

*Я. А. КУДЛЫК***ОПРЕДЕЛЕНИЕ МОРФОМЕТРИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК
РЕЛЬЕФА РЕЧНЫХ БАССЕЙНОВ
ПО ТОПОГРАФИЧЕСКИМ КАРТАМ**

Общие замечания. Создание топографических карт и их обновление связано с динамикой местности как следствия развития природных и социально-экономических элементов ландшафта. Наиболее динамичными природными элементами предгорий являются русла рек. Их плановые и высотные деформации обуславливаются влиянием четырех взаимодействующих групп факторов: литогенных, гидроклиматических, биогенных и антропогенных. Диалектический подход к изучению динамики русел рек требует рассмотрения ее в взаимосвязях с определяющими факторами.

Получение многих показателей взаимосвязи основывается на морфометрических характеристиках рельефа бассейна реки, определяемых по топографическим картам. К таким характеристикам относятся количественные показатели горизонтального и вертикального расчленения, уклоны или углы наклона, солярные экспозиции склонов и другие. Для их нахождения в работах советских и зарубежных авторов предложено целый ряд способов.

Анализ этих способов в применении к морфометрической характеристике рельефа предгорных районов Карпат показал, что основные из них трудоемкие, а упрощенные приводят к заниженным или завышенным результатам, или очень осредненным величинам. Средние и относительные высоты, уклоны и экспозиции склонов бассейнов рек мы определяем по элементарным поверхностям с помощью изготовленной палетки, названной тангенс-экспозициометром, и составленных таблиц.

Элементарная поверхность (ЭП) — основа морфометрических исследований. Речная система является разомкнутым геокомплексом, где преобладает односторонний перенос вещества. Образование и развитие речных систем (их структура), предопределяется геоморфологией изучаемого района, строением и развитием его рельефа.

Достаточно строгое описание речной системы предложено В. П. Филосовым (1968) и Р. Е. Хортоном (1948). Согласно им, в речной системе выделяются элементарные водосборы. Эlemen-

тарный водосбор имеет два склона и водоток, ему приписывается первый порядок. Два водотока первого порядка (сливаясь, образуют водоток второго порядка (соответственно увеличивается и порядок бассейна). Слияние водотоков первого порядка с водотоком второго не увеличивает порядок последнего. Только слияние однопорядковых бассейнов (потоков) увеличивает порядок на единицу. В результате речной бассейн представляет собой в формализованной схеме сочетание бассейнов первого, второго и т. д. порядков.

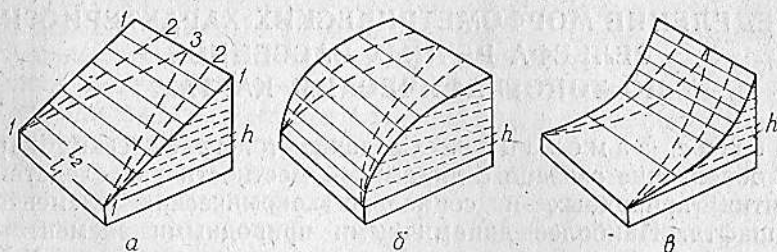


Рис. 1. Элементарные поверхности:

a — в прямом склоне профиля; *б* — в выпуклом; *в* — в вогнутом.

ЭП получаем в результате расчленения на части склонов речного бассейна орографическими линиями и различием по форме профиля их склона и геометрического очертания. Графические модели ЭП представлены на рис. 1. Здесь имеем ЭП в трех разных формах профиля склонов: прямом (рис. 1, *a*), выпуклом

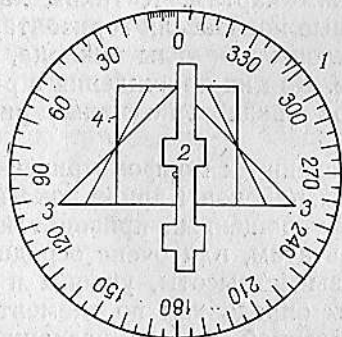


Рис. 2. Тангенс-экспозициометр ($M=1:25\,000$):

1 — азимутальный круг; *2* — отверстие; *3-3* — основание ЭП; *4* — высота ЭП(*a*); $a=1$ км; $S=1$ км².

(рис. 1, *б*), вогнутом (рис. 1, *в*), и в трех формах геометрического очертания: прямоугольной (*1-1-1-1*), трапецидальной (*1-2-2-2*), треугольной (*1-3-1*). Из рис. 1, *б* и 1, *в* видим, что ЭП выпуклого склона является полной противоположностью ЭП вогнутого профиля. Каждая ЭП может быть охарактеризована такими морфометрическими показателями, как средней абсолютной и относительной высотами, углом наклона, величиной площади, линейными размерами и экспозицией. Поскольку рельеф бассейна реки складывается из множества ЭП, на основании морфометрических характеристик последних можно определять пре-

обладающие (средневзвешенные по площади) показатели рельефа бассейна реки любого порядка в целом.

Для сокращения работ по вычерчиванию ЭП на топографических картах или их копиях использовали тангенс-экспозициометры (рис. 2) с площадью геометрических фигур в 1 км². Тангенс-экспозициометр состоит из прозрачного азимутального круга 1 с отверстием 2 (деления нанесены против часовой стрелки), внутри которого вычерчены геометрические фигуры равных площадей (квадрат, трапеция и треугольник), близкие по форме и площади ЭП для различных типов рельефа. Основанием фигур служит линия 3—3.

Средние абсолютные высоты ЭП $|\bar{H}_{ЭП}|$ находим по формуле (6):

$$\bar{H}_{ЭП} = \frac{H_{\max} + H_{\min}}{2} + \Delta H, \dots, \quad (1)$$

где H_{\max} — максимальная и H_{\min} — минимальная отметка в пределах ЭП; ΔH — гипсографическая поправка, определяемая по формуле

$$\Delta H = |H_{\max} - H_{\min}| K_H \quad (1a) \quad \text{или} \quad \Delta H = h \cdot n \cdot k_H,$$

где h — высота сечения рельефа горизонталями; k_H — высотные коэффициенты формы профиля склона и геометрического очертания ЭП, определяемые эмпирически; n — количество горизонталей между высотами H_{\max} и H_{\min} .

Коэффициенты k_H можно найти по табл. 1.

Таблица 1

Высотные коэффициенты

Геометрическое очертание	Отметка основания фигур 3—3	Профиль склона ЭП		
		прямой	выпуклый	вогнутый
Квадратное (1)	H_{\max} или H_{\min}	0	+0,15	-0,15
Трапециевидное	H_{\min} (2a)	-0,075	+0,10	-0,20
	H_{\max} (2б)	+0,075	+0,20	-0,10
Треугольное	H_{\min} (3a)	-0,15	+0,05	-0,25
	H_{\max} (3б)	+0,15	+0,25	-0,05

Для удобства определений формулу (1) представим в виде:

$$\bar{H}_{ЭП} = H_{\min} + \Delta H + 0,5 h \cdot n \quad (2) \quad \text{или} \quad \bar{H}_{ЭП} = H_{\min} + \Delta H_{ЭП} \quad (3)$$

$$\text{где} \quad \Delta H_{ЭП} = |0,5 + k_H| \cdot h \cdot n \quad (4)$$

величина, которую необходимо прибавлять к H_{\min} .

Высотные поправки $\Delta H_{ЭП}$ к H_{\min} , м

hn	Геометрическое очертание ЭП												
	1	2а	2б	3а и 1	3б и 1	2а	2б	3а	3б	2а	2б	3а	3б
200	100	85	115	70	130	120	140	110	150	60	80	50	90
190	95	80	110	66	123	114	133	104	142	57	76	42	85
180	90	76	103	63	117	108	126	99	135	54	72	45	80
170	85	72	97	59	110	102	119	93	127	51	68	42	78
160	80	68	92	56	104	96	112	88	120	48	64	40	72
150	75	63	86	52	97	90	105	82	112	45	60	37	67
140	70	59	80	49	91	84	98	77	105	42	56	35	63
130	65	55	75	45	84	78	91	71	97	39	52	32	58
120	60	51	69	42	78	72	84	66	90	36	48	30	54
110	55	46	63	38	71	66	77	60	87	33	44	27	49
100	50	42	57	35	65	60	70	55	75	30	40	25	45
90	45	38	52	31	58	54	63	49	67	27	36	22	40
80	40	34	46	28	52	48	56	44	60	24	32	20	36
70	35	30	40	24	45	42	49	38	52	21	28	17	32
60	30	25	34	21	39	36	42	33	45	18	24	15	27
50	25	21	29	17	32	30	35	27	37	15	20	12	22
40	20	17	23	14	26	24	28	22	30	12	16	10	18
30	15	13	17	11	19	18	21	16	22	9	12	7	13
20	10	8	11	7	13	12	14	11	15	6	8	5	9
10	5	4	6	3	6	6	7	5	7	3	4	2	4

Итак, чтобы вычислить $\bar{H}_{ЭП}$, необходимо по топокарте в пределах ЭП определить H_{\min} , подсчитать количество горизонталей — n и по табл. 2, в соответствии с величиной $|hn|$, определить $\Delta H_{ЭП}$, учитывая форму самой ЭП и ее профиль.

Преобладающую абсолютную высоту бассейна реки в целом находим по формуле

$$\bar{H}_B = \frac{\bar{H}_{B1} S_{B1} + \bar{H}_{B2} S_{B2}}{S_B}, \quad (5)$$

в которой

$$\bar{H}_{B1} = \frac{\Sigma \bar{H}_{ЭП-1}}{m_1}; \quad \bar{H}_{B2} = \frac{\Sigma \bar{H}_{ЭП-2}}{m_2},$$

где H_{B1} , H_{B2} — средние высоты правого и левого склонов; S_{B1} , S_{B2} — их площади; m_1 , m_2 — количество ЭП правого и левого склона бассейна, площади которых в приближении вычисляем по формулам:

$$\bar{S}_{ЭП-1} = \frac{S_{B1}}{m_1}; \quad \bar{S}_{ЭП-2} = \frac{S_{B2}}{m_2}. \quad (6)$$

По величине $\bar{S}_{ЭП}$ выбираем необходимую палетку — тангенс-экспозициометр.

Относительную высоту ЭП $|h_{\text{ЭП}}|$ определяем из выражения

$$h_{\text{ЭП}} = hn. \quad (7)$$

Преобладающая относительная высота бассейна реки

$$\bar{h}_B = \frac{\bar{h}_{B1} S_{B1} + \bar{h}_{B2} S_{B2}}{S_B}, \quad (8)$$

где $\bar{h}_{B1} = \frac{\Sigma h_{\text{ЭП}-1}}{m_1}$, $\bar{h}_{B2} = \frac{\Sigma h_{\text{ЭП}-2}}{m_2}$ — средние относительные высоты левого и правого склонов бассейна реки.

Средние уклоны $|\bar{v}_{\text{ЭП}}|$ или углы наклона $|\bar{v}_{\text{ЭП}}^0|$ ЭП являются функцией не только относительной высоты ЭП, ее длины и площади, но и формы ее профиля и геометрического очертания. Указанную зависимость запишем в виде:

$$\bar{v}_{\text{ЭП}} = F|h_{\text{ЭП}}, S_{\text{ЭП}}, d_{\text{ЭП}}, k_v|, \quad (9)$$

где $h_{\text{ЭП}}$ — относительная высота в ЭП; $S_{\text{ЭП}}$ — площадь ЭП; $d_{\text{ЭП}}$ — длина склона ЭП; k_v — угловой коэффициент формы профиля склона и геометрического очертания ЭП.

Для выявления этой зависимости произведены определения уклонов большого количества ЭП различных по форме профиля и геометрического очертания, используя формулу С. Финстервальдера

$$\bar{v}_{\text{ЭП}} = \frac{h\Sigma [0,5(l_1 + l_n) + l_2 + \dots + l_{n-1}]}{S_{\text{ЭП}}}. \quad (10)$$

Затем воспользуемся зависимостью (9) и, принимая $S_{\text{ЭП}}$ и $h_{\text{ЭП}}$ постоянными, получим эмпирическую формулу связи между средним уклоном $\bar{v}_{\text{ЭП}}$ или средним углом наклона $\bar{v}_{\text{ЭП}}^0$ и относительной высотой ЭП $h_{\text{ЭП}}$ в виде:

$$\bar{v}_{\text{ЭП}} = k_v \cdot h_{\text{ЭП}} \quad (11) \quad \text{или} \quad \bar{v}_{\text{ЭП}}^0 = k_v^0 \cdot h_{\text{ЭП}}, \quad (12)$$

где k_v выражен в ‰, k_v^0 — в долях градуса на единицу длины склона.

Вычисленные коэффициенты связи k_v и k_v^0 для ЭП с $S_{\text{ЭП}} = 1 \text{ км}^2$ и $d = 1 \text{ км}$, приводятся в табл. 3. Объем вычислительных операций при определении $\bar{v}_{\text{ЭП}}$ или $\bar{v}_{\text{ЭП}}^0$ сокращается, если будем пользоваться тангенс-экспозициометром и составленной к нему табл. 4.

Преобладающий уклон бассейна реки находим из выражения

$$\bar{v}_B = \frac{\bar{v}_{B1} S_{B1} + \bar{v}_{B2} S_{B2}}{S_B}, \quad (13)$$

где $\bar{v}_{Б1} = \frac{\Sigma v_{ЭП-1}}{m_1}$; $\bar{v}_{Б2} = \frac{\Sigma v_{ЭП-2}}{m_2}$ — являются средними укло-

нами левого и правого склонов бассейна водотока.

Таблица 3

Коэффициенты k_v^0 и k_v
(площадь ЭП — 1 км²; длина — 1 км)

Плановое очертание ЭП	Профиль ЭП					
	прямой		вогнутый		выпуклый	
	k_v	k_v^0	k_v	k_v^0	k_v	k_v^0
Квадратное	0,001	0,057	0,001	0,057	0,001	0,057
Трапецидальное	0,001	0,057	0,00075	0,044	0,00125	0,068
Треугольное	0,001	0,057	0,0005	0,033	0,0015	0,082

Таблица 4

Углы наклона к тангенс-экспозициометру

hп	Профиль ЭП						
	прямой			выпуклый		вогнутый	
	квадратного очертания	трапециевидного очертания	треугольного очертания	трапециевидного очертания	треугольного очертания	трапециевидного очертания	треугольного очертания
150		8,5		10,2	12,3	6,6	4,9
140		8,0		9,5	11,5	6,3	4,6
125		7,1		8,5	10,2	5,6	4,1
115		6,6		7,8	9,4	5,2	3,8
105		6,0		7,1	8,6	4,7	3,5
95		5,4		6,5	7,8	4,3	3,1
85		4,8		5,8	7,0	3,8	2,8
75		4,3		5,1	6,1	3,3	2,5
70		4,0		4,8	5,7	3,1	2,3
65		3,7		4,4	5,3	2,9	2,1
55		3,1		3,7	4,5	2,5	1,8
45		2,6		3,1	3,7	2,0	1,5
35		2,0		2,4	2,9	1,6	1,1
25		1,4		1,7	2,1	1,1	0,8
15		0,8		1,0	1,2	0,6	0,5
5		0,3		0,3	0,4	0,2	0,2

Солярные экспозиции ЭП $|E_{ЭП}|$ определяем с помощью тангенс-экспозициометра (рис. 2). Для этого необходимо совместить направление ската ЭП с отверстием 2 и по азимутальному кругу 1 взять отчет, равный $E_{ЭП}$ [6].

Азимуты экспозиций можно также определять и по направлению водоразделов, изменяя их на 90°.

Преобладающие экспозиции бассейнов вычисляем по формуле

$$\bar{E}_B = \frac{\bar{E}_{B1} S_{B1} + \bar{E}_{B2} S_{B2}}{S_B}, \quad (14)$$

где $\bar{E}_{B1} = \frac{\Sigma E_{ЭП-1}}{m_1}$ и $\bar{E}_{B2} = \frac{\Sigma E_{ЭП-2}}{m_2}$ являются средними экспозициями левого и правого склонов бассейна водотока.

Определение морфометрических характеристик рельефа речных бассейнов по топографическим картам и их картирование с использованием предлагаемого тангенс-экспозициометра проводится в следующем порядке:

1. На топокарте или синей копии четко (цветными карандашами) вычерчивают все тальвеги (где нет водотоков) и водораздельные линии.

2. Накладывая тангенс-экспозициометр необходимой площади $\bar{S}_{ЭП}$, определяемой по формуле (6), подсчитывают количество горизонталей — n (в соответствующей форме геометрической фигуры) и H_{min} , вписывая их значения через отверстие 2 используемой палетки. Точное совпадение границ ЭП с геометрическим очертанием фигур палетки необязательно, допускаются отклонения и перекрытия при повторном наложении в пределах 25%. Также определяют экспозицию по азимутальному кругу — $E_{ЭП}$.

3. Пользуясь табл. 2, устанавливают величину $\Delta H_{ЭП}$. По формуле (3) вычисляют среднюю абсолютную высоту ЭП — $\bar{H}_{ЭП}$.

4. По табл. 4 определяют величину угла $\bar{\alpha}_{ЭП}^0$.

5. По формулам (5), (8), (13), (14) находят преобладающие высоты, углы наклона, экспозиции. Все величины вписывают на карте.

6. В соответствии с назначением составляемой морфометрической карты и распределением полученных количественных характеристик, устанавливают соответствующую шкалу высот, углов наклона и экспозиций.

7. Непосредственно на карте (или на кальке, наложенной на топокарту) вычерчивают в пределах речного бассейна границы участков с одинаковыми показателями по принятой шкале. Дальше выполняют графическое оформление всех карт.

Определяемые морфометрические характеристики рельефа послужили основными показателями для анализа влияния рельефа на факторы, определяющие динамику русел рек.

Применение описанной методики намного сокращает объем картометрических работ по отношению к известным способам, а производительность работ намного повышается. При этом, как показали опытные работы, получаемые результаты не уступают по точности определениям, выполняемым другими упрощенными способами.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бабаев Р. А. Исследование формул среднего угла наклона на земной поверхности. — «Уч. записки Азерб. Госуниверситета. Сер. геол.-геогр.», 1972, № 6.
2. Бочаров М. К., Николаев С. А. Математико-статистические методы в картографии. М., 1957.
3. Бочаров М. К. Методы математической статистики в географии. М., 1971.
4. Бусалаев И. В. Математико-статистические методы обработки картографических материалов. — «Проблемы гидроэнергетики и водного хозяйства», 1966, вып. 4.
5. Волков Н. М. Принципы и методы картометрии. М., 1950.
6. Кудлик Я. О. Морфометрична характеристика рельєфу в районі селища Жовтень. — «Вісник ЛДУ. Сер. географічна», 1962, № 1.
7. Кудлик Я. О. Досвід складання карти кутів нахилу поверхні на прикладі території географічного стаціонару. — В кн.: XXXIX наукова конференція Львівського університету. Геол. і геогр. Тези доповідей. Львів, 1965.
8. Николаевская Е. М. Морфометрические карты рельефа. Методические указания по проектированию и составлению комплексных научно-справочных атласов. М., 1966.
9. Чернин В. М. О методике составления мелкомасштабных морфометрических карт. — «Геодезия, картография и аэрофотосъемка», 1966, № 4.

Работа поступила в редколлегию 21 апреля 1976 года. Рекомендована кафедрой геоморфологии Львовского государственного университета.