

**ПРИМЕНЕНИЕ МОРФОМЕТРИЧЕСКОГО ПОКАЗАТЕЛЯ –  
ОБЪЕМА ПОДЗЕМНОЙ ЧАСТИ БАСЕЙНА  
ПРИ ОЦЕНКЕ ХАРАКТЕРИСТИК ВОДНЫХ РЕСУРСОВ**

С. Д. Дегтярев

*Воронежский государственный университет, Россия**Поступила в редакцию 30 апреля 2013 г.*

**Аннотация:** Для оценки характеристик водных ресурсов вводится морфометрический показатель – объем подземной части бассейна. Приводятся примеры применения данного показателя для расчета характеристик минимального и годового стока территории ЦЧО.

**Ключевые слова:** объем подземной части бассейна, минимальный сток, годовой сток.

**Abstract:** For the assessment of the characteristics of water resources morphometric indicator – volume of the underground part of the basin - was introduced. There were examples of application of this indicator for calculating the characteristics of minimum and annual runoff territory of Central Black Soil Region.

**Key words:** volume of the underground part of the basin, low flow, annual runoff.

Важную роль в оценке характеристик водных ресурсов играют морфометрические показатели – площадь бассейна (площадь горизонтальной проекции поверхности бассейна) и длина водотока (длина горизонтальной проекции линии русла), а также производные от них показатели – густота речной сети и т.п. Аналитические выражения связи между данными морфометрическими показателями и характеристиками водных ресурсов в большинстве случаев являются региональными и нелинейными.

Анализ наиболее распространенных гидрологических характеристик – расхода воды и объема стока, используемых при оценке водных ресурсов, показывает, что они имеют размерность объем в единицу времени, поэтому их эмпирические связи с морфометрическими показателями, имеющими размерность площади или длины, приводят к эмпирическим константам с недостаточно генетически обоснованной дробной размерностью.

С теоретической точки зрения более приемлемы морфометрические характеристики, имеющие размерность объема – объем подземной части бассейна или объем емкости водосбора. В этом случае эмпирические константы получают физичес-

ки обоснованную интерпретацию размерности – 1/время, позволяющую раскрывать их генезис.

Методы определения объемов различных географических объектов на протяжении XIX-XX вв. разрабатывались географами и картографами. Наиболее распространенные способы определения объема приведены В. В. Волковым при изложении принципов и методов картометрии [1].

Объем географического объекта ( $V_r$ ) над поверхностью сфероида определяется по формуле [1]:

$$V_r = A_n \cdot H_{cp} \cdot (1 + 2H_{cp}/R), \quad (1)$$

где  $A_n$  – площадь проекции поверхности объекта на поверхность сфероида, км<sup>2</sup>;

$H_{cp}$  – средняя высота поверхности, м;

$R$  – средний радиус кривизны сфероида, м.

Учитывая то, что последний множитель в формуле (1) мало отличается от единицы, а величина  $A_n \approx A$  ( $A$  – площадь горизонтальной проекции поверхности объекта), то формула (1) может записана в виде

$$V_r = A \cdot H_{cp}. \quad (2)$$

Однако непосредственного применения в исследованиях водных ресурсов величина  $V_r$  не получила, поскольку она включает в себя две части: выше и ниже отметки вреза русла. Первая – дренируемая часть объема играет наибольшую гидрологическую роль, но составляет только часть об-

шего объема. Вторая часть (ниже отметки вреза русла) лишь косвенно влияет на гидрологические процессы.

Впервые в гидрологических исследованиях объемный морфометрический показатель – объем фигуры речного бассейна был использован М. А. Мостковым и Г. Г. Сванидзе при оценке гидроэнергетических ресурсов [10]. Под объемом фигуры речного бассейна данные исследователи понимают объем фигуры водосбора ( $V_{фб}$ , км<sup>3</sup>) над плоскостью, совпадающей с уровнем моря ( $H=0$  м), и определяемый по формуле (3), совпадающей с (2) с точностью до константы размерности:

$$V_{фб} = 10^{-3} \cdot A \cdot H_{ср}, \quad (3)$$

где  $A$  – площадь водосбора, км<sup>2</sup>;

$H_{ср}$  – средняя высота водосбора, м.

Поскольку данная характеристика аналогична объему географического объекта, то формула (3) обладает теми же недостатками, что и формула (2).

Непосредственно к задачам оценки водных ресурсов объемные морфометрические показатели были применены И. А. Зеленым [3]. В его работе для расчета подземного стока предлагается использовать объем дренируемой части бассейна ( $V_{дз}$ ), которая определяется по формуле:

$$V_{дз} = H_{дз} \cdot A, \quad (4)$$

где  $H_{дз}$  – средняя мощность зоны дренирования, м.

$$H_{дз} = H_{ср} - h_{ср}, \quad (5)$$

$h_{ср}$  – средняя отметка русла.

И. А. Зеленым показано, что между объемом дренируемой части бассейна и средним многолетним расходом подземного питания ( $Q_{подз}$ ) для района Мьяо-Чана существует тесная нелинейная связь. Для данного конкретного района методика использования объема дренируемой части бассейна показала хорошую эффективность при оценке стока подземного питания, однако она обладает большой трудоемкостью и требует детальных данных по морфометрии русел, что осложняет ее применение для недостаточно изученных территорий.

Зависимость  $Q_{подз} = f(V_{дз})$  является нелинейной. Величина  $V_{дз}$  недостаточно репрезентативна для бассейна в целом, поскольку в нижней части русла могут быть дренированы подземные воды, полученные инфильтрацией осадков в верхней недренируемой подземной части, а их объем исключен при определении  $V_{дз}$ .

Анализ исследований морфометрии речных водосборов показывает, что объемные морфометрические показатели недостаточно широко применяются в современной практике исследований водных ресурсов. Учитывая высокую теоретическую

и практическую значимость этих показателей, необходима простая и надежная методика их определения, максимально полно использующая накопленные базы данных по морфометрическим характеристикам водосборов.

Наиболее простой объемный морфометрический показатель – объем подземной части бассейна ( $V_{подз}$ ) может быть получен вычитанием из объема фигуры речного бассейна ( $V_{фб}$ ) объема, соответствующего горизонтальной плоскости на нижней отметке вреза русла в замыкающем створе ( $V_{подз,вр}$ ):

$$V_{подз} = V_{фб} - V_{подз,вр} = 10^{-3} \cdot A \cdot H_{ср} - 10^{-3} \cdot A \cdot H_{вр}, \quad (6)$$

где  $H_{вр}$  – низшая отметка вреза русла в замыкающем створе, м.

$$V_{подз} = 10^{-3} \cdot A \cdot (H_{ср} - H_{вр}). \quad (7)$$

Наибольшую трудность в использовании формулы (7) представляет определение отметки  $H_{вр}$ , поскольку для неизученных бассейнов единственным способом ее определения является топографическая карта. В соответствии с методикой построения на топографических картах приводятся отметки, близкие к среднему меженному уровню, поэтому отметка вреза может определена по формуле

$$H_{вр} = H_{меж,ср} - h_{плеса}, \quad (8)$$

где  $H_{меж,ср}$  – отметка среднего меженного уровня в замыкающем створе, м;

$h_{плеса}$  – максимальная глубина в межень ближайшего плеса, м.

Предлагаемая морфометрическая характеристика является самым простым морфометрическим показателем, не требующим детальных сведений о строении подземной части, что естественно сказывается на точности определения физического объема. Однако детальные данные по геологическому и гидрогеологическому строению мало доступны и требуют сложных методов обработки. В настоящее время эти работы выполняются с использованием современных геоинформационных систем. В то же время точное определение физического объема подземной части бассейна практически не способствует улучшению методов оценки водных ресурсов, поскольку в современных условиях гидрологическая и метеорологическая изученность речных водосборов недостаточна.

Автором для ряда речных водосборов ЦЧО определены объемы подземной части бассейна ( $V_{подз}$ ) и проведен анализ связей между  $V_{подз}$  и среднемноголетними минимальными месячными ( $Q_{млс}$ ) и среднемноголетними годовыми ( $Q_{г}$ ) расходами. В состав использованных данных вошли водосбо-

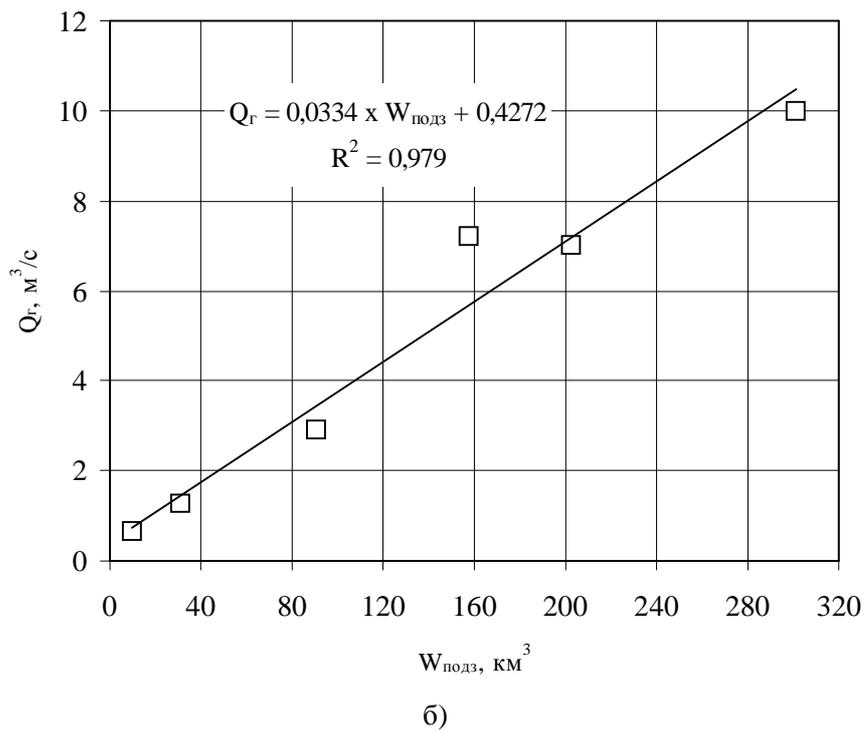
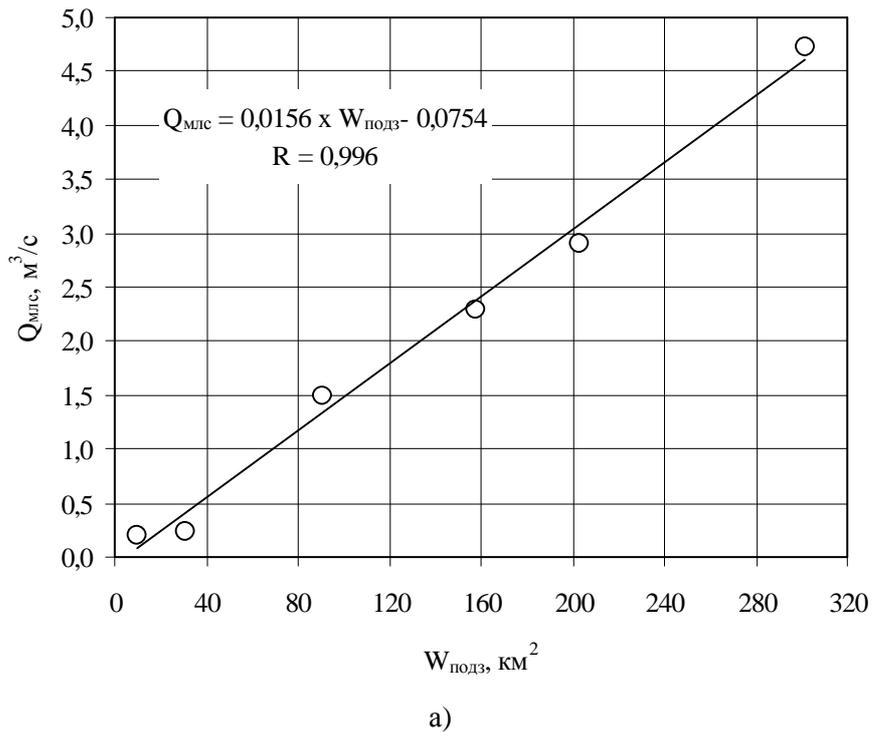


Рис. Зависимость среднего минимального среднемесячного расхода воды (а) и среднего годового расхода (б) от объема подземной части бассейна для Соснинско-Зушского гидрологического района

ры на территории ЦЧО с площадями от 44 до 34800  $\text{км}^2$ . Для сопоставления с существующими методами оценки в качестве значений гидрологических характеристик взяты данные, опубликованные в справочниках серии «Водные ресурсы» для территории ЦЧО [6, 7, 8, 9].

Графики зависимостей приведены на рис. Полученные графические зависимости являются линейными, что указывает на высокую репрезентативность предлагаемого объемного морфометрического показателя. Коэффициенты корреляции

изменяются от 0,82 до 0,99, что является достаточно высоким в географических исследованиях.

Зависимости построены для каждого из 13 гидрологических районов ЦЧО, выделенных автором на основании анализа связей годового и минимального стока с  $V_{\text{подз}}$  и существующих схем гидрологического районирования территории [4, 5]. Используемые данные включают и аномальные водосборы (карстовые явления и влияние хозяйственной деятельности). Водосборы, простирающиеся на территорию нескольких гидрологических районов, исключены из набора данных для анализа. Погрешности исходных данных для большинства использованных водосборов колеблются в пределах 5-30% для годового стока и 10-45% для минимального стока.

В самых неблагоприятных случаях (небольшое число членов выборки) нижний предел (при доверительной вероятности 0,95) коэффициента корреляции не менее 0,77 (для среднего годового расхода) и 0,55 (для среднесуточного минимального летнего среднеемесячного расхода). Только для двух районов – Осколо-Калитвянского и Осередо-Подгоренского, в связи с малым объемом выборки и большой погрешностью определения статистических характеристик, коэффициенты корреляции для минимального летнего месячного расхода определены недостоверно, что является обычным для статистического анализа минимального стока [2, 4].

Относительные среднеквадратические ошибки, в целом, для территории ЦЧО составляют  $\pm 31,2\%$  для годового стока и  $\pm 75,0\%$  – для минимального стока. В 50% случаев ошибки не превышают  $\pm 13,4\%$  для годового и  $\pm 21,8\%$  для минимального, что указывают на возможность получения расчетных зависимостей, с погрешностями, соответствующими требованиям нормативных документов ( $\pm 10\%$  для годового и  $\pm 20\%$  для минимального стока) при учете особенностей аномальных водосборов [11].

Дегтярев Сергей Дмитриевич  
кандидат географических наук, доцент кафедры природопользования Воронежского государственного университета, г.Воронеж, т. 8(473)247-72-25, E-mail: [degtyarev@gegr.vsu.ru](mailto:degtyarev@gegr.vsu.ru)

Таким образом, объем подземной части бассейна является достаточно надежным и репрезентативным показателем, позволяющим оценивать минимальный и годовой сток малых и средних рек на территории ЦЧО. На его основе возможна разработка новых методов расчета характеристик водных ресурсов.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Волков Н. М. Принципы и методы картометрии / Н. М. Волков. – М.-Л. : Изд-во АН СССР, 1950. – 327 с.
2. Владимиров А. М. Сток рек в маловодный период года / А. М. Владимиров. – Л. : Гидрометеоздат, 1976. – 295 с.
3. Зеленой И. А. Об оценке подземного стока горного Мяо-Чана и смежных с ним районов Нижнего Приамурья / И. А. Зеленой // Изв. высших учебных заведений. Геология и разведка. – 1989. – № 3. – С. 124-129.
4. Курдов А. Г. Минимальный сток рек (основные закономерности и методы расчета) / А. Г. Курдов. – Воронеж : Изд-во Воронеж. ун-та, 1970. – 252 с.
5. Мишон В. М. Снежные ресурсы и местный сток: закономерности формирования и методы расчета / В. М. Мишон. – Воронеж : Изд-во Воронеж. ун-та, 1988. – 192 с.
6. Ресурсы поверхностных вод СССР. Украина и Молдавия. Среднее и нижнее Поднепровье. – Л. : Гидрометеоздат, 1971. – Т. 6, вып. 2. – 656 с.
7. Ресурсы поверхностных вод СССР. Украина и Молдавия. Бассейн Северского Донца и Приазовье. – Л. : Гидрометеоздат, 1967. – Т. 6, вып. 3. – 492 с.
8. Ресурсы поверхностных вод СССР. Донской бассейн. – Л. : Гидрометеоздат, 1973. – Т. 7. – 475 с.
9. Ресурсы поверхностных вод СССР. Верхне-Волжский бассейн. Кн.1. – М. : Гидрометеоздат, 1973. – Т. 10. – 475 с.
10. Сванидзе Г. Г. К методике исчисления гидроэнергетических ресурсов / Г. Г. Сванидзе // Водохозяйственный кадастр СССР. Методика составления. – М. : Изд-во АН СССР, 1956. – С. 132-143.
11. Свод правил СП 33-101-2003. Определение основных расчетных гидрологических характеристик. – М. : Госстрой России, 2003. – 73 с.

Degtyarev Sergey Dmitriyevitch  
Candidate of Geographical Sciences, Associate Professor of the chair of management of nature, Voronezh State University, Voronezh, tel. (473)-247-72-25, E-mail: [degtyarev@gegr.vsu.ru](mailto:degtyarev@gegr.vsu.ru)