



## МОРФОЛОГИЯ И ДИНАМИКА ФОРМ РУСЛОВОГО РЕЛЬЕФА НА УСТЬЕВОМ УЧАСТКЕ Р. ТЕРЕКА

Сложная история развития рельефа дельты Каргалинского прорыва (см. гл. 5) определяет сложность морфологии русла. Изучение функций спектральной плотности рядов глубины и ширины русла, дирекционных углов его направления и анализ выявленных на качественной основе (по топографическим картам и аэрофотоснимкам) русловых форм позволили выделить у них пять структурных уровней. К структурному уровню мегаформ относятся пойменные и дельтовые разветвления и сложные изгибы русла; к структурному уровню макроформ — большие и средние излучины или русловые разветвления; к структурному уровню мезоформ — малые излучины и разветвления, побочни и осередки, крупные песчаные волны; к структурному уровню микроформ — песчаные гряды меньшего размера (шалыги, заструги, дюны); к структурному уровню ультрамикроформ — рифели, рябь.

### 7.1. МЕГАФОРМЫ

Пойменные разветвления Каргалинского прорыва имеют характерные размеры (длину основного рукава) 20—40 км и занимают массив поймы шириной 3—7 км. Они сформировались в течение первого периода развития наложенной дельты Каргалинского прорыва. Эти разветвления представляют собой два крупных рукава, проходящие по периферии пойменного массива. Массив расчленен более мелкими пойменными протоками, соединяющими основные рукава. Пойменные разветвления имеют гетерогенное строение. Нижняя зона этих разветвлений целиком сформировалась в пределах озерного Бакильско-Аликазганского участка. Основные рукава — правый, под названием Новый Терек, и левый, в верхнем течении Бакильский банк, в нижнем Линёвый банк, — состоят из отдельных отрезков русел, образовавшихся в проточных зонах плавней в результате аккумуляции наносов по периферии речной струи. Средняя зона, Гудийско-Шавинская, сформировалась целиком в пределах руслового участка на Кутан-Аульской, Крым-Султанской и Шавинской гривах. При этом Гудийский банк (левый рукав) сформировался при врезании потока в гривы, а Шавинский банк (правый рукав), видимо, в результате прорыва вод р. Терека по пойме во время мощного паводка. Верхняя зона, Немецко-Городское разветвление, наиболее разнородна по происхождению отдельных рукавов. Она сформировалась на месте Качалай-Кутанаульского озерного участка, сильно расчлененного гривами. В результате и правый рукав — Немецкий банк (теперь

р. Терек), и левый рукав — Городской банк состоят из участков русел, врезанных в гривы, и участков русел, сформировавшихся в результате аккумуляции наносов в озерах.

Дельтовые разветвления сформировались в причлененной дельте Аликазгана в течение 1940—1976 гг. Выделяются два дельтовых разветвления — Главного банка и Северного банка.

Разветвление Главного банка образовалось в средней части Аграханского залива, когда Терек впадал практически перпендикулярно к оси залива. Малое влияние сносящего транзитного течения и ограничивающих бортов залива на формирование разветвления обусловило его практически изометрическую форму: в 1954 г. длина разветвления составляла 7 км, ширина — 8 км. К основным рукавам относились Кубякинский (левый), Главный и Батмаклинский (правый) банки.

В северной части Аграханского залива в 60-х годах Северный банк разветвился на две части. Разветвление ограничено бортами залива, имеет длину 9 км и ширину 4 км. Основные рукава (Северный и Средний банки) тяготеют соответственно к правому и левому бортам залива.

Динамика крупных разветвлений — мегаформ руслового рельефа (и пойменных и дельтовых) состоит в преимущественном развитии одного из рукавов. В начальный период развития после формирования разветвлений основные рукава имели приблизительно одинаковую пропускную способность из-за схожести морфометрических характеристик. Однако система из двух и более рукавов в условиях значительного стока наносов оказывается менее устойчивой, чем однорукавное русло. Один из рукавов в разветвлении активизируется, а другой отмирает. Поэтому в Немецко-Городском разветвлении, которое оформилось к 1929 г., Городской банк полностью отмер к 1953 г. В Бакильско-Аликазганском разветвлении, оформившемся в 30-х годах, к 1954 г. отмер Бакильский банк. В разветвлении Главного банка, сформировавшегося в 1940—1950 гг., к 1967 г. в стадии отмирания находились Кубякинский и Батмаклинский банки.

Время полного отмирания конкурирующих рукавов в русле Каргалинского прорыва составляет около 20 лет.

Сложные изгибы русла Каргалинского прорыва имеют длину 5—10 км. Они связаны с движением терских вод по гривам и понижениям дельтовой равнины в низовьях реки. В озерных котловинах формировался обычно общий изгиб русла с вершиной, обращенной на юг, при пересечении потоком гривы — на север. Предопределенность формы сложных изгибов русла Каргалинского прорыва первичным рельефом зоны разливов и малое влияние этой формы на гидравлику потока из-за пологости изгибов обусловили стабильность сложных изгибов как единых морфологических образований. Русловые деформации в их пределах определялись динамикой более крупных и более мелких форм русла.

Таким образом, размеры и расположение мегаформ русла Каргалинского прорыва обусловлены в основном первичным рельефом дельтовой равнины Терека. Их развитие сопровождается затуханием русловых перестроений в случае разветвлений либо

полным отсутствием деформаций русла, как это характерно для сложных изгибов. В настоящее время мегаформы русла Каргалинского прорыва заметно не влияют на русловые переформирования.

## 72 МАКРОФОРМЫ

Большие и средние излучины (или разветвления) на большинстве участков русла определяют основные черты его морфологии. Большие (с длиной по руслу более 2000 м) и средние (с длиной по руслу менее 2000 м) излучины (разветвления) не образуют иерархически построенного комплекса, т. е. средние излучины не являются составной частью больших, а чередуются с ними по длине русла (табл. 23). При этом имеется тенденция к группированию больших и средних излучин в длинные серии из близких по размерам форм.

Морфология и расположение макроформ русла Каргалинского прорыва определяются как гидравлическими, так и литолого-геоморфологическими факторами. Средняя длина (2520 м) и многомодальность кривой распределения излучин по их длине, полученные для участка реки ниже вершины активной дельты, оказались близкими к соответствующим характеристикам на участке Терека ниже впадения Сунжи. Это связано с тем, что в период образования макроформ Каргалинского прорыва сток воды в низовьях не столь интенсивно разбирался на орошение и руслоформирующие расходы воды на участках русла выше и ниже головы Каргалинского прорыва были примерно одинаковы. Следовательно, можно предположить, что средние размеры макроформ и бимодальность кривой распределения этих форм по длине определены гидролого-гидравлическими факторами.

Необходимо заметить, что диапазон изменения размеров макроформ русла Каргалинского прорыва больше ( $C_v=0,39$ ), чем на участке устье Сунжи—Каргалинский гидроузел ( $C_v=0,35$ ). Форма излучин здесь чаще всего неправильная, с резкими изгибами русла, лишь в редких случаях она соответствует «классической» форме речных меандров. Широкий диапазон размеров макроформ и их угловатая форма связаны с сильным воздействием на макроформы первичного рельефа и литологии дельтовой равнины, а также со сравнительной «молодостью» этих форм русла. Средние размеры (длина по руслу) макроформ, развитых в пределах грив, составляют  $S=2430$  м,  $C_v=0,42$ ; в пределах котловин  $S=2580$  м,  $C_v=0,37$ . Кривые распределения длин макроформ, развитых на гривах или в котловинах, совпадают друг с другом с вероятностью 99%. Столь же велика вероятность совпадения кривых распределения коэффициентов формы  $S/\lambda$  для этих двух групп макроформ (близки их средние величины:  $S/\lambda=1,22$ ;  $C_v=0,13$  для макроформ на гривах;  $S/\lambda=1,23$ ,  $C_v=0,17$  для макроформ в котловинах). Различие макроформ на гривах и в котловинах проявляется только при совместном рассмотрении размеров и формы излучин: с достоверностью >90% большие пологие излучины чаще формировались на гривах, а большие крутые излучины—в котловинах. На морфологии средних излучин литолого-геоморфологические факторы не сказываются (табл. 24).

Таблица 23  
Морфология и динамика макроформ русла Каргалинского прорыва

№ п/п	Расстояние от Каргалинского гидроузла до начала формы, км	Тип формы	Длина формы по руслу S, м	Шаг излучины λ, м	Коэффициент формы излучины S/λ	Ширина русла B, м	Геолого-геоморфологические условия	Характер развития участка реки		
								Динамика макроформ	Поперечное смещение, м/год	Продольное смещение, м/год
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	0,0	СИ	2080	1780	1,17	140	Г	УФ+ПС	2,0	3,2
2	2,1	СИ	1290	1220	1,06	130	Г	УФ+ПС	3,8	3,0
3	3,4	СИ	2220	2130	1,04	123	Г	УФ+ПС	4,6	3,0
4	5,6	СИ	2200	2140	1,03	132	К	УФ+ПС	3,0	4,0
5	7,8	СР	3000	2800	1,07	137	К	УС+ПС	1,0	3,5
6	10,8	ПИ	1100	920	1,20	80	Г	С	1,0	3,0
7	11,9	ПИ	700	420	1,67	88	Г	ПС	0,7	5,0
8	12,2	СИ	1600	1150	1,39	79	Г	УФ+Р	1,0	3,6
9	13,4	СИ	1600	1410	1,13	86	К	УФ+ПС	3,0	5,2
10	15,0	ПИ	1300	1150	1,13	86	К	ППС+С	2,0	3,0
11	16,0	СИ	2600	1600	1,63	105	К	УФ+ППС+С	1,5	2,0
12	17,4	П	3600	3600	1,00	112	К	РР	3,0	—
13	21,0	РИР	3800	3300	1,15	150	Г	РСМИ	—	—
14	24,8	СИ	2830	2080	1,36	145	К	УФ+ПС	—	1,2

15	27,6	3170	1680	1,89	122	К	УФ+С	—	1,4
16	30,8	4580	3500	1,31	148	К	РСМИ	—	—
17	35,4	3700	3500	1,06	125	Г	УФ+Р	4,0	—
18	39,1	3000	2580	1,16	101	Г	РСМИ	—	—
19	42,1	4300	3510	1,23	110	Г	УФ+РСПИ	—	—
20	46,4	4000	3400	1,18	91	К	УФ+РСПИ	—	—
21	50,4	2900	2150	1,35	178	Г	УФ+Р	—	3,2
22	53,3	2700	2200	1,23	80	Г	УФ+РСПИ	—	—
23	56,0	2900	1530	1,15	76	К	УФ+Р	2,3	7,1
24	58,9	1400	1000	1,40	102	К	ППС	13,5	5,3
25	60,3	2400	2030	1,18	141	Г	Р	—	3,1
26	62,7	3300	3000	1,10	79	К	УФ+РСМИ+ОР	—	—
27	66,0	2900	2570	1,13	66	К	УФ+РСМИ+ОР	—	—
28	69,1	1400	1230	1,14	83	К	УФ+Р	—	—
29	70,5	1300	1200	1,08	74	К	УФ+РСМИ	3,0	4,7
30	71,8	2200	1620	1,36	62	К	УФ+РСМИ+ОР	—	—
31	74,0	1800	1450	1,24	83	К	РСМИ	—	—
32	75,8	2200	1700	1,24	64	Г	РСМИ	—	—
33	78,0	1500	1420	1,06	71	К	РСМИ	—	—
34	79,5	4000	3200	1,25	73	К	РСМИ	—	—
35	83,5	2700	2350	1,15	77	К	РСМИ	—	—

Примечание. СИ—сложная, ПИ—простая излучины, ПР—простое, СР—сложное разветвление, РИР—разветвленно-извилистое русло, П—прямолинейный участок, УФ—уплощение формы, УСФ—усложнение формы излучин, РСМИ—развитие серии малых излучин, РСПИ—развитие серии простых излучин, ПС—продольное смещение, ППС—поперечное смещение, С—сжатие, Р—растяжение, РР—расширение русла, ОР—отмирание рукава, Г—гряда, К—котловина.

Таблица 24

Повторяемость (%) макроформ различных размеров и их выраженности на гривах и в котловинах

Размер	Характер первичного рельефа дельты	$1,0 < S/\lambda \leq 1,3$			$1,3 < S/\lambda \leq 1,75$		
		Пологие излуцины			Крутые излуцины		
Средний ( $0,9 < S \leq 2,0$ км)	Грива	2,6	14,3	38,5	2,6	14,3	38,5
	Котловина	3,2	28,6	48,8	0,2	4,8	20,7
Большой ( $2,0 < S \leq 5,2$ км)	Грива	39,0	64,3	84,7	0,4	7,1	29,7
	Котловина	24,5	42,8	62,8	9,9	23,4	43,7

По динамическим характеристикам макроформы русла Каргалинского прорыва разделяются на две основные группы: 1) развивающиеся как единая русловая форма; 2) развивающиеся пассивно в результате изменения серии малых излуцин. Вероятность того, что макроформа русла может быть выделена только по морфологическим признакам, а динамически распадается на малые формы, возрастает с увеличением расстояния от головы Каргалинского прорыва, т. е. с общим уменьшением руслоформирующего расхода воды (табл. 25).

Таблица 25

Повторяемость макроформ  $p$  (%) по длине русла Каргалинского прорыва, не являющихся единым целым по характеру русловых переформирований

Участки, км	0—10,8	10,8— —21,0	21,0— —30,8	30,8— —39,1	39,1— —50,4	50,4— —60,3	60,3— —70,5	70,5— —83,5
Общее число макроформ	5	7	3	3	3	4	4	7
$p$	0,0	0,0	33,3	66,6	33,3	25,0	75,0	100

Макроизлуцины, развивающиеся как единое целое, переформируются по следующим основным схемам: 1) излуцины испытывают в основном продольное смещение—верхнее и нижнее крылья макроизлуцин смещаются вниз по долине с примерно одинаковыми скоростями; скорость поперечного смещения излуцин меньше, чем их крыльев. По этому типу развиваются 6 из 19 активных макроформ; 2) излуцины испытывают поперечное смещение. В этом случае изменяется форма макроизлуцин—из сундучных они переформируются в сегментные. Поперечно смещаются три макроформы; 3) при растяжении макроизлуцин скорость продольного смещения нижнего крыла больше, чем верхнего (или верхнее крыло разворачивается вверх по долине), извилистость русла при этом уменьшается. По данной схеме развиваются шесть макроформ; 4) сжатие макроизлуцины: скорость продольного смещения верхнего крыла макроформы больше, чем нижнего (или нижнее крыло разворачивается вверх по

долине). Таким образом развиваются четыре макроформы. При растяжении и сжатии возможен активный размыв вершины макроформы. Чаще всего макроформы русла Каргалинского прорыва (63%) смещаются вниз по долине и растягиваются. Преимущественное продольное смещение макроформ объясняется их пологостью. В большинстве случаев (68%) развитие макроформ сопровождается упрощением их формы. Наиболее отчетливо это проявляется при поперечном смещении сундучной большой излучины, состоящей из трех простых изгибов русла. На среднем простом изгибе, расположенном в вершине макроизлучины, вогнутый берег не размывается, а заполняется аккумулятивными формами. Выпуклый берег при этом размывается, приобретает вогнутую форму. Сложная сундучная излучина трансформируется в простую сегментную. На многих больших излучинах этот процесс в настоящее время не закончился; сундучная макроформа сохранилась, но тенденция к упрощению формы прослеживается отчетливо.

На многих больших и средних излучинах имеются резкие повороты русла, связанные в основном с обтеканием и пересечением потоком трудноразмываемых пород. В таких случаях упрощение формы излучин сводится к заполнению наносами изгиба у одного берега и смещению потока к противоположному.

Очертания макроформ-разветвлений упрощаются аналогично переформированиям мегаформ. Один из конкурирующих рукавов отмирает, во втором увеличивается ширина русла и упрощается его форма.

Макроформы, развивающиеся пассивно, в процессе русловых переформирований усложняются вследствие увеличения выраженности образующих их малых излучин русла.

### 7.3. МЕЗОФОРМЫ

К структурному уровню мезоформ в русле Каргалинского прорыва относятся малые излучины (разветвления), малые острова, побочни и осередки, песчаные волны. Побочни, осередки и песчаные волны представляют собой внутрирусловые формы, влияющие на форму меженного потока.

Отличительные черты малых излучин (разветвлений) русла Каргалинского прорыва связаны с их происхождением. Они представляют собой не свободные, сформированные рекой из собственного аллювия, а врезанные формы. Врезание происходило либо в отложении повышенных грив, либо в озерно-плавневые отложения. При этом в плановой форме русла закреплялись не только крупные изгибы и разветвления русла (макроформы), но и мелкие изгибы динамической оси потока, которые в иных условиях привели бы к формированию побочней или осередков.

Поэтому морфология малых излучин зависит как от гидравлических характеристик потока, так и от литологии коренных пород. В соответствии с уменьшением руслоформирующего расхода воды вниз по течению реки уменьшается размер малых излучин. До 45-го километра от гидроузла их средняя длина по руслу составляет 690 м (среднеквадратическое отклонение  $\sigma = 250$  м), ниже 45-го километра —

400 м ( $\sigma=180$  м). Кривая распределения длин малых излучин бимодальна, вторая мода связана с более крупными излучинами, развитыми в верхней зоне Каргалинского прорыва.

Излучины, сформировавшиеся в котловинах, существенно длиннее, чем излучины, приуроченные к участкам расположения грив (табл. 26).

Таблица 26

Длина малых излучин вдоль русла Каргалинского прорыва

Характер первичного рельефа дельты	Участок реки				В среднем по длине Каргалинского прорыва	
	0—45 км		45—90 км			
	S, м	$\sigma$ , м	S, м	$\sigma$ , м	S, м	$\sigma$ , м
Грива	510	275	320	115	460	275
Котловина	785	245	440	230	505	270

Литологические условия отражаются на соотношении размеров малых и больших излучин, в пределах которых эти малые излучины формируются. Длина малых излучин, сформировавшихся на гривах, не зависит от длины больших. Длина малых излучин ( $S_{ми}$ ) в пределах древних озерных котловин на участке русла 0—50 км возрастает с увеличением длины больших излучин ( $S_{би}$ ) в соответствии с зависимостью  $S_{ми} = 0,31 S_{би}$ .

Форма малых излучин более правильная, чем больших. Они в основном пологие: в 63% случаев коэффициент формы  $S/\lambda < 1,30$ . Среднее значение  $S/\lambda = 1,10$  при  $\sigma = 0,12$ . Возникновение крутых поворотов русла связано не с эволюционным переходом от плавного к крутому изгибу русла, а с условиями заложения очертаний русла в озерно-плавневых отложениях Каргалинского прорыва.

Динамика малых излучин обусловлена гидравлическими характеристиками потока, зависит от литологии берегов и дна, а также от стадии развития излучины. Скорость размыва берега на излучине  $\partial B/\partial t$  в предположении, что дно излучины динамически устойчиво, записывается в виде:

$$H_6 \frac{\partial B}{\partial t} = \frac{\partial q_{\text{прод}}}{\partial l} - q_{\text{поп}} \quad (7.1)$$

Здесь  $H_6$  — высота размываемого берега от отметок дна в плёсах до бровки поймы;  $q_{\text{прод}}$  и  $q_{\text{поп}}$  — продольный и поперечный удельный объемный расход наносов;  $l$  — расстояние вдоль русла по оси излучины.

В вершине излучины можно считать, что  $\partial q_{\text{прод}}/\partial l \rightarrow 0$ . Поперечный расход наносов зависит от продольного расхода:

$$q_{\text{поп}} = \epsilon C_{\text{поп}} q_{\text{прод}} \quad (7.2)$$



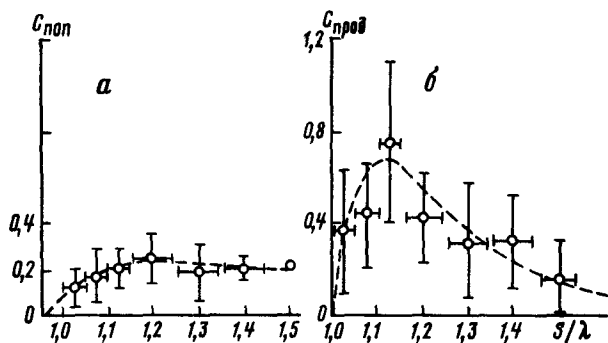


Рис. 21. Зависимость коэффициентов поперечного (а) и продольного (б) смещения излучин от коэффициента формы излучины  $S/\lambda$

Здесь  $\varepsilon$  — коэффициент устойчивости берега размываемому воздействию потока;  $c_{\text{поп}}$  — коэффициент, зависящий от формы излучины. Тогда скорость поперечного смещения излучин  $V_{\text{поп}}$  (м/год) выражается зависимостью

$$V_{\text{поп}} = \frac{\varepsilon c_{\text{поп}}}{H_6} q_{\text{прод}} \quad (7.3)$$

Коэффициент  $\varepsilon$  зависит от литологии грунтов, слагающих берега реки. В первом приближении для низовьев Терека  $\varepsilon=0,4$  для участков расположения грив и  $\varepsilon=0,5$  для участков озерных котловин (при коэффициенте вариации  $0,6-0,7$ ). Коэффициент  $c_{\text{поп}}$  быстро возрастает с увеличением крутизны у пологих излучин, а при  $S/\lambda > 1,1$  принимает значение  $0,2$  (рис. 21, а).

На участках смены знака кривизны излучины  $q_{\text{поп}} \rightarrow 0$ . Изменение расхода наносов по длине излучины в этом случае определяется величиной расхода наносов и формой излучины, и скорость продольного смещения излучины  $V_{\text{прод}}$  (м/год) может быть рассчитана по уравнению

$$V_{\text{прод}} = \varepsilon c_{\text{прод}} \frac{q_{\text{прод}}}{H_6} \quad (7.4)$$

Здесь  $\varepsilon$  принимает те же значения, что и при расчете  $V_{\text{поп}}$ . Коэффициент  $c_{\text{прод}}$  при продольном смещении излучин возрастает с увеличением крутизны (для пологих излучин при  $S/\lambda = 1,1 \div 1,15$  он достигает максимума,  $c_{\text{прод}}=0,7$ ). При росте  $S/\lambda$  он уменьшается (см. рис. 21, б).

Сочетание берегов различной степени устойчивости к размыву и излучин с характерными значениями  $\varepsilon$  обуславливает значительную пространственную изменчивость величины продольных и поперечных скоростей смещения излучин. Средняя скорость поперечного смещения излучин составляет  $1,3$  м/год,  $C_v=0,57$ , средняя скорость продольного смещения —  $3,9$  м/год,  $C_v=0,56$ . Примерно 63% всех малых излучин смещаются только в продольном, 13% — в попереч-

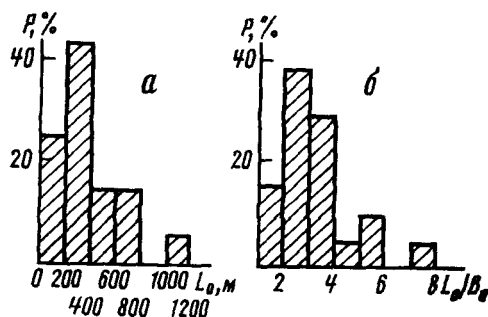


Рис 22 Гистограммы распределения  
*a* — длин островов  $L_0$  в русле Каргалинского прорыва; *б* — отношений длин островов  $L_0$  к их ширине  $B_0$ .

ном направлении, 24% испытывают продольно-поперечное смещение (или стабильны).

В морфологии и динамике малых излучин прослеживается следующая тенденция. Обычно серия излучин начинается с одной-двух более крутых излучин ( $S/\lambda > 1,2$ ), которые испытывают продольно-поперечное смещение. Ниже следует группа пологих и выполаживающихся вниз по реке изгибов русла, которые смещаются продольно. Скорость продольного смещения минимальна у верхней пологой излучины и увеличивается вниз по течению реки. В результате вся серия излучин растягивается. В отдельных случаях смещается только одно крыло пологих излучин, что вызывает чередование растягивающихся и сжимающихся излучин.

Малые острова, так же как и малые излучины, относятся к категории врезанных русловых форм. Они сложены озерно-плавневыми отложениями вследствие дробления потока в начальный период развития Каргалинского прорыва. В озерно-плавневых котловинах сформировалось до 62% островов. Поскольку котловины (на участке 0—52 км) занимали 60% длины русла Каргалинского прорыва, то нет оснований предполагать литологический контроль формирования островов. Средняя длина островов  $L_0 = 380$  м ( $C_b = 0,65$ ); гистограмма длин островов асимметрична (рис. 22, *a*). Форма островов в среднем соответствует условию минимума сопротивления при обтекании: отношение длины острова к его ширине  $L_0/B_0$  составляет в среднем 3,35 (см. рис. 22, *б*).

Малые острова представляют собой исчезающий элемент русловых форм Каргалинского прорыва. Только один остров наращивается в оголовке; большинство из них размывается со скоростями до 11,5 м/год (средняя скорость размыва 5,7 м/год). Этот размыв не компенсируется ростом ухвостья острова. Поэтому острова уменьшаются в размерах, а четыре острова полностью размывты.

Побочни и осередки практически отсутствовали в русле в начальный период развития Каргалинского прорыва, когда

русло было узким и глубоким. После сосредоточения стока воды в одном рукаве, его расширения и выравнивания пространственного распределения глубин начался процесс формирования побочной и осередков. Длина побочной в низовьях Терека зависит от ширины русла:  $L_n = 6,3 B$ . Изменчивость ширины русла по его длине влечет за собой изменчивость размеров мезоформ: побочники в узком русле могут иметь размеры, соответствующие размерам песчаных волн в широком русле.

Средняя длина побочной и осередков в русле Каргалинского прорыва составляет 480 м (при  $\sigma = 210$  м). На верхнем участке  $L_n = 620$  м ( $\sigma = 220$  м), а на нижнем участке (45—90 км), где ширина реки уменьшается до 50—150 м,  $L_n = 400$  м ( $\sigma = 160$  м). Песчаные волны хорошо выражены только на верхнем участке, их средние размеры 270 м (при  $\sigma = 110$  м).

Побочники в русле Каргалинского прорыва в большинстве случаев малоподвижны; 42,2% из них стабильны в плане или мигрируют от одного берега к другому в поперечном направлении к оси русла вследствие попеременной активизации право- или левобережной протоки; 49,7% (в основном в нижней части русла) представляют собой побочники у выпуклых берегов малых изгибов русла и смещаются вместе с ними. Только 8,2% всех мезоформ смещаются вниз по руслу со скоростями 3—24 м/год; средняя скорость их смещения 15 м/год ( $\sigma = 5,3$  м/год). С увеличением соотношения  $L_n/B$  скорость смещения мезоформ снижается. Для песчаных волн с  $L_n/B \leq 2,5$  средняя скорость смещения составляет 16,8 м/год ( $\sigma = 4,3$  м/год), для побочной и осередков — 12,2 м/год ( $\sigma = 5,6$  м/год).

#### 7.4. МИКРОФОРМЫ

Крупные донные формы (шалыги и заструги) не имеют широкого распространения в русле Каргалинского прорыва. Они формируются обычно на затопленных побочниках и песчаных волнах, быстро уничтожаются ветром при их обсыхании. Длина шалыг на мелководьях составляет 90 м (при  $\sigma = 26,7$  м), длина заструг — 37 м (при  $\sigma = 14,8$  м). На больших глубинах и при больших скоростях течения размеры этих микроформ увеличиваются.

Наиболее широко распространенный класс микроформ в русле реки — дюны. Они возникают при удельных расходах воды  $vh = 1,0$ , и дальнейшее изменение их длины подчиняется зависимости  $L_d = 10,5\sqrt{vh}$  (рис. 23, а). С увеличением средней длины дюн возрастает величина  $\sigma$ , и поэтому коэффициент вариации остается постоянным при изменении гидравлических характеристик потока:  $C_v = 0,425$ .

Дюны редко имеют треугольную форму с пологим верховым и крутым низовым откосами, что характерно для дюн на других реках. Мелкий песок и значительные скорости течения р. Терека обуславливают постоянное соответствие формы и размеров дюн

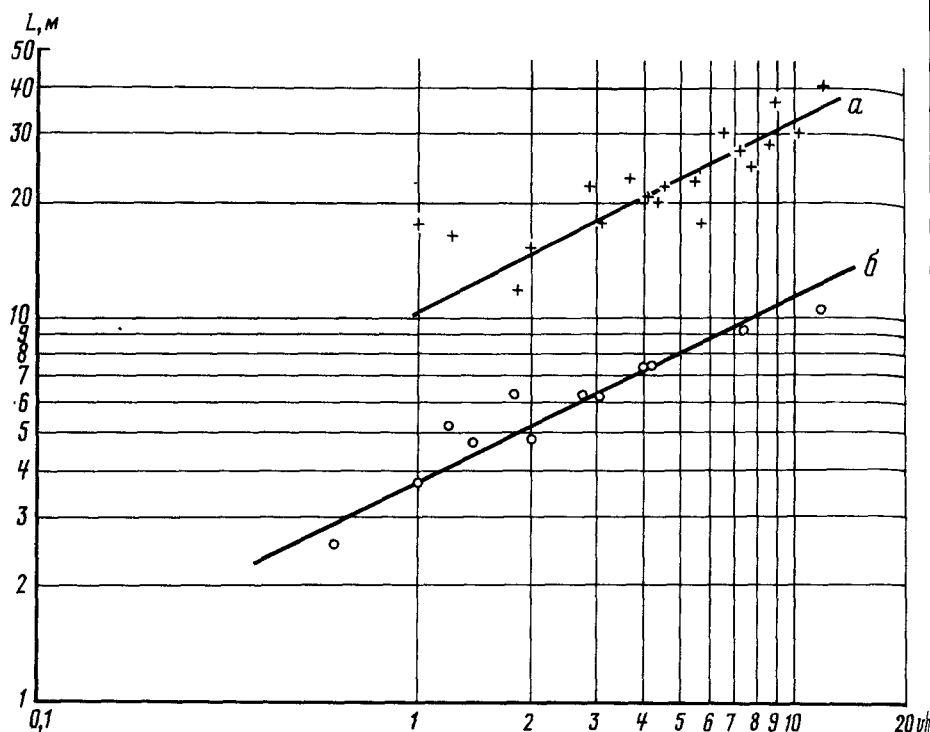


Рис. 23. Зависимости длин дюн (а) и рифелей (б) от удельного расхода воды  $vh$

гидравлическим характеристикам потока. Поэтому форма дюн практически симметрична в продольном разрезе, оба откоса имеют примерно одинаковую крутизну и выпуклую форму. Дюны активно перемещаются со скоростями 4—8 м/ч (табл. 27).

Таблица 27  
Характеристики дюн и рифелей в русле р. Терека  
(пос. Парабоч) в 1982 г.

Дата	Скорость течения $v$ , м/с	Глубина потока $h$ , м	Высота дюн $h_d$ , м	Высота рифелей $h_p$ , м	Тип гряды	Скорость смещения, дюн, м/ч
21.VII	2,0	6,2	1,6		Д	4,2
22.VII	2,6	6,2	2,6		Д	7,7
23.VII	2,6	6,3	3,0		Д	7,5
24.VII	2,7	6,0	2,4		Д	5,8
25.VII	2,3	6,7	2,0		Д	3,4
26.VII	2,6	6,2	2,4		Д	5,2
27.VII	2,9	6,0	2,8	—	Д	5,9
28.VII	2,5	6,7	2,6		Д	6,1
29.VII	2,3	5,7	—	1,6	Д+Р	3,2
30.VII	1,7	6,4	—	1,4	Д+Р	5,9

Таблица 27 (окончание)

Дата	Скорость течения $v$ , м/с	Глубина потока $h$ , м	Высота дюн $h_d$ , м	Высота рифелей $h_p$ , м	Тип гряды	Скорость смещения, дн., м/ч
1.VIII	1,3	4,8	2,0		Д	3,8
2.VIII	2,1	6,2	2,4		Д	4,4
3.VIII	2,2	5,3	2,2		Д	4,3
4.VIII	2,3	5,7	—	0,8	Д+Р	2,5
5.VIII	2,4	5,2	—	0,4	Д+Р	2,1
6.VIII	2,3	6,6	2,4		Д	2,6
7.VIII	2,3	5,9		1,0	Д+Р	1,9
10.VIII	2,4	6,3	2,2		Д	4,1
11.VIII	1,6	4,8		1,2	Д+Р	3,8
12.VIII	2,0	6,2	2,8		Д	1,8
14.VIII	1,6	6,3	3,5		Д	3,3
15.VIII	1,7	6,3	3,2		Д	2,4
18.VIII	2,1	5,9	2,1		Д	2,3
19.VIII	2,0	6,0	2,0		Д	1,8
20.VIII	1,9	6,0	—	0,8	Д+Р	3,5
21.VIII	1,1	3,6	1,4		Д	1,5
23.VIII	1,7	5,7	1,4		Д	2,5
30.VIII	1,4	2,6	1,2		Д	1,0

Примечание. Д—дюны, Р—рифели, Д+Р—рифели на дюнах.

При выполаживании дюн на их поверхности появляются более мелкие русловые формы—рифели. Дюны перестают активно перемещаться, скорость их движения зависит от интенсивности смещения рифелей и уменьшается до 2—3 м/ч при аналогичных гидравлических условиях.

### 7.5. УЛЬТРАМИКРОФОРМЫ

Ультрамикроформы—рифели представляют собой самый массовый вид гряд, формирующихся в русле нижнего Терека. Средняя длина этих гряд зависит от гидравлики потока (см. рис. 23, б):

$$L_p = 3,75 \sqrt{vh}. \quad (7.5)$$

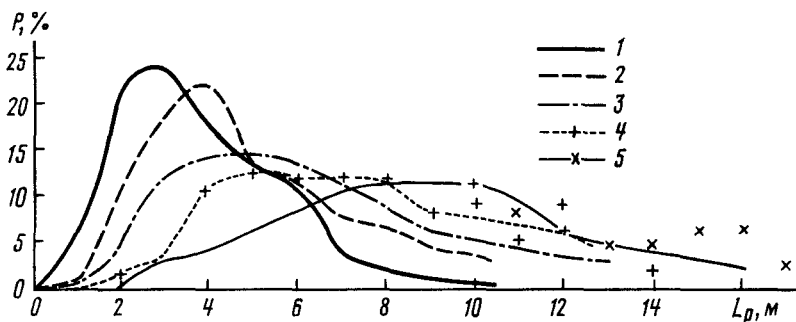


Рис. 24. Кривые распределения длин рифелей в русле Каргалинского прорыва при разных значениях удельного расхода воды  $vh$   
 1—1,0 м<sup>2</sup>/с; 2—2,0; 3—2,8; 4—4,2; 5—8,8 м<sup>2</sup>/с

Вид зависимости (7.5) совпадает по структуре с зависимостью для длин дюн Рифели в среднем примерно в 3 раза короче дюн Изменчивость длины рифелей существенна, поскольку среднеквадратическое отклонение  $\sigma = 0,425 L_p$ .

Распределение длин рифелей хорошо описывается (рис. 24) гамма-распределением:

$$dp = \frac{\beta^\alpha}{\Gamma(\alpha)} L_p^{\alpha-1} \exp(-\beta L_p) dL_p, \quad (7.6)$$

где  $p$  — повторяемость появления рифелей с длиной  $L_p$ . Коэффициенты  $\alpha$  и  $\beta$  связаны со средней длиной рифелей  $\bar{L}_p$  и среднеквадратическим отклонением  $\sigma$  зависимостями  $\bar{L}_p = \alpha/\beta$ ;  $\sigma^2 = \alpha/\beta^2$ ,  $\Gamma(\alpha)$  — гамма-функция. Так как  $\sigma$  зависит от  $\bar{L}_p$ , то  $\alpha = 5,54$ ,  $\Gamma(\alpha) = 55,95$ , а  $\beta = 5,54/\bar{L}_p$ , или  $1,48/\sqrt{vh}$ .

Следует отметить, что в русле р. Терека дюны и рифели формируются при одних и тех же гидравлических условиях (см табл. 27).