

Учреждение образования
«Гомельский государственный университет
имени Франциска Скорины»

**В. Л. МОЛЯРЕНКО,
А. И. ПАВЛОВСКИЙ,
С. В. АНДРУШКО**

ГИДРОЛОГИЯ

Практическое пособие

для специальностей

6-05-0532-01 «География (научно-педагогическая деятельность)»,
6-05-0521-03 «Геоэкология»

Гомель
ГГУ им. Ф. Скорины
2024

УДК 556(076)
ББК 26.22я73
М464

Рецензенты:

доктор геолого-минералогических наук А. Н. Галкин,
кандидат геолого-минералогических наук А. П. Гусев

Рекомендовано к изданию научно-методическим советом
учреждения образования «Гомельский государственный
университет имени Франциска Скорины»

Моляренко, В. Л.

М464 Гидрология : практическое пособие / В. Л. Моляренко,
А. И. Павловский, С. В. Андрушко ; Гомельский гос. ун-т им.
Ф. Скорины. – Гомель : ГГУ им. Ф. Скорины, 2024. – 44 с.
ISBN 978-985-32-0001-0

Практическое пособие содержит краткие теоретические сведения и
задания к практическим работам по курсу «Гидрология».

Адресовано студентам специальностей 6-05-0532-01 «География
(научно-педагогическая деятельность)», 6-05-0521-03 «Геоэкология».

УДК 556(076)
ББК 26.22я73

ISBN 978-985-32-0001-0

© Моляренко В. Л., Павловский А. И.,
Андрушко С. В., 2024
© Учреждение образования
«Гомельский государственный университет
имени Франциска Скорины», 2024

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие.....	4
Практическая работа 1. Гидрографические характеристики реки и ее бассейна.....	5
Практическая работа 2. Скорости течения в живом сечении речного русла.....	12
Практическая работа 3. Расчленение гидрографа по типам питания.....	17
Практическая работа 4. Морфометрические характеристики озера.....	21
Практическая работа 5. Распределение температуры воды по вертикали в озере.....	27
Практическая работа 6. Характеристика среднегодового стока рек	31
Практическая работа 7. Кривые расходов реки.....	35
Литература.....	44

ПРЕДИСЛОВИЕ

Дисциплина государственного компонента «Гидрология» знакомит студентов с системой знаний и методов исследований в области гидрологии суши и гидрографии Беларуси. Основная цель курса – показать общие закономерности развития гидрологических процессов, взаимосвязь гидрологических процессов с природными условиями водосборов водных объектов, познакомить студентов с основными закономерностями географического размещения водных объектов разных типов: рек, озер, водохранилищ, прудов и болот, подземных вод, а также с основными гидрологическими региональными особенностями этих объектов в условиях Беларуси. Гидрология Мирового океана и морей в данном курсе не рассматриваются. Основные вопросы этой части дисциплины изучаются в курсах «Физическая география материков и океанов», «Гидрология Мирового океана».

Целью практического пособия «Гидрология» является овладение студентами общими закономерностями развития гидрологических процессов и географическими особенностями размещения водных объектов.

В пособии изложено содержание практических занятий, представлены методические рекомендации, раскрывающие последовательность выполнения заданий, приводятся необходимые исходные материалы.

Успешное выполнение представленных практических работ предполагает не только хорошее владение теоретическим материалом по гидрологии, но и использование практических навыков по другим географическим дисциплинам. Выполнение всех представленных в практикуме работ является обязательным и предусмотрено учебной программой.

Настоящее практическое пособие состоит из семи практических работ, обеспечивает формирование необходимых умений и навыков по дисциплине, позволяющих закрепить теоретические знания, полученные на лекционных занятиях.

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА 1

ГИДРОГРАФИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ РЕКИ И ЕЕ БАССЕЙНА

Общие сведения

Изучение рек начинается с выявления основных характеристик их бассейнов (водосборов), т. е. территорий, с которых происходит сток в данные речные системы (главную реку с ее притоками).

Гидрографические характеристики реки и ее бассейна играют важную роль в гидрологических расчетах, особенно в тех случаях, когда материалов наблюдений недостаточно или они отсутствуют.

К основным гидрографическим характеристикам относятся морфометрические показатели, характеризующие величину и форму бассейна и гидросети: площадь, ширина, асимметричность и конфигурация, длина реки, ее извилистость, уклон, густота речной сети, а также лесистость, озерность и заболоченность бассейна (водосбора).

Для определения этих характеристик используются картографические материалы, при этом чем крупнее масштаб карт, тем точнее будут полученные данные.

Содержание работы

Определить по карте заданного масштаба гидрографические характеристики бассейна реки (по варианту):

1. Провести водораздельную линию, определить ее длину.
2. Измерить площадь бассейна.
3. Определить: а) длину бассейна; б) среднюю и наибольшую ширину; в) коэффициенты асимметрии и развития водораздельной линии.
4. Вычислить озерность, заболоченность и лесистость бассейна.
5. Определить длину главной реки и ее притоков.
6. Вычислить коэффициенты извилистости главной реки и густоты речной сети.
7. Определить падение и продольный уклон главной реки.
8. Построить гидрографическую схему реки.

Выполнение работы

Работа выполняется в два этапа:

На первом, *графическом* этапе производится выделение границ речного бассейна (проведение водораздельной линии), перенесение на кальку водораздельной линии, гидрографической сети и контуров лесов.

На втором, *графоаналитическом* этапе отрабатываются методики определения гидрографических характеристик реки и ее бассейна.

1. Границей водосбора реки служит водораздельная линия, отделяющая данный речной бассейн от соседних и являющаяся раздельной линией для поверхностного стока в данный или соседний бассейн. Водораздельную линию проводят сообразно рельефа местности по наиболее высоким отметкам (вершинам холмов, хребтов, седловинам) с учетом горизонталей и берг-штрихов; она должна замыкаться в устье реки или у расчетного (замыкающего) створа. Как правило, водораздельная линия проходит по наивысшим точкам земной поверхности. В то же время бывают случаи, когда наивысшие точки территории не находятся непосредственно на выделяемом водоразделе, а расположены в стороне от него. Тогда, данные точки обычно лежат на водоразделе частичного водосбора данной либо соседней реки.

2. Площадь бассейна (F , км²) является его основной характеристикой, так как процессы стока зависят, в первую очередь, от площади бассейна; определяется после проведения водораздельной линии планиметром (или палеткой). Измеряется раздельно для правого ($F_{п}$) и левого ($F_{л}$) берегов главной реки, т. к. эти данные необходимы при вычислении коэффициента асимметрии. Затем в бассейне измеряют площади лесов ($f_{л}$), озер ($f_{оз}$) и болот ($f_{б}$) для определения соответствующих показателей. Все вычисления заносятся в ведомость (таблица 1).

3. Определение морфометрических характеристик водосборного бассейна:

а) длина бассейна ($L_{б}$, км) при правильной его форме определяется расстоянием по прямой от устья (замыкающего створа) реки к ее истоку до наиболее отдаленной точки водораздельной линии. При изогнутых формах бассейна его длину измеряют циркулем по медиане. В данном случае пользуются прозрачной палеткой с рядом концентрических окружностей и отверстием в центре для накладки. Для определения средних по ширине бассейна точек накладывают палетку так, чтобы какая-либо окружность касалась двух противоположных сторон бассейна, накалывают ряд точек, затем по ним проводят медианную линию (рисунок 1);

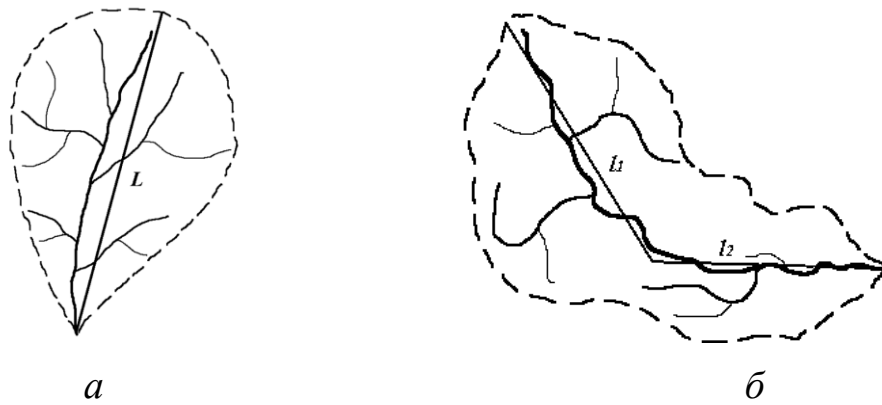


Рисунок 1 – Примеры определения длины бассейнов правильной (а) и неправильной (б) формы

б) средняя ширина бассейна ($B_{\text{ср}}$, км) вычисляется по формуле:

$$B_{\text{ср}} = \frac{F}{L}, \quad (1)$$

где F – площадь бассейна в квадратных километрах;

L – длина бассейна в километрах.

Наибольшая ширина бассейна (B) определяется длиной наибольшего перпендикуляра к линии длины бассейна;

в) коэффициент асимметрии бассейна (a), характеризующий неравномерность распределения площадей правой и левой частей бассейна (по отношению к главной реке), вычисляется по формуле:

$$a = \frac{|(F_l - F_n)|}{0,5(F_l + F_n)}, \quad (2)$$

где F_l – площадь левобережной;

F_n – площадь правобережной частей бассейна в квадратных километрах.

Коэффициент развития водораздельной линии бассейна (m), характеризующий конфигурацию речного бассейна, представляет собой отношение длины водораздельной линии (S , км) к длине окружности круга (S' , км), площадь которого равна площади бассейна F , т. е.

$$m = \frac{L_b}{L'} = \frac{L_b}{2\sqrt{\pi F}} = 0,282 \frac{L_b}{\sqrt{F}}, \quad (3)$$

Таблица 1 – Ведомость измерения площади бассейна реки

Наименование площади	Площадь в делениях планиметра			Площадь $F = k (n_2 - n_1)$, км ²
	отсчеты	разность отсчетов	средняя разность ($n_2 - n_1$)	

Площадь бассейна реки (F) _____ км².

($F_{\text{л}} = \text{_____ км}^2$; $F_{\text{п}} = \text{_____ км}^2$).

Площадь лесов ($f_{\text{л}}$) _____ км².

Площадь озер ($f_{\text{оз}}$) _____ км².

Площадь болот ($f_{\text{б}}$) _____ км².

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

4. Для оценки влияния озер, болот, залесенности речных бассейнов на гидрологический режим рек и величину стока определяют коэффициент озерности ($K_{\text{оз}}$), заболоченности ($K_{\text{б}}$), лесистости ($K_{\text{л}}$):

$$K_{\text{оз}} = \frac{f_{\text{оз}} \cdot 100}{F}, \quad (4)$$

$$K_{\text{б}} = \frac{f_{\text{б}} \cdot 100}{F}, \quad (5)$$

$$K_{\text{л}} = \frac{f_{\text{л}} \cdot 100}{F}, \quad (6)$$

$$K_{\text{п}} = \frac{f_{\text{п}} \cdot 100}{F}, \quad (7)$$

где $f_{\text{оз}}$, $f_{\text{б}}$, $f_{\text{л}}$ – площади, занятые озерами, болотами, лесами в пределах данного речного бассейна с площадью F в квадратных километрах.

5. Длина главной реки (L) и длины притоков (l_1, l_2, \dots, l_n) в километрах определяются по карте двукратным измерением (от устья до истока, затем в обратном направлении) при помощи циркуля-измерителя с постоянным раствором 1 или 2 мм (рисунок 2). Допустимое расхождение между количеством отложений раствора циркуля при двух измерениях не должно превышать 2 %, и для подсчета берется их среднее значение. Счет километров ведут от устья реки, как от более определенной точки, чем исток, до первого притока, затем от первого до второго притока и т. д. Такое деление главной реки на участки требуется для построения гидрографической схемы.

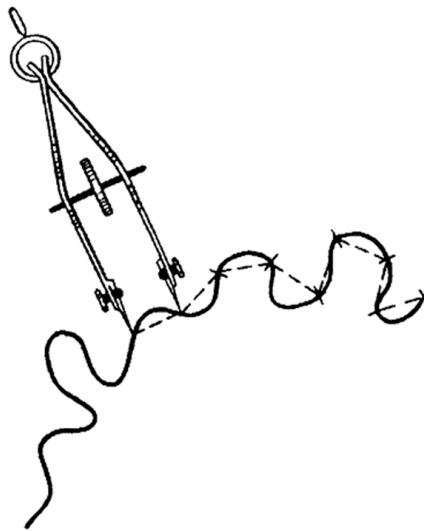


Рисунок 2 – Измерение длин извилистых линий с помощью циркуля-измерителя с малым раствором игл

При измерении циркулем определяется не длина дуги, а хорда и длина реки получается заниженной, поэтому измеренная длина реки (участка) или притока умножается на поправочный коэффициент на извилистость (K), который выбирается в соответствии с типом извилистости (рисунок 3). Полученная длина реки (участка) или притока называется *вычисленной* и является окончательной. Данный способ определения истинной длины реки основан на методе Ю. М. Шокальского (Апполов Б. А. «Учение о реках». М., 1963, с. 45). Результаты вычислений длины главной реки и длины притоков заносятся в ведомости (таблицы 2, 3). Длина главной реки получается как нарастающая величина ее участков от устья до истока.

Таблица 2 – Ведомость измерения длины реки (по участкам)

Название участка	Число отложений раствора циркуля			Длина (км)	Поправочный коэффициент (K)	Истинная длина(км)	Длина, нарастающая от устья до истока (км)
	1-е изм.	2-е изм.	3-е изм.				

Общая длина главной реки (L) _____ км.

Длина прямой, соединяющей исток с устьем (l') _____ км.

Коэффициент извилистости реки $\left(K_{из} = \frac{L}{l'} \right)$.

Таблица 3 – Ведомость измерения длины реки (по участкам)

Название участка	Число отложений раствора циркуля			Длина (км)	Поправочный коэффициент (K)	Истинная длина (км)
	1-е	2-е	среднее			

Общая длина притоков ($\sum L$) _____ км

Общая длина речной сети бассейна ($L + \sum l$) _____ км.

Густота речной сети бассейна $\left(D = \frac{L + \sum l}{F} \right)$ _____ км/км².

6. Коэффициент извилистости реки ($K_{из}$) определяется как отношение вычисленной длины реки (L) к длине прямой (l'), соединяющей устье и исток:

$$K = \frac{L}{l'}. \quad (8)$$

Результаты вычислений заносятся в ведомость (таблица 2).

Густота речной сети бассейна (D) определяется как отношение вычисленной длины всех рек бассейна к площади бассейна, где $\sum l$ – сумма длин притоков в километрах.

$$D = \frac{L + \sum l}{F}. \quad (9)$$

Результаты вычислений заносятся в ведомость (таблица 3).

7. Разность отметок (ΔH) водной поверхности истока ($H_{и}$) и устья ($H_{у}$) или двух каких-либо точек по длине реки называется падением реки (I), выражаемом в метрах на весь участок или в м/км. Отношение величины падения (ΔH) к длине реки (L) или к длине данного участка реки называется уклоном реки, т. е.

$$I = \frac{H_{и} - H_{у}}{L} = \frac{\Delta H}{L}, \quad (10)$$

где $H_{и}$ – отметка высоты истока, м;

$H_{у}$ – отметка высоты уреза воды в устье, м.

При отсутствии данных об отметках уровней средний уклон ориентировочно определяют как отношение разности отметок поверхности земли в тех же точках ($H_{и} - H_{о}$) к длине реки.

Уклон реки (I) представляет собой величину безразмерную и выражается в м/км в виде десятичной дроби или промилле .

8. Речную систему можно представить в виде гидрографической схемы реки (рисунок 3).

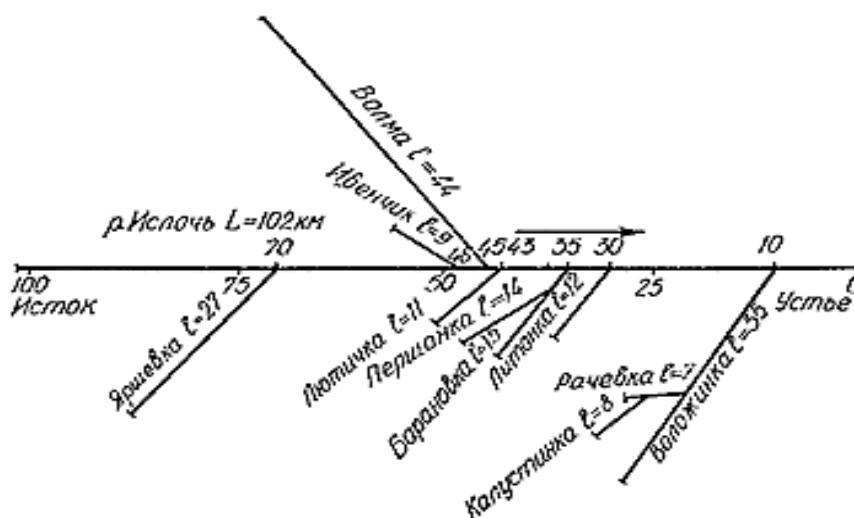


Рисунок 3 – Гидрографическая схема реки Исlochь

Для построения схемы используются данные таблиц 2, 3. Главная река изображается в виде прямой линии; притоки первого порядка – в виде отрезков прямой, расположенных под углом 30–45° к главной реке. Масштаб выбирается таким образом, чтобы чертеж помещался на листе формата 203×288 мм. На схеме выписываются расстояния в километрах; от устья главной реки (для масштаба 1:100000 через 5 км, 1:200000 через 10 км, 1:500000 через 25 км, 1:1000000 через 50 км и т. д.), от устья главной реки до устьев притоков, длины и названия притоков. Притоки второго, третьего, и так далее порядков изображаются аналогично притокам первого порядка.

Контрольные вопросы

1. Назовите принципы проведения водораздельной линии.
2. Опишите способы определения общей площади бассейна и площади озер, болот, лесов и пашни в его пределах.

3. Что характеризует и как определяется коэффициент асимметрии бассейна реки. Можно ли его использовать для объяснения особенностей речного стока?

4. Как определяются коэффициенты озерности, заболоченности, лесистости.

5. Что отображается на гидрографической схеме реки?

6. Как определить длину и густоту русловой сети бассейна?

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА 2 СКОРОСТИ ТЕЧЕНИЯ В ЖИВОМ СЕЧЕНИИ РЕЧНОГО РУСЛА

Общие сведения

Определение скоростей течения воды необходимо при измерении расходов воды, а также при изучении течений и особенностей скоростного поля потока в реках, озерах и водохранилищах для решения ряда научных и практических задач.

В речной гидрометрии скорость течения измеряется в основном гидрометрическими вертушками. Поэтому выполнение настоящей работы основывается на данных измерения скоростей течения в живом сечении реки с помощью гидрометрической вертушки точечным (в отличие от интеграционного) способом при условии, что ледяной покров, зашугованность или зарастание в русле отсутствуют.

Точечный способ заключается в измерении скоростей течения воды (V) в строго фиксированных точках потока на скоростных вертикалях (рисунок 4).

Содержание работы

По данным выписки из книжки для записи измерения расходов воды (таблица 4):

1. Построить поперечный профиль водного сечения реки со скоростными вертикалями.

2. Провести изотакхи в живом сечении.

3. Вычислить среднюю скорость течения на каждой скоростной вертикали аналитическим способом.

4. Построить эпюру распределения скоростей течения для одной скоростной вертикали с максимальной глубиной и вычислить для нее среднюю скорость графическим способом.

Выполнение работы

1. На листе миллиметровой бумаги (формат 288×407 мм) строится профиль водного сечения русла по данным граф 1–3 таблицы 4. Горизонтальный масштаб (ширина реки) выбирается в 2, 4, 5, 10 или 20 раз мельче вертикального (глубина реки).

Точки дна соединяются прямыми линиями (рисунок 5). На скоростных вертикалях у соответствующих точек измерения выписывают значения скорости (графы 4–8, таблицы 4).

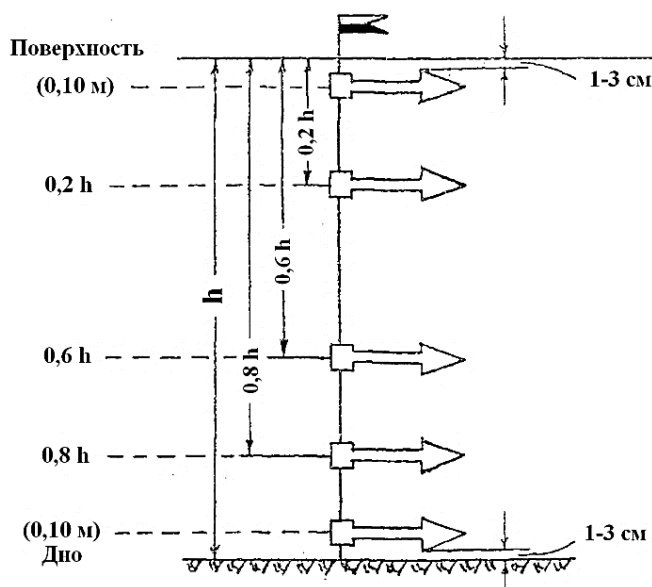


Рисунок 4 – Расположение вертушки на вертикали (при детальном способе измерения)

Таблица 4 – Выписка из книжки для записи измерения расхода воды (вертушкой, детальным способом)

№ промерных и скоростных вертикалей	Расстояние от постоянного начала, м	Глубина, м	Скорости течения (м/с) в точках скоростных вертикалей				
			Поверхность (0,10 м)	0,2 h	0,6 h	0,8 h	ДНО (0,10 м)
1	2	3	4	5	6	7	8

2. Распределение скоростей в поперечном сечении реки может быть наглядно представлено при помощи изотах, линий, соединяющих точки с одинаковыми скоростями течения. Сечение изотах назначают в зависимости от максимальной скорости и точки разных скоростей соединяют плавными кривыми, интерполируя между значениями скоростей в точках вертикали. Общее количество изотах должно быть от 6 до 16.

В период, когда река свободна от льда, изотахи выходят на линию поверхности воды; точки выхода изотах определяют интерполяцией между поверхностными скоростями. Выход изотах в дно и положение их в прибрежной зоне определяют аналогично, т. е. интерполяцией между придонными скоростями и нулевыми скоростями у уреза.

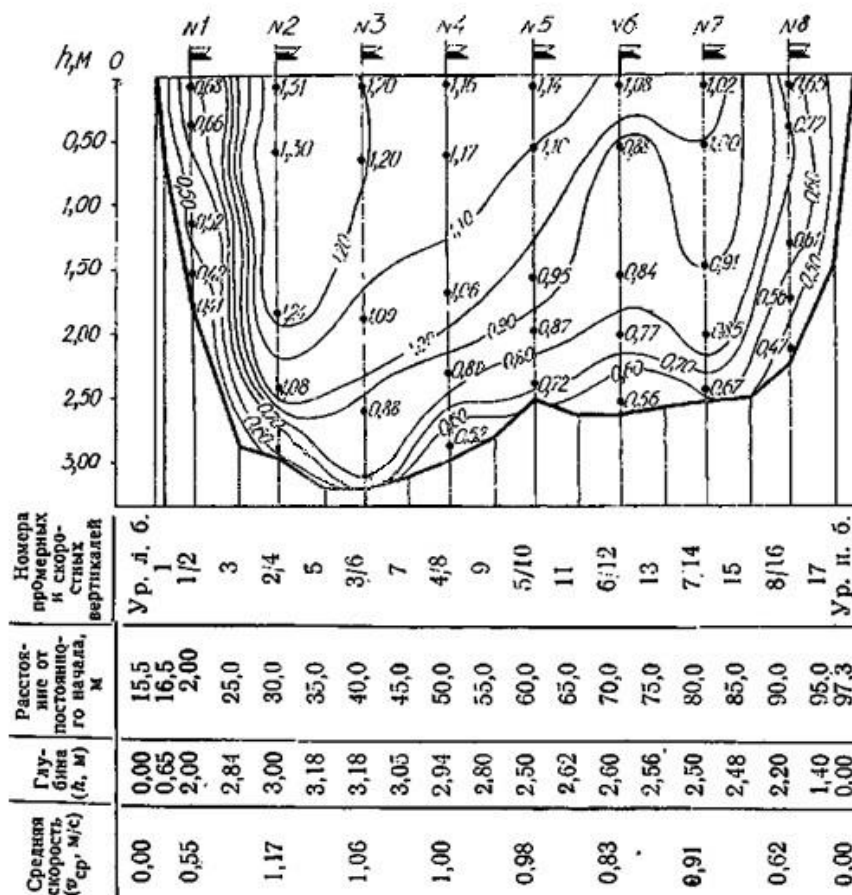


Рисунок 5 – Распределение скоростей в живом сечении реки

3. Средняя скорость (V_{cp}) на скоростных вертикалях аналитическим способом вычисляется:

– при измерении в пяти точках по формуле:

$$V_{cp} = 0,1(V_{пов} + 3V_{0,2} + 3V_{0,6} + 2V_{0,8} + V_{дно}); \quad (11)$$

– при измерении в трех точках по формуле:

$$V_{\text{cp}} = 0,25(V_{0,2} + 2V_{0,6} + V_{0,8}); \quad (12)$$

– при измерении в двух точках по формуле:

$$V_{\text{cp}} = 0,5 (V_{0,2} + V_{0,8}); \quad (13)$$

– в одной точке по формуле:

$$V_{\text{cp}} = V_{0,6}. \quad (14)$$

где $V_{\text{пов}}$, $V_{0,2}$, $V_{0,6}$, $V_{0,8}$, $V_{\text{дно}}$ – скорости, измеренные на поверхности, на 0,2, 0,6, 0,8 рабочей глубины и у дна (рисунок 5). Данные для вычисления средних скоростей берутся из граф 4–8 таблицы 4.

4. Наглядное представление о распределении скоростей течения воды на различных глубинах по вертикали дает эпюра скоростей (годограф) – фигура, ограниченная профилем скоростей, направлением вертикали, линиями поверхности и дна (рисунок 6).

Для построения эпюры распределения скоростей по вертикали откладываются глубины, по горизонтали – скорости. Для этого на вертикальной линии отмечают точки измерения скоростей и проводят от этих точек вправо горизонтальные линии, равные в масштабе измеренным скоростям, и соединяют концы их плавной линией (профиль скоростей). Затем точки поверхности и дна вертикали соединяют горизонтальными линиями с профилем и получают эпюру скоростей.

Выбор горизонтального и вертикального масштабов производится в зависимости от наибольшей скорости и глубины с таким расчетом, чтобы отношение числа сантиметров по горизонтали (при наибольшей скорости) к числу сантиметров по глубине было 0,7–1,0.

Эпюра распределения скоростей течения по вертикали служит для определения средней скорости на вертикали графическим способом.

Площадь эпюры скорости численно равна элементарному расходу воды через вертикаль, т. е. расходу воды на единицу ширины потока.

Путем деления площади годографа (q , м²/с) на глубину вертикали (h , м) вычисляется средняя скорость на вертикали (рисунок 6).

$$V_{\text{cp}} = \frac{q}{h} = \frac{3,058 \text{ м}^2/\text{с}}{2,94 \text{ м}} = 1,04 \text{ м/с}. \quad (15)$$

Площадь годографа определяют планиметром или непосредственно, по миллиметровой бумаге, отсчитывая число квадратиков в масштабе. При планиметрировании вычисления и результаты заносятся в ведомость вычисления средней скорости течения на вертикали (таблица 5).

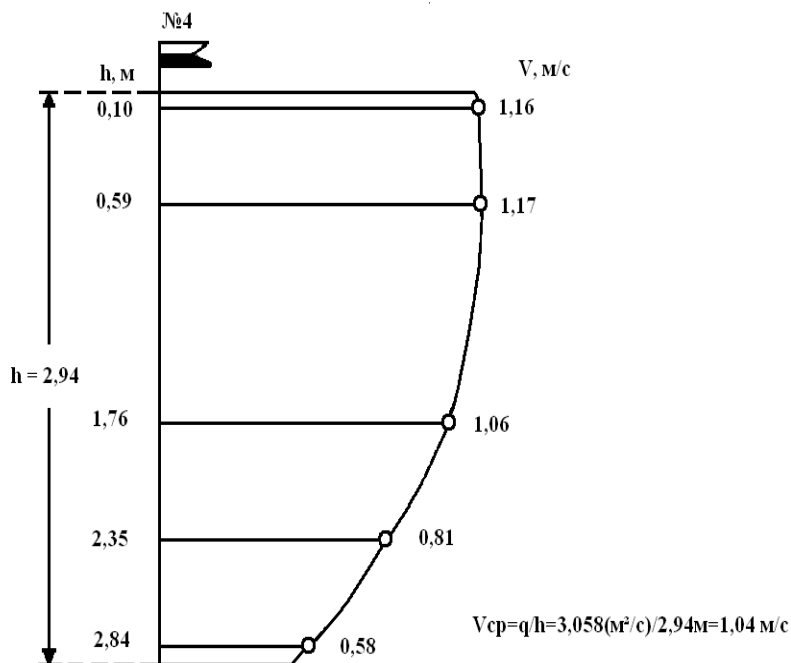


Рисунок 6 – Эпюра скоростей (годограф).

К вычислению средней скорости по вертикали № 4 графическим способом

Таблица 5 – Ведомость вычисления средней скорости течения на вертикали графическим способом

Вертикаль № _____ масштаб: вертикальный _____, горизонтальный _____

Измеряемая площадь	Площадь в делениях планиметра			Площадь годографа $q = n (n_2 - n_1) \text{ м}^2/\text{с}$
	Отсчеты	Разность отсчетов	Средняя разность ($n_2 - n_1$)	

Площадь годографа q _____ $\text{м}^2/\text{с}$.

Средняя скорость $V_{cp} = \frac{q}{h}$ _____ $\text{м}/\text{с}$.

Контрольные вопросы

1. В чем заключается способ определения скорости течения в живом сечении речного русла?
2. Что такое изотахи?
3. В чем заключается алгоритм определения средних скоростей течения на скоростных вертикалях аналитическим способом?
4. Что такое эпюра скоростей (годограф)? Опишите алгоритм определения средней скорости течения на скоростной вертикали графическим способом.

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА 3 РАСЧЛЕНЕНИЕ ГИДРОГРАФА ПО ТИПАМ ПИТАНИЯ

Общие сведения

Наглядное представление о ходе колебаний расходов воды реки в течение года дает хронологический график – гидрограф (рисунок б), показывающий изменение ежедневных; секундных расходов воды во времени $Q = f(T)$.

Гидрограф ежедневных расходов воды характеризует колебания водности реки в разлившие фазы гидрологического режима (половодье, межень, паводки) и их продолжительность. По гидрографу можно определить объем годового стока реки, стока отдельных месяцев и периодов, и судить о преобладающем типе питания реки в различные сезоны, рассчитать, какую часть годового стока дает каждый тип питания и сезон.

Содержание работы

1. По данным таблицы ежедневных расходов воды построить гидрограф реки _____ в створе _____ за _____ г.
2. Расчленив гидрограф на части, соответствующие различным видам питания реки (снеговое, дождевое, грунтовое).
3. Определить величину каждого типа питания (в км³ и в % от годового стока) и преобладающий тип питания.

Выполнение работы

1. Исходными данными для построения гидрографа являются ежедневные расходы воды реки (в данном створе), помещенные в «Гидрологическом ежегоднике» (пример годовой таблицы ежедневных расходов воды приведен в таблице 6).

Гидрограф строится на миллиметровой бумаге (формат 288×407 или 203×288 мм). По оси ординат откладываются расходы воды (Q , м³/с), а по оси абсцисс – время (T , сутки). Вертикальный масштаб выбирается в зависимости от величины расходов, горизонтальный – в 1мм 1 или 2 сут. Для расходов воды рекомендуются следующие масштабы: в 1 см 0,1; 0,2; 0,5; 1,2; 5; 10; 50; 100 м³/с и т. д.

Пользуясь данными годовой таблицы ежедневных расходов воды (таблица 6), на поле графика наносят в виде точек величины расходов воды за каждые сутки. Последовательно соединив нанесенные точки, получают гидрограф (рисунок 7).

Таблица 6 – Годовая таблица расходов воды реки Днепр город Могилев, 1972 г.
 $W = 2,95 \text{ км}^3$; $M = 4,49 \text{ л/с} \times \text{км}^2$; $h = 142 \text{ мм}$; $F = 20 \text{ 800 км}^2$

Число	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1	87,8	38,5	42,8	291	319	105	52,8	46,7	32,9	37,2	47,8	56,5
2	86,8	38,5	42,8	296	298	105	50,3	48,5	32,9	38,3	47,8	61,6
3	85,8	38,8	43,2	295	277	109	50,3	48,5	32,9	39,4	48,4	64,2
4	84,6	38,8	43,2	302	258	113	51,5	46,9	32,9	40,6	47,8	65,5
5	83,7	38,8	43,2	328	237	117	55,2	45,2	32,9	40,6	49,0	66,2
6	83,3	38,5	43,8	341	215	119	56,5	43,5	32,9	40,8	50,9	66,2
7	83,2	38,5	43,8	388	194	114	55,9	41,8	33,4	41,2	50,3	66,8
8	82,2	37,7	43,8	500	176	105	55,2	41,8	33,8	40,6	50,3	68,8
9	79,4	37,7	43,8	598	155	96,6	55,2	40,6	33,8	40,6	51,2	70,7
10	78,4	38,3	43,7	629	139	91,1	56,5	41,8	33,8	40,6	52,8	73,3
11	76,4	38,3	43,7	589	125	85,7	56,5	41,8	33,8	40,6	54,0	74,7
12	73,7	38,0	44,3	528	113	80,4	56,5	40,6	33,4	40,0	55,3	76,0
13	69,6	38,0	44,3	483	105	76,2	57,7	37,2	32,9	40,6	57,8	77,3
14	67,8	38,6	45,4	452	99,0	76,2	58,3	36,6	33,4	40,6	57,2	78,0
15	66,1	38,6	45,1	434	93,4	72,8	60,2	36,6	32,9	41,2	58,4	78,6
16	63,1	38,2	49,1	423	91,9	68,3	62,7	34,9	32,9	41,8	57,2	78,6
17	60,8	38,9	61,0	415	89,5	63,9	63,9	34,9	33,4	41,2	57,8	81,3
18	58,9	38,9	78,1	415	88,8	61,4	62,7	33,8	33,8	41,8	57,8	82,0
19	57,0	38,5	84,2	416	90,3	59,0	61,4	33,8	33,8	41,8	59,1	81,3
20	55,1	39,1	84,7	416	90,3	59,0	60,2	33,4	33,8	42,9	59,1	81,3
21	52,4	39,1	85,9	420	91,9	57,7	59,0	32,4	32,8	42,9	57,8	80,0
22	50,6	39,1	88,3	421	98,2	56,5	56,5	32,0	34,9	43,5	59,1	78,6

Окончание таблицы 6

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
23	48,8	40,1	98,0	423	98,2	54,6	55,2	32,9	34,9	45,3	59,7	76,0
24	47,0	40,5	109	423	105	52,8	52,8	32,9	35,5	47,8	59,1	67,2
25	45,8	40,5	132	418	115	51,5	50,3	32,4	36,0	50,3	59,1	51,5
26	43,8	40,9	142	408	116	50,3	49,0	32,0	36,0	49,0	59,1	48,6
27	42,6	42,4	156	396	117	56,5	47,8	31,1	36,6	49,0	59,7	47,8
28	41,5	42,4	172	384	116	65,2	46,4	31,6	36,6	48,4	57,8	42,7
29	40,4	42,8	202	364	111	66,4	46,1	32,0	37,2	48,4	57,8	37,8
30	39,3	–	238	340	108	59,6	45,5	32,4	37,2	47,8	54,6	37,4
31	39,3	–	273	–	107	–	45,0	32,9	–	47,8	–	37,3
Ср.	63,7	39,2	87,4	418	143	78,3	54,6	37,5	34,2	43,0	55,1	66,3
Наиб	93,6	42,8	284	632	330	120	63,9	48,5	37,2	50,3	60,4	82,0
Наим	38,9	37,7	42,8	287	88,8	50,3	45,0	31,1	32,9	37,2	47,2	36,6

Средний годовой 93,4. Наибольший 632 10/IV.

Наименьший летний 31,1 27/VIII. Наименьший зимний 37,7 8,9/II.

W – объем стока, M – модуль стока, h – слой стока, F – площадь водосбора.

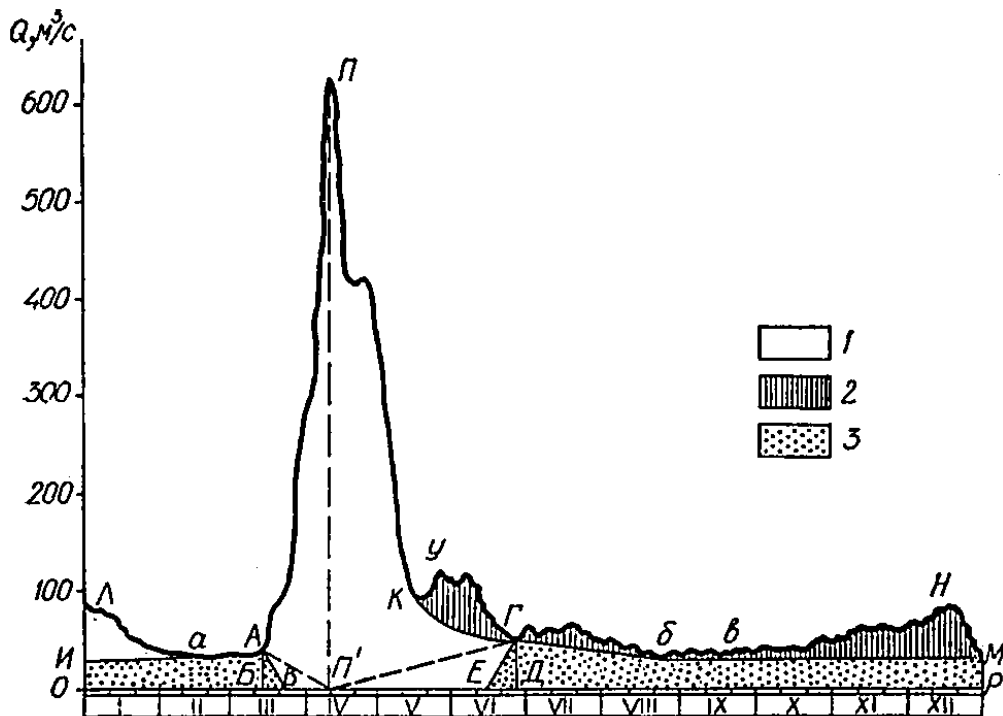


Рисунок 7 – Пример оформления гидрографа и его расчленения по видам питания

На гидрографе надписываются: название реки, гидроствор – пункт наблюдений, год наблюдений.

2. После построения гидрографа его расчленят по типам питания (подземное, дождевое, снеговое, а в горных районах и ледниковое).

При отсутствии данных о режиме грунтовых вод наибольшую трудность представляет определение подземного питания. Для выделения подземного питания на гидрографе разработано несколько методов. Различия между ними в основном в определении питания грунтовых вод в период половодья.

В данной работе рассматривается метод Б. В. Полякова определения по гидрографу питания реки из горизонтов грунтовых вод, гидравлически связанных с нею.

Б. В. Поляков исходит из того, что подземного питания нет в момент прохождения пика половодья через данный гидроствор, а уменьшение подземного питания на подъеме половодья и увеличение на спаде идет равномерно. Согласно его методу, подземное питание отделяется на гидрографе от поверхностного отрезками прямой линии, идущими от низкого расхода воды перед началом половодья до нуля в момент прохождения пика и до низкого расхода воды в конце спада (рисунок 6), штриховая линия АПГ).

3. После расчленения гидрографа на нем выделяем следующие площади стока (рисунок 6):

- 1) поверхностного снегового (АПКГЕВ и Лаи);
- 2) поверхностного дождевого (КГбвМНУ);
- 3) подземного (грунтового) стока (ИаАВО и ГбвМРЕ).

Площадь, ограниченная линией гидрографа и осями координат, изображает в соответствующем масштабе объем годового стока (W , м³ или км³). Для подсчета годового стока нужно определить эту площадь в см² и умножить ее на значение 1 см² в масштабе чертежа. В нашем примере при вертикальном масштабе в 1 см² 50 м³/с горизонтальном – в 1 см 20 сут площадь в 1 см² соответствует $50 \times 20 \times 86\,400 = 864 \times 10^5$ м³ (86 400 – количество секунд в сутках). Аналогично по частям гидрографа, изображающим отдельные виды питания, определяется величина стока снеговых, дождевых и грунтовых вод и доля их (в % от годового стока) в общем питании реки.

На основании расчленения гидрографа и подсчета процентного соотношения различных видов питания можно сделать вывод о преимущественном типе питания данной реки.

Контрольные вопросы

1. Что такое гидрограф? В чем практическая значимость его построения?

2. Опишите общий алгоритм расчленения гидрографа по типам питания. В чем заключается практическая значимость данной работы?

3. Как по гидрографу определить объем годового стока в реке через рассматриваемый створ?

4. Какие типы питания рек, выделяемые по соотношению различных видов питания, вы знаете?

5. Можно ли установить принадлежность реки к какому-либо из данных типов по результатам расчленения гидрографа по видам питания?

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА 4

МОРФОМЕТРИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ОЗЕРА

Общие сведения

При изучении гидрологического режима озера для различного рода исследований и расчетов, необходимо, в первую очередь, выделить основные морфометрические характеристики озера; площадь зеркала, длину, ширину, объем воды, глубину.

Морфометрические характеристики вычисляются по плану озера в изобатах (изолиниях равных глубин), построенному по данным промеров (рисунок 8) и относятся к уровню воды, принятому для построения плана.

Площадь водной поверхности (f) и объем озера (V) изменяются в связи с колебаниями уровня воды (H). Зависимость площадей и объемов озера от его глубины выражается графически в виде батиграфической $f = f(H)$ и объемной $V = f(H)$ кривых (рисунок 9). Эти кривые дают возможность определить значения площади зеркала и объема воды в озере при любом его наполнении.

Содержание работы

1. Определить по плану озера _____ масштаб _____ основные морфометрические характеристики:

а) площадь зеркала (f_0) и площади, ограниченные изобатами (f_1, f_2, \dots, f_n);

б) длину (L);

- в) наибольшую ($B_{\text{макс}}$) и среднюю ($B_{\text{ср}}$) ширину;
 - г) объем воды всего озера (V_0) и объемы слоев между плоскостями изобат (V_1, V_2, \dots, V_n);
 - д) наибольшую ($H_{\text{макс}}$) и среднюю ($H_{\text{ср}}$) глубину.
2. Построить батиграфическую и объемную кривые озера.

Выполнение работы

На основе предложенного преподавателем плана озера в изобатах определить основные морфометрические характеристики озера (площадь, длину озера, наибольшую ширину, общий объем озера, наибольшую и среднюю глубину озера) и построить батиграфическую и объемную кривые озера.

1. Основные морфометрические характеристики озера:

а) площадь зеркала озера (f_0 , м² или км² и площади, ограниченные изобатами (f_1, f_2, \dots, f_n), определяются планиметрированием; записи значений записываются в таблицу 7. Результаты вычислений заносятся в графы 1, 2 таблицы 8;

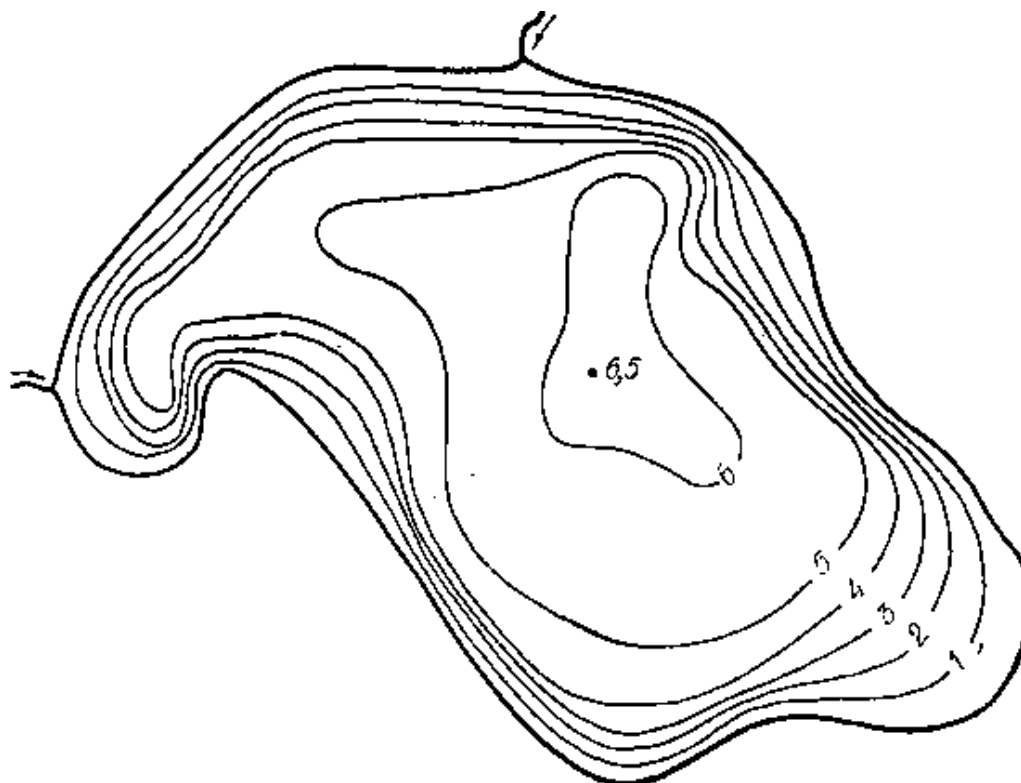


Рисунок 8 – План озера Голодзянка в изобатах

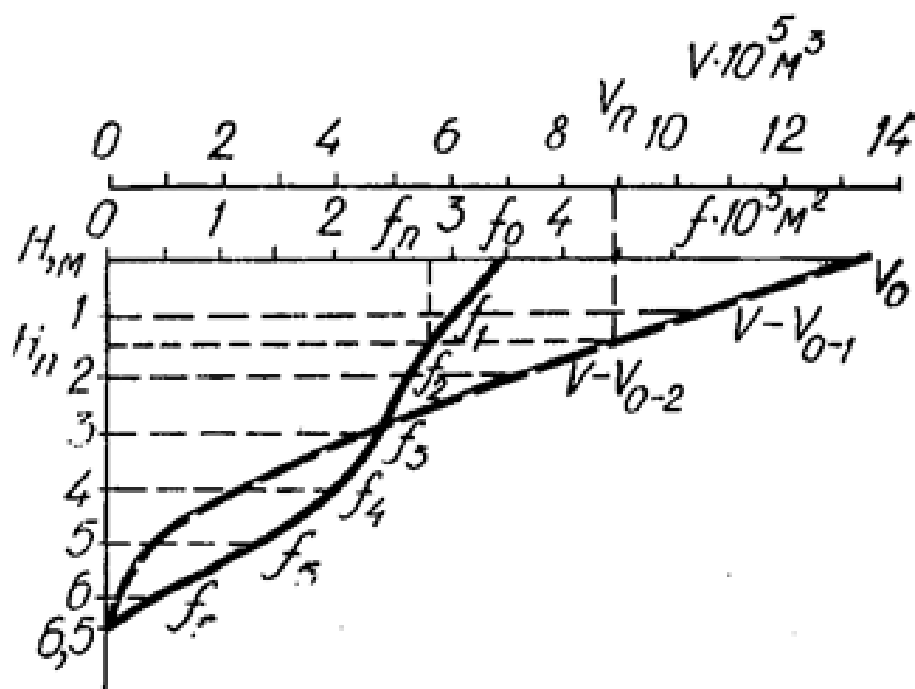


Рисунок 9 – Батиграфическая и объемная кривые озера Голодзянка

Таблица 7 – Вычисление площади озера

Изобата	Площадь деления планиметра			Площадь, ограниченная изобатами $f = R(n_2 - n_1), \text{ м}^2$	
	отсчет	разность отсчетов	средняя разность		

б) длина озера (L , м или км) – кратчайшее расстояние между двумя наиболее удаленными друг от друга точками береговой линии, измеренное по его поверхности; изображается в плане прямой или ломаной линией;

в) наибольшая ширина ($B_{\text{макс}}$, м или км) – наибольшее расстояние между берегами по перпендикуляру к длине озера.

Средняя ширина ($B_{\text{ср}}$) – частное от деления площади озера на его длину:

$$B_{\text{ср}} = \frac{F}{L}; \quad (16)$$

Таблица 8 – Морфометрические характеристики озера Голодзянка

Площадь зеркала (f_0) – 339 700 м²;
 Длина (L) – 1 000 м;
 Ширина средняя ($B_{\text{ср}}$) – 340 м;
 Ширина наибольшая ($B_{\text{макс}}$) – 510 м;
 Объем (V_0) – 1 362 185 м³;
 Глубина средняя ($H_{\text{ср}}$) – 4 м;
 Глубина наибольшая ($H_{\text{макс}}$) – 6,5 м.

Глубина (H , м)	Площадь, ограниченная изобатами (f , м ²)	Объем между изобатами (V , м ²)	Объем под изобатами ($V - v$, м ³)
1	2	3	4
0	339 700	–	1 362 185
1	306 500	323 100	1 039 085
2	274 250	290 375	748 719
3	241 260	257 750	490 960
4	210 000	225 625	265 335
5	137 000	173 500	91 835
6	28 000	82 500	9 335
6,5	0000	9 335	0000

г) котловины озер имеют сложную форму, отличающуюся от формы правильных геометрических тел, и подобрать зависимость для вычисления объема всей водной массы озера затруднительно. Поэтому при аналитическом определении объем рассчитывается по слоям, заключенным между плоскостями соседних изобат. Эти слои с достаточной точностью могут быть приравнены к правильным геометрическим телам. Лучшие результаты при вычислении объемов слоев большинства озер дает формула усеченного конуса. Общий объем озера (V_0) определяется суммированием объемов слоев:

$$V = \frac{h_1}{3} (f_1 + f_2 + \sqrt{f_1 \cdot f_2}) + \frac{h_2}{3} (f_2 + f_3 + \sqrt{f_2 \cdot f_3}) + \dots + \frac{h_{n-1}}{3} f_{n-1} \quad (17)$$

где h_1, h_2, \dots, h_{n-1} – сечение изобат, принимаемое, как правило, одинаковым для всего плана: f_1, f_2, \dots, f_{n-1} – площади, ограниченные изобатами, $f_n = 0$.

Для приближенных расчетов объемов слоев может быть использована формула призмы:

$$V = h \left(\frac{f_1 + f_2}{2} \right), \quad (18)$$

где V – объем слоя между плоскостями изобат.

При этом общий объем воды в озере $V = \sum v$.

Вычисленные объемы слоев записываются в графе 3 таблицы 8.

Последовательное суммирование объемов слоев от дна до поверхности (графа 4, таблица 8) дает нарастание объема до полного его значения под нулевой изобатой;

д) наибольшая глубина ($H_{\text{макс}}$) определяется по данным промеров и записывается на плане озера.

Средняя глубина ($H_{\text{ср}}$) – частное от деления объема озера на его площадь:

$$H_{\text{ср}} = \frac{V}{F}. \quad (19)$$

2. Построение батиграфической кривой.

Кривая зависимости площади озера от глубины (а также уровня воды) – батиграфическая кривая, строится на миллиметровой бумаге (формат 203×288 мм) по глубинам и соответствующим им площадям, выбираемым из граф 1, 2 таблицы 8. На графике (рисунок 9) по вертикальной оси откладываем значения глубин (H , м), по горизонтальной – площади (f , м²). Для упрощения записи наносимые на шкалу значения

площади делятся на 10^n ; степень указывается в конце шкалы $\left(\frac{f}{10^5}, \text{ м}^2 \right)$;

в нашем примере величины площадей, снятые с кривой, нужно умножить на 10^5 . На линии при значении глубины $H = 0$ откладывается величина площади зеркала озера (f_0). Через полученные точки проводим плавную линию – батиграфическую кривую $f = f(H)$.

Площадь, заключенная между батиграфической кривой и осями координат ($0f_0H_{\text{макс}}$ на рисунке 9), изображает в масштабе чертежа объем всей водной массы озера; площади $0f_0f_1$, также $1f_1f_2$ – объемы слоев между изобатами.

Определив планиметрированием площади $0f_0f_1$, $1f_1f_2$ и так далее и умножив их на значение единицы площади в масштабе чертежа, получим величины объемов слоев между изобатами.

Таким образом, для графического определения объема озера и объемов слоев может быть использована батиграфическая кривая.

Зависимость объема всего озера и объемов слоев от глубины отражается объемной кривой, которая строится совместно с батиграфической кривой; шкала (V , м^3) располагается параллельно (f , м^2) (рисунок 9). Для построения объемной кривой на горизонтальных линиях, соответствующих отложенным на вертикальной оси точкам глубин (0, 1, 2 и т. д.), откладываются величины объемов воды расположенных под изобатами из графы 4 таблицы 8. На линии при значении глубины $H = 0$ откладывается полный объем озера, на линии $H = 1$ – величина полного объема без объема первого от поверхности слоя, на линии $H = 2$ м – величина полного объема без объемов двух верхних слоев и т. д. В точке максимальной глубины $V = 0$. Через отложенные точки проводим плавную линию – объемную кривую $V = f(H)$.

Батиграфическая и объемная кривые могут быть построены по плану котловины озера в горизонталях. В этом случае на вертикальной оси вместо глубин откладываются отметки горизонталей (высоты уровней воды) в абсолютных или относительных величинах.

По батиграфической и объемной кривым определяются площадь и объем озера при изменениях уровня воды. Для этого от отметки соответствующего уровня (глубины) на вертикальной шкале проводится горизонтальная линия до пересечения с кривыми и по шкалам отсчитываются величины площади и объема.

Контрольные вопросы

1. Перечислите основные морфометрические характеристики озера.
2. Какие существуют способы определения площади зеркала озера и площадей, ограниченных изобатами? Сравните их точность. Как оформляются результаты определения площадей?
3. Опишите способы определения объема всей водной массы озера и объемов слоев между плоскостями изобат. Сопоставьте их точность. Как оформляются результаты определения объемов?
4. Как определяется наибольшая и средняя глубины озера?
5. Дайте определение батиграфической кривой.
6. Дайте определение кривой объемов озера.

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА 5

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ ВОДЫ ПО ВЕРТИКАЛИ В ОЗЕРЕ

Общие сведения

Распределение температуры воды по глубине в пресных замерзающих озерах зоны умеренного климата обусловлено рядом закономерностей термического режима и его характерными особенностями, связанными, в первую очередь, с сезонными колебаниями теплообмена в озере и перемешиванием водной массы.

Нагревание водоема происходит в основном от поступающей на поверхность воды солнечной радиации, в соответствии с годовым ходом, который изменяет и температуру водной массы. Наибольшие изменения температуры наблюдаются на поверхности озера, т. е. на границе, где активнее всего совершается теплообмен между водой и воздухом. Тепло проникает в глубину в результате конвекции, т. е. путем вертикального перемещения частиц воды в связи с их различной плотностью, а также в результате динамических явлений (волнения, течений).

Нагревание и охлаждение глубинных слоев воды в озере путем конвекции происходит в пресных водоемах только в том случае, когда температура верхних слоев воды ниже или выше $4\text{ }^{\circ}\text{C}$ (температура наибольшей плотности). При нагревании (в пределах от 0° до $4\text{ }^{\circ}\text{C}$) или охлаждении (при температуре выше $4\text{ }^{\circ}\text{C}$) верхних слоев воды увеличивается их плотность, что приводит к погружению слоев на глубину и замещению более легкими (менее плотными) глубинными слоями воды.

Таким образом, возникающее перемешивание слоев (вертикальная конвективная циркуляция) обуславливается разной плотностью воды на различных глубинах. Конвективное перемешивание прекращается, когда вся вода в озере принимает однородную температуру, равную температуре придонного слоя воды для неглубоких озер $t = 4\text{ }^{\circ}\text{C}$ такое состояние в озере называется *гомотермией* (рисунок 10, кривая 2) и характерно для переходных периодов термического режима – весны и осени.

При охлаждении воды до температуры ниже $4\text{ }^{\circ}\text{C}$ поверхностные слои ее становятся легче, чем лежащие ниже более теплые и плотные слои. Поэтому в зимний период, когда водные массы озер содержат наименьшее количество тепла, температура поверхностного слоя воды близка к $0\text{ }^{\circ}\text{C}$.

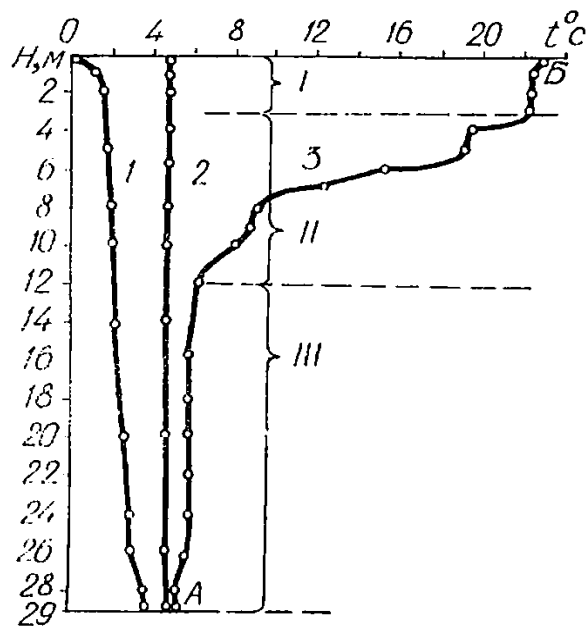


Рисунок 10 – График распределения температуры воды по глубине в озере Кривом

С глубиной температура воды увеличивается. У дна большинства водоемов температура воды находится в пределах $1,5-4,0\text{ }^{\circ}\text{C}$, а при прогреве от теплоотдачи дна иногда несколько выше 4°C . Такое возрастание температуры с глубиной называется *обратной термической стратификацией* (рисунок 10, кривая 1).

После наступления весенней гомотермии при дальнейшем накоплении тепла в процессе весеннего и летнего нагревания озера верхние его слои становятся все более теплыми и легкими, а в нижерасположенных слоях вода будет холоднее и плотнее. Такое убывание температуры с глубиной называется *прямой термической стратификацией* (рисунок 10, кривая 3). В глубоких пресных озерах зоны умеренного климата летом, при прямой термической стратификации, сильно и равномерно нагретый верхний слой воды – *эпилимнион* – подстиляется более холодным глубинным слоем – *гиполимнионом*. Между эпилимнионом и гиполимнионом располагается слой температурного скачка – *металимнион*, в котором температура резко понижается с глубиной (рисунок 10).

Слой температурного скачка является как бы заградительным слоем, выше которого происходит перемешивание водных масс, а ниже наблюдается более устойчивое состояние температуры воды, которая медленно изменяется с глубиной. В связи с этим в эпилимнионе создаются наиболее благоприятные условия жизни (обилие света, тепла, преобладание окислительных процессов), способствующие интенсивному развитию планктона. В металимнионе при резком падении температуры

меняется газовый режим; нередко здесь отмечается массовая гибель микроорганизмов. В слое гипolimнион при отсутствии освещения погибают живые растительные организмы, уменьшается, нередко до нуля, содержание кислорода, иногда образуется губительный для всего живого – сероводород.

Положение слоя температурного скачка и вертикальный градиент температуры в озере зависят от глубины ветрового перемешивания и температуры вод эпилимниона и гипolimниона.

Содержание работы

1. По данным наблюдений за температурой воды в озере (по варианту) построить график распределения температуры воды по вертикали для периодов прямой и обратной термической стратификации и гомотермии.

2. Выделить горизонтальными линиями на графике распределения температуры с глубиной при прямой термической стратификации вертикальные температурные зоны: эпилимнион, металимнион (слой температурного скачка), гипolimнион (рисунок 10). Определить вертикальный градиент температуры $\Theta = \frac{dt}{dh}$, (изменение температуры на 1 м глубины)

в слое температурного скачка и его наибольшее значение $\Theta_{\text{наиб}}$.

3. Вычислить среднюю температуру ($t_{\text{ср}}$, °C) воды по вертикали для периода прямой термической стратификации, используя график (эпюру) распределения температуры воды по глубине.

Выполнение работы

1. График распределения температуры воды по глубине строится на миллиметровой бумаге по данным измерений температуры по вертикали в озере (таблица 9). По оси ординат откладываются глубины в метрах, по оси абсцисс – температура (°C). На график наносятся точки, соответствующие температуре воды на разных горизонтах измерения. Полученные точки соединяются плавной линией, которая характеризует распределение температуры воды от поверхности до дна водоема.

2. На графике (кривая 3 прямой термической стратификации) определяем участок резкого перепада температуры с глубиной через начальную и конечную точки. Параллельно оси абсцисс проводим горизонтальные линии, выделяя слои эпилимниона, металимниона и гипolimниона.

На рисунке 10 (кривая 3) слой температурного скачка расположен между глубинами 3 и 12 м. Выше и ниже них – слой с относительно однородной, малоизменяющейся по глубине температурой воды.

Таблица 9 – Распределение температуры воды с глубиной в озере Кривое

Глубина (м)	Температура воды (° С)		
	1/III	25/XI	29/VI
Поверхность	0,2	4,8	23,1
1	1,2	4,8	22,6
2	1,5	4,8	22,6
3	н. д.	н. д.	22,6
4	н. д.	4,8	19,6
5	1,7	н. д.	19,4
6	н. д.	4,8	15,4
7	н. д.	н. д.	12,4
8	1,9	4,8	9,3
9	н. д.	н. д.	8,9
10	2,0	4,8	8,2
12	н. д.	н. д.	6,2
14	2,2	4,8	6,2
16	н. д.	н. д.	5,9
18	н. д.	н. д.	5,9
20	2,7	4,8	5,9
22	н. д.	н. д.	5,9
24	3,0	н. д.	5,9
26	3,1	4,8	5,6
28	3,7	н. д.	5,2
29	3,8	4,9	5,2
Примечание: н. д. – нет данных.			

Изменение температуры в слое металимнион составляет 16,4 °С (от 22,6 до 6,2 °С) на 9 м глубины (12 м – 3 м), а вертикальный градиент – $\Theta = 1,8$ °С на 1 м (16,4:9). Для определения наибольшего градиента температуры выбираем отрезок кривой в слое скачка с наибольшим перепадом температуры. В нашем примере $\Theta_{\text{наиб}} = 4$ °С на 1 м в слое 5–6 м.

3. Средняя температура воды по вертикали ($t_{\text{ср}}$, °С) может быть вычислена с помощью графика распределения температуры воды по глубине; определяется как частное от деления площади эюры, ограниченной на графике координатными осями, кривой распределения температуры воды и линией дна на полную глубину вертикали:

$$t_{\text{cp}} = \frac{S}{H}, \quad (20)$$

где S – площадь эюры ($^{\circ}\text{C м}$);

H – глубина вертикали в метрах.

Площадь эюры распределения температуры воды по глубине определяется с помощью планиметра или палетки.

На листе миллиметровой бумаги рядом с построенным графиком помещается таблица распределения температуры воды по глубине, расчеты градиентов температуры и средней температуры для периода прямой термической стратификации.

Контрольные вопросы

1. Чем обусловлены отличия в распределении в озерах в условиях умеренного климата температуры воды по глубине в разные поры года?

2. В каких случаях в пресных озерах возможно охлаждение либо нагревание нижних слоев воды в результате конвекции?

3. Что такое гомотермия? Кратко опишите процессы, обуславливающие ее формирование.

4. Что такое обратная температурная стратификация? Кратко опишите процессы ее формирования.

5. Что такое прямая температурная стратификация? Какие факторы обуславливают ее формирование?

6. Как по кривой прямой термической стратификации определяется величина наибольшего вертикального градиента температуры воды в озере?

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА 6 ХАРАКТЕРИСТИКА СРЕДНЕГОДОВОГО СТОКА РЕК

Общие сведения

В практике гидрологических расчетов основными количественными показателями определения водности рек и сопоставления ее для различных бассейнов служат характеристики стока.

Стоком называется количество воды, протекающее через поперечное сечение реки в данном створе за определенный промежуток времени. Характеристики стока следующие: средний за рассматриваемый период времени расход воды ($Q_{\text{ср}}$, м³/с), объем стока (W , м³ или км³), модуль стока (M , л/с × км²), слой стока (h , мм), коэффициент стока (η). Непосредственно на гидростворах измеряется расход воды, остальные характеристики получают расчетным путем.

Основной характеристикой водности реки является норма стока – средний годовой сток за многолетний период. Значение нормы стока можно выразить одной из характеристик стока, т. е. в виде среднего за многолетний период годового стока (W_0), расхода воды (Q_0), слоя стока (h_0), модуля стока (M_0).

Для характеристики распределения стока по территории и расчета стока неизученных рек составляются карты среднемноголетнего годового стока (нормы стока). На карты наносятся изолинии модуля или слоя стока. Исходными данными для составления карт стока служат характеристики стока, рассчитанные по материалам многолетних фактических наблюдений для отдельных изученных речных бассейнов. Полученные данные относят к центрам тяжести бассейнов, нанося на карту и по ним проводят изолинии стока – плавные линии, соединяющие точки с одинаковыми величинами нормы стока, обычно выраженной модулем стока (M_0 , л/с × км²).

Для определения нормы стока при отсутствии данных гидрометрических наблюдений в настоящее время рекомендуется использовать карту среднего годового стока с изолиниями нормы стока в л/с × км²/рек СССР государственного гидрологического института в масштабе 1:5000000 или 1:10000000. Могут также использоваться карты стока, составленные для отдельных районов и приводимые в справочниках «Ресурсы поверхностных вод СССР».

Содержание работы

1. Определить средний многолетний модуль стока (M_0) в отмеченном пункте по карте среднего годового стока.
2. Вычислить основные характеристики нормы стока (Q_0 , W_0 , h_0).

Выполнение работы

На кальку речного бассейна (из практической работы 1) наносятся изолинии модулей стока (в л/с × км²) с карты среднего годового стока.

1. Средний многолетний модуль годового стока (M_0) бассейна (водосбора) реки до расчетного замыкающего створа можно определить следующим образом:

а) на водосборе с равнинной территорией или при незначительно меняющемся рельефе, большая часть которого ограничена изолиниями модуля стока, намечается центр водосбора (ставится точка $Ц$). Если точка находится между изолиниями, то M_0 определяется путем прямой линейной интерполяции по перпендикуляру через точку $Ц$ между изолиниями стока;

б) в случае пересечения водосбора несколькими изолиниями, как показано на рисунке 11, M_0 определяется как средневзвешенное значение из произведений величин модулей стока на величины тяготеющих к ним площадей водосбора по формуле:

$$M_0 = \frac{M_1 f_1 + M_2 f_2 + \dots + M_n f_n}{f_1 + f_2 + \dots + f_n}, \quad (21)$$

где M_1, M_2, \dots, M_n – средние арифметические значения модулей стока между изолиниями в л/с \times км²;

f_1, f_2, \dots, f_n – площади бассейна между изолиниями в км², определяемые планиметрированием.

Данные расчетов заносятся в таблицу 10.

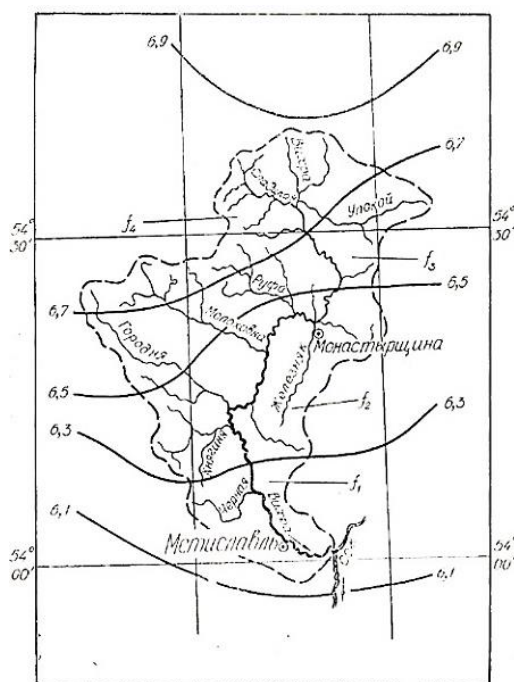


Рисунок 11 – Карта изолиний средних многолетних модулей стока бассейна реки Вихры

Таблица 10 – Определение частных площадей бассейна реки Вихры и средних модулей между изолиниями стока по карте (рисунок 11)

Измеряемая площадь	Площадь деления планиметра			Площадь $f_i = R(n_2 - n_1)$, км ²	Среднеарифме- тический модуль $M_i \times \text{л/с. Км}^2$	$f_i \cdot M_i$
	отсчеты	разность	средняя разность			
f_1						
f_2						
f_3						
f_4						

Планиметр №____. Цена деления планиметра _____ км²/ед. Площадь бассейна река Вихры $P = 2\,190,6 \text{ км}^2$.

2. Определив среднемноголетний модуль годового стока, можно вычислить основные характеристики стока:

а) средний многолетний расход:

$$M = \frac{Q_0 \cdot 10^3}{F}; \quad (22)$$

б) объем среднемноголетнего годового стока:

$$W = Q_0 \cdot 31,54 \cdot 10^6; \quad (23)$$

в) слой стока:

$$h_0 = \frac{W_0}{F \cdot 10^3}. \quad (24)$$

Контрольные вопросы

1. Перечислите основные характеристики речного стока. Какая из них измеряется непосредственно на гидрологических постах?

2. Что такое норма стока? С помощью каких характеристик принято ее выражать?

3. Какие данные переносятся на выкопировку с карты стока для определения характеристик нормы стока?

4. Как определяется средний многолетний модуль годового стока бассейна реки до указанного расчетного замыкающего створа на основе выкопировки с карты стока?

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА 7 КРИВЫЕ РАСХОДОВ РЕКИ

Общие сведения

Основным количественным показателем водности реки является расход воды (Q , м³/с) – количество воды, протекающее через поперечное (живое) сечение русла в единицу времени; выражается общей, гидрометрической закономерностью $Q = V_{\text{ср}} \cdot W$.

Для подсчета характеристик стока (построения и расчленения гидрографа стока по типам питания и т. п.) необходимо знать ежедневные расходы воды, однако их измерение, особенно на крупных реках, вследствие большой трудоемкости требует значительных затрат времени и средств. Поэтому частота измерения расходов воды различна для разных сезонов года и неодинакова для рек с различными режимами. Более часто измеряют расходы в периоды наибольших их изменений – в половодья и паводки, при, соответственно, резком колебании уровней воды. В весеннее половодье делают до пяти измерений на подъеме и 5–8 на спаде; в межень – одно измерение через 7–10 суток в зависимости от измерения уровня; при прохождении дождевых паводков – 3–5 измерений. При устойчивом ледоставе и плавном изменении уровня воды расходы измеряют через 10–20 суток. Материалы этих измерений за годовой цикл сводятся в ведомость «Измеренные расходы воды» (ИРВ).

Между расходом, протекавшей в реке воды, и уровнями существует определенная гидравлическая связь, на основе которой практически по материалам наблюдений гидрологических постов и ИРВ определяется зависимость $Q = f(H)$, т. е. зависимость расходов от уровней, хотя физически расход является независимой переменной, а уровень – функцией. Измерения уровней на гидрологических постах производится ежедневно в стандартные сроки, а измерения расходов, как показано выше, значительно реже, т. е. практически величина расхода за каждый день определяется по уровню воды.

Таким образом, если в каком-либо гидрологическом створе реки измерены расходы воды при различной высоте уровня (ИРВ, таблица 12), то можно построить графические зависимости (кривые) расходов воды (Q), площадей живого сечения (W) и средних скоростей течения ($V_{\text{ср}}$) от уровня воды (H). Основная связь Q и H обычно устанавливается графически в виде кривой зависимости расходов от уровней

$Q = f(H)$ и в комплексе с кривыми $W = f(H)$ и $V_{cp} = f(H)$ носит название *кривой расходов*.

При этом кривые площадей и средних скоростей необходимы для анализа надежности измеренных расходов, производства увязки построенных кривых по уравнению $Q = V_{cp} \cdot W$. Для экстраполяции (продления) кривой расходов до наивысших и низших наблюдений уровней воды, не охваченных измеренными расходами.

Зависимость $Q = f(H)$, выраженная в виде одной плавной кривой, характерная для устойчивого, не заросшего русла и при отсутствии переменного подпора, когда определенному значению уровня соответствует одно определенное значение расхода воды, называется *однозначной*. Она охватывает, нередко, только ограниченный период времени и может сохраняться в течение года или нескольких лет. Во многих случаях однозначная зависимость $Q = f(H)$ искажается под влиянием ряда причин (неустановившееся движение воды, неустойчивость русла – размывы и аккумуляция наносов, зарастание русла водной растительностью, развитие ледовых явлений, переменный подпор), вызывающих разброс или обособленные группировки точек на координатном поле. В подобных случаях одному и тому же уровню соответствуют разные величины расходов воды. Такая связь расходов и уровней воды называется *неоднозначной*. Нарушение однозначной зависимости $Q = f(H)$ может быть вызвано также погрешностями измерений и вычислений. Поэтому в каждом конкретном случае установления связей между расходами и уровнями воды необходимо тщательно проверять и анализировать исходных данных (таблица 11, рисунок 12).

Таблица 11 – Измеренные расходы воды реки Березина (город Борисов, 1988 г.)
Высота «0» графика 150,46 м. Площадь водосбора 5 690 км²

№ п/п	Дата измерений	Уровень воды над «0» графика (H, см)	Расход воды (Q, м ³ /с)	Площадь водного сечения (ω, м ²)	Средняя скорость течения (v _с , м/с)
1	2	3	4	5	6
1	2,04	233	95,8	175	0,55
2	20,04	219	83,1	160	0,52
3	25,04	195	64,9	140	0,46
4	4,05	164	51,1	115	0,44
5	16,05	135	40,7	94,1	0,43
6	26,05	113	32,9	81,4	0,40

Окончание таблицы 11

1	2	3	4	5	6
7	8,06	87	24,8	66,5	0,37
8	2006	110	29,5	79,8	0,37
9	5,07	126	32,0	89,3	0,36
10	29,07	149	42,4	102	0,42
11	24,08	108	32,2	75,7	0,43
12	3,09	98	28,4	67,9	0,42
13	27,09	84	26,0	62,1	0,42
14	11,10	70	23,3	53,8	0,43
15	20,10	75	25,0	57,0	0,44
16	9,11	66	21,4	50,4	0,42
17	10,11	109	31,9	75,9	0,42
<p>Примечание:</p> <p>1) русло реки извилистое, слабозаростающее около берегов (пологих, высотой 0,5–1,0 м, задернованных). Пойма двухсторонняя, шириной до 1,5 км, в основном развита на левобережье, луговая, заболоченная, затапливается при $H = 220–240$ см.</p> <p>2) За 1988 г.: $H_{\text{наиб}} = 258$ см, $\omega = 198$ м² $H_{\text{наим}} = 64$ см 09.04.19 8 07.11.1988</p> <p>В 1960 – 1988 гг.: $H_{\text{наиб}} = 321$ см, $\omega = 252$ м² $H_{\text{наим}} = 52$ см 14.04.1970 13.11.1983</p>					

Содержание работы

1. По данным ведомости ИРВ реки _____ гидрологический створ _____ за _____ год построить кривые зависимостей расхода (Q), площади водного (живого) сечения (W) и средней скорости в сечении ($V_{\text{ср}}$) от высоты уровня воды (H).

2. Произвести увязку построенных кривых $Q = f(H)$, $W = f(H)$, $V_{\text{ср}} = f(H)$ и рассчитать отклонения в процентах.

3. Выполнить экстраполяцию кривой $Q = f(H)$ до наивысшего уровня по элементам расхода W и $V_{\text{ср}}$.

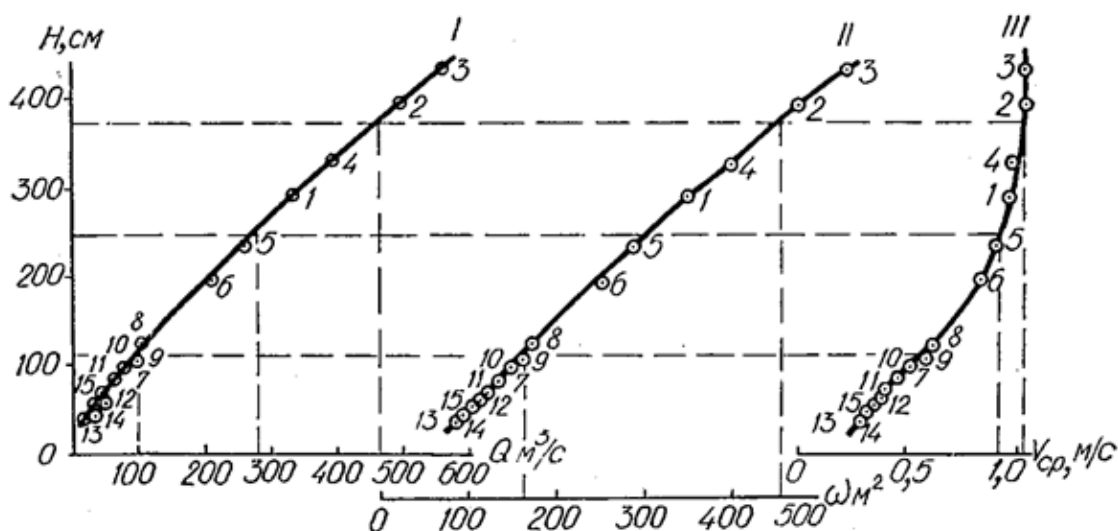


Рисунок 12 – Компоновка кривых зависимостей $Q = f(H)$,
 $\omega = f(H)$, $V_{cp} = f(H)$

Выполнение работы

1. По данным ведомости ИРВ (таблица 11) кривая расходов $Q = f(H)$ строится в системе прямоугольных координат совместно с кривыми площадей $W = f(H)$ и средних скоростей $V_{cp} = f(H)$ на листе миллиметровой бумаги формата около 300×400 мм. Чертеж выполняется в карандаше, а после увязки и исправления построенных кривых и их экстраполяции, обводится тушью. Масштабы для построения кривых подбираются в зависимости от амплитуды уровней, расходов, площадей и скоростей с таким расчетом, чтобы хорда, соединяющая начальные и конечные точки (Q, H) кривой расходов, располагалась примерно под углом 45° , а хорда кривых $W = f(H)$ и $V_{cp} = f(H)$ под углом около 60° к оси абсцисс. При этом высота оси ординат должна быть не менее $15\text{--}20$ см с учетом амплитуды уровней для экстраполяции, приведенных в пояснении ведомости ИРВ. Например, из таблицы 12: $\Delta H = H_{\text{наим}} - 258 - 64 = 194$ см. Если принять $M 1:10$, то ноль оси ординат должен начинаться с отметки уровня $H = 60$ см, тогда высота оси ординат будет $h = 20$ см; можно, соответственно, при $M - 1:15$, $H = 40$ см, $h \approx 15$.

Для построения кривой расходов $Q = f(H)$ по оси ординат откладываются уровни воды (H , см) над «0» графика водомерного поста, а по оси абсцисс – расхода воды (Q , м³/с). Взяв из ведомости (таблица 12) уровень (H) и измеренный при этом уровне расход (Q), наносят по этим данным на координатное поле точку (обводят ее кружком диаметром $1,5\text{--}2$ мм) и подписывают около нее порядковый номер расхода. Так де-

лают для всех измеренных расходов, помещенных в ведомости ИРВ. Кривая расходов проводится посередине полосы рассеивания точек с учетом симметричного их расположения сначала от руки, а затем по лекалу плавно, без изломов и резких перегибов. При возможной разбросанности точек осредненная кривая $Q = f(H)$ может быть проведена по центрам тяжести групп точек. При этом учитываются точки расходов, отклонение которых от общей системы расположения, не превышает 5–10 % по абсциссе; отдельные, резко отклоняющиеся точки, не учитываются (кружки перечеркиваются).

Зависимость $Q = f(H)$ при однозначной связи между расходом и уровнем воды имеет вид кривой, плавно-выпуклой к оси уровней; наибольшая кривизна обычна при средних уровнях. В верхней части кривая выглядит более пологой, если крутизна склонов берегов уменьшается; увеличение шероховатости склонов уменьшает пологость кривой.

Аналогично кривой расходов строятся кривые $W = f(H)$ и $V_{\text{ср}} = f(H)$. Для их построения используется та же шкала уровней по оси ординат, что и для кривой расходов. По оси абсцисс в соответствующих масштабах откладываются площади живого сечения (W , м²) и средние скорости ($V_{\text{ср}}$, м/с). Для компактности графика, чтобы кривые не пересекались, шкалы площадей и скоростей смещаются вправо.

При нанесении точек на координатное поле необходимо проверять, чтобы для каждой даты измеренного расхода воды значения Q , W , $V_{\text{ср}}$, точно соответствовали одному положению уровня.

Зависимость $W = f(H)$ при правильной форме русла и расширении профиля сечения реки с повышением уровня воды имеет вид плавной кривой с выпуклостью к оси уровней. При прямоугольной форме русла кривая $W = f(H)$ выглядит прямой линией. При уровне, соответствующему выходу воды на пойму (приведены в пояснении ведомости ИРВ), верхняя часть кривой становится более пологой из-за резкого увеличения ширины водного потока.

Зависимость $V_{\text{ср}} = f(H)$ в виде плавкой кривой обычно имеет выпуклость к оси скоростей лишь для устойчивых незаросших русел при отсутствии переменного подпора; при выходе воды на пойму средние скорости уменьшаются и направление кривой может меняться на обратное, а при дальнейшем повышении уровня воды значение $V_{\text{ср}}$ будет постепенно возрастать. В этой связи в условиях пойменного створа, когда на величину скорости оказывают влияние шероховатости, продольный уклон водной поверхности и гидравлический радиус водного сечения при определенном разбросе точек $V_{\text{ср}}, H$) кривая $V_{\text{ср}} = f(H)$ может иметь два плавных изгиба.

2. Кривые $Q = f(H)$, $W = f(H)$ и $V_{cp} = f(H)$ связаны между собой равенством $Q = V_{cp} \cdot W$, по которому производится их увязка, т. е. расход воды (Q_k , м³/с), снятый с кривой $Q = f(H)$ при заданном уровне, сопоставляется с вычисленным расходом (Q_b , м³/с), равным произведению средней скорости (V_{cp} , м/с) на площадь живого сечения (W , м²), снятыми с соответствующих кривых на том же заданном уровне.

Такое сопоставление расходов выполняется для трех–пяти выборочных значений уровня (H) (практически это делается для всей амплитуды) в верхней, средней и нижней частях кривых с учетом изогнутости, их отрезков и разброса точек. Если расхождение между вычислением $Q_b = V_{cp} \cdot W$ и расходом (Q_k), снятым с кривой, не более 1 %, то кривые проведены правильно. Если расхождение больше, то в соответствующем интервале нужно исправить менее определенную часть той из кривых (или все кривые), которая отклоняется от среднего положения. Для получения правильного результата увязки кривых обычно требуется несколько раз вводить исправления на графике. Положение и расчеты окончательной увязки кривых приводятся, как показано на рисунке 12 и в таблице 12.

Таблица 12 – Увязка кривых $Q = f(H)$, $W = f(H)$, $V_{cp} = f(H)$ и данные экстраполяции до наивысшего уровня $H_{наиб} = 258$ см, река Березина, город Борисов, 1988 г.

H , см	Q_k , м ³ /с с кривой	W , м ² с кривой	V_{cp} , м/с с кривой	$Q_b = V_{cp} \times$ $\times W$ м ³ /с	$\Delta Q =$ $= Q_b - Q_k$	$\Delta \sigma = \Delta Q / Q_k \times$ $\times 100 \%$
Увязка кривых						
92,0	27,0	67,0	0,40	26,8	-0,2	0,74
140,0	39,8	97,5	0,41	39,9	0,1	0,25
207,5	75,6	151,5	0,50	75,7	0,1	0,13
Экстраполяция кривых						
242,0		181,0	0,59	106,8		
252,5		192,2	0,62	119,2		
258,0		198,0	0,63	124,7		

3. Экстраполяцией кривой расходов $Q = f(H)$ называют продление ее графической зависимости вверх и вниз за пределы амплитуды уровней, освещенной измеренными расходами воды. Если при самых высоких и самых низких уровнях расходы воды не измерялись (особенно при прохождении пиков половодий и паводков), кривая $Q = f(H)$ экстраполируется, чтобы охватить полную амплитуду колебаний уровня за тот период, для которого вычисляется сток воды (вычисление средних суточных расходов воды, составление годовой таблицы «Ежедневные расходы воды»).

Кривая расходов считается достаточно надежной, если она обоснована намеренными расходами не менее 80 % амплитуды колебания уровней и экстраполяция ее вверх не превышает 15–20 %, а вниз – до 5 % амплитуды уровней. Экстраполяция кривой $Q = f(H)$ вниз обычно не вызывает трудностей. В гидрометрической практике наиболее часто выполняется экстраполяция кривой расходов вверх и вызывает затруднения в условиях пойменных створов, в которых при высоких уровнях подвержены изменению и усложнению конфигурация, шероховатость, скоростное поле речного потока. Экстраполяция кривой $Q = f(H)$ до наивысшего уровня может производиться:

- 1) по элементам расхода;
- 2) по способу Дж. Стивенса;
- 3) по способу Дж. Стивенса – М. А. Великанова;
- 4) с помощью формулы Шези.

Экстраполяция кривой расходов по элементам расхода W и $V_{\text{ср}}$ до наивысшего уровня допускается при условии, что неосвещенный участок кривой $Q = f(H)$ не превышает 20 % амплитуды колебания уровня, т. е. в пределах $0,2 (H_{\text{наиб}} - H_{\text{наим}})$ профиль поперечного (водного) сечения русла (с неширокой ровной поймой) не имеет резких переломов, а шероховатость склонов по высоте существенно не изменяется.

Экстраполяция $Q = f(H)$ по элементам W и $V_{\text{ср}}$ выполняется в следующей последовательности:

а) определяется допуск экстраполяции $\Delta H_{\text{д}} = 0,2 (H_{\text{наиб}} - H_{\text{наим}})$ по абсолютным значениям за конкретный год (или за многолетний период), и вычисляется действительная высота экстраполируемого участка $\Delta H_{\text{э}} = H_{\text{наиб}} - H_{\text{наиб. } q}$ (где $H_{\text{наиб. } q}$ – уровень воды, при котором измерен наибольший расход, в ведомости ИРВ). Если $\Delta H_{\text{э}} \leq \Delta H_{\text{д}}$, экстраполяция кривой $Q = f(H)$ считается надежной. В примере из таблицы 11 рассчитываем за 1988 г.: $\Delta H_{\text{д}} = 0,2 (258 - 64) = 38,8$ см; $\Delta H_{\text{э}} = 258 - 233 = 25$ см, следовательно, высота экстраполируемого участка меньше допустимой и составляет 13 %;

б) раздельно экстраполируются кривые $W = f(H)$ и $V_{\text{ср}} = f(H)$. Для этого по $H_{\text{наиб}} = 258$ см и соответствующей площади водного сечения $W = 198 \text{ м}^2$ наносится на чертеж координатная точка $(H_{\text{наиб}}, W)$, до которой по общему направлению достраивается кривая $W = f(H)$. Кривая $V_{\text{ср}} = f(H)$ экстраполируется до $H_{\text{наиб}} = 258$ см непосредственным продолжением обоснованной части с учетом шероховатости склонов сечения;

в) определяются координатные точки (Q, H) для экстраполяции, кривой $Q = f(H)$ до $H_{\text{наиб}} = 258$ см. Для этого в пределах экстраполируемого участка с кривых $W = f(H)$ и $V_{\text{ср}} = a(P)$ при разных уровнях снимаются не менее трех соответствующих значений W и $V_{\text{ср}}$. Необходи-

мые для экстраполяции расходы воды вычисляются по формуле $Q = V_{\text{ср}} \cdot W$, данные вносятся в таблицу 12. Точки (Q, H) наносятся на чертеж, и с учетом их кривая расходов плавно продлевается до наивысшего уровня. Экстраполированные участки кривых показывают пунктиром.

В случае, если неосвещенный измерениями участок кривой $Q = f(H)$ не превышает 10 % амплитуды уровней, допускается экстраполяция непосредственным продолжением обоснованной части кривой расходов до наивысшего уровня.

Примечание

Для подсчета стока, кроме кривой $Q = f(H)$ за конкретный год, строятся кривые расходов воды за многолетний период. При наличии измеренных расходов за несколько лет с применением данных исключительно высоких половодий и паводков за прошедшие годы строится одна многолетняя кривая, которая считается надежной, если она построена по материалам наблюдений продолжительностью не менее трех лет и общим количеством измеренных гидрометрической вертушкой расходов не меньше 50–60. Годовая и многолетняя кривые проверяются контрольными измерениями расходов воды.

Кривые $Q = f(H)$ при однозначной связи расхода и уровня имеют неизменный вид только при устойчивом, незарастающем русле и при отсутствии подпора, например, от нижележащих плотин, притоков или ледяных образований, т. к. в случае подпора уровень может подняться не за счет увеличения расхода воды, а от загромождения русла льдом.

Кроме того, при одном и том же уровне расход воды при ледяном покрове или зарастании русла меньше, чем в открытом русле, что обусловлено уменьшением водного сечения и увеличением сопротивления движению воды. В этой связи для расходов, измеренных при ледяном покрове или зарастании русла, основным способом вычисления стока является применение хронологического графика переходных коэффициентов, выражающих отношение расходов при ледяном покрове ($Q_{\text{зим}}$) или в зарастающем русле ($Q_{\text{зар}}$) к расходам в свободном русле ($Q_{\text{св}}$) при тех же уровнях. Переходные коэффициенты $K_{\text{зим}} < 1$ и $K_{\text{зар}} < 1$ каждого расхода вычисляются по формулам:

$$K_{\text{изм}} = \frac{Q_{\text{зим}}}{Q_{\text{св}}} \text{ и } K_{\text{зар}} = \frac{Q_{\text{зар}}}{Q_{\text{св}}}, \quad (25)$$

где $Q_{\text{зим}}$ – зимний расход, измеренный при наличии ледяного покрова;
 $Q_{\text{зар}}$ – расход, измеренный при зарастании русла;
 $Q_{\text{св}}$ – расход, соответствующий уровню при $Q_{\text{зим}}$ или $Q_{\text{зар}}$, снятый с кривой $Q = f(H)$ свободного русла.

Для построения хронологического графика переходных коэффициентов $K_{зим}$ или $K_{зар}$ по оси абсцисс откладывается время T (месяцы и сутки), по оси ординат – значения $K_{зим}$ или $K_{зар}$ на даты измерения расходов воды, полученные точки соединяются плавной кривой.

Таким образом, применение кривых расходов $Q = f(H)$ позволяет в любой момент времени определить расход воды по отметке уровня гидрологического створа; составить годовую ведомость «Ежедневные расходы воды», не производя измерений расходов каждый день. При наличии ледяного покрова или зарастании русла вводятся переходные коэффициенты и ежедневные расходы воды в данных условиях, которые определяются по формулам:

$$Q = Q_{св} \cdot K_{зим}, \quad (26)$$

$$Q_{зар} = Q_{св} \cdot K_{зар}. \quad (27)$$

Величины переходных коэффициентов для каждого дня берут, соответственно, с хронологических графиков $K_{зим} = f(T)$ или $K_{зар} = f(T)$.

Контрольные вопросы

1. Опишите особенности измерения расходов воды в зависимости от гидрологических пор года и особенностей гидрологического режима.
2. Опишите гидрологическую связь между расходом протекающей в реке воды и ее уровнем.

ЛИТЕРАТУРА

1. Водохранилища Беларуси : справочник / под ред. М. Ю. Калинина. – Минск : ОАО «Полиграфкомбинат им. Я. Коласа», 2005. – 184 с.
2. Лопух, П. С. Гідраграфія Беларусі : вучэбны дапаможнік / П. С. Лопух. – Мінск : БДУ, 2004. – 200 с.
3. Лопух, П. С. Гідралогія сушы. Практыкум : вучэб.-метада. дапаможнік для студэнтаў геаграфічнага факультэта / П. С. Лопух, А. А. Макарэвіч. – Мінск : БДУ, 2003. – 160 с.
4. Международный гидрологический словарь / WMO-UNESCO. – 3-е изд. – Geneva, 2012. – 471 с.
5. Михайлов, В. Н. Гидрология : учебник для вузов / В. Н. Михайлов, А. Д. Добровольский, С. А. Добролюбов. – 3-е изд. – М. : Высш. шк., 2008. – 462 с.
6. Нацыянальны атлас Беларусі. [Карты]. – Мінск : Белкартографія, 2002. – 292 с.
7. Озера Беларуси : справочник / под ред. О. Ф. Якушко. – Минск : Ураджай, 1988. – 216 с.
8. Правила проведения гидрологических наблюдений и работ. Часть 1. Технический кодекс устоявшейся практики. – Минск : Минприроды Республики Беларусь, 2008. – 327 с.
9. Природа Беларуси. Энциклопедия : в 3 т. Т. 2. Климат и вода / редкол. : Т. В. Белова (гл. ред.) [и др.]. – Минск : Беларуская энцыклапедыя, 2010. – 504 с.
10. Чеботарев, А. И. Гидрологический словарь / А. И. Чеботарев. – Изд. 3-е, перераб. и доп. – Ленинград : Гидрометеиздат, 1978. – 307 с.
11. Широков, В. М. Водохранилища Белоруссии : справочник / В. М. Широков, В. А. Пидопличко. – Минск : БГУ, 1992. – 80 с.
12. Якушко, О. Ф. Озероведение: география озер Белоруссии : учебное пособие для географических специальностей вузов / О. Ф. Якушко. – Минск : Выш. шк., 1981. – 223 с.

Производственно-практическое издание

**Моляренко Владимир Леонидович,
Павловский Александр Илларионович,
Андрушко Светлана Владимировна**

ГИДРОЛОГИЯ

Практическое пособие

Редактор Е. С. Балашова
Корректор В. В. Калугина

Подписано в печать 24.01.2024. Формат 60x84 1/16.
Бумага офсетная. Ризография.
Усл. печ. л. 2,79. Уч.-изд. л. 3,05.
Тираж 10 экз. Заказ 35.

Издатель и полиграфическое исполнение:
учреждение образования
«Гомельский государственный университет имени Франциска Скорины».
Специальное разрешение (лицензия) № 02330 / 450 от 18.12.2013 г.
Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя,
распространителя печатных изданий в качестве:
издателя печатных изданий № 1/87 от 18.11.2013 г.;
распространителя печатных изданий № 3/1452 от 17.04.2017 г.
Ул. Советская, 104, 246028, Гомель.

