

---

# ЦИФРОВЫЕ МЕТОДЫ КАРТОГРАФИРОВАНИЯ

---

УДК 528.92.65.011.56(551.4)

© И. В. Флоринский, Т. И. Грохлина,  
Н. Л. Михайлова, 1995

## LANDLORD 2.0: Система анализа и картографирования геометрических характеристик рельефа

И. В. ФЛОРИНСКИЙ, Т. И. ГРОХЛИНА, Н. Л. МИХАЙЛОВА

---



Игорь Васильевич  
Флоринский,  
кандидат технических наук,  
младший научный сотрудник  
Института математических  
проблем биологии РАН



Татьяна Ивановна  
Грохлина,  
инженер-программист Инсти-  
тута математических проблем  
биологии РАН



Наталья Леонидовна  
Михайлова,  
инженер-программист Инсти-  
тута математических проблем  
биологии РАН

Одним из основных факторов развития ландшафта [2] является рельеф, характеристики которого в многом определяют миграцию и аккумуляцию минеральных и органических веществ, перемещающихся по земной поверхности под действием гравитации, гидрологические и климатические особенности местности, интенсивность склоновых процессов, условия почвообразования, некоторые свойства растительного покрова и др. Кроме того, рельеф служит индикатором геологических структур, в частности разрывных нарушений, к которым могут быть приурочены месторождения полезных ископаемых и эпицентры землетрясений и которые также влияют на развитие ландшафта. В связи с этим цифровые модели рельефа (ЦМР), понимаемые нами как цифровые модели высот (ЦМВ) и других геометрических характеристик земной поверхности, а также количественные методы анализа и картографирования этих характеристик широко используются в ландшафтных исследованиях [5].

Их эффективность во многом зависит от специального программного обеспечения [7, 9, 11 и др.]. Примером его может служить разработанный в Институте математических проблем биологии РАН пакет программ LANDLORD 2.0, реализующий некоторые подходы анализа и картографирования геометрических характеристик рельефа.

Он предназначен, в основном, для анализа ЦМР земной и стратиграфических поверхностей при решении таких актуальных задач, как: прогноз путей миграции и зон аккумуляции потоков экологически вредных минеральных и органических веществ (радионуклидов, нитратов, пестицидов, углеводородов и т. д.), перемещающихся по земной поверхности и в приповерхностном слое под действием гравитации; определение зон потенциальной эрозионной неустойчивости ландшафта, прогноз оползневой, обвальной и лавинной опасности; выделение участков местности с различной степенью увлажненности, направленности и выраженности геохи-

# LANDLORD

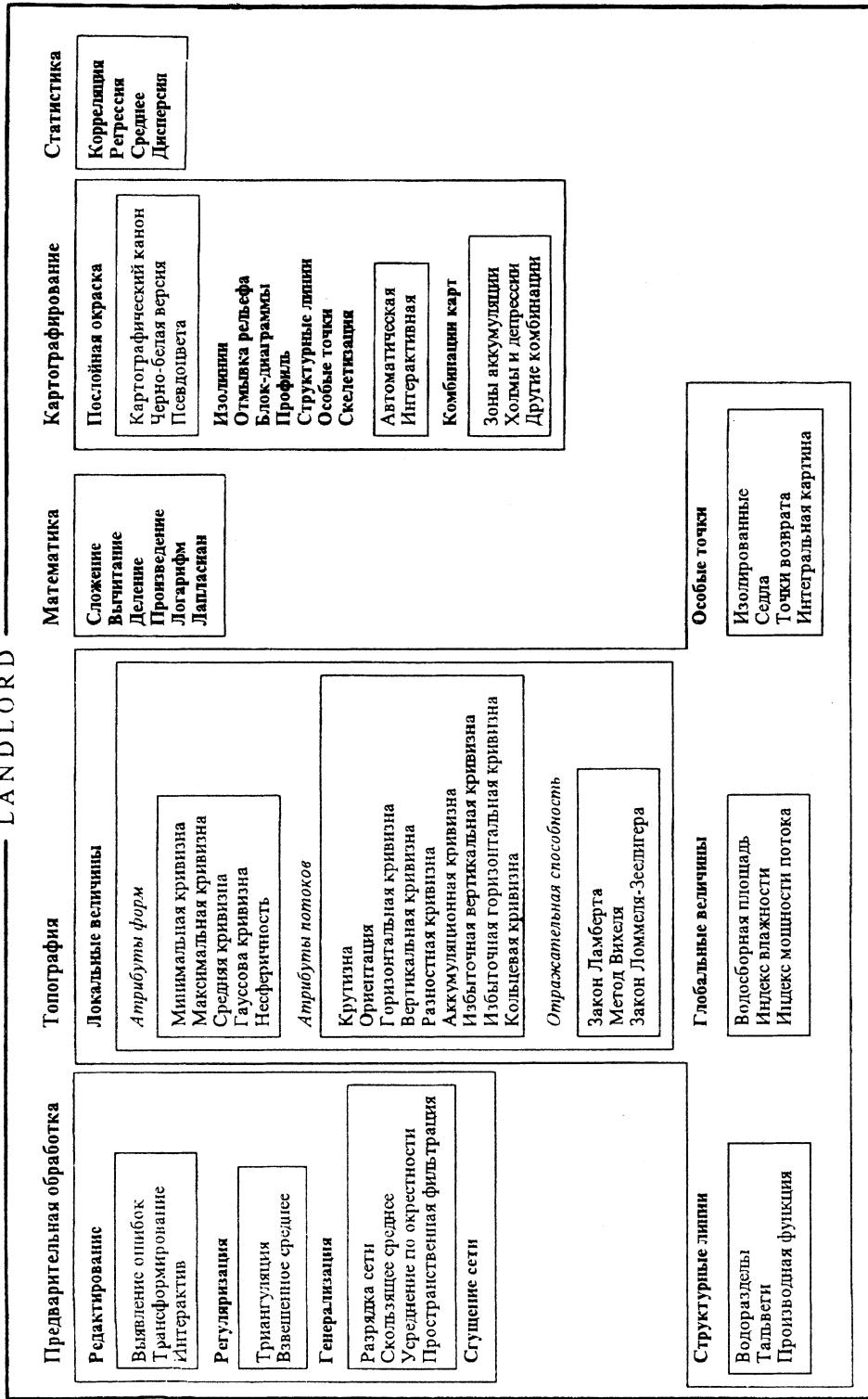
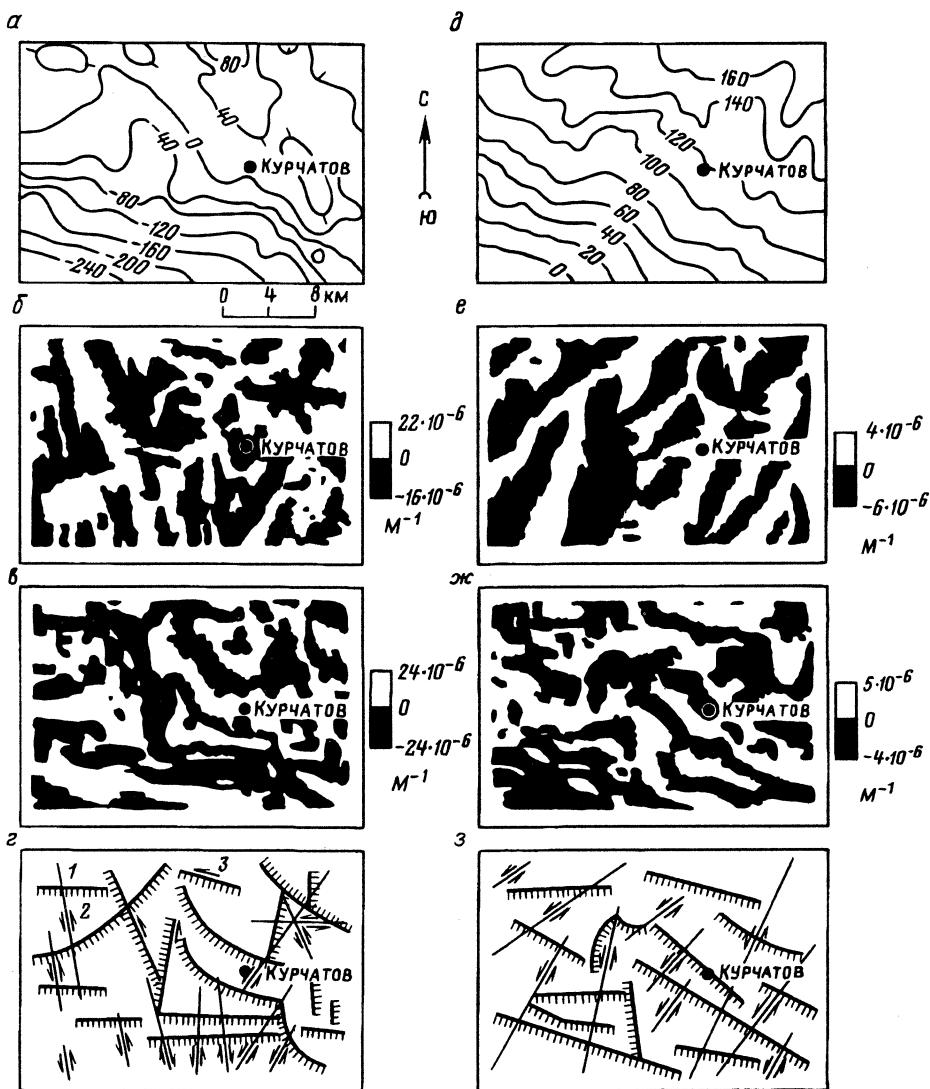


Рис. 1. Блок-схема режима работы пакета LANDLORD



мических процессов, количественная оценка этих различий; изучение влияния рельефа на почвенный и растительный покровы, ландшафт в целом и прогноз этого влияния; распознавание линеаментов, структурных узлов, замаскированной складчатости, разломов, других геологических структур; геоморфологическое, геохимическое, экологическое, почвенное, геологическое, гидрологическое, ландшафтное районирование; оптимизация тематического дешифрирования данных дистанционного зондирования.

Пакет LANDLORD 2.0 ориентирован на растровый формат хранения, обработка и представления исходной и результирующей информации. Это позво-

ляет использовать его при решении нетопографических задач, например для визуализации и анализа данных дистанционного зондирования, матриц пространственно распределенных количественно описываемых объектов, явлений и процессов, различных функций двух переменных. Многоуровневые пользовательский и картографический интерфейсы удобны в работе и наглядно представляют данные.

Для работы с пакетом LANDLORD 2.0 требуется персональный компьютер типа IBM PC/AT с операционной системой MS-DOS 3.3 и выше и оперативной памятью 640 кбайт, а также математический сопроцессор и видеoadаптер EGA VGA. Общий объем exe-модулей — око-

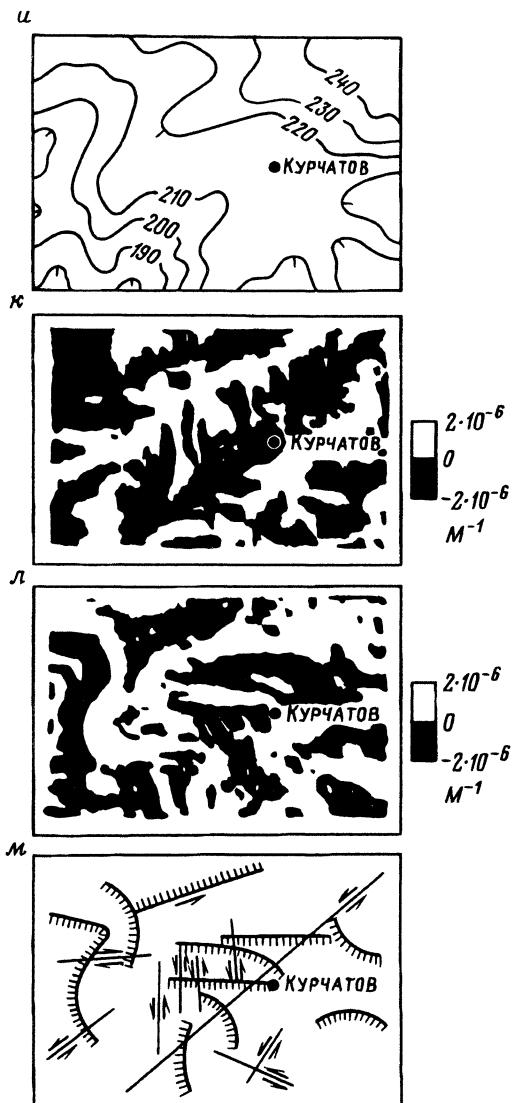


Рис. 2. Карты топографических характеристик стратиграфических горизонтов района Курчатовской АЭС

Кровля кристаллического фундамента: *a* — высота; *b* — горизонтальная кривизна; *c* — вертикальная кривизна; *g* — морфологическая интерпретация разломов

Кровля сеноманского яруса: *d* — высота; *e* — горизонтальная кривизна; *ж* — вертикальная кривизна; *з* — морфологическая интерпретация разломов

Кровля меловой системы: *и* — высота; *к* — горизонтальная кривизна; *л* — вертикальная кривизна; *м* — морфологическая интерпретация разломов

*1* — сброс; *2* — сдвиг; *3* — сбросо-сдвиг

Шаг регулярной сетки *w* и средняя плотность точек нерегулярной сетки *v* должны определяться до составления ЦМВ экспертом-пользователем, учитывающим характерный размер изучаемого процесса *l*, контролируемого рельефом, или исследуемых геологических структур, индицируемых рельефом. В общем случае по теореме Котельникова *w* и *v* должны быть в два—пять раз меньше *l*.

В пакете LANDLORD 2.0 реализованы следующие функциональные возможности (рис. 1): автоматическое выявление в файле исходных данных случайных грамматических ошибок; интерактивное удаление из ЦМВ ошибочных точек, коррекция координат и дополнение модели новыми точками с помощью картографического интерфейса и мыши; трансформирование ЦМВ (повороты на задаваемые углы и растяжение/сжатие относительно осей координат); пересчет нерегулярной ЦМВ в регулярную модель с возможностью выбора любого фрагмента ЦМВ, *w* и метода пересчета (триангуляции Делоне с последующей гладкой интерполяцией локальными полиномами или взвешенного среднего [12]); сгущение сети регулярной ЦМР методом Акима [8]; разряжение сети регулярной ЦМР; сглаживание ЦМР методом скользящего среднего с возможностью выбора размера подрешетки сглаживания, числа сглаживаний и веса точек подрешетки; пространственная фильтрация ЦМР с возможностью конструирования фильтров; расчет цифровых моделей атрибутов форм и потоков [13] с помощью метода Эванса [9] на основе регулярных ЦМВ; расчет по регулярным ЦМВ цифровых моделей отражательной способности поверхности

ло 300 кбайт. Программы написаны на алгоритмическом языке С++.

Исходными данными для пакета LANDLORD 2.0 служат ЦМВ, получаемые в результате применения наземных топографических съемок, стереотопографического метода и цифрования горизонталей топографических карт и планов любого масштаба. ЦМВ могут быть составлены по регулярной и любой нерегулярной сеткам узловых точек. Максимальный объем нерегулярных ЦМВ — 50 тыс. точек, а ЦМВ, построенных по квадратной сетке, — 120 тыс. точек. ЦМВ составляются в (относительной) прямоугольной декартовой системе координат. Система высот может быть как относительной, так и абсолютной.

с возможностью выбора параметров, определяющих положение Солнца на небесной сфере [10]; расчет на основе регулярных ЦМВ цифровых моделей глобальных топографических характеристик (водосборной и дисперсионной площадей) с помощью метода Мартца—де Джонга [11]; выделение по регулярным ЦМВ экстремумов кривизны поверхности (водоразделов, тальвегов, бровок, подошв) с помощью расчета цифровой модели «производящей функции» [6] и традиционными формализованными методами; выделение особых точек поверхности [4] методом Эванса [9] на основе регулярных ЦМВ; элементарные математические преобразования ЦМР; элементарный статистический анализ ЦМР; визуализация регулярных ЦМР, полученных при работе в режимах ПРЕДВАРИТЕЛЬНАЯ ОБРАБОТКА, ТОПОГРАФИЯ и МАТЕМАТИКА методами изолиний и послойной окраски; построение остова изображения визуализированных карт; проведение трансектов произвольной формы и построение профилей ЦМР.

Пакет LANDLORD 2.0 и его прототип QTA 3.93 (разработан И. В. Флоринским) применялись для распознавания линеаментов и структур центрального типа (СЦТ) [3] и их морфологической интерпретации, изучения влияния рельефа на распределение растительного покрова Рудного Алтая, исследования топографического контроля за распределением радиационной температуры ландшафта [1], изучения влияния микрорельефа дневной поверхности на глубину горизонтов почвенного профиля комплекса гильгай [14], анализа и визуализации злокачественных новообразований в мягких тканях человека.

Для иллюстрации прикладного потенциала системы LANDLORD 2.0 приведем некоторые результаты распознавания разрывных нарушений стратиграфических горизонтов района Курской АЭС.

На основе фондовых геолого-геофизических картографических материалов масштаба 1 : 200 000 (предоставлены А. И. Полетаевым, геологический факультет МГУ) с помощью дигитайзера (при участии М. Ю. Маркузе и А. И. Ефременко, МИИГАиК) были составлены нерегулярные ЦМВ кровель кристаллического фундамента (рис. 2, а), сеноманского яруса (рис. 2, б) и меловой системы (рис. 2, в). ЦМВ

содержат 1308, 1002 и 941 точку соответственно. Система высот абсолютная.

Регуляризация ЦМВ проведена с помощью триангуляции Делоне и гладкой интерполяции локальными полиномами. Шаг сетки ЦМВ — 1500 м. По методу [3] выделены линеаменты и сегменты СЦТ (рис. 2, б, в, е, ж, к, л) и дана их морфологическая интерпретация (рис. 2, г, з, м).

На кровле кристаллического фундамента установлены предполагаемые сдвиги субмеридионального, северо-западного и северо-восточного простираций (рис. 2, б). Сдвиги генерального северо-восточного азимута доминируют на кровлях сеноманского яруса и меловой системы (рис. 2, е, к), где ситуацию осложняют мелкие сдвиги северного и северо-западного простираций (рис. 2, к). Предполагаемые сбросы (флексуры) на всех горизонтах развиты преимущественно вкрест простирания сдвигов и, как правило, образуют системы (рис. 2, в, ж, л). Некоторые структуры кровли мела, по-видимому, наследуют дислокации кристаллического фундамента (рис. 2, г, м).

Очевидно, что достоверность и полнота полученных данных существенно зависят от уровня объективности, качества и разрешающей способности исходных геолого-геофизических материалов. Тем не менее, использованный подход может быть полезен на этапе камеральных рекогносцировок геологических ситуаций, в частности для оптимизации планирования полевых маршрутов.

Пакет LANDLORD 2.0 представляет собой открытую систему. Его архитектура позволяет легко подключать новые модули. Без принципиальных изменений пакет может быть интегрирован в растровые геоинформационные системы, адаптирован или использован в качестве прототипа при создании специализированных программных продуктов, предусматривающих обработку цифровых моделей как рельефа, так и других пространственно распределенных данных.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кулагина Т. Б., Мешалкина Ю. Л., Флоринский И. В. Влияние рельефа на распределение радиационной температуры ландшафта//Исслед. Земли из космоса. — 1994. — № 3. — С. 108—115.

2. Степанов И. Н., Флоринский И. В., Шарый П. А. О концептуальной схеме исследований ландшафта//Геометрия структур земной поверхности. — Пущино: ПНЦ АН СССР, 1991. — С. 9—15.
3. Флоринский И. В. Визуализация линеаментов и структур центрального типа: количественные топографические подходы. — Пущино: ПНЦ РАН, 1992. — 47 с.
4. Шарый П. А. Топографический метод вторых производных//Геометрия структур земной поверхности. — Пущино: ПНЦ АН СССР, 1991. — С. 30—60.
5. Шарый П. А., Курякова Г. А., Флоринский И. В. О международном опыте применения методов топографии в ландшафтных исследованиях (краткий обзор)//Там же. — С. 15—29.
6. Шарый П. А.; Степанов И. Н. О методе вторых производных в геологии// Докл. АН СССР. — 1991. — Т. 319, № 2. — С. 456—460.
7. A software package for integrating digital elevation models into the digital analysis of remote-sensing data/C. Duguay, G. Holder, E. LeDrew et al.//Computers & Geosci. — 1989. — Vol. 15, N 5. — P. 669—678.
8. Akima H. A method of bivariate interpolation and smooth surface fitting based on local procedures//Communications of the ACM. — 1974. — Vol. 17, N 1. — P. 18—20.
9. Evans I. S. An integrated system of terrain analysis and slope mapping//Zeitschrift für Geomorphologie. — Suppl. 1980. — Bd. 36. — P. 274—295.
10. Horn B. K. P. Hillshading and the reflectance map//Proc. of the IEEE. — 1981. — Vol. 69, N 1. — P. 14—47.
11. Martz L. W., de Jong E. CATCH: a Fortran program for measuring catchment area from digital elevation models//Computers and Geosci. — 1988. — Vol. 14, N 5. — P. 627—640.
12. Schut G. H. Review of interpolation methods for digital terrain models//Canad. Surveyor. — 1976. — Vol. 30, N 5. — P. 389—412.
13. Shary P. A. Landsurface in gravity points classification by complete system of curvatures. — Pushchino: PRC RAS, 1992. — 18 p.
14. Topographic control of gilgai soil profile formation/I. V. Florinsky, E. A. Arlashina, I. V. Kovda et al.//Transactions of 15th World Congress of Soil Science. — Acapulco, Mexico, 1994. — Vol. 6b. — P. 121—122.