

Перемещение донных гряд на Нижне-Шешуровском перекате р. Вычегда

А. Ю. Сидорчук*

Иерархический комплекс донных форм на Нижне-Шешуровском перекате р. Вычегда (ленточная гряда длиной 2500 м) во время межени 18–31 августа 1997 г. был образован рифелями длиной 3–4 м, высотой 0,1–0,2 м со скоростью перемещения 0,7–1,1 м/ч и шалыгами длиной 200–300 м, высотой 1,0–1,2 м, которые смещались со скоростью 0,12–0,3 м/ч. При неизменных гидравлических характеристиках потока общий расход влекомых наносов изменялся во времени от 0,02 до 0,8 м³/ч с периодом 32–42 ч. Расход наносов, которые перемещались в виде рифелей, изменялся с несколько меньшим периодом (30 ч) от 0,02 до 0,3 м³/ч. Основная масса влекомых наносов (50–70%) проходила по поверхности покрытого рифелями дна транзитом. Наносы в основном (80–95%) аккумуляровались в подвалях шалыг, что приводило к пассивному смещению этих крупных гряд вниз по течению.

Введение

Иерархические комплексы гряд на дне речного русла в период межени гораздо менее сложно построены, чем в период высокой воды. Обычно выделяются только два уровня иерархии донных форм — активные рифели (или дюны), которые перемещаются по поверхности гораздо более крупных гряд (шалыг, ленточных гряд), образующих гребни перекатов. Последние в межень находятся в пассивной стадии и перемещаются вниз по течению реки вследствие аккумуляции в подвалях тех наносов, которые поступают с верхового откоса. Это свойство крупных меженных гряд позволяет прогнозировать их динамику на основании данных о морфологии и скоростях смещения мелких активных гряд [1].

Обычно при такого рода исследованиях исходят из предположения, что все влекомые наносы перемещаются в виде активных гряд, отсутствует транзит влекомых наносов на их низовых откосах и в подвалях. Это предположение базируется на данных как экспериментов в лотках, так и натурных наблюдений. Д. Симонс, Е. Ричардсон и К. Нордин [5] проанализировали данные 101 эксперимента в большом лотке с грядовым перемещением наносов и сравнили расходы наносов, вычисленные как по морфологии и динамике, так и по накоплению в отстойнике. При перемещении песка крупностью 0,46–0,93 мм транзит влекомых наносов при грядовом дне не наблюдался, а при движении песка крупностью 0,1–0,28 мм транзит происходил в виде взвешенных наносов. Отмечен транзит влекомых наносов только на стадиях смыва гряд и плоского дна. Автором [3] для меженных условий 1979 г. на р. Нигер был рассчитан расход влекомых наносов (песка крупностью 0,7–0,9 мм) по морфологии и скорости двух классов гряд: активных коротких трехмерных

* Московский государственный университет.

дюн и пассивных длинных двухмерных дюн, по поверхности которых перемещались активные дюны. Расход влекомых наносов оказался одинаковым, что может свидетельствовать об отсутствии транзита влекомых наносов в области активных дюн.

Тем не менее морфология и скорости смещения активных гряд во время низкой межени часто мало отличаются от таковых в высокую воду, когда наблюдается значительный транзит влекомых наносов в подвальях этих донных форм [4]. Результаты исследований динамики иерархического комплекса гряд, проведенные на Нижне-Шешуровском перекате р. Вычегда в августе 1997 г., показывают реальность транзита влекомых наносов и в меженных условиях.

Условия проведения натуральных измерений

Нижне-Шешуровский перекат располагается в 14—17 км от устья реки Вычегда. Он представляет собой ленточную гряду-бар, сформированную в расширении половодного русла Вычегды. Данные повторных промеров для целей судоходства показывают, что эта гряда постоянно располагается на повороте русла Вычегды, по меньшей мере с 1910 г., изменяются только детали ее морфологии. В 1995—1997 гг. ленточная гряда имела общую длину 2,5 км и высоту гребня над плесовыми лощинами 4,0 м. В августе 1997 г. на гребне ленточной гряды выделялись шалыги (большие гряды) длиной 250—300 м и высотой 1,0—1,2 м. Их поверхность была покрыта активными рифелями (рис. 1). Наблюдения за перемещением гряд проводились с 18 по 31 августа 1997 г. На акватории переката закоренными через 30—50 м поплавками был разбит продольный профиль длиной 850 м. Профиль располагался строго вдоль поверхностного течения и характеризовал основные морфологические элементы переката. Дважды в день (в 8—9 и 19—20 ч) строго по линии поплавков проводился промер глубин с помощью эхолотов “ЭИР” и LMS-350A. Промеры осуществлялись при движении на малой скорости против течения. Для анализа перемещения рифелей было выполнено 6 серий специальных учасенных (через 40—60 мин) промеров продолжительностью 8—12 ч.

Непрерывные отметки дна, полученные на эхограммах, оцифровывались с дискретностью 0,2 м по горизонтали и 0,01 м по вертикали. Полученные ряды отметок дна обрабатывались с помощью специальной программы, которая позволяет автоматически выделять гряды всех иерархических уровней на профиле, получать координаты их характерных точек (перегибов профиля), глубины H над вершинами гряд и морфометрические характеристики как отдельных гряд, так и их комплексов: высоту h ; длину L ; длину верхового L_v и низового L_n откосов; объем гряды на метр ширины W ; скорость смещения гряд C_r ; расход наносов (которые перемещаются в виде гряд) на метр ширины $q_s = C_r W/L$.

Половодье 1997 г. на Вычегде было выше среднего (максимальный уровень 732 см, по данным водомерного поста Федяково, наблюдался 17 мая 1996 г.), и еще в течение первой половины июня уровни воды держались на половодных отметках (550—400 см). Во второй половине июня и в июле уровень воды быстро понижался, в конце июля — августе установилась устойчивая низкая межень. С 18 по 31 августа уровень реки изменялся не более чем на 5 см. Наблюдения проводились в стационарных гидрологических условиях: уровень реки 70—75 см (по данным

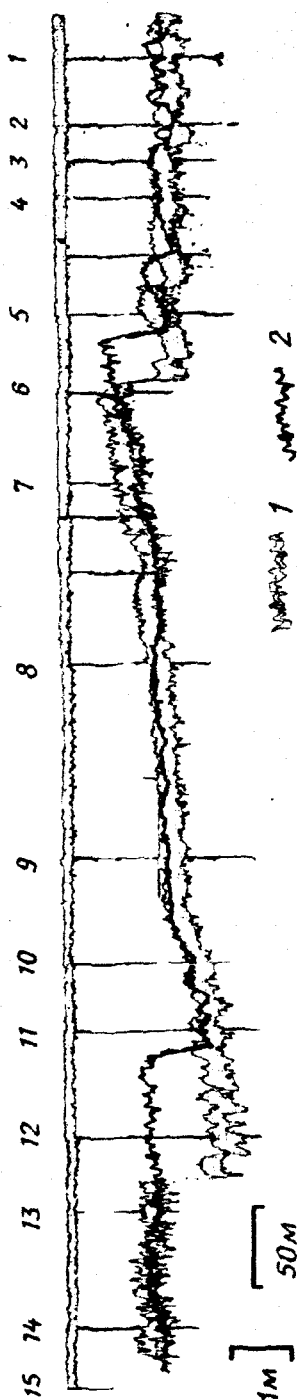


Рис. 1. Морфология и динамика гряд на Нижне-Шешуровском перекате р. Вычегда.

1) Промеры 19 августа 1997 г. в 11 ч; 2) промеры 31 августа 1997 г. в 18 ч.

водомерного поста Федяково), расход воды $400 \text{ м}^3/\text{с}$ и уклон водной поверхности $0,085\%$. Скорость течения вдоль продольного профиля изменялась от $0,6$ до $1,3 \text{ м/с}$ в соответствии с рельефом дна, ее изменчивость во времени не превосходила $0,2 \text{ м/с}$ и также была связана с трансформацией поля глубин (табл. 1).

Крупность донного грунта изменялась по длине переката в соответствии с морфологией гряд и скоростью течения (табл. 1). На гребне верхней шалыги дно было сложено хорошо отмытыми и отсортированными крупными песками с небольшой примесью гравия. В подвалье верхней шалыги отлагались средние пески, заметно заиленные. Заиленность определялась аккумуляцией в области пониженных скоростей большей части взвешенных наносов — мутность воды уменьшалась с $31,8 \text{ г/м}^3$ на гребне шалыги до $7,8 \text{ г/м}^3$ в ее подвалье.

В начале верхового откоса нижней шалыги располагалась область гравийно-галечной отмостки. Отмостка была сложена мелкой галькой с наполнителем из гравия и крупного песка, слабо заиленного. Сюда практически не поступало наносов из верхней части русла, и одновременно происходил вынос более мелких частиц. Гребень нижней шалыги, как и верхней, был сложен хорошо отмытым и сортированным крупным и грубым песком с гравием. В подвалье шалыги крупность песка снова уменьшалась, в составе донных грунтов существенной стала доля тонких песков.

Результаты измерений

Осредненные за период измерений морфологические и динамические характеристики русловых форм на профилях сведены в табл. 2. Са-

Таблица 1

Изменение крупности донных грунтов, мутности C , глубин H и скоростей потока U на Нижне-Шешуровском перекате в августе 1997 г.

Номер створа	Расстояние, м	d_{cp} , мм	d_s , мм	d_g , мм	C , г/м ³	H , м	U , м/с
15	0	0,43	0,41	5,61		1,4	1,26
14	39	0,46	0,44	4,95		1,25	1,06
140	74	0,52	0,48	5,17		1,2	1,15
13	112	0,50	0,46	4,82	31,8	1,65	0,90
12	159	0,39	0,37	6,18		2,1	0,85
11	227	0,37	0,36	3,65		2,05	0,78
10	269	0,41	0,29	17,61		1,8	0,81
9	336	1,32	0,48	10,18	7,8	1,5	0,88
8	459	1,31	0,71	8,44		1,35	1,00
80	517	0,69	0,67	4,03		1,15	1,03
63	552	0,60	0,60	3,16		1,0	1,00
7	574	1,14	0,94	4,36		0,9	0,97
6	631	1,03	0,85	4,66		1,1	0,77
5	681	0,60	0,53	4,89	11,0	1,5	0,80
64	718	0,53	0,49	4,05		1,6	0,65

Примечание. d_{cp} — средний диаметр частиц донных грунтов, d_s — средний диаметр песчаных фракций, d_g — галечно-гравийной фракции. Скорости и глубины измерены 20 августа, грунты отобраны 22 августа, пробы воды на мутность — 29 августа.

мые малые донные формы с длиной порядка 3—4 м были отнесены к рифелям, с длиной 200—300 м — к шалыгам, с длиной 2500 м — к ленточным грядам. Эта классификация подтверждается диаграммой 3.20 из [4], где все точки по р. Вычегда ложатся в соответствующие области.

Рифели на поверхности нижней шалыги при длине 4,1 м имели средний объем 0,4 м³ на метр ширины русла, и при их перемещении в среднем на низовой откос шалыги поступало 0,067 м³/ч влекомых наносов. Даже в условиях стационарного гидрологического режима это поступление наносов существенно изменялось во времени (табл. 3). Средний за 12 ч расход наносов, перемещающихся в форме рифелей, изменялся в течение двух недель почти на порядок (от 0,016 до 0,13 м³/ч) с периодом изменений 30 ч. Основной причиной таких квазипериодических колебаний расхода наносов, видимо, является изменение объема рифелей по длине большой гряды. Максимум спектральной плотности продольного ряда объемов рифелей в целом совпадает с максимумом спектральной плотности временного ряда расхода наносов, перемещающихся в виде рифелей (рис. 2), здесь пространственные координаты x приведены к временным t с помощью гипотезы о “замороженном” перемещении рифелей: $t = x/C_r$.

Объем аккумуляции наносов на низовом откосе нижней шалыги (табл. 3, колонка 2а) и в ее нижней (от створа б) части (табл. 3, колонка 2б) существенно отличался от поступления наносов сюда в форме рифелей: средняя за период измерений скорость аккумуляции 0,129 м³/ч. Как минимум, 65% аккумуляции определялось не грядовым движением наносов, а их перемещением по рифелям транзитом, влечением и во взвеси. Поступление наносов существенно изменялось во времени (табл. 3). Средняя за 12 ч интенсивность аккумуляции изменялась в течение двух недель

Таблица 2

Морфология и динамика донных форм в русле р. Вычегда на Нижне-Шешуровском перекате

Тип гряд	Период измерений	h , м	L , м	L_p , м	L_n , м	W , м ³	C_T , м/ч	q_p , м ³ /ч
Ленточная гряда	1995—1997 гг.	4,0	2500	2300	200			
	Август 1997 г.							
Шалыга (нижняя)	18—31	1,0	160	150	10		0,119	0,129
Рифели	19, 20, 26	0,16	4,1	2,6	1,5	0,42	0,65	0,067
Шалыга (верхняя)	18—31	1,0	300	295	5		0,29	0,323
Рифели	20, 21, 27, 28	0,13	3,5	2,2	1,3	0,28	1,14	0,091

от нулевых и отрицательных значений до 0,38 и 0,47 м³/ч. Период этих изменений был несколько больше, чем в случае рифелей, — 33—37 ч (см. рис. 2). При этом зависимость между расходом наносов в форме рифелей и общим расходом наносов практически отсутствует — последний в основном определяется транзитом наносов.

В почти трети случаев транзитный вынос наносов отмечается и с низового откоса нижней шалыги. Это проявляется в размыве низового откоса, что выражается либо его отступанием вверх по течению, либо несоответствием скорости смещения вниз по течению объема поступающих сюда наносов. За период с 18 по 31 августа с низового откоса было смыто не менее 11,6 м³ наносов на метр ширины гряды, транзитность нижней шалыги составила, как минимум, 18,2%. Так как эти транзитные наносы не оказали никакого влияния на морфологию и динамику ниже расположенной гряды, то следует предположить, что эти наносы частично перешли во взвесь, частично снесены поперечными течениями вдоль низового откоса.

Общий баланс наносов на нижней шалыге практически замыкается: за период с 18 по 31 августа с верхового откоса шалыги вынесено 70,9 м³ наносов (из них 18,2 м³ в результате размыва песчаного заполнителя гравийно-галечного грунта и формирования отмости на участке между створами 8 и 10). Из общего количества только 18,3 м³ (26%) перемещалось в грядовой форме в виде рифелей, около 11 м³ (15,5%) — во взвеси, остальные наносы переносились в виде частиц по поверхности рифелей транзитом. Аккумуляция на низовом откосе гряды составила 51,9 м³, как минимум, 11,6 м³ здесь было размывто и 11 м³ вынесено во взвеси — итого 74,5 м³. Невязка баланса (6%) связана как с ошибками измерений, так и возможностью выноса части размывтых наносов с низового откоса во взвеси.

Рифели на поверхности верхней шалыги при длине 3,5 м имели средний объем 0,28 м³ на метр ширины русла, и при их перемещении в среднем на низовой откос шалыги поступало 0,091 м³/ч влекомых наносов. По данным детальных наблюдений в течение четырех разных дней, средний за 12 ч расход наносов, перемещающихся в форме рифелей, изменялся от 0,14 до 0,2 м³/ч (табл. 3). Максимум спектральной плотности

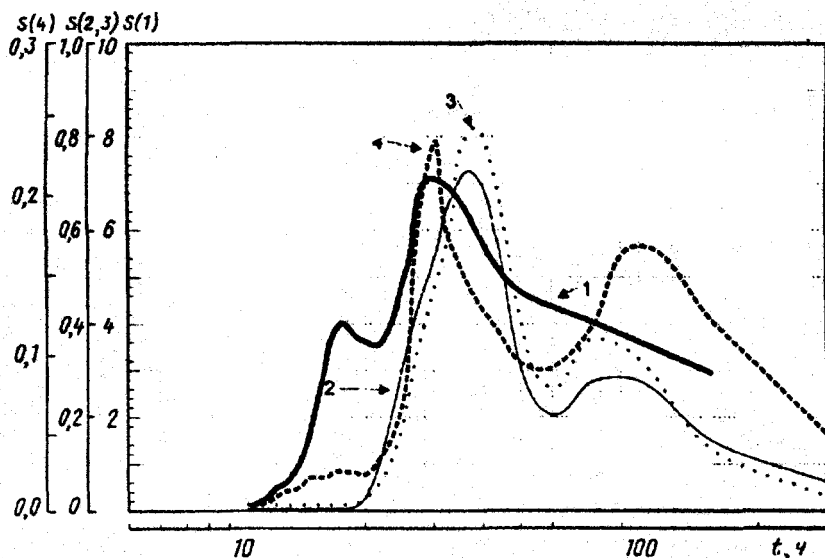


Рис. 2. Функции спектральной плотности рядов изменений объемов рифелей по длине нижней шалыги (1), а также изменений во времени общего объема аккумуляции ниже створа 6 (2), на низовом откосе (3) и поступления наносов на низовой откос в виде рифелей (4).

продольного ряда объемов рифелей здесь 34 м, т. е. вероятный период изменения расхода наносов во времени может быть около 30 ч.

Объем аккумуляции наносов на низовом откосе верхней шалыги (табл. 3, колонка 2в) и в ее нижней (от створа 13) части (табл. 3, колонка 2г) существенно отличался от поступления наносов сюда в форме рифелей: средняя за период измерений скорость аккумуляции $0,30 \text{ м}^3/\text{ч}$. Как минимум, 70% аккумуляции определялось не грядовым движением наносов, а их перемещением по рифелям транзитом, влечением и во взвеси. Это поступление наносов существенно изменялось во времени (табл. 3). Средняя за 12 ч интенсивность аккумуляции изменялась в течение двух недель от $0,002$ до $0,85 \text{ м}^3/\text{ч}$. Период этих изменений доставил 32—42 ч.

Хотя средние темпы аккумуляции наносов на низовом откосе верхней шалыги существенно больше темпов поступления сюда наносов в виде рифелей (за счет транзита наносов по рифелям и аккумуляции взвешенных наносов), тем не менее в отдельные периоды времени происходил размыв низового откоса.

Некоторые детали транспорта наносов по верхней шалыге выявляются при анализе данных учащенных промеров 27 и 28 августа (табл. 4). В 8 ч 15 мин 27 августа общий объем гряды (выше отметки подвала) на 200 м длины ниже створа 15 составлял $212,9 \text{ м}^3$, включая объем рифелей $18,7 \text{ м}^3$. За 12 ч общий объем гряды увеличился лишь на 1 м^3 , что в пределах ошибки измерения объема ($\pm 2,5\%$). Но за это время произошло существенное перераспределение наносов по длине шалыги. Общий объем гряды уменьшился на 8 м^3 на верхних 180 м ее длины и соответственно увеличился на нижних 40 м за счет аккумуляции на низовом откосе. На верхних 180 м гряды уменьшился объем рифелей на $4,8 \text{ м}^3$ вследствие

Таблица 3

Расходы влекомых наносов Q , ($\text{м}^3/\text{ч}$) на Нижне-Шешуровском перекате р. Вычегда в августе 1997 г., вычисленные по морфологии и динамике активных рифелей (1) и по аккумуляции на низовых откосах (2а, в) и в нижних частях пассивных шалыг (2б, г)

Период между промерами						Нижняя шалыга			Верхняя шалыга		
Дата	Время		Дата	Время		1	2а	2б	1	2а	2г
	ч	мин		ч	мин						
18	14	00	19	11	00		0,1078	0,0809		0,3440	0,2612
19	11	00	19	20	20	0,0311	0,0978	0,1545		0,4000	0,6207
19	20	20	20	8	45	0,0627	0,1600	0,1063		0,2846	0,0119
20	8	45	20	18	50	0,0836	0,1302	0,1016	0,203	0,2807	0,1349
20	18	50	21	8	20	0,0866	0,0819	0,0343		0,1247	0,2163
21	8	20	21	20	15	0,0938	0,1898	0,2066	0,136	0,1663	0,1242
21	20	15	22	9	05	0,0163	0,3027	0,0972		0,2232	0,2595
22	9	05	22	19	45	0,0902	0,1961	0,1683		0,2686	0,2794
22	19	45	23	9	20	0,0160	0,2752	0,3668		0,1913	0,1660
23	9	20	23	20	15	0,1084	0,0638	0,1659		0,8559	0,7720
23	20	15	24	8	35	0,0845	-0,2272	-0,2758		0,1746	0,1370
24	8	35	24	19	15	0,0304	0,4706	0,3173		0,1839	0,2212
24	19	15	25	9	35	0,1103	-0,1716	-0,1196		0,5190	0,5156
25	9	35	25	21	05	0,0468	0,2766	0,3037		0,5775	0,7483
25	21	05	26	8	50	0,0436	0,1519	0,2997		0,5321	0,2168
26	8	50	26	19	00	0,0591	0,2516	0,1880		0,0533	0,3167
26	19	00	27	8	15	0,0646	0,0155	0,1059		0,0266	0,0290
27	8	15	27	19	40	0,0931	0,1154	-0,0146	0,143	0,5412	0,8467
27	19	40	28	8	50	0,0406	0,1566	0,3340		0,2780	0,2506
28	8	50	28	19	35	0,1228	0,0908	-0,1220	0,183	0,2294	0,0019
28	19	35	29	9	00	0,0850	0,0618	0,1219		0,3909	0,4405
29	9	00	29	19	10	0,0404	0,3212	0,3770		0,0912	0,0030
29	19	10	30	19	15	0,0372	-0,0122	-0,0548		0,1971	0,5066
30	19	15	31	8	30	0,0269	0,1935	0,2759		0,2365	0,0528
31	8	30	31	17	40	0,1309	0,3555	0,3115		0,2231	0,3919

их размыва, т. е. около 60% транзитных наносов сформировалось за счет перехода из грядового движения. На нижних 40 м гряды объем рифелей уменьшился на $2,5 \text{ м}^3$. Это произошло из-за уменьшения высоты рифелей при аккумуляции наносов в ложбинах между ними. При этом непосредственно на низовой откос верхней шалыги поступило только $1,6 \text{ м}^3$ наносов в виде рифелей (20% объема аккумуляции).

Перемещение транзитных наносов происходило волнами. Первая волна, которая вызвала интенсивную аккумуляцию на низовом откосе шалыги, прошла до 12 ч 27 августа. Затем с 12 до 17 ч низовой откос был практически стабилен, что может свидетельствовать об уменьшении интенсивности транзита. Вторая волна транзитных наносов вызвала интенсивную аккумуляцию на низовом откосе в 18—20 ч.

Несколько иначе происходило перемещение наносов на верхней шалыге 28 августа. С 20 ч 27 августа до 8 ч 28 августа объем шалыги на нижних 200 м ее длины увеличился на 9 м^3 и составил 222 м^3 выше отметки подвала. Увеличение объемов произошло на участках 40—80 и 120—200 м ниже створа 15. До 20 ч мск 28 августа изменения и перераспределения объемов наносов в гряде на участке 0—160 м ниже

Таблица 4

Изменение удельного объема ($\text{м}^3/\text{м}^2$) верхней шалыги
Нижне-Шешуровского переката 27 и 28 августа 1997 г.

Дата	Время		Участки гряды ниже створа 15, м				
	ч	мин	0—40	40—80	80—120	120—160	160—200
27	8	15	1,1274	1,1705	1,1348	1,1092	0,7778
	10	20	1,1100	1,1487	1,1265	1,0950	0,8396
	11	45	1,1215	1,1358	1,1249	1,1008	0,8368
	13	25	1,1339	1,1243	1,1044	1,0926	0,8647
	14	55	1,0870	1,1307	1,1187	1,1104	0,8729
	16	30	1,0567	1,1315	1,1138	1,1099	0,9079
	18	10	1,0826	1,1251	1,0939	1,0775	0,9408
	19	40	1,0684	1,1154	1,0838	1,0772	0,9750
	28	8	50	1,0512	1,1891	1,0869	1,1520
10		35	1,0804	1,1999	1,1003	1,1733	1,0064
12		00	1,0763	1,1706	1,0855	1,1423	1,0957
13		30	1,0679	1,2025	1,1214	1,1311	1,0578
15		00	1,0447	1,1849	1,0671	1,1235	1,1707
16		35	1,0521	1,1868	1,0833	1,1345	1,1445
18		00	1,0471	1,1765	1,0846	1,1251	1,1782
19		35	1,0433	1,2112	1,1030	1,1248	1,1393

створа 15 практически не произошло (колебания в пределах точности измерений). На самом нижнем участке происходило увеличение объема гряды за счет аккумуляции на ее низовом откосе около 3 м^3 наносов. Эта аккумуляция на 70% определялась поступлением на низовой откос шалыги наносов в виде рифелей. Роль транзитных наносов в динамике верхней шалыги 28 августа была незначительной.

Движение гряд и общий расход наносов

Наблюдения на Нижне-Шешуровском перекате показали, что даже в условиях межени общий расход наносов и расход наносов, которые перемещаются в виде гряд, существенно отличаются друг от друга из-за значительного транзита наносов, который, видимо, осуществляется вследствие транспорта частиц наносов сальтацией, когда длина "прыжков" достаточно велика, чтобы частица наносов могла "перепрыгнуть", как минимум, с верхового откоса верхней гряды на верховой откос следующей ниже по течению гряды. Такой тип транзита наблюдался Н. А. Михайловой при экспериментах в лотке ([2], с. 130, рис. 53).

К сожалению, наблюдения за движением гряд не позволяют определить величину транзита наносов в абсолютном измерении. Оценивается только та часть расхода транзитных наносов, которые проходят транзитом подвалья более мелких гряд, но аккумулируются в подвальях более крупных. Ошибка тем больше, чем больше транзит в подвальях более крупных гряд. На Нижне-Шешуровском перекате низовой откос верхней шалыги представлял собой почти совершенный отстойник для поступающих сверху наносов, как влекомых, так и взвешенных. Ниже этой гряды на значительном протяжении дно реки было лишено песчаных наносов и формировалась галечная отмостка. Для этого участка реки как общий расход наносов, так и объем транзита влекомых наносов по дну, покрытому рифелями, определяется вполне уверенно (см. табл. 2, 3).

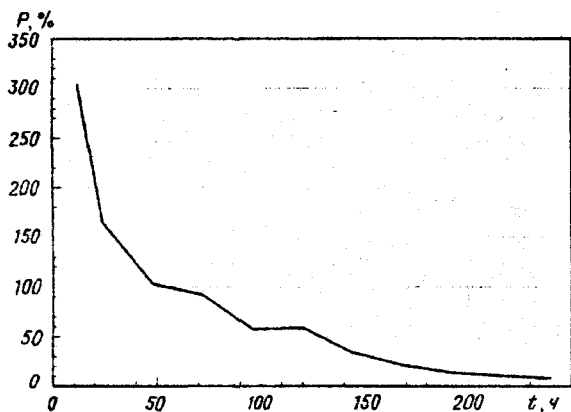


Рис. 3. Относительная ошибка P определения расхода влекомых наносов по аккумуляции на низовом откосе крупной гряды при разных периодах осреднения t .

крупной гряды, в подвалье которой аккумулируются практически все поступающие сверху наносы, для оценки расхода наносов требуются продолжительные наблюдения из-за большой изменчивости расхода наносов во времени. Если принять за верную оценку средний расход наносов на верхней шалыге Нижне-Шешуровского переката за период 295 ч, то относительная ошибка определения расхода наносов при периодах осреднения 24, 48 и 96 ч может достигать 150, 100 и 50% соответственно (рис. 3).

Заключение

Детальные наблюдения за динамикой гряд на дне речного русла выявляют новые стороны транспорта влекомых наносов. Значительные объемы транзита влекомых наносов в подвальях как мелких гряд — рифелей, так и крупных гряд — шалыг, большая изменчивость стока влекомых наносов во времени делают невозможным прямое использование простых соотношений для расчета стока влекомых наносов. В каждом конкретном случае необходима постановка специальных наблюдений за морфологией и динамикой грядового комплекса для выявления области аккумуляции основной части влекомых наносов и периода осреднения для достоверной оценки их стока.

Литература

1. Знаменская Н. С. Грядовое движение наносов. — Л., Гидрометеиздат, 1968, 188 с.
2. Михайлова Н. А. Перенос твердых частиц турбулентными потоками воды. — Л., Гидрометеиздат, 1966, 232 с.
3. Сидорчук А. Ю. О расчетах смещения донных гряд и расхода влекомых наносов. — Водные ресурсы, 1990, № 5.
4. Сидорчук А. Ю. Структура рельефа речного русла. — СПб, Гидрометеиздат, 1992, 126 с.
5. Simons D. B., Richardson E. V., and Nordin C. F. Bedload Equation for Ripples and Dunes. — U. S. Geol. Survey Prof. Pap. 462-H, 1965, 9 p.

С низового откоса нижней шалыги происходил значительный вынос (не менее 18%) поступающих сюда наносов. Здесь неоднократно выявлялся отрицательный баланс наносов (см. табл. 3). Для этого участка реки как общий расход наносов, так и объем транзита влекомых наносов по дну, покрытому рифелями, определяются по морфологии и динамике комплекса гряд с большой погрешностью.

Даже при наличии