

ПРОГНОЗ ТИПОВ ЭРОЗИОННО-АККУМУЛЯТИВНЫХ ПРОЦЕССОВ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ ИНЖЕНЕРНЫХ СООРУЖЕНИЙ НА РЕКАХ ГОРНО-ПРЕДГОРНОЙ ЗОНЫ

Проектирование и строительство гидротехнических и регулирующих сооружений, трубопроводов, мостовых переходов, а также разработка русловых карьеров всегда связаны с определением русловых характеристик водотоков при пропуске расчетных расходов воды. С этой целью производятся геодезические, гидрологические, инженерно-геологические и другие изыскания, из которых получают информацию о существующей топографической и гидрологической обстановке в пределах водотока и будущей стройплощадки, основываясь на уже происходивших процессах и явлениях.

На горных реках процессы переформирования русел вызывают значительные осложнения работы гидроэлектростанций, лесосплава, нарушают функционирование дорожной сети, приводит к затопливанию сельскохозяйственных угодий и т. п. Гидротехническое строительство, изменяя русловый режим, в свою очередь приводит к нежелательным последствиям, не всегда поддающимся учету при проектировании.

Поэтому возникает задача определения руслового режима после строительства с учетом изменения параметров водотока. Для ее решения необходимо иметь топографические характеристики водотока и значения максимальных расходов воды.

Горные реки отличаются резко изменяющимся гидрологическим режимом, который определяет гидравлические характеристики и транспортирующую способность потока. Неоднородная геологическая обстановка речной долины, обуславливающая степень сопротивляемости твердых границ русла, свидетельствует лишь об относительной устойчивости отдельных участков реки.

Принимая в качестве условия устойчивости русла равенство максимальных крупностей передвигаемых насосов D и русловых отложений d_{\max} , предлагаем параметр устойчивости русла δ_y [2]:

$$\delta_y = \frac{(0,04g\gamma')^{1/4} \left(\frac{1+b_1}{b_1} \right)^{\frac{m-2}{4m}}}{(m+1)^{1/2} \left(\frac{H}{d_{cp}} \right)^{\frac{m-2}{4m}} I^{1/4}} - 1, \quad (1)$$

где $\gamma' = (\gamma_n - \gamma) / \gamma$; γ_n — плотность насосов; γ — плотность воды; g — ускорение свободного падения; H — средняя глубина; d_{cp} — средняя крупность русловых отложений; m — показатель степени в формуле распределения скорости по вертикали; I — гидравлический уклон; b — показатель степени в уравнении гранулометрической кривой [3].

Классификация русел горных рек по устойчивости

Состояние устойчивости русла и общая характеристика эрозионно-аккумулятивных процессов	Параметры устойчивости			Направленность русловых переформирований на расчетном участке реки
	φ	$\Delta \delta_y $	$\Delta\delta_y$	
Неустойчивые участки реки с прогрессирующими процессами	>1	>0	>0	1. Аккумуляция наносов
			<0	2. Эрозия
Транзитное продвижение наносов	1	0	0	3. Отсутствие деформаций
Относительно устойчивые участки русла с затухающими процессами	0...1	$-a...0$	$-a...0$	4. Аккумуляция наносов
			$0...a$	5. Эрозия
Затухание русловых переформирований к концу участка (отсутствие деформаций в нижнем створе)	0	$-a$	$-a$	6. Аккумуляция в верхнем створе
			a	7. Эрозия в верхнем створе
Участки русла повышенной интенсивности эрозионно-аккумулятивных процессов: с преобладанием деформаций, развивающихся в верхнем створе	$-1...0$	$-a...0$	$a...2a$	8. Преобладание эрозии
			$-2a...-a$	9. Преобладание аккумуляции
с равновеликими деформациями разного знака в противоположных створах	-1	0	$2a$	10. Переход от эрозии к аккумуляции
			$-2a$	11. Переход от аккумуляции к эрозии
с преобладанием деформаций, развивающихся в нижнем створе	<-1	>0	$>2a$	12. Преобладание аккумуляции
			$<-2a$	13. Преобладание эрозии

При $\delta_y=0$ русло относительно устойчиво, аккумуляция наносов характеризуется соотношением $\delta_y>0$, эрозия — $\delta_y<0$.

От интенсивности руслового процесса зависят русловые переформирования на участке реки между расчетными створами: нижним по течению (δ_y'') и верхним по течению (δ_y').

Результат руслового переформирования на данном участке характеризуется приращением параметра устойчивости

$$\Delta\delta_y = \delta_y'' - \delta_y', \quad (2)$$

а степень относительного переформирования — коэффициентом интенсивности

$$\psi = \delta_y''/\delta_y'. \quad (3)$$

Изменение параметра устойчивости по абсолютной величине составляет

$$\Delta |\delta_y| = |\delta_y''| - |\delta_y'|.$$

Решение вопроса о типе руслообразовательного процесса, характере русловых переформирований и их количественных показателях включает совместное рассмотрение параметров направленности и интенсивности руслового процесса. С этой целью предложена следующая классификация русел горных рек по устойчивости (табл. 1).

Для определения направленности русловых переформирований отдельных участков горной реки, в соответствии с табл. 1, необходимо вычислить параметры δ_y , φ , $\Delta\delta_y$, $\Delta|\delta_y|$. Для этого разработан алгоритм и на языке Фортран написана программа, с помощью которой можно оценить устойчивость отдельных участков русла реки при прохождении паводка. Блок-схема программы представлена на рис. 1.

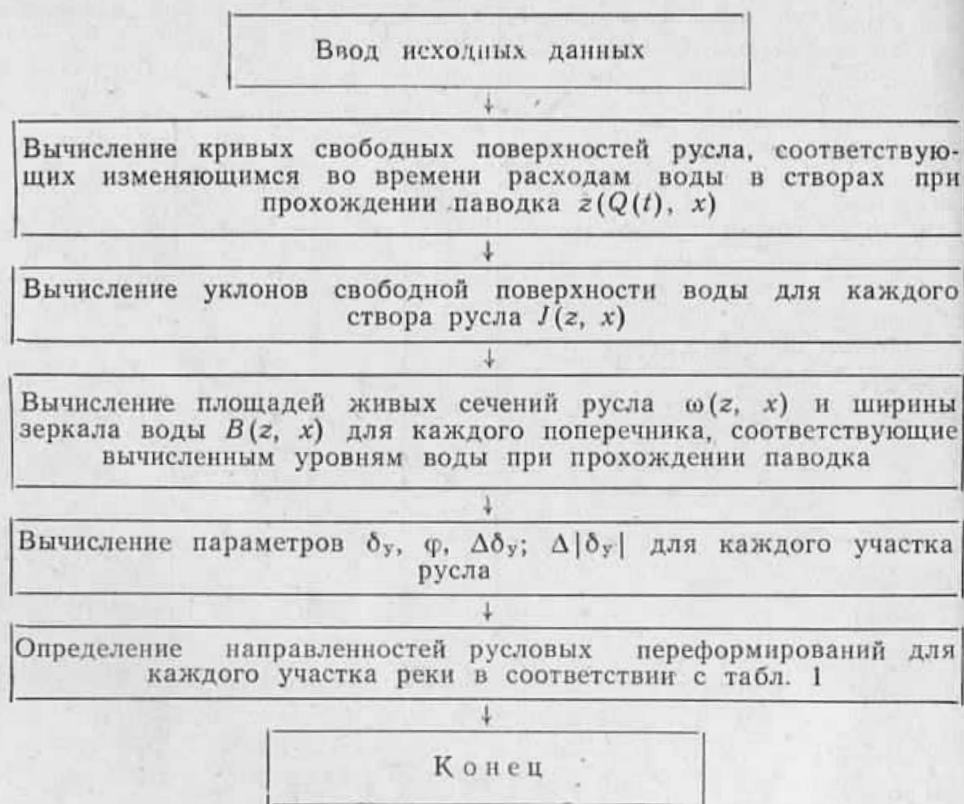


Рис. 1. Блок-схема программы.

В качестве исходной информации используются:

- гидрограф паводка, т. е. график изменения с течением времени расхода воды при подъеме и спаде паводка $Q(t)$;
- снятые на местности или полученные с помощью дистанционного зондирования профили заданных поперечников русла (отметки поверхности земли и расстояния между ними $H(x, y)$);

данные гранулометрии русловых отложений;
 данные об уровнях воды в каждом поперечнике при заданных фиксированных значениях расходов воды $z_i(Q_i, x)$.
 С помощью программы в каждом из поперечников определяют-ся уровни, соответствующие расходам воды согласно принятому гидрографу паводка. Вычисляются эти уровни путем интерполяции с помощью полиномов Лагранжа данных, полученных для фиксированных расходов воды. Другими словами, проводится расчет изменяющихся с течением времени кривых свободной поверхности русла $z(Q(t), x)$.

По значениям уровней воды в поперечнике $z(t)$ итерационным методом определяются точки пересечения линии зеркала воды с ломаной линией, представляющей профиль поперечного сечения русла реки (отметки поверхности земли), что позволяет вычислить ширину водного потока $B(z(t), x)$ и площадь живого сечения русла $\omega(z(t), x)$.

Для каждого из поперечников рассчитываются продольные гидравлические уклоны водного потока $J(z(t), x)$, средние глубины H , коэффициенты Шези c и скорость течения V .

На основании полученных характеристик для каждого поперечника находят параметры устойчивости русла $\delta_y(t)$, $\varphi(t)$, $\Delta\delta_y(t)$, $|\Delta\delta_y|$.

Согласно этим параметрам, в соответствии с табл. 1, программа для каждого участка между поперечниками определяет тип эрозионно-аккумулятивного процесса и характер русловых преформирований.

В качестве иллюстрации приведены результаты расчетов, выполненных с помощью данной программы для участка реки Быстрицы, протекающей в горной и предгорной зонах Карпат. Исследованный участок реки расположен в районе п. г. т. Подбуж Львовской обл. На данном участке разбито 12 промерных створов,

Таблица 2
 Параметры направленности и интенсивности руслового процесса

Номер створа	l , м	δ_y	φ	$ \Delta\delta_y $	$\Delta\delta_y$	Тип эрозионно-аккумулятивного процесса
2а	0	0,012	-0,287	-0,030	0,055	8
3а	94,61	-0,043	1,440	0,013	-0,013	2
4	151,79	-0,030	-0,382	-0,048	-0,107	9
5	188,61	0,077	-1,823	0,038	0,120	12
5б	283,91	-0,042	1,458	0,013	-0,013	2
6	341,17	-0,029	0,116	-0,222	0,222	5
7	489,67	-0,251	4,538	0,196	-0,196	2
8	551,67	-0,055	0,788	-0,015	0,015	5
8а	668,97	-0,070	-0,323	-0,147	-0,280	9
9	748,97	0,218	-0,749	-0,073	0,508	8
9а	822,47	-0,291	1,460	0,092	-0,092	2
	892,30	-0,199				

по которым проведены геодезические измерения в поперечных сечениях русла реки. Плановое положение промерных точек определяли с ошибкой $\pm 0,10$ м, высотное — $\pm 0,01$ м. Полевые измерения проведены в 1984 г. до и после паводка 5 июля 1984 г.

В табл. 2 для каждого из створов приведены значения параметров δ_y , φ , $\Delta\delta_y$ и $\Delta|\delta_y|$, определяющих тип эрозионно-аккумулятивного процесса в момент, когда расход воды в створе достигает своего максимального значения $Q=137$ м³/с.

На рис. 2 представлен гидрограф паводка 5 июля 1984 г., полученный по данным натуральных измерений уровней воды в гидроотво-

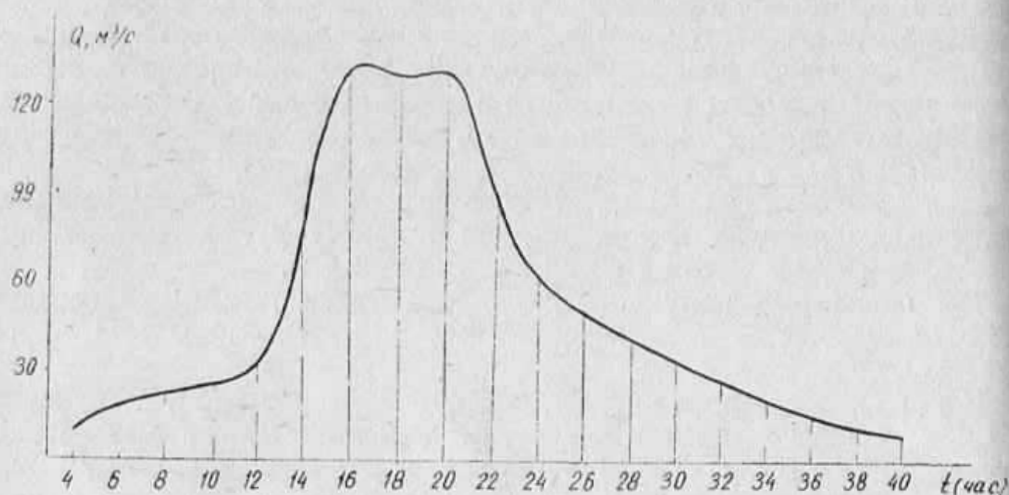


Рис. 2. Гидрограф паводка 1984 г.

ре (п. г. т. Подбуж) и совмещения их с расходами воды на водомерном посту в с. Озимина.

В табл. 3 приведены соответствующие этому гидрографу типы эрозионно-аккумулятивных процессов, вычисленные для участков

Таблица 3

Типы эрозионно-аккумулятивных процессов на участках р. Быстрицы

Номер участка	Время прохождения паводка, ч																		
	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	23	24	26	28	30	32	34	36	38
2а—3	1	1	1	1	1	2	8	2	8	2	13	4	1	1	1	1	1	1	1
3—3а	4	4	4	4	4	13	2	2	2	13	4	4	4	4	4	4	4	4	4
5—5б	1	1	1	1	1	4	2	2	2	4	1	1	1	1	1	1	1	1	1

реки между створами 2а и 3; 3 и 3а; 5 и 5б. Поперечный профиль участка 2а—3 (створ 26) до и после паводка представлен на рис. 3.

Поперечный профиль в створе 26 (рис. 3), расположенный в пределах участка 2а—3, построен по натуральным наблюдениям после паводка и подтверждает характер изменения типов эрозионно-аккумулятивного процесса, рассчитанного теоретически. Согласно табл. 3, при руслоформирующих расходах (между 14 и 24 ч вре-

менной шкалы паводка 1984 г., см. рис. 2) преобладают эрозионные процессы на трех приведенных участках реки, что подтверждается данными натуральных измерений [1] до и после паводка.

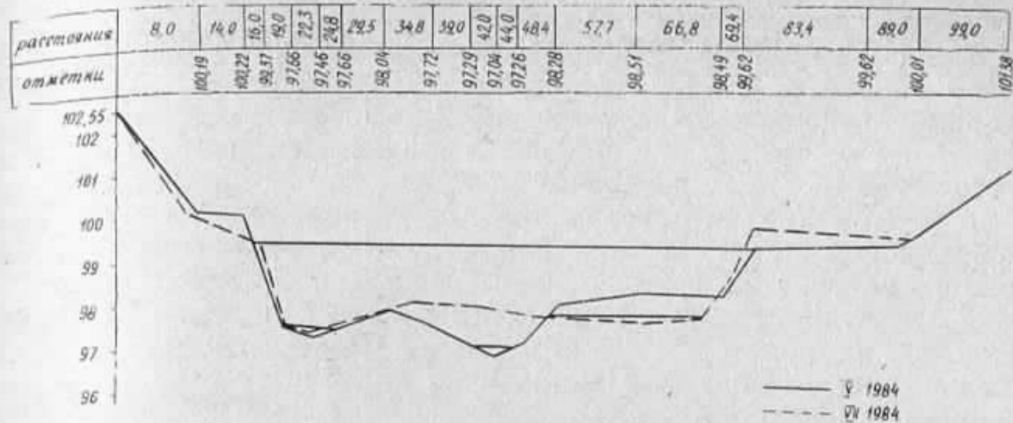


Рис. 3. Поперечный профиль русла р. Быстрица в створе 26.

В стержневой части русла в створе 26 зафиксирован размыв на глубину более 1 м.

1. Воловецкий Б. И., Каганов Я. И. Использование морфометрических зависимостей, определяемых из геодезических измерений, для прогноза русловых деформаций // Геодезия, картография и аэрофотосъемка. 1986. Вып. 43. С. 10—15.
2. Каганов Я. И. Классификация русел горных рек по устойчивости // Тез. докл. Всесоюз. науч. конф. «Исследование русловых процессов для практики народного хозяйства». Москва, 22—24 дек. 1983 г. М., 1983. С. 170—171.
3. Каганов Я. И. Русловый процесс при обваловании горных рек // Эффективное использование пойменных земель западных районов УССР. Львов, 1983. С. 9—16.