

О МЕЖДУНАРОДНОМ ОПЫТЕ ПРИМЕНЕНИЯ МЕТОДОВ ТОПОГРАФИИ В ЛАНДШАФТНЫХ ИССЛЕДОВАНИЯХ (КРАТКИЙ ОБЗОР)

П.А.Шарый, Г.А.Курякова, И.В.Флоринский

Настоящая статья является первой в отечественной литературе попыткой обзора приложений современных количественных (отражающих свойства земной поверхности в поле притяжения) методов топографии в ландшафтоведении. В силу краткости обзора авторы не претендуют на его полноту*. Ниже приведены эквиваленты терминов, использовавшихся в статьях нашего сборника, распространенные в зарубежной литературе (см. например: Evans, 1972, 1980, 1981; Cox, Evans, 1987; Gerrard, 1981; Lanyon, Hall, 1983; Krcho, 1973, 1989; Speight, 1968, 1974, 1980; O'Loughlin, 1981; Kachanoski et al., 1985; Barsch, Liedtke, 1980; Dikau, 1988; Pennock et al., 1987; Martz, de Jong 1988, 1990/). Кроме того, общепринят противоположный используемому в сборнике выбор знака кривизн, за исключением гауссовой / Papo, Gelbman, 1984/, знак которой имеет классификационный характер.

* Обзор был написан после завершения остальных статей сборника, поэтому излагаемый здесь материал не отражен в них; некоторые термины этих работ редко используются или даже не используются в международной практике.

В сборнике	В зарубежной литературе
Кривизна горизонтали *	плановая кривизна
Вертикальная кривизна *	профильная кривизна
Морфозографа	-
Понижение	область конвергенции
Повышение	область дивергентии

В традиционной топографии, получившей бурное развитие в 18 веке, используется всего три величины: высота, крутизна и ориентация склона (географические координаты мы не включаем в понятие топографических величин). В современной топографии введение новых величин обычно производится в контексте некоторых процессов или потоков, относительно которых принимается, что они реальны в ландшафте / Martz, de Jong, 1988/.

A.R.Aandahl /1948/ обычно цитируется как один из первых исследователей, осознавших влияние плановой и профильной кривизн на свойства почв. Предложенная R.V.Ruhe /1960/ качественная классификация склонов на вершины, выступы, вогнутости, подножия и низины, основанная в сущности лишь на профильной кривизне / Pennock et al., 1988/, нашла широкое применение в ландшафтovedении многих стран (США, Канада, Австралия, Великобритания и др.): в почвоведении /Wilding et al., 1983/, в геоморфологии /Dalrymple et al., 1968; Conacher, Dalrymple, 1977; Hall, 1983/, в гидрологии /Burt, 1988/ и т.д. Влияние этой неколичественной классификации трудно переоценить: прямо или косвенно она вошла в тысячи работ (см. обзоры, цитированные выше). Однако, как указал R.J.Hugget /1975/, двумерный подход к классификации склонов справедлив только, когда значимая плановая кривизна отсутствует. Плановая форма склона может сильно влиять на латеральное распределение геоморфологических, гидрологических и педологических процессов, а следовательно – на почвы, которые возникают из взаимодействия этих процессов / Pennock et al., 1988/.

Обратимся теперь к количественным подходам. П.К.Соболевский /1932/ одним из первых осознал значение плановой кривизны и ввел в рассмотрение области конвергенции и дивергентии. V.Kvietkauskas /1964/ разработал метод составления четырехцветных карт, количественно описывающих характеристики топографической поверхности: высоту, крутизну и профильную кривизну. Как П.К.Соболевский /1932/, так и V.Kvietkauskas /1964/ использовали для определения кривизн понятие радиуса кривизны без

* Эти термины также используются в зарубежной литературе.

указания процедуры его определения. F.R.Troeh /1964/ инициировал количественную оценку плановой и профильной кривизн аппроксимацией участков земной поверхности параболоидом вращения. Он нашел существенную корреляцию между этими топографическими величинами (а также крутизной) и распределением почв, что связывал с влиянием формы поверхности на гидрологический статус почв.

D.Zaslavsky, A.S.Rogowski /1969/ (Израиль, США) постулировали, что линии направления инфильтрации воды в почву дивергируют на выпуклых элементах рельефа и конвергируют на вогнутых. Эти авторы предположили, что повышенная влажность в вогнутых элементах должна приводить к ускоренному развитию в них профиля. Позднее в полевых исследованиях Sinai et al. /1981/ обнаружили сильную (0,9) линейную корреляцию влажности почвы с лапласианом высоты (отметим, что в сделанном этими авторами приближении минус лапласиан высоты равен удвоенной средней кривизне, характеризующей выпуклость поверхности); урожай пшеницы на вогнутых участках рельефа был в 4–5 раз выше, чем на выпуклых (в климатических условиях Израиля). M.G.Anderson, T.P.Burt /1978/ экспериментально подтвердили поступат, обнаружив строго конвергентную инфильтрацию просачивающейся после дождя воды в вогнутые по плановой и профильной кривизне участки (отметим, что отсюда следует также вогнутость по средней кривизне). Подобные результаты получил и E.M.O'Loughlin /1981/ для лесных бассейнов в Австралии.

Исследования по эрозии и топографии в связи с урожайностью кукурузы в США /Stone et al., 1985; Daniels et al., 1985/ показали, что благодаря разностям во влажности урожайность участка гораздо больше связана с его относительным положением в рельфе, чем с эрозионными классами.

L.E.Lanyon, G.F.Hall /1983/ рассмотрели совместное действие 4-х типов причин потенциальной неустойчивости ландшафта, выделив: а) области с отрицательными плановой и профильной кривизнами, чему отвечает повышенная влажность, а потому и неустойчивость; б) области с крутизной выше средней, чему соответствует относительно большая тангенциальная составляющая силы притяжения; в) области с интенсивностью воздействия Солнца меньше средней, то есть со сравнительно малой потерей влаги; г) области определенного состава, который известен как наиболее неустойчивый. Объединив соответствующие 4 карты методами дискриминантного анализа, авторы получили результирующую прогнозную карту, успешно предсказывавшую места обнаруженных в восточном Огайо (США) неустойчивостей ландшафта.

Отметим, что области вогнутости как в плане, так и в профиле обычно имеют характер пятен /Lanyon, Hall, 1983/ и отвечают зонам относительной аккумуляции приповерхностных потоков за счет профильного механизма (замедление потоков) и конвергенции

(сближение потоков); качественно это отметил, например, J.Krcho /1989/, количественное рассмотрение дал П.А.Шарый /1991/.

G.F.Hall /1983/ оценил движение и распределение воды на склонах как важнейший для развития почвенной катены фактор; гидрология склонов в связи с топографией посвящено довольно большое количество работ /см. например: Burt, 1988; Beven, 1987; Beven, Wood, 1983; Speight, 1980; Anderson, Burt, 1978, 1980; Moss, Walker, 1978; Govers, 1985/. V.Klemeš /1983/ обсуждает различие ведущих гидрологических процессов для разных масштабов рассмотрения. Подобное различие в более широком контексте связи топографии с геологическими процессами рассмотрел K.C.Clarke /1988/; это различие обсуждается также в работе J.D.Phillips /1988/.

Понятие локальных и нелокальных топографических величин определено в работе И.Н.Степанова с соавт. /1991/. L.W.Martz, E.de Jong /1988/ характеризуют локальные топографические величины как описывающие геометрию (или форму) поверхности в точке *, причем для определения таких величин нужна лишь малая окрестность этой точки; нелокальные топографические величины характеризуют относительное положение участка земной поверхности в ландшафте, обеспечивая количественную меру концепций, выражаемых такими описательными терминами, как верхнее, нижнее положение склона, вершина, выступ, вогнутость, подножие и низина. Для определения этих величин требуется рассмотрение достаточно протяженных участков поверхности.

J.G.Speight /1968, 1974, 1980/ (Австралия) ввел две таких величины: удельные (на единицу длины горизонтали) водосборную и дисперсивную площасти. Удельная водосборная площадь в точке есть предел отношения площади замкнутой фигуры, образованной содержащим эту точку отрезком горизонтали и приходящими с более высоких участков склона на концы отрезка линий тока, к длине дуги этого отрезка горизонтали при стремлении последней к нулю. Аналогично определяется удельная дисперсивная площадь (для более низко лежащих участков склона).

Геометрия реальной земной поверхности достаточно сложна: длина горизонтали между двумя точками с одинаковой высотой может неограниченно возрастать при увеличении подробности топографической съемки /Mandelbrot, 1983/; выше уже

*Это не совсем так: при заданной форме поверхности локальные топографические величины зависят еще от ее ориентации в поле притяжения. Например, горизонтальный и наклонный плоские участки имеют разную крутизну.

отмечалась роль масштаба при рассмотрении тех или иных процессов. D.M.Mark /1984/ (США), L.W.Martz, E.de Jong /1988/ (Канада) предложили вычислительные методы объективного определения этих нелокальных топографических величин, впервые намеченные в работе J.G.Speight /1968/. В отличие от D.M.Mark /1984/, канадские авторы, основываясь на результатах своих полевых измерений /Martz, de Jong, 1985, 1987/ по изучению "чистой эрозии", то есть разности между расходом и приходом почвы за год, уделили особое внимание депрессиям и ввели две величины: глубину заполнения депрессии и водосборную площадь с учетом депрессий. Позже ими была показана корреляция как локальных, так и нелокальных топографических величин с концентрацией естественных радионуклидов в верхнем слое почвы /Martz, de Jong, 1990/; отметим, что значимой корреляции с крутизной не обнаружено, тогда как для плановой и профильной кривизн, водосборной площади и глубины заполнения депрессий значимая корреляция найдена. S.K.Jenson, J.Q.Domingue /1988/ считают основным процессом, связанным с водосборной площадью, аккумуляцию потоков. K.Beven, E.F.Wood /1983/, а также T.P.Burt, D.B.Butcher /1985/ полагают, что водосборная площадь имеет фундаментальное значение для исследования флювиальных и гидрологических процессов в ландшафте. В исследовании топографического контроля влажности почв T.P.Burt, D.P.Butcher /1985/ показали, что величины, связанные с водосборной площадью, коррелируют с содержанием влаги в почве сильнее, чем локальные топографические величины. Ими также показано, что измерение водосборной площади вручную по картам горизонталей более субъективно, чем выполненное на ЭВМ вычислительными методами, использующими цифровую модель рельефа.

Причина здесь глубже, чем точность ручных измерений и построений. Дело в том, что высоты измеряются в конечном числе точек местности, а проведение изолиний (горизонталей) между этими точками неизбежно вносит ошибку в значения высот. Сложный (фрактальный) характер земной поверхности и большое количество связанных с этим работ (см. Mandelbrot, 1983 и список литературы в этой работе), включая так называемые фрактальные топографические модели (см. Clarke, 1988 и его библиографию), привели многих исследователей к осознанию преимуществ использования непосредственно измеренных топографических данных (цифровая модель рельефа) по сравнению с методом изолиний, более удобным для иллюстративных целей. I.S.Evans /1972, 1981/ предложил быстрый вычислительный метод объективного определения локальных топографических величин компьютерным анализом цифровой модели рельефа (см. рис.). Эта техника была использована во многих недавних исследованиях поверхности Земли, например /Lanyon, Hall, 1983; Burt, Butcher, 1985; Martz, de Jong, 1985, 1987, 1990; Franklin, 1987; Pennock et al., 1987/. Развитию метода посвящена работа L.W.Zevenbergen,

C.R.Thorne /1987/. Вычислительные методы для нелокальных топографических величин предложили D.M.Mark /1984/ и L.W.Martz, E.de Jong /1988/; отметим, что те и другие величины определяются лишь в тех точках, где измерена высота (операционный подход). Кроме обсуждавшихся выше приложений, эти методы используются в Геологической службе США для составления красочных карт водосборных площадей /Jenson, Domingue, 1988/.

Краткий обзор четырех основных типов моделей высот (digital elevation models, DEM) дал J.R.Carter /1988/ (США). Этот автор отметил, что цифровая модель местности (digital terrain model, DTM) может включать в себя DEM, но может содержать и другие данные о ландшафте. А.В.Поздняков, И.Г.Черванев /1990/ в рассмотрении одного из этих типов DEM предложили ограничиться учетом двух видов геоморфологических структурных линий /Ласточкин, 1987/ и их порядков, для чего, по мнению авторов, необходимо составление DEM "начинать с выделения порядков долин и водоразделов"*. Более объективные подходы рассмотрены в других работах /Jenson, Domingue, 1988; Douglas, 1986; Peucker, Douglas, 1975; Mark, 1984/.

Состояние современной топографии отражается в развитии представлений о классификации участков земной поверхности. Хронологически одной из первых была фундаментальная классификация форм поверхности на эллиптические, параболические и седловые /Gauss, 1827/ по знаку полной (гауссовой) кривизны. Однако эта классификация относится к свойствам самой поверхности, не учитывая ее ориентацию в поле притяжения, от которой также зависят топографические величины (см. примечание на с. 16). В итоге возник ряд качественных классификаций (например, Ефремов, 1949), постепенно вытесняемых полукачественными или количественными. Рассмотрим здесь только последние. Некоторые авторы, например, F.R.Troeh /1964/, J.Krcho /1983/, предложили классификацию по знакам плановой и профильной кривизн (9 типов поверхностей, из них распространены 4), то есть локальных топографических величин. Но из локальности следует, что такая классификация не отражает относительное положение участка по рельефу. Первую попытку выйти из положения предпринял J.G.Speight

* Такой подход достаточно субъективен по двум причинам. Во-первых, фрактальный характер земной поверхности делает в общем случае не единственным выбор количества тальвегов и водоразделов (а следовательно – их порядков). Во-вторых, точность использующей нерегулярную сетку модели определяется в первую очередь учетом мест резкого перепада высот /Carter, 1988/, то есть другими структурными линиями – бровками и подножиями /Ласточкин, 1987/, тогда как тальвеги и водоразделы сами могут быть найдены из DEM /Douglas, 1986; Jenson, Domingue, 1988/.

/1968/, использовавший плановую и профильную кривизны, а также введенную им в этой работе локальную топографическую величину – удельную водосборную площадь. Набор величин, однако, явно был недостаточен для целей классификации; позже автор ввел удельную дисперсионную площадь /Speight, 1974/, но к классификации более не возвращался. Попытка выхода из положения была предложена другими авторами /Pennock et al., 1987/, использующими, по существу, неколичественный подход R.V.Ruhe /1960/ в сочетании с классификацией по плановой и профильной кривизнам. П.А.Шарый /1990/ показал, что в горизонтальной и профильной кривизнах уже частично потеряна информация как о полной кривизне поверхности, так и об ориентации ее в поле притяжения, и предложил обобщение классификации Гаусса для поверхности в силовом поле, включающее как частный случай классификации по знакам плановой и профильной кривизн. Эта классификация основана, однако, только на локальных величинах и потому не отражает относительное положение участка по рельефу.

Свободная от этого недостатка количественная классификация в настоящее время отсутствует. Причина, по-видимому, заключается в недостаточной полноте хорошо определенных топографических величин и отсутствии развитой теории поверхности в поле притяжения Земли. Последнее легко заметить уже из неразвитости соответствующего направления в математике /Математическая энциклопедия, 1977–1985/, где теоремой Сарда об уровнях множествах (то есть горизонталях) практически исчерпаны фундаментальные результаты о поверхности в векторном поле со скалярным потенциалом. Подчеркнем во избежание недоразумений, что по отдельности теория поверхности (например, дифференциальная геометрия) и теория поля весьма развиты; речь идет о неразвитости математической теории системы "поверхность–поле".

А.Н.Ласточкин /1987/ систематически использовал понятие структурных линий в геоморфологии. П.А.Шарый, И.Н.Степанов /1991/ ввели производящие функции этих линий (равные нулю на них); для структурных линий "второго типа" такая функция известна (профильная кривизна). Структурную линию, имеющую производящей функцией плановую кривизну, впервые ввел П.К.Соболевский /1932/. И.Н.Степанов с соавт. /1987/ предложили для нее термин "морфоизограф"; эта структурная линия, разделяющая области конвергенции и дивергенции, использовалась им и коллегами в почвоведении, гидрологии и мелиорации /Метод пластики рельефа...1987*/. Че-

*Видимо, "пластика рельефа" – не вполне ясное название для соответствующих методов и приложений топографии; во всяком случае А.В.Поздняков, И.Г.Черванев /1990/, ссылаясь на цитированную книгу, интерпретируют это название иначе и никак не связывают материал книги с подходом П.К.Соболевского /1932/ и J.Krcho /1973/.

четыре других структурных линии А.Н.Ласточкин /1987/ разделил на два типа: 1) тальвеги, водоразделы и 2) бровки, подножия. Линии первого типа важны в гидрологии и могут быть выделены удельной дисперсивной и водосборной площадью, соответственно

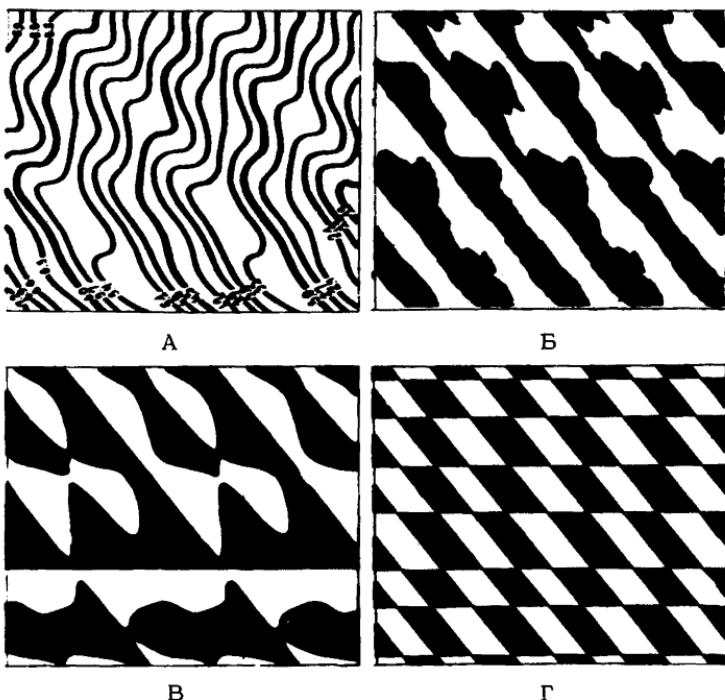


Рис. Модельная топографическая поверхность $z=4+(\sin 3(x+y)+\sin 6(x+y)+\sin 3y+\sin by)/10-x+0.3y^2$, начало координат - в центре, $-2.7 < x < 2.7$, $-1.8 < y < 1.8$. А - горизонтали, Б - профильная кривизна, В - плановая кривизна, Г - гауссова кривизна; черные области соответствуют отрицательным значениям кривизн

/ Speight, 1968; Jenson, Domingue, 1988/, но также и локальными топографическими величинами /Шарый, Степанов, 1991/; линии второго типа, существенные при составлении цифровой модели рельефа /Douglas, 1986/, не выделяются водосборной или дисперсивной площадью, но могут быть выделены локальными величинами /Шарый, Степанов, 1991/. Вычислительные алго-

ритмы для этих целей описали Т.К.Peuker, D.H.Douglas /1975/, D.H.Douglas /1986/. Отметим свойство производящих функций структурных линий характеризовать выраженность последних в рельефе /Шарый, Степанов, 1991/.

Топографические методы могут выявлять как процессы (или потоки), зависящие от гравитации, так и характерные формы, не обязательно связанные с полем притяжения. Важно уже обсуждалось использование не зависящей от поля средней кривизны поверхности. По отношению к известному в почвоведении рельефу гильгаи /Wilding et al., 1983/ или изучаемому в геологии наложению складчатых структур тектонического происхождения /Плотников и др., 1989/ полезнее может быть гауссова кривизна, также не зависящая от поля. На рисунке показана отвечающая этим примерам модельная топографическая поверхность, причем характерные формы маскируются вытянутой в направлении запад-восток депрессией и общим наклоном местности к востоку. Видно, что гауссова кривизна позволяет восстановить эти характерные формы, тогда как плановая и профильная кривизны, зависящие от поля притяжения, решают эту задачу менее эффективно.

В связи с развитием дистанционного зондирования, в том числе стереоскопической аэро- и космосъемки, топографические методы используются в следующих приложениях. Н.В.Papo, E.Gelman /1984/ предложили метод расчета гауссовой и средней кривизн по фотограмметрическим данным. T.D.Frank /1988/ использовал топографические величины в геоботанике как средство различить по космоснимкам Landsat субальпийский и альпийский растительные покровы. S.E.Franklin /1987/ нашел, что использование локальных топографических величин, включая кривизны, повышает эффективность дешифрирования космоснимков с 46% до 75%. J.D.Flash, T.R.E.Chilley /1988/ отмечают возможность использования данных стереоснимков для нахождения порядков речной сети, водосборной площади применительно к изучению водных ресурсов и эрозии. M.Poscolieri, G.Onorati /1988/ осуществили классификацию карбонатных массивов в Италии по крутизне и ориентации склонов. A.F.Moor, C.J.Simpson /1983/ и R.A.Schowengerdt, C.E.Glass /1983/ показали, что изучение региональной тектоники более целесообразно и экономически эффективно не на основе данных дистанционного зондирования (радиолокационная съемка, космоснимки Landsat), а на основе DEM. J.Chorowicz et al. /1989/ использовали DEM для составления геолого-геоморфологических карт с применением значений крутизны и профильной кривизны.

T.P.Burt /1988/ отметил, что в последнее время опубликован ряд работ, в которых делаются попытки количественного моделирования педогеоморфологических процессов с использованием локальных топографических величин. Ограничимся здесь, однако, ссылкой на обзор этого автора и общим замечанием, что одни лишь

локальные топографические величины могут быть недостаточны для описания развития рельефа.

Отметим в заключение возможную негативную роль пренебрежения международным опытом применения методов топографии в ландшафтных исследованиях*.

ЛИТЕРАТУРА

Гедымин А.В., Сорокина Н.П. О "методе пластики рельефа"// Почвоведение. 1988. № 6. С. 110-120.

Ефремов Ю.К. Опыт морфологической классификации элементов и простых форм рельефа//Вопросы географии. Картография. Вып. 11. М.: Географиздат, 1949, С. 109-136.

Ласточкин А.Н. Морфодинамический анализ. Л.: Недра. 1987. 256 с.

Математическая энциклопедия, Т. 1-5/Под. ред. Виноградова И.М. М.: Сов. энциклопедия. 1977-1985.

Метод пластики рельефа в тематическом картографировании. Сборник научных трудов. Пущино: ОНТИ НЦБИ АН СССР. 1987. 160 с.

Плотников Л.М., Македон И.Д., Васильев В.М. Математическое моделирование пересечений разновергентных складчатых структур// ДАН СССР. 1989. Т. 39. № 2. С. 412-415.

Поздняков А.В., Черванев И.Г. Самоорганизация в развитии форм рельефа. М.: Наука. 1990. 205 с.

Симакова М.С. О новом методе картографирования почв с использованием пластики рельефа//Почвоведение. 1988. № 6. С. 121-127.

Соболевский П.К. Современная Горная Геометрия//Социалистическая реконструкция и наука, 1932. Вып. 7. С. 42-78. (Статья воспроизведена в приложении настоящего сборника).

Степанов И.Н. Истинные и ложные линии на почвенных картах// Почвоведение. 1990. № 3. С. 128-146.

* По этой причине, например, трудно признать основательной аргументацию оппонентов отмеченного выше метода "пластики рельефа" (А.В.Гедымин, Н.П.Сорокина /1988/ и М.С.Симакова /1988/) в недавней дискуссии о почвенном картировании с учетом рельефа. Любопытно, что редакция журнала "Почвоведение" решила прекратить обещавшую статью плодотворной дискуссию на статье И.Н.Степанова /1990/, уступив тем самым исключительное право на подобные обсуждения зарубежным коллегам. Правда, обсуждения такого рода возникали за рубежом и раньше /например, Pennock et al., 1987/, но их опыт не принимается во внимание ни редакцией "Почвоведения", ни упомянутыми оппонентами.

Степанов И.Н., Лошакова Н.А., Саталкин А.И. и др. Составление почвенных карт с использованием системного картографического метода - пластики рельефа//Метод пластики рельефа в тематическом картографировании. Пушкино: ОНТИ НЦБИ АН СССР. 1987. С. 7-22.

Степанов И.Н., Флоринский И.В., Шарый П.А. О концептуальной схеме исследований ландшафта//Наст. сб. С. 9-15.

Шарый П.А. Топографический метод вторых производных//Наст. сб. С. 30-60.

Шарый П.А. Классификация точек поверхности в силовом поле//Теория и практика классификации и систематики в народном хозяйстве. Тезисы докладов Всесоюзного научно-технического симпозиума с международным участием. Пушкино, 17-19 декабря 1990 г. М.: НИВЦ АН СССР, ВИНТИ АН СССР и ГКНТ СССР. 1990, С. 104-105.

Шарый П.А., Степанов И.Н. О методе вторых производных в геологии//ДАН СССР 1991. Т. 219. № 2.

Aandahl A.R. The characterization of slope positions and their influence on the total nitrogen content of a few virgin soils of western Iowa//Soil. Sci. Soc. Am. Proc. 1948. V. 13. P. 449-454.

Anderson M.G., Burt T.P. The role of topography in controlling throughflow generation //Earth Surface Processes, 1978. V. 3. No 4. P. 331-344.

Anderson M.G., Burt T.P. The role of topography in controlling throughflow generation: a reply//Earth Surface Processes, 1980. V. 5. No 2. P. 193-195.

Barsch D., Liedtke H. Principles, scientific value and practical applicability of the geomorphological map of the Federal Republic of Germany at the scale of 1:25000 and 1:100000 (GMK-100)//Z.Geomorphologie. 1980. Suppl. Bd. 36. P. 296-313.

Beven K. Towards the use of catchment geomorphology in flood frequency predictions //Earth Surface Processes & Landforms. 1987. V. 12. No 1. P. 69-82.

Beven K., Wood F. Catchment geomorphology and the dynamics of runoff contributing areas //J.Hydrol. 1983. V. 65. No 1/3. P. 139-158.

Burt T.P. Slopes and slope processes //Progress in Physical Geography. 1988. V. 12. No 4. P. 583-594.

Burt T.P., Butcher D.P. Topographic controls of soil moisture distribution//J.Soil Sci. 1985. V. 36. No 3, P. 469-486.

Carter J.R. Digital representations of topographic surfaces //Photogram. Eng. & Remote Sensing. 1988. V. 54. No 11. P. 1577-1580.

Chorowicz J., Kim J., Manoussis S. et al. A new technique for recognition of geological and geomorphological patterns in digital terrain models //Remote Sens. Environ. 1989. V. 29. No 3. P. 229-239.

Clarke K.C. Scale-based simulation of topographic relief //The Amer. Cartographer. 1988. V. 15. No 2. P. 173-181.

Conacher A.J., Dalrymple J.B. The nine unit landsurface model: an approach to pedogeomorphic research // Geoderma. 1977. V. 18, No 1-2, P. 1-154.

Cox N.J., Evans I.S. Introduction //Earth Surface Processes and Landforms. 1987. V. 12. No 1. P. 1-2.

Dalrymple J.B., Blong R.J., Conacher A.J. A hypothetical nine unit landsurface model //Z.Geomorphol. 1968. V. 12, P. 60-76.

Daniels R.B., Gilliam J.W., Cassel D.K. et al. Soil erosion class and landscape position in the North Carolina piedmont //Soil Sci. Soc. Am. J., 1985. V. 49. No 4. P. 991-995.

Dikau R. Case studies in the development of derived geomorphic maps //Geologisches Jahrbuch. 1988. A. 104. P. 329-338.

Douglas D.H. Experiments to locate ridges and channels to create a new type of digital elevation model //Cartographica. 1986. V. 23. No 4. P. 29-61.

Evans I.S. General geomorphometry, derivations of altitude and descriptive statistics // Spatial analysis in geomorphology. L.: Methuen and Co LTD, 1972, P. 17-90.

Evans I.S. An integrated system of terrain analysis and slope mapping //Z.Geomorphologie. 1980. Suppl. Bd. 36. P. 274-285.

Evans I.S. General geomorphometry //Geomorphological Techniques. L.: George Allen and Unwin, 1981. P. 31-37.

Flash J.D., Chidley T.R.E. Digital elevation models and their application to remote sensing of water resources //IGARSS'88, International Geoscience and Remote Sensing Symposium, 12-26 Sept. 1988, Edinburg. Paris: ESA, 1988. P. 1545-1546.

Frank T.D. Mapping dominant vegetation communities in the Colorado Rocky Mountain Front Range with Landsat Thematic Mapper and digital terrain data //Photogram. Eng. & Remote Sensing. 1988. V. 54. No 12. P. 1727-1734.

Franklin S.E. Terrain analysis from digital patterns in geomorphometry and Landsat MSS spectral response //Photogram.

togram. Eng. & Remote Sensing. 1987. V. 53. No 1. P. 59–65.

Gauss C.F. *Disquisitiones generales circa superficies curvas*, 1827. (Имеется перевод: Гаусс К.Ф. Общие исследования о кривых поверхностях//Об основаниях геометрии. Сб. классических работ по геометрии Лобачевского и развитию ее идей. М.: Гос. изд-во тех. лит-ры. 1956. С. 123–161).

Gerrard A.J. Soils and landforms. An integration of geomorphology and pedology. L.: George Allen & Unwin. 1981. 219 p. (Имеется перевод: Джерард А. Почвы и формы рельефа. Комплексное геоморфолого-почвенное исследование. Л.: Недра. 1984. 208 с.).

Govers G. Selectivity and transport capacity of thin flows in relation to rill erosion//Catena. 1985. V. 12. No 1. P. 35–49.

Hall G.F. Pedology and geomorphology //Pedogenesis and Soil Taxonomy. 1. Concepts and Interactions. Amsterdam: Elsevier Sci. Publ. 1983. P. 117–140.

Hugget R.G. Soil landscape system: a model of soil genesis//Geoderma, 1975. V. 13. No 1. P. 1–22.

Jenson S.K., Dominique J.Q. Extracting topographic structure from digital elevation data for geographic information system analysis.//Photogram. Eng. & Remote Sensing. 1988. V. 54. No 11. P. 1593–1600.

Kachanovski R.G., de Jong E., Rolston D.E. Spatial and spectral relationships of soil properties and microtopography: II. Density and thickness of B horizon//Soil Sci. Soc. Am. J. 1985. V. 48. No 3. P. 185–205.

Klemeš V. Conceptualisation and scale in hydrology//J. Hydrol. 1972. V. 65. No 1/3. P. 1–23.

Krcho J. Morphometric analysis of relief on the basis of geometric aspect of field theory//Acta Geographica Univ. Comenianae. Geographico-physica. No 1. P. 7–233.

Krcho J. Teoreticka koncepcia i interdisciplinarme aplikacie komplexneho digitalneho modelu reliefu pri modelovaní dvojdimenzionalnych polí//Geogr. časopis. 1983. V. 35. No 3. P. 265–291.

Krcho J. Matematicke vlastnosti georeliefu z hladiska geometrickych forem a jeho modelovanie aproximujuci-funkciami dvoch premennych//Geogr. časopis. 1989. V. 14. No 1. P. 23–47.

Kvetkauskas V. Keturspalvis morfografinis žemėlapis//Geografinis metraštis VI–VII. Ledyninio reljefo morfogenetė ir dabartiniai egzogeniniai procesai. Vilnius: Liefuvos TSR mokslo akademija. 1963–1964. P. 87–107.

Lanyon L.E., Hall G.F. Land surface morphology:
2. Predicting potential landscape instability in eastern

- Ohio//Soil Sci. 1983. V. 136. No 6. P. 382-386.
- Mandelbrot B.B. The Fractal Geometry of Nature. N.Y.: W.H.Freeman & Comp. 1983. 468 p.
- Mark D.M. Automated detection of drainage networks from digital elevation models //Cartographica. 1984. V. 21. No 2/3. P. 168-178.
- Martz L.W., de Jong E. The relationship between land surface morphology and soil erosion and deposition an a small Saskatchewan basin//Proc. 7th Canadian Hydrotechnical Conference. Saskatoon. Canada. 1985. P. 1-19.
- Martz L.W., de Jong E. Using Cesium-137 to assess the variability of net soil erosion and its association with topography in a Canadian Prairie landscape//Catena. 1987. V. 14. No 5. P. 439-451.
- Martz L.W., de Jong E. CATCH: a Fortran program for measuring catchment area from digital elevation models // Computers and Geosci. 1988. V. 14. No 5. P. 627-640.
- Martz L.W., de Jong E. Natural radionuclides in the soils in small agricultural basin in the Canadian Prairies and their assosiations with topography, properties and erosion//Catena. 1990. V. 17. No 1. P. 85-96.
- Moor A.F., Simpson C.G. Image analysis - a new aid in morphotectonic studies//Proc. 17th Int. Symp. Remote Sensing of Envir. V. 3. Ann Arbor: ERIM. 1983. P. 991-1002.
- Moss A.J., Walker P.H. Particle transport by continental water flows in relation to erosion, deposition, soils, and human activities//Sediment. Geol. 1978. V. 30. No 2. P. 81-139.
- O'Longhlin E.M. Saturation regions in catchments and their relations to soil and topographic properties// J.Hydrol. 1981. V. 53. No 3-4. P. 229-246.
- Papo H.B., Gelbman E. Digital terrain models for slopes and curvatures //Photogram. Eng. & Remote Sensing. 1984. V. 50. No 6. P. 695-701.
- Pennock D.J., ZebARTH B.J., de Jong E. Landform classification and soil distribution in hummocky terrain, Saskatchewan, Canada//Geoderma. 1987. V. 40. No 3-4. P. 297-315.
- Peucker T.K., Douglas D.H. Detection of surface-specific points by local parallel processing of discrete terrain elevation data //Computer Graphics and Image Processing. 1975. V. 4. No 4. P. 357-387.
- Phillips J.D. The role of spatial scale in geomorphic systems//Geogr. Analysis. 1988. V. 20. No 4. P. 308-317.

Poscolieri M., Onorati G. A quantitative geomorphology study of main carbonate massives of central and southern Apennines based on a digital elevation archive//IGARSS'88, International Geoscience and Remote Sensing Symposium, 12-26 Sept. 1988, Edinburgh. Paris: ESA, P. 1653-1654.

Ruhe R.V. Elements of the soil landscape//Trans. 7th Int. Congr. Soil Sci. V. 4. Madison, 1960. P. 165-170.

Schowengerdt R.A., Glass C.E. Digitally processed topographic data for regional tectonic evaluation//Geol. Soc. Amer. Bull. 1983. V. 94. No 4. P. 549-556.

Sinai G., Zaslavsky D., Golany P. The effect of soil surface curvature on moisture and yield//Beer Sheba observations. Soil Sci. 1981. V. 132. No 5. P. 367-375.

Speight J.G. Parametric description of landform//Land Evaluation. L.: Macmillan. 1968. P. 239-250.

Speight J.G. A parametric approach to landform regions//Progress in Geomorphology. Oxford: Alden Press. 1984. P. 213-230.

Speight J.G. The role of topography in controlling throughflow generation: a discussion//Earth Surface Processes. 1980. V. 5. No 2. P. 187-191.

Stone J.R., Gilliam J.W., Cassel D.K. et al. Effect of erosion and landscape position on the productivity of Piedmont Soils//Soil Sci. Soc. Am. J. 1985. V. 49. No 4. P. 987-991.

Troeh F.R. Landform parameters correlated to soil drainage//Soil Sci. Am. Proc., 1964. V. 28. No 6. P. 987-991.

Wilding L.P., Smeck N.E., Hall G.F. (eds.) Pedogenesis and Soil Taxonomy. I. Concepts and Interactions. Amsterdam: Elsevier Sci. Publ. 1983. 303 p.

Zaslavsky D., Rogowski A.S. Hydrologic and morphologic implications of anisotropy and infiltration in soil profile development//Soil Sci. Am. Proc. 1969. V. 33. No 4. P. 594-599.

Zevenbergen L.W., Thorne C.R. Quantitative Analysis of land surface topography //Earth Surface Processes and Landforms. 1987. V. 12. No 1. P. 47-56.