10.3

Поправочный коэффициент k_{β} на площадь водоема

Площадь водоема, км ²	0,01	0,05	0,1	0,5	1,0	2,0	5,0
k_{β}	1,03	1,08	1,11	1,18	1,21	1,23	1,26

Таблица 10.4

Поправочные коэффициенты для учета влияния на испарение полупогруженной водной растительности

Зона	Доля площади зарослей водных растений от общей площади водоема, %			
	10	30	50	75
Лесостепная и лесная	1,03	1,08	1,14	1,22
Степная и полупустынная	1,04	1,14	1,24	1,37

Распределение внутригодового месячного испарения для водоемов устанавливается по данным табл. 10.5 в зависимости от зоны, в которой расположен водоем.

Испарение с поверхности суши. Определить испарение с суши можно с помощью карты изолиний испарения. По этим картам определяется среднегодовое годовое испарение (норма), измеряемое в миллиметрах.

Таблица 10.5

Испарение с поверхности водоемов площадью до 5 км² по месяцам (в % от суммы за безледоставный период)

Номер зоны	Месяц											
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
I						20	45	30	5			
II					7	28	33	23	9			
III					16	25	21	20	14	4		
IV				3	16	22	21	19	12	6	1	
V				6	14	20	21	19	12	6	2	
VI			3	6	13	17	20	19	13	7	2	
VII		1	4	7	13	16	19	17	12	7	3	1

Задание

1. На физической карте Новосибирской области выбрать озеро (водохранилище).
2. Определить площадь озера (см. практическую работу № 3).
3. Используя данные карты испаряемости (рис. 10.1) [9], все доступные данные из научной литературы и интернета, определить все необходимые параметры значений коэффициентов k_H , $k_{\text{зам}}$, k_{β} , $k_{\text{раст}}$ и рассчитать среднемноголетнее испарение (E_B , мм) с данного водоема.
4. Объем годового испарения с поверхности водоема определить по формуле

$$E = 10^6 S \times 10^{-3} E_B,$$

где E – объем годового испарения с зеркала водоема водоема, м³;

10^6 – переводной коэффициент от квадратного километра к квадратному метру;

S – площадь озера, км²;

10^{-3} – переводной коэффициент от миллиметра к метру;

E_B – среднемноголетнее испарение с бассейна площадью 20 м², мм.

5. Определить объем испарения с поверхности озера в первое полугодие.
6. На карте Новосибирской области найти выбранную реку, определить границы ее водосбора и сделать выкопировку (см. практическую работу № 3).
7. На выкопировку перенести изолинии испарения с карты испарения (рис. 10.2) [9]. Дальнейшее действие зависит от положения водосбора и изолиний.
 - А. Если водосбор реки пересекает одна изолиния, то испарение с водосбора принимают равным значению этой линии. Если водосбор не пересекает ни одна изолиния, то испарение принимают равным значению ближайшей изолинии.

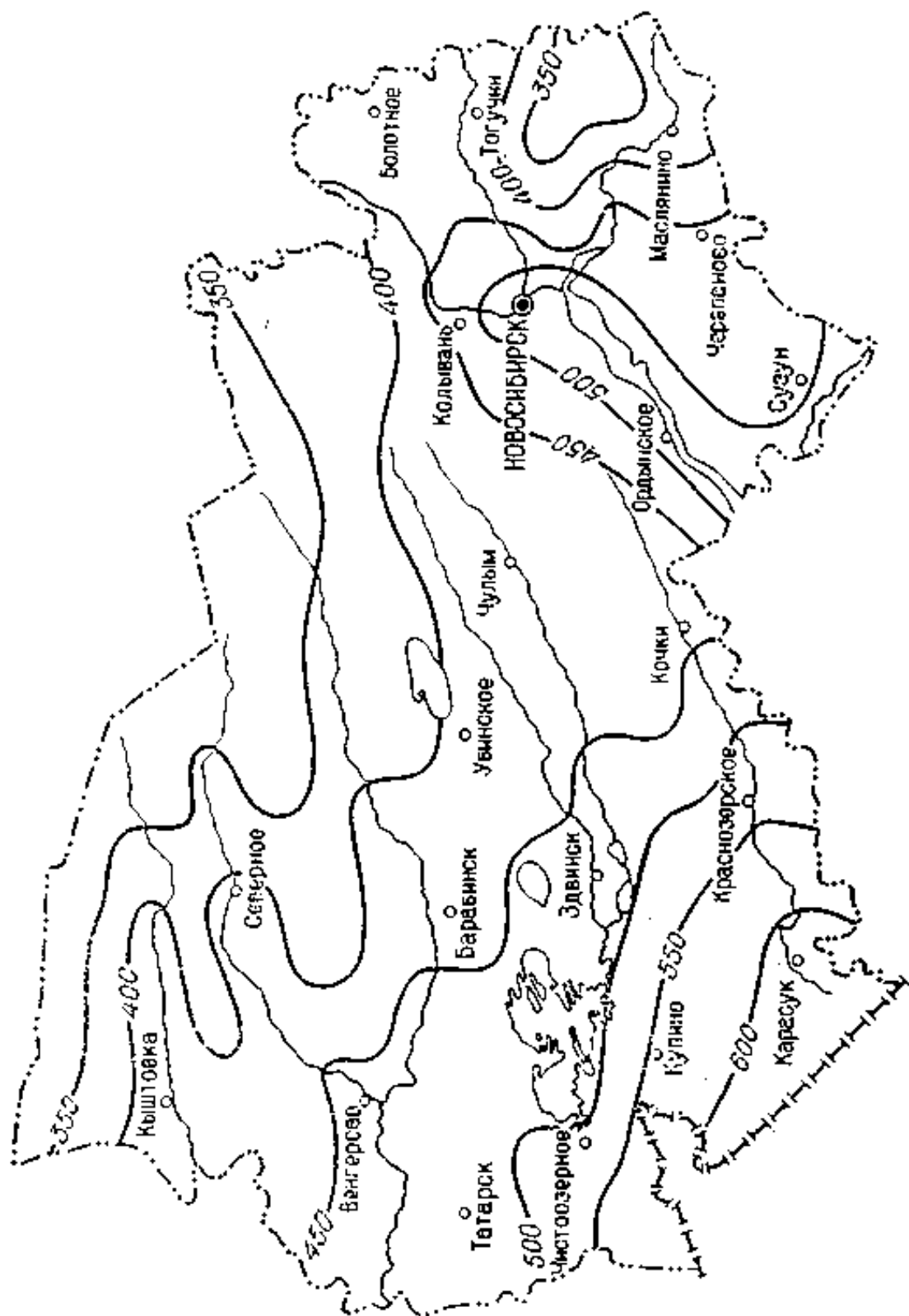


Рис. 10.1. Среднегодовая испаряемость на территории Новосибирской области, мм

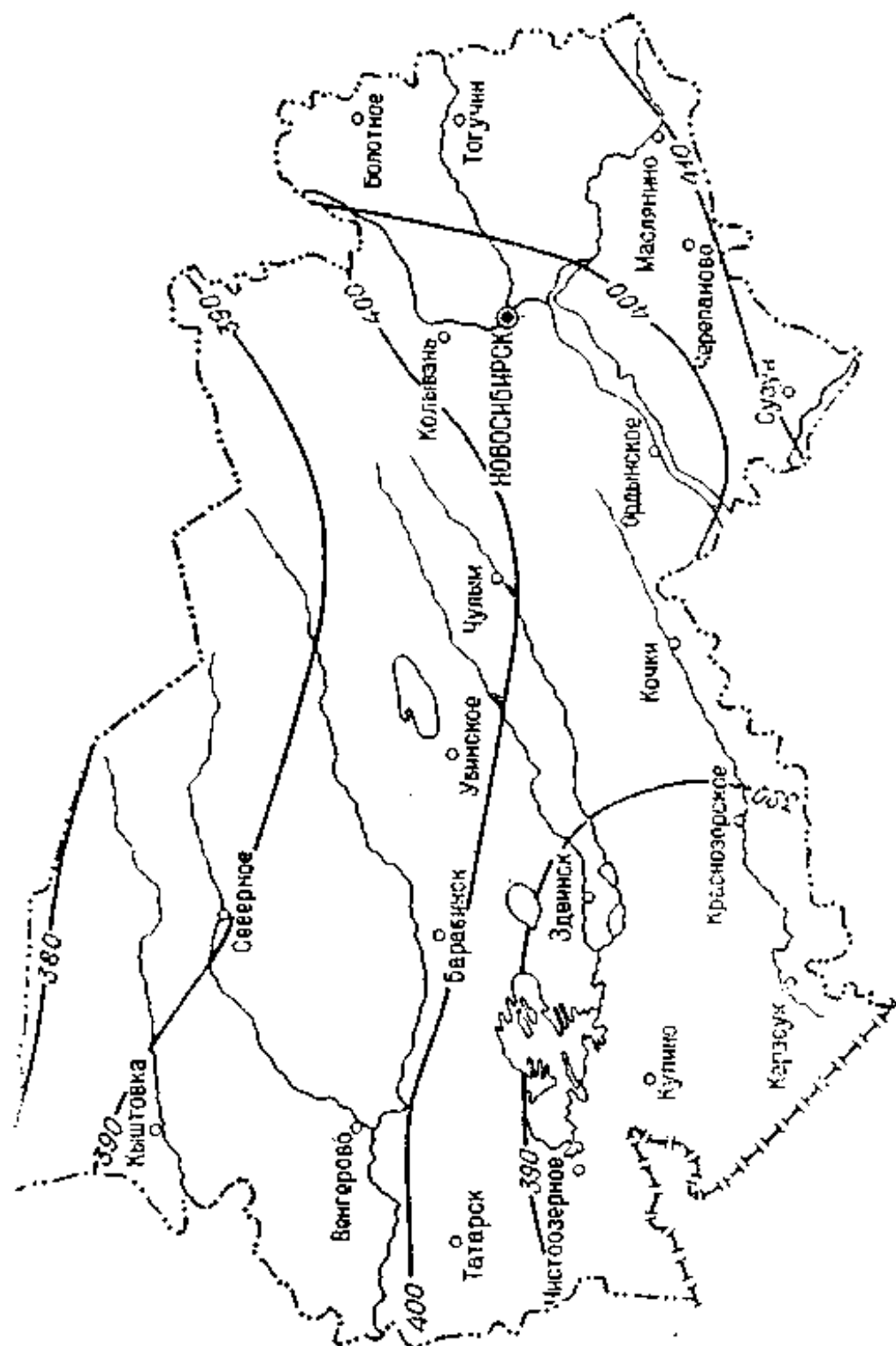


Рис. 10.2. Среднегодовой слой испарения на территории Новосибирской области, мм

Б. Если водосбор пересекают две или более изолиний, он разбивается на отдельные участки. Для участков, заключенных между водоразделом и изолинией, объем годового испарения рассчитывают по вышеприведенному правилу. При расчете годового испарения с участков, заключенных между изолиниями, среднемноголетнее испарение принимают равным среднему значению между этими изолиниями. Объем годового испарения со всего водосбора реки принимают равным сумме объемов годовых испарений со всех участков.

8. Определить площадь водосбора.

9. Определить объем годового испарения с водосбора реки. Объем годового испарения с площади водосбора реки определяют по формуле

$$E_p = 10^6 F \times 10^{-3} E,$$

где E_p – объем годового испарения с площади водосбора реки, м³;

10^6 – переводной коэффициент от квадратного километра к квадратному метру;

S – площадь водосбора реки, км²;

10^{-3} – переводной коэффициент от миллиметра к метру;

E – среднемноголетнее испарение с бассейна реки, мм.

10. Определить объем испарения с водосбора реки в первое полугодие.

11. Оформить отчет.

Вопросы для самопроверки

1. Что такое водосбор?
2. Опишите правила определения водосбора любого водного объекта.
3. Чем испарение отличается от испаряемости?
4. Как определяется испаряемость на данном участке территории?
5. Назовите факторы, влияющие на испарение с поверхности водоема.

Практическая работа № 11

МОРЯ И ОЗЕРА РОССИИ

Цель работы – закрепление общего представления о морях и озерах России.

Дано: физические карты России, географические атласы; контурная карта России.

Требуется:

- 1) нанести на контурную карту России окраинные моря (указать их границы), озера;
- 2) дать характеристику отмеченных морей и озер (указать их происхождение, площадь водного зеркала, среднюю и максимальную глубины, соленость воды).

Общие теоретические сведения

Морем называется часть океана, так или иначе ограниченная берегами материков, островами и повышениями дна (порогами), отличающаяся от соседних частей особенностями физических и химических свойств, экологических условий, а также характером течений и приливов.

По морфологическим и гидрологическим признакам моря подразделяются на окраинные, средиземные (внутриматериковые и межматериковые) и межостровные [2].

Окраинные моря располагаются на подводных окраинах материков и в переходных зонах и отделяются от океана грядами островов, полуостровами или подводными порогами.

Моря, приуроченные к материковым отмелям (шельфовые моря), мелководны. Воды окраинных морей по физическим свойствам и химическому составу мало отличаются от океанических вод, так как эти моря соединяются с океанами на широком фронте.

Средиземные моря глубоко впадают в сушу и с океаном соединяются одним или несколькими сравнительно узкими проливами.

Средиземные моря принято делить на межматериковые и внутриматериковые.

Межматериковые моря приурочены к крупным зонам тектонической активности, поэтому характеризуются большими глубинами, довольно сильной расчлененностью, сейсмичностью и вулканизмом.

Внутриматериковые моря оконтурены берегами одного и того же материка и лежат на участках с материковой корой. Обычно мелководны.

Границы современной России омывают 12 морей, принадлежащих к бассейнам Северного Ледовитого, Тихого и Атлантического океанов.

В России насчитывается свыше 2,5 миллионов озер. Они различаются по происхождению озерной котловины, размерам акватории, объему чаши, минерализации воды, гидробиологическим характеристикам.

Задание

1. На контурной карте России показать границы всех морей, нанести их названия.
2. Нанести на контурную карту названия всех отмеченных на ней озер.
3. Дать краткую характеристику морей: а) указать, к какой группе морей они относятся; б) объяснить, почему границы морей показаны именно так, а не иначе; в) привести морфометрические характеристики морей.
4. Привести общие сведения не менее чем о 10 отмеченных на контурной карте озерах (происхождение, площадь водного зеркала, средняя и максимальная глубина, соленость воды).
5. Оформить отчет.

Вопросы для самопроверки

1. Что такое Мировой океан?
2. В чем отличие океана от моря?
3. В чем отличие озера от моря?
4. Какие моря окружают Россию?
5. Какой субъект Федерации России имеет наибольшее количество озер?

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Необходимость введения в учебный план подготовки экологов курса «Гидрология» и подготовки данного издания продиктована потребностями практики. Молодые специалисты после окончания университета сталкиваются в своей производственной деятельности с комплексом эколого-гидрологических проблем, требующих практического решения вопросов нормирования антропогенного воздействия на водные объекты.

Очевидно, что прежде чем нормировать воздействие, необходимо иметь ясное представление об объекте воздействия. Собственно этому вопросу и посвящен данный практикум, в котором рассматриваются основные методы количественного и качественного определения и учета различных элементов, характеризующих режим водных объектов, и даются основные методические подходы к измерениям основных элементов водного режима водоемов и водотоков, необходимые для бакалавров, изучающих закономерности гидрологических процессов в разных природных условиях.

Автор надеется, что представленные в издании практические работы помогут обучающимся получить более полное представление о водных объектах суши, с которыми им придется иметь дело в своей будущей деятельности.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. ГОСТ 19179–73. Гидрология суши. Термины и определения. – Введ. 1975.01.01. – М. : Изд-во стандартов, 1988. – 47 с.
2. Руководство по определению гидрографических характеристик картометрическим способом : [Утв. Госкомгидрометом 06.01.84]. – Л. : Гидрометеиздат, 1986. – 91 с. : ил., карт.
3. Михайлов В. Н. Общая гидрология : учебник для вузов. – М. : Высш. шк., 1991. – 368 с.
4. Общая гидрология (гидрология суши) : учебник / Б. Б. Богословский, А. А. Самохин, К. Е. Иванов, Д. П. Соколов. – Л. : Гидрометеиздат, 1984. – 426 с.
5. Черновский Л. А., Гриценко А. Г. Учение о гидросфере : учеб. пособие. – Новосибирск : СГГА, 2008. – 172 с.
6. Черновский Л. А. Учение о гидросфере : учеб.-метод. пособие. – Новосибирск : СГГА, 2010. – 108 с.
7. Парахневич В. Т. Гидравлика, гидрология, гидрометрия водотоков [Электронный ресурс] : учеб. пособие. – М. : НИЦ ИНФРА-М; Мн. : Нов. знание, 2015. – 368 с. – Режим доступа: <http://znanium.com/bookread2.php?book=483223>.
8. Решетько М. В. Основы гидравлики, гидрологии и гидрометрии : учеб. пособие. – Томск : Изд-во Томского политех. университета, 2015. – 193 с. – Режим доступа: <http://znanium.com>. – Заглавие с экрана.
9. Почвенно-климатический атлас Новосибирской области [Карты] / Акад. наук СССР. Сиб. отд-ние; Ин-т почвоведения и агрохимии; отв. ред. А. П. Сляднев. – Новосибирск : Наука, Сиб. отд-ние, 1978. – 1 атл. (121 с.).

Учебное издание

Черновский Леонид Александрович

ГИДРОЛОГИЯ

Редактор *Е. Н. Ученова*

Компьютерная верстка *Н. Ю. Леоновой*

Изд. лиц. ЛР № 020461 от 04.03.1997.

Подписано в печать 29.05.2020. Формат 60 × 84 1/16.

Усл. печ. л. 3,20. Тираж 75 экз. Заказ 64.

Гигиеническое заключение

№ 54.НК.05.953.П.000147.12.02. от 10.12.2002.

Редакционно-издательский отдел СГУГиТ
630108, Новосибирск, ул. Плахотного, 10.

Отпечатано в картопечатной лаборатории СГУГиТ
630108, Новосибирск, ул. Плахотного, 8.