

## УСЛОВИЯ ФОРМИРОВАНИЯ РАЗВЕТВЛЕННОГО РУСЛА ВЕРХНЕЙ ОБИ

Русловой рельеф р. Оби на участке протяженностью около 80 км ниже слияния рек Бии и Катунь характеризуется большой сложностью. Внутри макроформы — слабоизвилистого, на отдельных участках практически прямолинейного русла, выделяется иерархически построенный комплекс внутрирусловых форм: узлы разветвления (характерная длина  $L = 5900$  м); крупные острова и островные массивы ( $L = 3000$  м); острова ( $L = 1100$  м); мелкие острова и осередки ( $L = 250$  м); заструги ( $L = 70$  м); дюны ( $L = 20$  м); рифели ( $L = 2,5$  м).

Подобное многообразие русловых форм разных размеров является следствием сочетания большого количества природных факторов, благоприятствующих формированию сложного разветвленного русла. Среди них наиболее важными являются:

1) Большая расплывчатость русла Верхней Оби: относительная ширина  $B/H \approx 700$  для условий затопленного внутрируслового рельефа. В свою очередь значительная относительная ширина, видимо, связана с повсеместным залеганием на глубинах 5—10 м от меженного уровня воды под слоем современного песчано-гравийного аллювия древних галечных отложений, которые плохо размываются при существующем водном режиме реки. Глубинная эрозия, характерная для современного этапа развития продольного профиля Оби на этом участке [1] затруднена и сопровождается расширением русла. Следует отметить, что в предшествовавший современному этап аккумуляции наносов в русле, река, видимо, меандрировала [7].

2) Приуроченность максимальной руслоформирующей деятельности реки (доли годового стока наносов) к расходам воды высокой и средней межени  $\approx 2500 \text{ м}^3/\text{с}$  обеспеченностью 25% [5]. Поэтому, хотя формы внутрируслового рельефа высоких рангов — узлы разветвления, крупные острова и островные массивы формируются при расходах, близких к максимальным, при заполненном водой русле, ложбины между ними продолжают активно промываться и во время большей части межени, что не способствует их отмиранию.

3) Благоприятные агроклиматические условия Алтайского края способствуют быстрой приживаемости побегов ивы на обсыхающих в межень побочнях и осередках, что способствует быстрому формированию на них пойменного аллювия и дальнейшему зарастанию. В острова (или части более крупных островов) превращаются даже внутрирусловые формы низких рангов. Так, небольшие острова на Верхней Оби, длиной 250—400 м, покрытые довольно мощным (1,5—2,0 м) пойменным аллювием, по своему положению в иерархическом ряду внутрирусловых форм относятся к шалыгам [4], формам на большинстве рек незаросшим и большую часть времени подводным.

Существуют также явления, обусловленные внутренними особенностями гидравлики разветвленного потока Верхней Оби, способствующие сохранению разветвленности. К таким явлениям относятся длиннопериодные высокоамплитудные квазипериодические изменения скоростей в потоке Верхней Оби и широкое распространение в ее русле рифелей.

Осцилляции скоростей наблюдаются в потоке Верхней Оби в условиях неизменных расходов воды ниже островов. Периоды осцилляций составляют 12—15 мин и близки к величине  $L/V$ , где  $L$  — длина острова,  $V$  — средняя на участке скорость потока. Как показал В. В. Коваленко [2], уравнение неустановившегося движения воды при определенных упрощениях может быть сведено к уравнению Риккати, имеющему периодические решения. Запишем это уравнение в несколько ином, чем в [2], виде:

$$\frac{\partial u}{\partial t} - \frac{q^2}{H^2} \frac{\Delta z}{(H + \Delta z)L} + g \frac{\Delta z}{L} + g \frac{u^2}{C^2 H} = 0. \quad (1)$$

Здесь  $u$  — отклонение местной скорости потока от  $V$ ;  $\Delta z$  — отклонение свободной поверхности от среднего ее положения;  $H$  — средняя на участке глубина;  $C$  — коэффициент Шези;  $q = VH$  — удельный расход воды;  $g$  — ускорение свободного падения.

Уравнение (1) имеет периодические решения, если выполняется неравенство

$$g \frac{\Delta z}{L} \frac{g - H}{C^2 H} > 0, \quad (2)$$

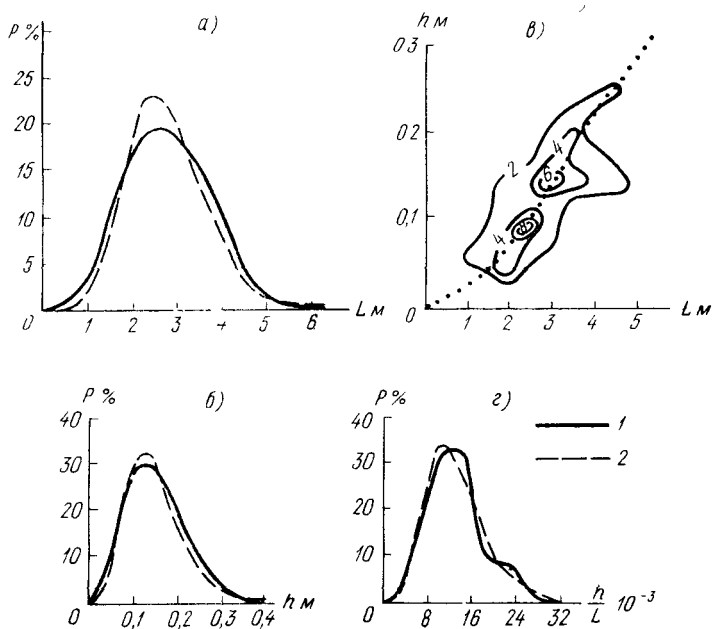
что соответствует совместному выполнению условий:

$$\Delta z > 0, \quad \frac{V^2}{gH} < 1 \quad (2, a)$$

или

$$\Delta z < 0, \quad \frac{V^2}{gH} > 1. \quad (2, б)$$

Таким образом, в условиях равнинной реки со спокойным течением осцилляции скоростей могут возникнуть при наличии



Кривые распределения для длин (а), высот (б), крутизны (в) рифелей в русле Верхней Оби (1 — фактические, 2 — расчетное гаммараспределение) и совместное распределение длин и высот рифелей (г, изолинии — повторяемость в %)

местных расширений потока. В разветвленном русле Верхней Оби это частое явление.

Осцилляции скоростей приводят к длительному (5—6 минут) превышению скоростей в потоке на 15—20% над осредненными. Это значительно увеличивает транспортирующую способность потока и, соответственно, способствует размыву ложбин между внутрирусловыми формами руслового рельефа.

Такой же эффект оказывает широкое развитие в русле Верхней Оби рифелей — гряд со средней длиной  $L_p \div 2,5—3,5$  м (т. е.

Характеристика морфологии и динамики рифелей в русле р. Оби

Расстояние от истока, км	Перекаг, протока	$V$ , м/с	$H$ , м	$d$ , мм	$h_p$ , м	$L_p$ , м	$C_p$ , м ч	$G$ , м <sup>3</sup> /с	$R$ , м <sup>3</sup> /с	$\frac{G}{G+R}$	$G_p$ , м <sup>3</sup> /с
10	прк Фоминский	0,99	2,65	0,7	0,16	3,2	1,72	$4,18 \cdot 10^{-5}$	$5,87 \cdot 10^{-5}$	42	$4,7 \cdot 10^{-5}$
12	прк Усть-Песчанский	0,96	3,70	0,7	0,15	2,4	1,31	$3,0 \cdot 10^{-5}$	$7,3 \cdot 10^{-5}$	29	$3,17 \cdot 10^{-5}$
15	пр. Рыбацкая	1,04	5,3	2,0	0,12	2,2	0,64	$1,17 \cdot 10^{-5}$	$3,71 \cdot 10^{-5}$	24	$2,15 \cdot 10^{-5}$
18	прк Усть-Ануйский	0,90	1,9	0,7	0,22	3,4	1,42	$4,7 \cdot 10^{-5}$	$9,18 \cdot 10^{-5}$	34	$3,46 \cdot 10^{-5}$
25	прк. Коланский	1,09	3,9	0,7	0,21	3,5	1,85	$5,85 \cdot 10^{-5}$	—	—	$5,95 \cdot 10^{-5}$

Примечания. Скорость течения  $V$  и глубина  $H$  определялись в средней части закрепленного продольника на вертикали; средневзвешенный диаметр наносов  $d$  — по карте грунтов; высота, длина, скорость рифелей  $h_p$ ,  $L_p$ ,  $C_p$  — как средняя скорость рифелей по всем продольникам; расход влекомых наносов в форме рифелей  $G = 0,55h_p C_p$ ; расход взвешенных наносов руслообразующих фракций  $R = \rho V_0 H_0 / 1500$ , где  $\rho$  кг/м<sup>3</sup> — мутность за счет наносов  $d > 0,05$  мм; расчетный расход влекомых наносов определялся по формуле ЛИБТА:  $G_p = 0,015d(V_0 - V_H)(V_0/V_H)^3$ , где неразмывающая скорость определялась по Г. И. Шамову:  $V_H = 4,6d^{1/3}H^{1/6}$ .

порядка глубины потока), высотой  $h_p = 0,11 \div 0,15$  м и крутизной  $h_p/L_p = 0,01 \div 0,02$ . Рифели формируются в русле практически повсеместно. Только в самых глубоких плесах, где на поверхность выходит древняя трудноразмываемая галька, дно ровное. Морфология рифелей на Верхней Оби практически не зависит от глубины и скорости потока — их средние размеры на перекатах и в неглубоких плесах одинаковы, а в более глубоких плесах, высланных крупным песком с гравием, их высоты и длины даже несколько уменьшаются. Морфометрические характеристики рифелей хорошо описываются гамма-распределением (рис., а, б, в):

$$P(x) = \frac{\beta^\alpha}{\Gamma(\alpha)} x^{\alpha-1} e^{-\beta x} dx,$$

$$\alpha = \bar{x}\beta, \beta = \bar{x}/\sigma^2.$$

Отдельные морфометрические параметры рифелей связаны между собой также стохастически (рис., в).

На пяти закрепленных продольниках повторными ежечасными промерами в течение 9—10 часов изучалась динамика рифелей (таблица). Большая частота повторных промеров связана с тем, что по мере перемещения вниз по течению рифели быстро меняют свою форму. Величина коэффициента корреляции между размерами одних и тех же рифелей в разные моменты времени быстро уменьшается от 0,54 до —0,2, через 3—4 часа рифели полностью теряют свою первоначальную форму. Опознать с большей долей вероятности одну и ту же гряду на двух последующих во времени профилях можно только тогда, если это время не превышает 2 часов.

Данные таблицы имеют предварительный характер из-за небольшого количества наблюдений. Однако необходимо отметить значительную скорость смещения рифелей, в 2—5 раз превышающую вычисленную по формуле Снисченко — Копалиани [3]. Соответственно велик расход перемещающихся в виде рифелей наносов, он составляет от 25 до 42% общего расхода руслообразующих наносов на исследованных участках. Расход наносов в форме рифелей для условий Верхней Оби с высокой точностью может быть рассчитан по формуле ЛИВТа [6] для влекомых наносов.

Таким образом, внешние геолого-геоморфологические и ландшафтно-климатические факторы способствуют формированию на верхнем участке р. Оби сложного разветвленного русла: распластанность потока приводит к его поперечной неустойчивости и образованию разветвлений; в результате этого возникают положительные формы внутрируслового рельефа, ложбины между которыми в силу особенностей гидрологического режима не отмирают, а сами формы закрепляются растительностью. В то же время саморегулирование в системе поток —

русло также приводит к развитию процессов, способствующих сохранению разветвлений: транспортирующая способность потока увеличивается за счет длиннопериодных осцилляций скоростей и перемещения наносов в виде рифелей.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Маккавсеев Н. И., Чалов Р. С. Некоторые особенности дна долин больших рек, связанные с периодическими изменениями нормы стока. — В кн.: Ритмы и цикличность в природе. М.: Мысль, 1970, с. 156—167. («Вопросы географии», сб. 79).
2. Коваленко В. В. Измерение и расчет характеристик неустановившихся речных потоков. — Л.: Гидрометеониздат, 1984. — 160 с.
3. Смищенко Б. Ф., Копалиани З. Д. О скорости движения гряд в реках и лабораторных условиях. — Тр. ГГИ, 1978, вып. 252, с. 30—37.
4. Сидорчук А. Ю. Структура рельефа речного русла. — Вестник Моск. ун-та, сер. геогр., 1984, № 2, с. 17—23.
5. Чалов Р. С. Географические исследования русловых процессов. — М.: Изд. Моск. ун-та, 1979. — 234 с.
6. Чекрынев А. И., Гришанин К. В. Водные пути. — М.: Транспорт, 1975. — 472 с.
7. Чернов А. В., Гаррисон Л. М. Палеогеографический анализ развития деформаций широкопойменных рек в голоцене (на примере верхней и средней Оби). — Бюл. МОИП, отд. геол., 1981, т. 56, вып. 4, с. 97—108.