

техники (электроника, радиотехника, светолокация, фотограмметрия и др.), вопросов размещения и закрепления пунктов исходного геодезического обоснования, конструирования и своевременной закладки контрольно-измерительной аппаратуры на местности и в сооружениях, правильной обработки и интерпретации комплексных материалов измерений, автоматизации работ — актуальная задача.

Одним из нерешенных вопросов измерения перемещений сооружений и земной поверхности является точность наблюдений. По скольку задача установления норм точности наблюдений не только актуальна, но и трудна, то к ее решению следует идти последовательно. На первом этапе нами это сделано, исходя из обобщения опыта наблюдений за сооружениями и земной поверхностью и анализа точности этих работ.

Вопросы измерения деформаций сооружений (сдвигов, осадок, наклонов и др.) геодезическими методами стали широко разрабатывать советские геодезисты.

**Список литературы:** 1. Материалы октябрьского (1984 г.) Пленума ЦК КПСС. — М.: Политиздат, 1984. — 64 с. 2. Бродяг П. Н. Геодезические методы измерения деформаций оснований и сооружений. — М.: Недра, 1965. — 298 с. 3. Богоя Н. Ф. Точные измерения перемещений земной поверхности и сооружений. — Саратов: Изд-во Саратов. ун-та, 1982. — 144 с. 4. Николаев С. А. Статистическое исследование осадок инженерных сооружений. — М.: Недра, 1983. — 132 с.

Статья поступила в редакцию 29. 11. 84

УДК 528.422

## Л. К. ВОИСЛАВСКИИ

### ХАРАКТЕРНЫЕ ТОЧКИ И ХАРАКТЕРНЫЕ ЛИНИИ РЕЛЬЕФА

Для отображения земной поверхности на топографических картах и планах первостепенное значение имеет правильное видение на местности (или ее модели) характерных точек и характерных линий рельефа. Содержание понятия, выражаемых терминами «характерная точка рельефа» и «характерная линия рельефа», определяется пока неоднозначно. Например, в [3, 6] к характерным точкам относят только вершину горы, дно котловина и самую низкую точку седловины, а в [9], помимо перечисленных, включают и точки на водоразделах, водотоках, бровках, подолвах, перегибах скатов. К характерным линиям в одних случаях относят только водораздел хребта и волослив долины (талывер) [3, 6], а в других — линии перегиба ската [7]. Помимо этого отмечают, что водораздел хребта и талывер долины называют также структурными линиями [8, 10, 11] и инвариантными линиями [1].

Развитие математических исследований в геоморфологии, создание цифровых моделей рельефа (ЦМР), разработка алгоритмов, позволяющих с помощью ЭВМ выделить на ЦМР не только характерные линии [11], но и отдельные формы рельефа [4], приводит к необходимости более точного определения названных видов терминов с привлечением количественных методов. Речь идет о системе формальных выделителей характерных точек и линий рельефа, которая позволила бы однозначно выделять характерные точки и линии рельефа среди множества других точек и линий топографической поверхности.

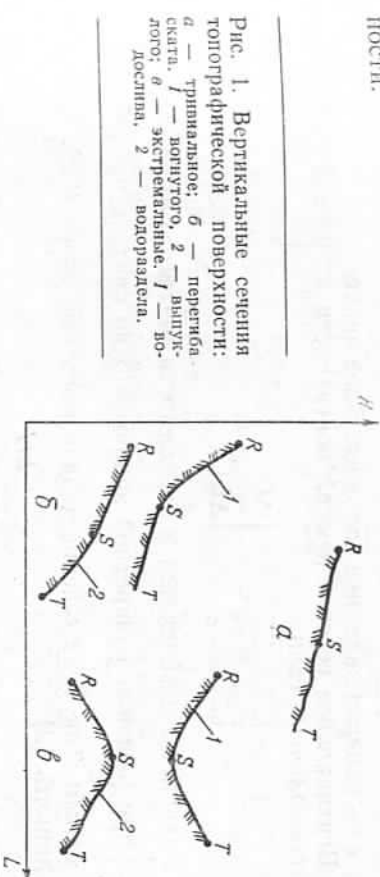


Рис. 1. Вертикальные сечения топографической поверхности: *a* — тринивальное; *б* — перегиба ската; *1* — волнотого; *2* — выщупало; *а* — экстремальные; *1* — волнотого; *2* — водораздела.

Для решения поставленной задачи рассмотрим кривую *RST* (рис. 1) — след сечения поверхности вертикальной плоскостью. В дифференциальной геометрии одной из основных локальных характеристик плоской кривой является ее кривизна

$$k = \left[ 1 + \left( \frac{dH}{dL} \right)^2 \right]^{-3/2} \frac{d^2 H}{dL^2}. \quad (1)$$

Так как уклон линии в точке *S* — производная высоты по длине [5], т. е.

$$i = \frac{dH}{dL},$$

тогда можем записать

$$\frac{di}{dL} = k(1 + i^2)^{3/2}, \quad (2)$$

где  $\frac{di}{dL}$  — производная уклона по расстоянию в этой же точке. Таким образом, мы видим, что кривизна линии тесно связана с уклоном, а величина  $\frac{di}{dL}$  прямо пропорциональна кривизне *k*.

Вот почему, если в левой части (2) бесконечно малые величины заменить конечными приращениями, параметр  $\left| \frac{\Delta i}{\Delta L} \right|$ , т. е. отношение приращения уклона в некоторой достаточно малой окрестности точки *S* к длине этой же окрестности  $\Delta L$ , можно ис-

пользовать в качестве количественного признака при классификации вертикальных сечений поверхности.

На основании рассмотренного критерия выделим два типа сечений.

Сечение земной поверхности вертикальной плоскостью в точке  $S$  будем называть *триангулярным сечением*, если имеет место равенство

$$\left| \frac{\Delta i}{\Delta L} \right| < \epsilon, \quad (3)$$

где  $\epsilon$  — наперед заданное положительное число.

Вертикальное сечение земной поверхности в точке  $S$  назовем *нетриангулярным*, если

$$\left| \frac{\Delta i}{\Delta L} \right| \geq \epsilon. \quad (4)$$

Величина  $\epsilon$  выбирается в зависимости от того, какое значение  $\left| \frac{\Delta i}{\Delta L} \right|$  при решении конкретной задачи можно считать пренебрегаемо малым. Так, если сечение задано высотами точек  $R, S, T$ , можно принять [2]

$$\epsilon = \frac{\Delta H}{2d^2(t-t^2)}, \quad (5)$$

где  $\Delta H$  — интервал на шкале высот, в границах которого высоты точек практически неразличимы;  $d$  — горизонтальная проекция линии  $RT$ ;  $t$  — отношение отрезков  $RS$  и  $RT$ .

Нетриангулярные сечения можно разделить на два вида, каждый из которых, в свою очередь, подразделяется на два подвида.

**Сечение перегиба ската** — нетриангулярное сечение, у которого  $\text{sign } i_2 = \text{sign } i_1$ ,

$$\text{sign } x = \begin{cases} -1, & \text{если } x < 0; \\ 1, & \text{если } x > 0; \end{cases}$$

где  $\Delta i > 0$ ;

**Сечение вогнутого ската** — сечение перегиба ската, у которого  $\Delta i > 0$ ;

**Сечение выпуклого ската** — сечение перегиба ската, у которого  $\Delta i < 0$ .

**Экстремальное сечение** (рис. 1,  $\theta$ ) — нетриангулярное сечение, для которого

$$\text{sign } i_2 \neq \text{sign } i_1; \quad (7)$$

**Сечение водослива** — экстремальное сечение, для которого имеет место равенство

$$\text{sign } i_2 = \text{sign } i_1 > 0; \quad (8)$$

**Сечение водораздела** — экстремальное сечение, у которого  $\text{sign } i_2 = \text{sign } i_1 < 0$ . (9)

Схема алгоритма распознавания и классификации сечений показана на рис. 2.

Теперь можно перейти к определению характерных точек рельефа:

**Характерная точка** — точка поверхности, у которой среди множества вертикальных сечений имеется, по крайней мере, одно нетриангулярное.

**Точка перегиба ската** (вогнутого и выпуклого) —

характерная точка, у которой среди множества сечений имеется хотя бы одно сечение перегиба ската и нет экстремальных сечений.

**Точка водослива (талвега)** — характерная точка, у которой среди множества сечений есть хотя бы одно сечение водослива и хотя бы одно тривиальное сечение или сечение перегиба ската.

**Точка водораздела** — характерная точка, у которой среди множества сечений есть хотя бы одно сечение водораздела и хотя бы одно тривиальное сечение или сечение перегиба ската.

**Низшая точка (дно) котловины** — характерная точка, у которой все сечения — сечения водослива.

**Вершина** — характерная точка, у которой все сечения — сечения водораздела.

**Точка седловины (седловина)** — характерная точка, среди множества сечений которой имеется хотя бы одно сечение водослива и хотя бы одно сечение водораздела.

**Дно котловины**, **вершина** и **седловина** — автономные характерные точки. Располагаются они, как правило, независимо одна от другой. В противоположность им точки перегиба ската, водослива и водораздела не существуют самостоятельно. Они являются элементами более сложного образования — характерной линии рельефа.

**Характерная линия рельефа** — непрерывная пространственная кривая на поверхности, все точки которой — характерные точки рельефа одного и того же вида. Характерная линия рельефа — родовое понятие, объединяющее три видовых понятия:

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

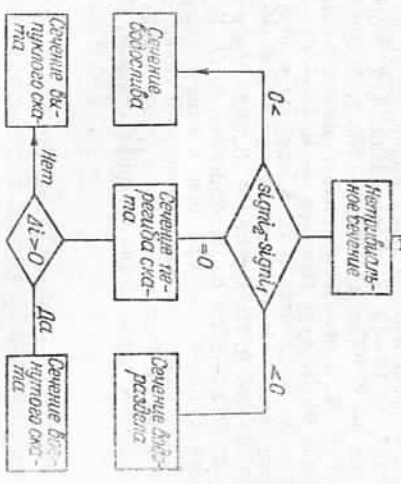


Рис. 2. Схема алгоритма распознавания и классификации сечений топографической поверхности.

**Линия водослива (табьер)** — 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., Полещук Ю. В.* Теория топографических поверхностей в инженерной геодезии. — Инженерная геодезия, 1977, вып. 20, с. 3—8. 2. *Войковский Л. К.* Расчет оптимального параметра цифровой модели рельефа с регулярирым расположением точек. — Геодезия, картография и аэрофотогосъемка, 1984, вып. 39, с. 9—17. 3. *Гиршберг М. А.* Геодезия, Ч. 1. — М.: Недра, 1967. — 384 с. 4. *Грейкс В. Л.* Образное представление геоморфологической информации. — В кн.: Рельеф Земли и математика. М., гин. — М.: Недра, 1967. — 155 с. 6. *Закатов П. С., Багратуни Г. В., Велицкий Ф. Н.* Курс геодезии. — Ч. 1. — М.: Л.: ОНТИ, 1931. — 660 с. 8. *Ликонтов Д. Я., Бойко А. В.* К вопросу о структурно-аналитическом представлении рельефа. — Изв. вузов. Геодезия и аэрофотогосъемка, 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. *Прасолов В. Н.* К вопросу о формализации отображения строения рельефа при автоматизированном построении горизонталий. Изв. вузов. Геодезия и аэрофотогосъемка, 1982, вып. 4, с. 107—113. 11. *Рудой Р. М.* Выделение структурных линий рельефа аналитическим методом. — Геодезия, картография и аэрофотогосъемка, 1984, вып. 39, с. 135—140.

Статья поступила в редакцию 07. 03. 84

УДК 62.44+528.74+627.42

**Б. И. ВОЛОСЕЦКИИ, Я. И. КАЛАНОВ**

**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МОРФОМЕТРИЧЕСКИХ ЗАВИСИМОСТЕЙ, ОПРЕДЕЛЯЕМЫХ ИЗ ГЕОДЕЗИЧЕСКИХ НАБЛЮДЕНИИ, ДЛЯ ПРОГНОЗА РУСЛОВЫХ ДЕФОРМАЦИИ**

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 лесосплава и т. п.

Достаточно эффективным и широко распространенным во многих странах техническим средством борьбы с наводнением являются обвалование рек и строительство каскада поперечных гидротехнических сооружений. Защитно-выправительные сооружения можно проектировать лишь на основе прогноза русловых перестроений рек, вызванных искусственным изменением 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 русловую 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  $H = \beta \delta v$ ;  $v$  — 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, кризисных соответственных 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. Отметки точек на поперечных профилях по гидрологическим створам находили с помощью технического нивелирования по существующей методике [3]. Длина