

УДК 556.52.06

Доктор геогр. наук Г.Н. Трофимов*
Н.З. Сагдеев*
А.Я. Исакова*

МОРФОМЕТРИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ МАЛЫХ РЕЧНЫХ БАССЕЙНОВ (ОПЫТ УПРОЩЕННЫХ РАСЧЕТОВ)

МАЛЫЕ РЕКИ, МОРФОМЕТРИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ РЕЧНЫХ БАССЕЙНОВ, ОВАЛ, ГИПЕРГЕОМЕТРИЧЕСКОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ, ЗАКОНЫ ДЛИН И ЧИСЕЛ ВОДОТОКОВ

В статье предложен упрощенный способ определения основных морфометрических характеристик малых речных бассейнов при выполнении проектных работ для большого числа рек. Расчет площади бассейна, длины водораздела и горизонталей выполнен по формулам овала. Средняя высота может быть рассчитана с использованием гипергеометрического распределения. Густота речной сети может быть рассчитана с учетом закона длин и чисел водотоков.

Гидрологические расчеты производятся с учетом основных морфологических особенностей водосборных бассейнов [1, 5]. В качестве расчетных параметров используется ряд морфометрических показателей рек и речных бассейнов – площадь бассейна, уклон русла и водосбора, средняя высота бассейна и др. Определение этих показателей по картам крупного масштаба процесс долгий и достаточно трудоемкий. Так, в «Руководстве...» [10] указывается, что «...использование крупномасштабных карт резко увеличивает объем картометрических работ». Особенно это касается проектов протяженных магистралей – дорог, каналов, трубопроводов различного назначения, линий электропередач и т.п., пересекающих русла множества малых рек. Задача многократно усложняется при исследовании нескольких вариантов проектов таких трасс. С учетом сказанного, при относительно несложном строении малых речных бассейнов, нами предложены способы упрощенного и достаточно, на наш взгляд, точного расчета основных морфометрических показателей малых речных бассейнов с использованием самых простых их характеристик. Отметим, что измерение

* Национальный университет Узбекистана им. Мирзо Улугбека, г.Ташкент

по картам 1:100 000 масштаба малых площадей обеспечивает погрешность не менее 5 % [10].

Для расчетов выбраны 12 малых (с площадью бассейна менее 100 км²) речных бассейнов – 7 рек Чирчик-Ахангаранского бассейна, 2 реки – Нуратинского хребта и 3 реки – южных склонов хребта Каратепе. Для этих рек по картам масштаба 1:100 000 и по данным Справочника «Основные гидрологические характеристики» [7, 8] определены основные фактические морфометрические параметры бассейнов (табл. 1). Помимо определения стандартных морфометрических характеристик по картам был получен ряд показателей, используемых нами в последующих вычислениях.

Таблица 1
Основные морфометрические характеристики малых речных бассейнов

Река	$L_{басс}$, км	$L_{рус}$, км	$L_{водр}$, км	F , км ²	$i_{рус}$	$i_{басс}$	D , км/км ²	Z_{max} , км	$Z_{уст}$, км	Z_{min} , км	$Z_{ср}$, км
Алтынбельсай	7,6	10,3	28,0	39,1	0,083	0,300	0,870	2,17	2,00	1,18	1,66
Паркентсай	13,4	13,0	32,2	39,7	0,110	0,430	0,426	3,27	2,96	1,18	1,98
Джиблансай	8,5	7,9	21,0	19,0	0,140	0,350	0,568	3,38	3,04	1,32	2,51
Наугарзан	16,4	11,1	47,0	92,8	0,190	0,450	0,750	3,02	2,72	0,60	1,85
Наувалисай	17,6	16,0	47,0	98,0	0,116	0,530	0,704	3,38	2,80	0,92	1,65
Тоганбашисай	7,6	11,7	26,0	17,7	0,220	0,510	0,629	3,56	3,28	1,48	2,26
Каранкуль	6,3	6,8	16,2	15,7	0,120	0,350	1,000	1,95	1,77	0,92	1,38
Сентябсай	10,2	10,1	30,0	59,8	0,100	0,330	0,920	2,13	1,96	0,95	1,49
Маджерумсай	13,6	15,0	36,8	45,7	0,079	0,340	0,737	2,17	1,88	0,85	1,47
Ургутсай	6,6	6,8	23,0	25,1	0,170	0,420	0,800	2,58	1,56	1,09	1,67
Агалыксай	15,5	16,5	38,1	70,9	0,068	0,230	0,820	2,02	1,80	0,70	1,58
Сазагансай	9,0	10,1	25,7	26,8	0,110	0,350	1,100	2,00	1,60	0,80	1,45

В расчетах использованы показатели: $L_{басс}$ – длина бассейна (км), B_{max} – максимальная ширина бассейна (км), L_{Bmax} – расстояние от водораздела до наибольшей ширины бассейна (км), $L_{рус}$ – расстояние по прямой от истока до устья реки (км), или высотные отметки: Z_{max} – максимальная, $Z_{ист}$ – истока реки, $Z_{уст}$ – устья реки (км), или замыкающего створа.

Последовательно опишем разработанные методы расчета основных морфометрических характеристик речных бассейнов, предварительно отметив, что наиболее детально этот вопрос изучали Р. Хортон, А. Штралер, Н.А. Ржаницын, Р.А. Нежиховский, И.Н. Гарцман и др., проработки которых нами частично использованы в данной статье [2, 6, 9, 13, 14].

Расчет площади бассейна, распределения ее по высотным зонам и средней высоты бассейна.

Как верно отмечает Р.А. Нежиховский: «за редким исключением зависимость (между длиной и площадью водосбора) представлена степенным выражением $F = k \cdot L^{\xi}$ » [4]. Он же приводит параметры этой связи для разных районов и параметр k изменяется в 41 раз, а ξ – в 1,7 раза. На основании этих различий делается вывод, что в принципе это соотношение не отражает сущность формирования речных бассейнов.

Нами площадь бассейна (водосбора) вычислялась по формуле овала (эллипса) [8]

$$F = \pi \cdot a \cdot b, \quad (1)$$

где a – большая полуось овала, равная половине длины бассейна

($a = \frac{L_{бас}}{2}$), b – малая полуось равная половине максимальной ширины

бассейна ($b = \frac{B_{max}}{2}$). Для примера на (рис. 1) приведены схемы двух смежных речных бассейнов – Сентябсая и Маджерума, отличающихся степенью их округлости (вытянутости).

Фактические и вычисленные по формуле овала площади бассейнов и погрешности вычислений приведены в (табл. 2).

Таблица 2

Вычисленные площади речных бассейнов

Река	a , км	b , км	F , км ²	ΔF , %
Алтынбельсай	3,80	3,10	37,0	-5,4
Паркентсай	6,70	2,20	46,3	16,6
Джиблансай	4,25	1,40	18,7	-1,7
Наугарзан	8,20	4,00	103	11,0
Наувалисай	8,80	3,80	105	7,1
Тоганбашисай	3,80	1,80	21,5	21,3
Каранкуль	3,15	1,80	17,8	13,4
Сентябсай	5,10	4,20	67,3	12,5
Маджерумсай	6,80	2,50	53,4	16,8
Ургутсай	3,30	2,60	26,9	7,3
Агалыксай	7,75	3,30	80,3	13,3
Сазагансай	4,50	2,30	32,5	21,3

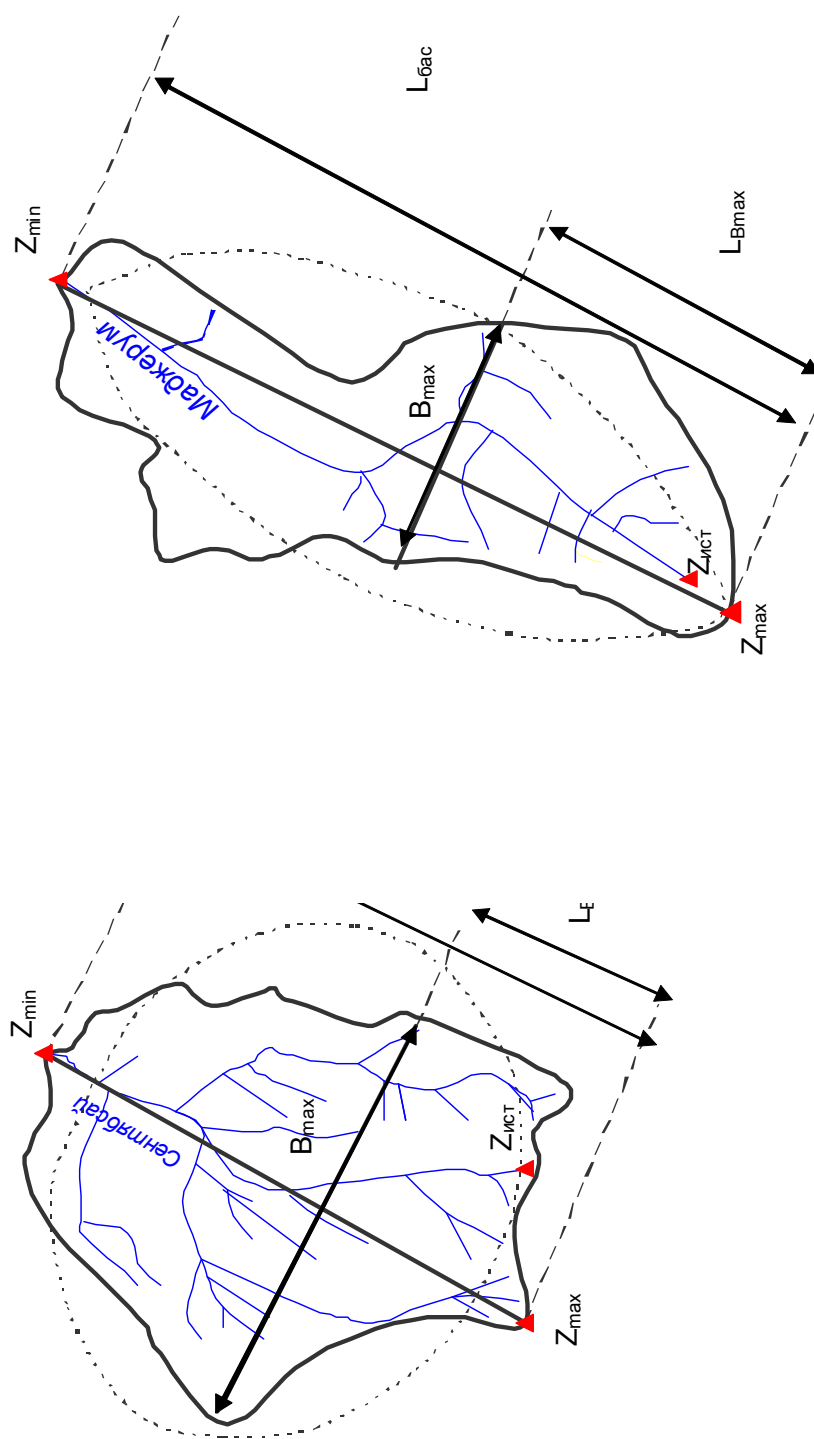


Рис. 1. Схемы бассейнов рр.Сентябсай и Маджерум.

В среднем отклонения рассчитанных площадей водосборов от фактических укладывается в пределы от -3,6 % до +11,7 %.

Важными характеристиками горного речного бассейна служат распределение его площади по высотным зонам (гипсографическая кривая) и сред-

няя высота бассейна $Z_{cp} = \frac{I}{F} \cdot \sum_{i=1}^n Z_i \cdot f_i$, где Z_i – средняя отметка высот-

ных интервалов, f_i – площадь между горизонталями, n – число высотных интервалов [5].

Нами для расчета распределения площади бассейна по высотным зонам использовано гипергеометрическое распределение, являющееся вариантом биномиального распределения:

$$Pn(k) = C_n^k \cdot p^k \cdot q^{n-k}, \quad (2)$$

здесь p – вероятность появления и $q = 1 - p$ – не появления события,

C_n^k – число сочетаний из n членов по k . В зависимости от значения p распределение имеет различную форму. Если значение p близко к 0,5 получается симметричная форма графика, при $p > 0,5$ мода распределения сдвигается вправо, при $p < 0,5$ – влево по оси абсцисс. Отметим, что гипергеометрическое распределение применяется для, так называемых «выборок без возврата» [11, 12].

Прежде чем излагать ход дальнейших расчетов отметим, что Б.А. Аполловым была предпринята попытка классифицировать бассейны рек в зависимости от распределения их площадей по высотным зонам [1]. Им были выделены пять типов речных бассейнов: I – бассейны, имеющие наибольшее развитие в средней части; II – бассейны, развитые в верхней части; III – бассейны, развитые в низовой части; IV – бассейны равномерно вытянутые по длине и V – бассейны сужающиеся в средней части. Нами, для оценки места наибольшей концентрации площади бассейна по высоте, использовано отношение расстояния от водораздела до наибольшей ширины бассейна к его общей протяженности $p = \frac{L_{B \max}}{L_{\text{бас}}}$ (рис. 1).

Число высотных интервалов рассчитывалось по выражению $n = \frac{Z_{\max} - Z_{\min}}{h} = \frac{\Delta Z}{h}$, где h – выбранный размер сечений горизонталей

(км). В нашем случае $h = 0,2$ км. Расчетные параметры и вычисленные

средние высоты бассейнов приведены в (табл. 3). Среднее отклонение рассчитанных высот от фактических +14,4 %.

Примеры фактического и рассчитанного распределения площади бассейна по высотным зонам для двух рек разных по величине основного расчетного параметра приведены на (рис. 2).

Таблица 3

Средние высоты бассейнов рек

Река	Δz , км	n	p	z_{cp} , км	Δz_{cp} , %
Алтынбельсай	0,99	5,0	0,526	1,74	4,8
Паркентсай	2,09	10,5	0,560	2,53	27,8
Джиблан	2,06	10,3	0,718	2,87	14,3
Наугарзан	2,42	12,1	0,683	2,26	22,2
Наувалисай	2,46	12,3	0,420	1,99	20,6
Тоганбаши	2,08	10,4	0,579	2,56	13,3
Каранкуль	1,03	5,2	0,540	1,45	5,1
Сентябсай	1,18	5,9	0,627	1,74	16,8
Маджерум	1,32	6,6	0,544	1,56	6,1
Ургутсай	1,49	7,5	0,636	2,07	24,0
Агалыксай	1,32	6,6	0,613	1,73	9,5
Сазагансай	1,20	6,0	0,578	1,57	8,3

В ряде случаев требуется вычислять длину водораздельной линии и коэффициент развития водораздела [1, 5]. Напомним, что в качестве коэффициента развития водораздельной линии используется отношение фактической длины водораздела к длине окружности круга, имеющего ту же площадь, что и бассейн реки:

$$m_{вдр} = \frac{L_{вдр}}{2 \cdot \sqrt{\pi \cdot F_{бас}}} . \quad (3)$$

Для характеристики формы бассейна нами использован «коэффициент округлости» бассейна, равный отношению максимальной ширины бассейна к его длине:

$$m_{окр} = \frac{B_{max}}{L_{бас}} , \quad (4)$$

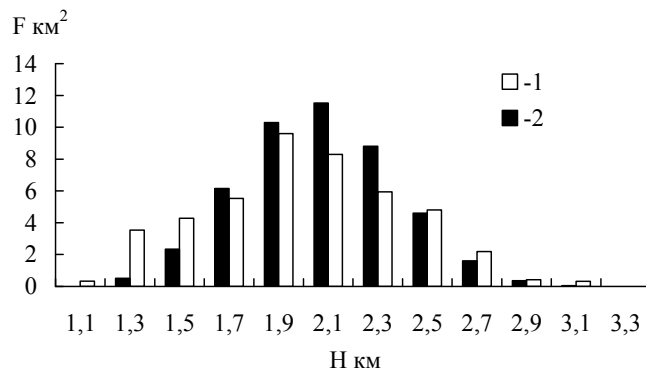
а длина водораздельной линии, вычислялась по формуле периметра овала:

$$L_{овал} = 2 \cdot \pi \cdot a \cdot \left[1 - \left(\frac{1}{2} \right)^2 \cdot \varepsilon^2 - \left(\frac{1 \cdot 3}{2 \cdot 4} \right)^2 \cdot \frac{\varepsilon^4}{3} - \left(\frac{1 \cdot 3 \cdot 5}{2 \cdot 4 \cdot 6} \right)^2 \cdot \frac{\varepsilon^6}{5} - \dots \right] , \quad (5)$$

здесь ε – эксцентриситет овала, рассчитываемый по формуле:

$$\varepsilon = \frac{\sqrt{a^2 - b^2}}{a} \quad (6)$$

А



Б

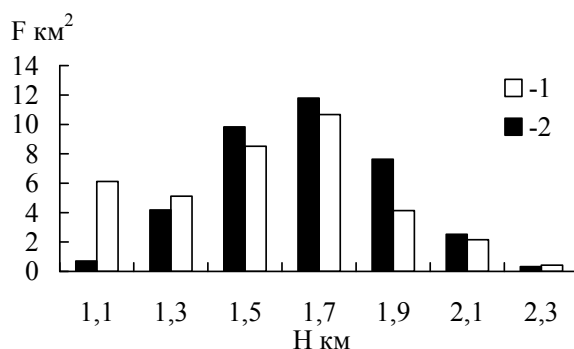


Рис. 2. Распределение площадей бассейнов по высотным зонам.
А – Паркентсай, Б – Алтынбельсай. 1 – фактическое, 2 – рассчитанное.

Расчет длины водораздельной линии и коэффициента развития водораздела.

Длина водораздела, а также фактические и рассчитанные по формуле периметра овала значения коэффициента водораздела даны в табл. 4.

Как видно (табл. 4), средняя ошибка расчета площади водосбора - 3,6 %...+ 14,0 %, средняя ошибка расчета водораздельной линии около 12 % (максимальная – -28,6 % – Тоганбашисай) и средняя ошибка расчета коэффициента водораздела с применением формулы длины периметра овала -15,8 %.

Расчет густоты речной сети

Одним из важных морфометрических показателей речных бассейнов является густота речной сети, косвенно отражающая стокообразующую и эрозионную (руслоформирующую) деятельность в бассейне реки.

Для оценки суммарной длины водотоков всех порядков и, соответственно, густоты речной сети Р. Хортон [10] предложил формулу:

$$\sum L = l_1 \cdot r_b^{s-1} \cdot \frac{\rho^s - 1}{\rho - 1}, \quad (7)$$

где $\sum L$ – суммарная длина всех водотоков, l_1 – средняя длина водотока 1-го порядка, r_b – коэффициент бифуркации, ρ – частное от коэффициента отношения длин водотоков смежных порядков к коэффициенту бифуркации ($\rho = \frac{l_1}{r_b}$), s – порядок главного в системе водотока.

В расчетах мы приняли среднюю длину водотока 1-го порядка 1,0 км (фактическая средняя длина для 12 водотоков равна 1,1 км), а коэффициенты ветвления потоков и длин рассчитаны по зависимости их от эксцентриситета эллипса:

$$r_b = 0,11 \cdot \varepsilon + 3,16, \quad (8)$$

$$r_L = 0,94 \cdot \varepsilon + 1,27. \quad (9)$$

Результаты расчетов густоты речной сети приведены в табл. 5.

Ошибка расчета густоты сети достаточно высока (в среднем +10,5 % и -24,4 %), но учитывая два момента – не учет почвенно-грунтового и геологического строения речных бассейнов и простоту вычислений, полученные результаты расчетов можно признать удовлетворительными.

Расчет средних уклонов русла и бассейна

Уклон русла равен отношению падения реки Δz к его длине $L_{\text{рус}}$.

В наших расчетах мы вместо длины реки использовали расстояние по прямой от истока реки до ее устья (замыкающего створа) – $L_{\text{рус}}$. Очевидно, при таком подходе мы получаем заниженные значения уклонов русел, т.к. не учитывается извилистость русла. Нами в расчетах коэффициент извилистости русла поставлен в зависимость от эксцентриситета овала:

$$K_u = -0,15 \cdot \varepsilon + 1,24. \quad (10)$$

Средний уклон русла вычислялся по формуле:

$$i_{\text{рус}} = \frac{\Delta z}{L_{\text{рус}} \cdot K_u}. \quad (11)$$

Фактические и вычисленные коэффициенты извилистости русел и их средние уклоны приведены в табл. 6. Отклонение вычисленных уклонов рек от фактических изменяются от +18,7 % до -20,5 %.

Таблица 5

Расчет густоты речной сети

Река	$\Sigma L_{\text{факт}}, \text{ км}$	$D_{\text{факт}}, \text{ км/км}^2$	Порядок водотока	Расчетные параметры			$\Sigma L_{\text{выч}}, \text{ км}$	$D_{\text{выч}}, \text{ км/км}^2$	$\Delta D, \%$
				Γ_b	Γ_L	ρ			
Алтынбельсай	29,5	0,754	3	3,22	1,81	0,563	19,5	0,528	-30,0
Паркентсай	32,9	0,868	3	3,26	2,16	0,661	22,4	0,483	-44,4
Джиблансай	21,6	1,137	3	3,26	2,16	0,661	22,3	1,196	5,2
Наугарзан	91,0	0,981	4	3,26	2,09	0,642	80,1	0,777	-20,7
Наувалисай	95,2	0,971	4	3,26	2,12	0,650	81,2	0,774	-20,4
Тоганбашисай	21,5	1,215	3	3,26	2,10	0,644	21,8	1,017	-16,3
Каранкуль	15,0	0,955	3	3,25	2,04	0,628	21,4	1,200	25,6
Сентябсай	60,5	1,012	4	3,22	1,80	0,560	68,5	1,019	0,7
Маджерумсай	36,3	0,794	3	3,26	2,14	0,657	22,2	0,417	-47,6
Ургутсай	19,5	0,777	3	3,23	1,85	0,573	19,8	0,735	-5,4
Агалыксай	102,7	1,449	4	3,26	2,12	0,651	81,4	1,013	-30,1
Сазагансай	25,1	0,937	3	3,25	2,08	0,638	21,7	0,667	-28,8

Как известно, расчет средних уклонов бассейнов выполняется по формуле:

$$i_{cp} = \frac{h}{F} \cdot \sum_{i=1}^n \frac{1}{2} (l_k + l_{k+1}), \quad (12)$$

где l_k и l_{k+1} – длины смежных горизонталей, h – разность отметок смежных горизонталей (сечение рельефа), n – число высотных интервалов.

Таблица 6

Расчет средних уклонов русел

Река	K_u факт	ε	K_u выч	ΔK_u , %	$i_{рус}$	$\Delta i_{рус}$, %
Алтынбельсай	1,32	0,578	1,15	-12,7	0,091	9,8
Паркентсай	1,08	0,945	1,10	1,4	0,135	22,8
Джиблансай	1,05	0,944	1,10	4,3	0,209	49,1
Наугарзан	1,13	0,873	1,11	-2,1	0,195	2,7
Наувалисай	1,09	0,902	1,10	1,5	0,116	-0,2
Тоганбашисай	1,19	0,881	1,11	-7,2	0,166	-24,6
Каранкуль	1,17	0,821	1,12	-4,7	0,131	9,3
Сентябсай	1,04	0,567	1,15	10,9	0,090	-9,8
Маджерумсай	1,09	0,930	1,10	0,5	0,068	-13,5
Ургутсай	1,11	0,616	1,15	2,9	0,067	-60,5
Агалыксай	1,11	0,905	1,10	-0,9	0,067	-1,0
Сазагансай	1,02	0,860	1,11	8,9	0,073	-33,9

Нами вместо длин горизонталей в расчеты введена половина периметра овала с осями $a' = \frac{B_{cp}}{2}$ и $b' = \frac{l_z}{2}$. Здесь B_{cp} – средняя ширина бассейна $B_{cp} = \frac{F}{L_{бас}}$, а l_z – протяженность высотного интервала, измеряемая по оси бассейна, равная n -ой части длины бассейна $l_z = \frac{L_{бас}}{n}$ (рис. 3).

Также для учета изрезанности поверхности бассейна речной сетью полупериметр овала делился на величину ρ , введенную в расчеты Р. Хортоном. В целом формула для расчета среднего уклона бассейна имеет вид:

$$i_{бас} = \frac{\pi \cdot a' \cdot h \cdot \left[l - \left(\frac{l}{2} \right)^2 \cdot \varepsilon'^2 \right] \cdot n}{F \cdot \rho}, \quad (13)$$

здесь ε' – новое значение эксцентриситета $\varepsilon' = \frac{\sqrt{a'^2 - b'^2}}{a'}$, h – сечение горизонталей, n – число высотных интервалов, ρ – коэффициент изрезанности бассейна по Р. Хортону, равный отношению длин смежных потоков, деленному на отношение числа смежных потоков.

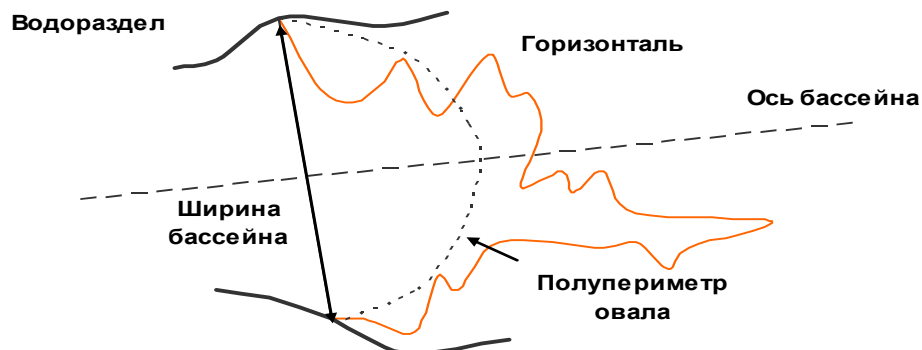


Рис. 3. Схема к расчету «длины» горизонтали по полупериметру овала.

Рассчитанные по формуле (13) величины средних уклонов бассейнов приведены в табл. 7.

Таблица 7

Рассчитанные средние уклоны бассейнов

Река	B_{cp} , км	n	L_z , км	a' , км	b' , км	ε'	$\sum L_z$, км	$i_{выч}$	$\Delta i_{выч}$, %
Алтынбельсай	5,14	4,95	1,54	2,57	0,77	0,954	30,9	0,346	15,3
Паркентсай	2,96	10,5	1,28	1,48	0,64	0,901	38,7	0,282	-34,5
Джиблансай	2,24	10,3	0,83	1,12	0,41	0,929	28,3	0,511	45,9
Наугарзан	5,66	12,1	1,36	2,83	0,68	0,971	82,2	0,286	-36,4
Наувалисай	5,57	12,3	1,43	2,78	0,72	0,966	82,4	0,275	-48,1
Тоганбашисай	2,33	10,4	0,73	1,16	0,37	0,949	29,5	0,489	-4,1
Каранкуль	2,49	5,15	1,22	1,25	0,61	0,871	16,3	0,341	-2,6
Сентябсай	5,86	5,9	1,73	2,93	0,86	0,956	41,9	0,259	-21,5
Маджерумсай	3,36	6,6	2,06	1,68	1,03	0,790	29,4	0,188	-44,7
Ургутсай	3,8	7,45	0,89	1,9	0,44	0,972	34	0,516	22,8
Агалыксай	4,57	6,6	2,35	2,29	1,17	0,858	38,7	0,168	-26,8
Сазагансай	2,98	6,0	1,5	1,49	0,75	0,864	22,8	0,254	-27,3

Отклонение вычисленных величин от фактических колеблется в интервале от -27,3 % до +28,0 %.

Как видно из данных табл. 7 для большинства рек вычисленный уклон бассейна меньше фактического, т.к. длина горизонталей практиче-

ски всегда больше длины полупериметра овала. Однако, потеря точности в результате, на наш взгляд, вполне окупается простотой и оперативностью вычислений.

В целом можно констатировать, что использование простых показателей малых речных бассейнов, даже с учетом невысокой точности расчета морфометрических характеристик рек, вполне можно применять на стадии предварительных гидрологических расчетов, например, на стадии составления технико-экономического обоснования (ТЭО) проектов.

При выполнении проектов с учетом большого объема картографических работ, рассмотренный в статье упрощенный способ оценки основных морфометрических характеристик малых рек, дает положительный результат при некоторой потере точности расчетов. Погрешности вычислений площади водосбора, выполненных по формуле овала в среднем - 12,8 % (-5,4...+32,4 %), длин водоразделов -12,0 % (-1,1...-28,6 %) и длин горизонталей -47,1 % (-24,6...-66,6 %). Погрешности вычислений средней высоты водосбора по гипергеометрическому распределению в среднем +15,4 % (+4,6...+27,8 %), среднего уклона бассейна от -1,7 – 26,7 % до +6,4 +30,4 %, густоты речной сети от -0,6...-29,1 % до +15,3...52,9 %.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Аполлов Б.А. Учение о реках. – М.: Изд-во МГУ, 1952. – С. 52-83.
2. Гарцман И.Н. Речная сеть и водоносность территории в условиях юга Дальнего Востока. // Тр. ДВНИГМИ. – 1968. – Вып. 27. – С.15-22.
3. Гмурман В.Е. Теория вероятностей и математическая статистика. – М.: «Высшая школа», 1977. – С. 66-74.
4. Карасев М.С., Худяков Г.И. Речные системы на примере Дальнего Востока. – М.: Наука, 1984. – 136 с.
5. Михайлов В.Н., Добровольский А.Д. Общая гидрология. – М.: «Высшая школа», 1991. – С. 128-130.
6. Нежиховский Р.А. Русловая сеть бассейна и процесс формирования стока воды.- Л.: Гидрометеиздат, 1971.- с. 21-39.
7. Основные гидрологические характеристики. Том 14. Средняя Азия. Выпуск 1. Бассейн Сырдарьи. – Л.: Гидрометеиздат, 1967. – С. 35-39.
8. Основные гидрологические характеристики. Том 14. Средняя Азия. Выпуск 1. Бассейн Амударьи. – Л.: Гидрометеиздат, 1967. – С. 21-24.

9. Ржаницын Н.А. Морфологические и гидрологические закономерности строения речной сети. – Л.: Гидрометеоиздат, 1960. – С. 9-41.
10. Руководство по определению гидрографических характеристик картометрическим способом / Под ред. К.П. Воскресенского. – Л.: Гидрометеоиздат, 1986. – 91 с.
11. Рывкин А.А., Рывкин А.З., Хренов Л.С. Справочник по математике. – М.: «Высшая школа», 1987. – С. 226-228.
12. Смирнов Н.В., Дунин-Барковский И.В. Курс теории вероятностей и математической статистики (для технических приложений). – М.: Наука, 1965. – С. 95-103.
13. Хортон Р.Е. Эрозионное развитие рек и водосборных бассейнов. – М.: Изд-во ИЛ, 1948. – С. 28-41.
14. Strahler A.N. Hypsometric (area-altitude) analysis of erosial topography. // Geol. Soc. Amer. Bull. – 1952. – vol. 63. – P. 1117-1142.

Геогр. ғылымд. докторы

Н.З. Сагдеев

КІШІ ӨЗЕН АЛАПТАРЫНЫҢ МОРФОМЕТРИЯЛЫҚ МІНЕЗДЕМЕЛЕРІ (ҚАРАПАЙЫМ ЕСЕПТЕУ ТӘЖІРИБЕСІ)