

**Линия водослива (таблет)** — пространственная кривая на поверхности, все точки которой — точки водослива.

**Линия водораздела** — пространственная кривая на поверхности, все точки которой — точки водораздела.

Изложенная выше система признаков и дефиниций представляет один из возможных путей количественного определения характерных точек и характерных линий рельефа.

**Список литературы:** 1. Видуев Н. Г., Полицук Ю. В. Теория топографических поверхностей в инженерной геодезии. — Инженерная геодезия, 1977, вып. 20, с. 3—8. 2. Войдацкий Л. К. Расчет оптимального параметра цифровой модели рельефа с регулярным расположением точек. — Геодезия, картография и аэрофотогизм, 1984, вып. 39, с. 9—17. 3. Гурбидзе М. А. Геодезия. — Ч. 1. — М.: Недра, 1967. — 384 с. 4. Гурбидзе М. А. Геодезия. — геоморфологической информации. — В кн.: Рельеф Земли и математика. М., 1972, с. 18—43. 5. Девдариани А. С. Математический анализ в геоморфологии. — М.: Недра, 1967. — 155 с. 6. Закаев П. С., Багратуни Г. В., Велицкий Ф. Н. Курс геодезии. — Ч. 1. — М.: Л.: ОНТИ, 1931. — 660 с. 8. Липонтов Д. Я., Бойко А. В. К вопросу о структурно-аналитическом представлении рельефа. — Изв. вузов. Геодезия и аэрофотогизм, 1975, вып. 3, с. 43—52. 9. Маслов А. В., Гордеев А. В., Александров Н. Н. и др. Геодезия. — М.: Недра, 1972. — 528 с. 10. Писахов В. Н. К вопросу о формализации отображения строения рельефа при автоматизированном построении горизонтографов. — Изв. вузов. Геодезия и аэрофотогизм, 1982, вып. 4, с. 107—113. 11. Рудой Р. М. Выделение структурных линий рельефа аналитическим методом. — Геодезия, картография и аэрофотогизм, 1984, вып. 39, с. 135—140.

Статья поступила в редколлегию 07. 03. 84

УДК 62.44+628.74+627.42

Б. И. ВОЛОСЕНКИН, Я. И. КАЛАНОВ

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МОРФОМЕТРИЧЕСКИХ ЗАВИСИМОСТЕЙ, ОПРЕДЕЛЯЕМЫХ ИЗ ГЕОДЕЗИЧЕСКИХ НАБЛЮДЕНИЙ, ДЛЯ ПРОГНОЗА РУСЛОВЫХ ДЕФОРМАЦИЙ

Процессы перестроения русел горных рек, наиболее отчетливо проявляющиеся в период паводка, вызывают значительные осложнения в работе гидроэлектростанций, нарушения функционирования дорожной сети, затопления населенных пунктов и сельскохозяйственных угодий, ухудшения условий лесопользования и т. п.

Достаточно эффективным и широко распространенным во многих странах техническим средством борьбы с наводнением является обвалование рек и строительство каскада поперечных являющих сооружений. Защитно-выправительные сооружения можно проектировать лишь на основе прогноза русловых перестроений рек, вызванных искусственным изменением их гидравлического и гидрологического режимов. Формы и размеры возможных русловых деформаций определяют габариты сооружений и размещение их в плане.

Теоретические и экспериментальные исследования закономерностей руслового процесса, динамики его перестроения служат основой прогноза характеристик транспортирующей способности потока и русловых деформаций, расчета устойчивых русловых форм, размещения и компоновки сооружений.

При расчете русловых деформаций, происходящих в период паводка, практическое значение имеет получение морфологических зависимостей непосредственно из анализа естественных форм русла и гидравлических параметров потока.

Факторами, определяющими русловый процесс естественных потоков, являются: гидрологический режим водотока, который зависит от количества паводкового расхода; гидравлический режим, оцениваемый силой тяжести; степень шероховатости ложа русла, определяемая составом русловых отложений.

Инженерная практика ставит задачу изучения этого многофакторного процесса в конкретных региональных условиях, а при количественном описании процесс необходимо рассматривать в динамике, т. е. учитывать фактор времени.

Приняв в качестве исходного уравнения деформации русла [1] и пренебрегая при этом средней концентрацией взвешенных наносов, получаем следующее выражение:

$$\frac{\partial Z_s}{\partial t} = \frac{m_1}{1 - \epsilon} \frac{q_s}{H} \frac{\partial H}{\partial x} \delta + 1, \quad (1)$$

где  $X$  — продольная координата,  $t$  — время;  $H = \omega/B$  — средняя глубина;  $\omega$  — площадь живого сечения;  $B$  — ширина сечения по верху;  $Z_s$  — средняя высота дна;  $\epsilon$  — коэффициент пористости донных отложений;  $q_s = \frac{Q_s}{B}$  — удельный расход наносов;  $Q_s$  — объемный расход наносов;  $m_1$  и  $\delta$  — показатели степени в аппроксимирующих уравнениях  $Q_s = A v^{m_1}$  и  $H = \beta B \delta$ ;  $v$  — средняя скорость водного потока.

Численному интегрированию уравнения (1) с целью определения размеров русловых деформаций в расчетных створах водотока должны предшествовать получение и анализ функций  $Q_s(t)$ ,  $\omega(Z)$ ,  $B(Z)$ ,  $H(x)$ . Значения  $H$  и  $Q_s$  вычисляем при наличии графика изменения расходов воды  $Q(t)$  во времени в период паводка, кривых соответствующих уровней в расчетных створах и гидравлических уклонов  $I$ . Для этого необходимо провести геодезические измерения в фиксированных поперечных сечениях русла реки.

С целью определения русловых деформаций были проведены геодезические измерения в фиксированных створах на р. Быстрица в районе шт. Подбуж. Комплекс геодезических наблюдений состоял из планово-высотной привязки промерных створов и детальных измерений по поперечникам в этих створах.

Плановая привязка обеспечила определение координат с точностью  $\pm 5$  см, высотная —  $\pm 1$  см. Отметим точек на поперечных профилях по гидрологическим створам находили с помощью технического нивелирования по существующей методике [3]. Длина

поперечников не превышала 100 м, расстояние определялось с ошибкой не более  $\pm 10$  см, погрешность отметок характерных точек поперечного профиля не превышала  $\pm 1$  см. Расстояния между гидрологическими створами составляли в среднем 25...50 м, длина исследуемого участка реки — около 2 км.

Полевые измерения были проведены до и после паводка 05.07.84 г., что дало возможность оценить размеры вызванных им русловых деформаций. По данным этих измерений были построены

Таблица 1  
Деформации русла р. Быстрица по линии наибольших глубин

| L, м | H <sup>I</sup> , м | H <sup>II</sup> , м | $\Delta H = H^{II} - H^I$ , м |
|------|--------------------|---------------------|-------------------------------|
| 100  | 96,30              | 95,00               | -0,30                         |
| 150  | 96,80              | 96,60               | -0,20                         |
| 200  | 97,40              | 97,50               | +0,10                         |
| 250  | 98,35              | 98,35               | 0,00                          |
| 300  | 98,55              | 98,55               | 0,00                          |
| 350  | 98,75              | 98,65               | -0,10                         |
| 400  | 98,90              | 98,50               | -0,40                         |
| 450  | 98,85              | 98,50               | -0,35                         |
| 500  | 99,15              | 99,10               | -0,05                         |
| 550  | 99,25              | 99,50               | +0,25                         |
| 600  | 99,35              | 99,90               | +0,55                         |
| 650  | 99,75              | 100,10              | +0,35                         |
| 700  | 100,70             | 110,75              | +10,05                        |
| 750  | 101,25             | 101,30              | +0,05                         |
| 800  | 101,15             | 101,40              | +0,25                         |
| 850  | 101,50             | 101,77              | +0,27                         |
| 900  | 102,30             | 102,30              | 0,00                          |
| 950  | 102,55             | 102,55              | 0,00                          |
| 1000 | 102,75             | 102,70              | -0,05                         |
| 1050 | 103,05             | 102,85              | -0,20                         |
| 1100 | 103,95             | 103,60              | -0,30                         |

Таблица 2  
Деформации долины р. Быстрица

| L, м | H <sup>II</sup> , м | H <sup>I</sup> , м | $\Delta H = H^{II} - H^I$ , м |
|------|---------------------|--------------------|-------------------------------|
| 30,0 | 98,50               | 98,70              | -0,20                         |
| 32,5 | 98,40               | 98,60              | -0,20                         |
| 35,0 | 98,25               | 98,50              | -0,25                         |
| 37,5 | 98,10               | 98,35              | -0,25                         |
| 40,0 | 97,90               | 98,35              | -0,45                         |
| 42,5 | 97,90               | 98,15              | -0,25                         |
| 45,0 | 97,80               | 98,15              | -0,35                         |
| 47,5 | 97,80               | 98,20              | -0,40                         |
| 50,0 | 98,00               | 98,30              | -0,30                         |
| 52,5 | 98,35               | 98,50              | -0,15                         |
| 55,0 | 98,95               | 98,70              | +0,25                         |
| 57,5 | 100,10              | 99,70              | +0,40                         |
| 60,0 | 106,10              | 99,70              | +6,40                         |
| 62,5 | 100,10              | 100,20             | -0,10                         |
| 65,0 | 100,10              | 100,20             | -0,10                         |
| 67,5 | 100,10              | 100,20             | -0,10                         |
| 70,0 | 100,05              | 100,20             | -0,15                         |
| 72,5 | 100,05              | 100,20             | -0,15                         |
| 75,0 | 100,00              | 100,20             | -0,20                         |

Примечание. Таблица подается сокращенно, так как в начале створа деформации незначительны.

роены поперечные профили по всем створам и продольные профили исследуемого участка реки по линии наибольших глубин. Зафиксированы значительные деформации как в продольном, так и в поперечном направлениях. Размеры деформаций приведены в табл. 1 — для продольного профиля реки, в табл. 2, 3 — по поперечным профилям для двух характерных створов, расположенных в начальной и средней части исследуемого участка реки. Значение деформации  $i$ -й точки определяем как

$$\Delta H_i = H_i^{II} - H_i^I \quad (2)$$

где  $H_i^I$  и  $H_i^{II}$  — отметки соответствующих точек на профиле, полученные до и после паводка.

Анализируя приведенные данные, видим, что деформации довольно значительны — до 1 м, а в среднем находятся в пределах 0,3...0,5 м, причем наблюдаются как аккумуляция, так и размыва реки. Из табл. 1 видно, что участки размыва и аккумуляции чередуются, образуя соответствующие русловые формы. Так, раз-

мыв в начальной части участка до 0,4 м достигает в длину 150...200 м, а в ширину — 30...35 м. В средней части преобладает аккумуляция донных отложений с амплитудой до 0,55 м. Общая картина деформации русла реки достаточно сложная, и ее анализ требует более детальных исследований.

В практике проектирования и эксплуатации гидротехнических сооружений возникает необходимость прогнозирования руслового процесса и перестроения русла реки. При прогнозе русловых деформаций, описываемых уравнением (1), необходимо определить значения функций  $\omega(Z)$  и  $B(Z)$  для фиксированных поперечных сечений. Значения этих функций находят путем аппроксимации площади живого сечения соответствующей фигурой, представляющей поперечное сечение по данному створу, ограничивая его по верху при заданных  $Z$  прамой.

Расчет этих функций произвели на ЭВМ ЕС-1033. По заданным дискретным значениям  $Z_i = Z(Y_i)$ , где  $Z_i$  — отметка точки,  $Y_i$  — поперечная координата, т. е. на расстоянии по поперечнику от исходной точки до определяемой находим значения  $\omega(Z)$  и  $B(Z)$ . Шаг  $Z$  определяется требуемой детальностью задания функции  $\omega$  и  $B$ . Вычисления проведены для ряда створов на исследуемых участках р. Быстрица, исходя из имеющихся полевых наблюдений. На рисунке приведены значения функций  $\omega = \omega(Z)$  и  $B = B(Z)$  для двух створов по данным табл. 2 и 3.

При ограниченных возможностях выполнения детальных полевых исследований, а также в случаях, когда необходимо учесть русловые перестроения при проектировании и эксплуатации капитальных гидротехнических сооружений, расчет средней деформации русла для гидрографа расчетного, нормативного или катастрофического паводков можно выполнить по приведенной ниже методике.

$$B(1) \text{ обозначим } \Phi_Z = \frac{R_{вз}}{\omega} = \frac{\gamma_n q_s}{H},$$

где  $R_{вз}$  — массовый расход влекомых наносов;  $\gamma_n$  — уд. вес наносов.

Введем величину  $C_z$ , характеризующую скорость распространения соответствующей фазы руслового процесса.

$$C_z = \frac{m_1}{\gamma_n (1 - \epsilon)} \Phi_Z. \quad (3)$$

Таблица 3  
Деформации долины р. Быстрица

| L, м | H <sup>II</sup> , м | H <sup>I</sup> , м | $\Delta H = H^{II} - H^I$ , м |
|------|---------------------|--------------------|-------------------------------|
| 0,0  | 104,41              | 104,41             | 0,00                          |
| 2,5  | 103,50              | 103,30             | +0,20                         |
| 5,0  | 102,70              | 102,60             | +0,10                         |
| 7,5  | 101,10              | 102,10             | -1,00                         |
| 10,0 | 100,20              | 101,30             | -1,10                         |
| 12,5 | 100,00              | 99,90              | +0,10                         |
| 15,0 | 100,10              | 99,70              | +0,40                         |
| 17,5 | 100,30              | 99,70              | +0,60                         |
| 20,0 | 100,70              | 100,30             | +0,40                         |
| 22,5 | 100,70              | 100,30             | +0,40                         |
| 25,0 | 100,90              | 100,60             | +0,30                         |
| 27,5 | 101,00              | 100,90             | +0,10                         |
| 30,0 | 101,00              | 100,90             | +0,10                         |
| 32,5 | 101,70              | 100,90             | +0,80                         |
| 35,0 | 101,30              | 101,00             | +0,30                         |
| 37,5 | 101,70              | 101,70             | 0,00                          |
| 40,0 | 101,70              | 101,70             | 0,00                          |
| 42,5 | 101,00              | 102,70             | -0,70                         |

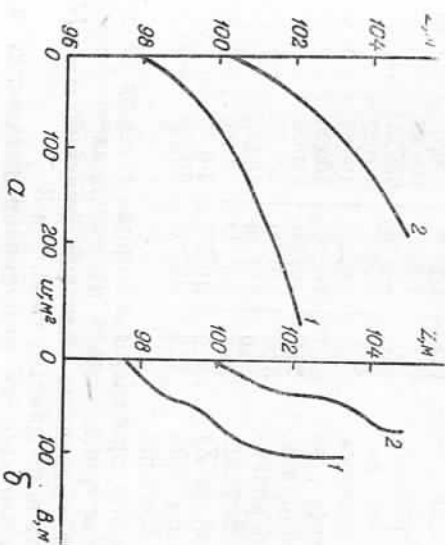
Смещение соответствующей фазы руслового процесса за период руслоформирования в интервале от  $t_n$  до  $t_k$

$$X_{\Phi} = \frac{m_1}{\gamma_n(1-\varepsilon)} \frac{\delta+1}{\delta-1} \int_{t_n}^{t_k} \Phi_z dt. \quad (4)$$

Средняя деформация в расчетном створе за период руслоформирования

$$\Delta Z = \frac{m_1}{\gamma_n(1-\varepsilon)} \frac{\delta+1}{\delta-1} \frac{\partial H}{\partial X} \int_{t_n}^{t_k} \Phi_z dt. \quad (5)$$

Поскольку действительная закономерность распределения соответствующей фазы руслового процесса в данном створе на лежащий ниже участок неизвестна, в первом приближении принят линейный закон изменения деформации от значения  $\Delta Z$  в данном



Зависимость площади живого сечения и ширины водотока от высоты:  
а —  $\omega(z)$ ; б —  $B(z)$ ; 1 — первый створ, 2 — второй створ.

расчетном створе до нуля в сечении на расстоянии  $X_{\Phi}$  ниже по течению реки.

Если в каждом характерном створе построить ординаты соответствующих деформаций знаков и выразить влияние руслового процесса на нижележащий участок реки в форме прямо-

угольного треугольника (эпюры), то в результате алгебраического сложения их ординат получим суммарную эпюру деформации по длине русла.

Расчет деформации русла выполняется при принятии гидро-

графе паводка и установленном положении дамбы обвалования по данным предварительной оценки устойчивости русла [2].

В целом методику прогноза русловых переформирований можно применить для любой горной зоны, так как ее уравнения получены из общего дифференциального уравнения динамики русловых потоков. При этом учитываются некоторые характеристики потока, определяющие скорость и длину распространения соответствующей фазы руслового процесса. Прогноз русловых деформаций выполняются при выбранном положении дамбы обвалования.

Исходными данными для расчета являются графики изменения во времени величин  $Q(t)$ ,  $\omega_x(t)$ ,  $B_x(t)$ ,  $I_x(t)$ ,  $d_{\text{ср}}$  при выбранном

положении дамбы обвалования. Исходной информативной служат производная  $\partial H / \partial X$  со своим знаком и границы периода руслоформирования ( $t_n$ ,  $t_k$ ), полученные при оценке устойчивости русла.

Определение средних деформаций русла в расчетном створе производится в следующем порядке: составляются временные ряды величин  $\Phi_z$ ; определяются смещения  $X_{\Phi}$  соответствующей фазы руслового процесса за расчетный период руслоформирования; рассчитывается средняя деформация  $\Delta Z$  в данном створе.

Изложенная методика прогноза русловых деформаций предусматривает проведение натурных геодезических измерений, математическая обработка и анализ которых составят основу исходной информации к расчету. Это позволит в практике проектирования регулировочных сооружений на горных реках осуществлять прогноз деформаций при ограниченном объеме полевых наблюдений.

**Список литературы:** 1. Казаков Я. И. Русловые переформирования при регулировании рек горно-предгорной зоны. — Львов: Вища шк. Изд-во при Львов. ун-те, 1981. — 118 с. 2. Казаков Я. И. Русловой процесс при обваловании горных рек. — В кн.: Эффективное использование пойменных земель в падающих районах УССР. Львов, 1983, с. 9—16. 3. Справочное руководство по инженерно-геодезическим работам / Под ред. В. Д. Большакова и Г. П. Левунка. — М.: Недра, 1980. — 781 с.

Статья поступила в редакцию 04.01.85

УДК 622.1(031)

В. Г. ГРЕБЕНЮК, Н. И. КРАВЦОВ, М. М. ФЫС

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОБЪЕМОВ КАМЕР ПУСТОТ С ОДНОЙ ТОЧКИ УСТАНОВКИ ПРИБОРА

В настоящее время на подземных рудниках горнодобывающей промышленности получили широкое распространение высокопроизводительные системы добычи руды с глубокими скважинами, что привело к образованию недопустимых подземных пустот (очистных камер). В результате значительно изменился объем, содержание и методика маркшейдерских работ, возникла необходимость определения положения и развития выемочных пустот, состояния песников, потолочины и т. п.

Съемка очистных камер связана с рядом трудностей, в частности ограниченной доступностью к очистному пространству; повышенной опасностью; отсутствием высокопроизводительных и достаточно точных приборов; большим объемом полевых и камеральных работ.

Недоступные пустоты создаются при мощных залежах полезных ископаемых следующим образом: с открытым очистным пространством руды; с обрушением.

Недоступные пустоты представляют собой в чистом виде очистные камеры, размеры которых зависят от геологических и горнотехнических условий. В настоящее