

ИМПБ РАН 50 лет. Группа геоморфометрического моделирования

Флоринский И.В.

Институт математических проблем биологии РАН – филиал Института прикладной математики им. М. В. Келдыша РАН, 142290, Пушкино, Московская обл., Россия

iflor@mail.ru

50 Years of IMPB RAS. Group of Geomorphometric Modeling

Florinsky I.V.

Institute of Mathematical Problems of Biology, Keldysh Institute of Applied Mathematics, Russian Academy of Sciences, Pushchino, Moscow Region, 142290, Russia

Геоморфометрия (цифровое моделирование рельефа, математическое моделирование рельефа) – научная дисциплина, предметом которой является математическое моделирование и анализ рельефа, а также взаимосвязей между рельефом и другими компонентами геосистем или другими характеристиками поверхности [1, 2]. Современная геоморфометрия обладает развитой физико-математической теорией и мощным аппаратом вычислительных методов. Исходными данными для моделирования являются цифровые модели рельефа (ЦМР) [3]. Пространственное разрешение ЦМР может находиться в широком диапазоне: от нано- и микрометров до десятков метров и десятков километров. Объектом моделирования может быть рельеф любого происхождения и масштаба. Аппарат геоморфометрии широко применяется для решения различных разномасштабных задач геоморфологии, гидрологии, почвоведения, геологии, океанологии, гляциологии, метрологии и других наук [4].

В ИМПБ РАН исследования в области геоморфометрии начались в январе 1993. За 30 лет сформировалась Пушкинская научная школа геоморфометрии. В области моделирования рельефа ИМПБ РАН занимает лидирующую позицию в России и является одним из международно признанных исследовательских центров.

За прошедшие годы нами теоретически обоснована и разработана система методов геоморфометрического моделирования рельефа [2]. В частности, разработаны вычислительные методы, основанные на аппроксимации частных производных высоты конечными разностями, которые позволяют рассчитывать цифровые модели морфометрических характеристик по ЦМР, заданным на плоской квадратной сетке и сетке сфероидических трапеций [5, 6].

Разработан универсальный спектрально-аналитический метод для обработки регулярных ЦМР в рамках единой схемы, включающей глобальную аппроксимацию ЦМР, генерализацию и подавление шума в ЦМР, а также расчет морфометрических характеристик. Метод основан на применении разложений высокого порядка с использованием полиномов Чебышева I рода с последующим суммированием Фейера [7].

Разработан вычислительный метод для оценки точности расчета цифровых моделей морфометрических характеристик по критерию средней квадратической ошибки функции измеренных величин, который позволяет получать модели средних квадратических ошибок расчета этих характеристик на плоской квадратной сетке и сетке сфероидических трапеций [5, 8].

Разработан метод определения компетентного разрешения ЦМР для почвенных исследований, основанный на концепции репрезентативного элементарного объема и графическом представлении коэффициентов корреляции между характеристиками почвы и рельефа в зависимости от шага сетки ЦМР [9].

Разработан способ анализа, моделирования и прогнозного картографирования распределения свойств почвы на основе цифрового моделирования рельефа, корреляционного анализа и множественного регрессионного анализа, в котором предикторами являются морфометрические характеристики [10]. Метод позволяет рассчитывать модели и карты физических, химических и биологических свойств почвы.

Разработан метод выявления и интерпретации выраженных в рельефе геологических линеаментов (разломов), основанный на расчете моделей горизонтальной и вертикальной кривизны [11].

Разработанные методы моделирования рельефа систематически применяются нами в почвенных, геологических и гляциологических исследованиях, в частности: для анализа и моделирования свойств почвы на масштабных уровнях «делянка – поле»; для изучения геологического строения сейсмоактивных регионов и территорий, прилегающих к объектам повышенного риска; а также для анализа глобального рельефа и тектоники Земли, Марса, Луны, Венеры и Меркурия.

Использование разработанных методов моделирования рельефа позволило получить ряд фундаментальных результатов, которые невозможно было получить при использовании иных подходов.

В частности, для черноземовидных почв агроландшафтов бореальной зоны Северной Америки впервые установлены и количественно описаны следующие закономерности: а) пространственное распределение

динамических свойств почвы зависит от характеристик рельефа лишь в том случае, если содержание влаги в почве превышает некоторый пороговый уровень; б) зависимость пространственного распределения динамических свойств почвы от характеристик рельефа уменьшается с глубиной, максимально проявляясь в верхних 30 см почвенного слоя; в) существует временная изменчивость зависимости пространственного распределения динамических свойств от характеристик рельефа [10].

Для территорий с тектоническим унаследованным рельефом впервые на количественном уровне доказано, что зоны аккумуляции поверхностных потоков, как правило, совпадают с узлами пересечения линейных элементов. Выраженные в рельефе зоны аккумуляции являются участками контакта и вещественного обмена приповерхностных латеральных потоков воды и растворенных в ней веществ с глубинными восходящими потоками подземных вод [12].

Основным направлением текущих исследований является моделирование рельефа покровных ледников Антарктики и его эволюции по данным беспилотной аэрофотосъемки [13], а также моделирование рельефа антарктических оазисов и других свободных от покровного оледенения территорий Антарктики (в рамках работ Российской антарктической экспедиции) [14].

Новым направлением исследований стало моделирование и анализ нано- и микрорельефа изделий микроэлектроники (кремниевых пластин, структур, мембран и пр.) [15].

Разработанные методы расширяют возможности применения моделирования рельефа в различных науках. Эти методы могут применяться для обработки ЦМР, полученных любым способом. Эти методы позволяют рассчитывать модели морфометрических характеристик на двух основных типах регулярных сеток (плоской квадратной и сферических трапеций) с любым линейным или угловым разрешением. Это позволяет моделировать и анализировать рельеф любого уровня иерархии при решении задач любого масштабного уровня.

Список литературы

1. Florinsky I.V. An illustrated introduction to general geomorphometry. *Progr. Phys. Geogr.* 2017. V. 41. No. 6. P. 723–752. doi: [10.1177/0309133317733667](https://doi.org/10.1177/0309133317733667)
2. Florinsky I.V. *Digital Terrain Analysis in Soil Science and Geology*. 2nd ed. Amsterdam: Elsevier: Academic Press, 2016. 486 p.
3. Guth P.L., van Niekerk A., Grohmann C.H., Muller J.-P., Hawker L., Florinsky I.V., Gesch D., Reuter H.I., Herrera-Cruz V., Riazanoff S., et al. Digital elevation models: terminology and definitions. *Rem. Sens.* 2021. V. 13. No. 18. 3581. doi: [10.3390/rs13183581](https://doi.org/10.3390/rs13183581)
4. Флоринский И.В. Геоморфометрия сегодня. *ИнтерКарто. ИнтерГИС*. 2021. Т. 27. № 2. С. 394–448. doi: [10.35595/2414-9179-2021-2-27-394-448](https://doi.org/10.35595/2414-9179-2021-2-27-394-448)
5. Florinsky I.V. Derivation of topographic variables from a digital elevation model given by a spheroidal trapezoidal grid. *Int. J. Geogr. Inf. Sci.* 1998. V. 12. No. 8. P. 829–852. doi: [10.1080/136588198241527](https://doi.org/10.1080/136588198241527)
6. Florinsky I.V. Computation of the third-order partial derivatives from a digital elevation model. *Int. J. Geogr. Inf. Sci.* 2009. V. 23. No. 2. P. 213–231. doi: [10.1080/13658810802527499](https://doi.org/10.1080/13658810802527499)
7. Florinsky I.V., Pankratov A.N. A universal spectral analytical method for digital terrain modeling. *Int. J. Geogr. Inf. Sci.* 2016. V. 30. No. 12. P. 2506–2528. doi: [10.1080/13658816.2016.1188932](https://doi.org/10.1080/13658816.2016.1188932)
8. Florinsky I.V. Accuracy of local topographic variables derived from digital elevation models. *Int. J. Geogr. Inf. Sci.* 1998. V. 12. No. 1. P. 47–61. doi: [10.1080/136588198242003](https://doi.org/10.1080/136588198242003)
9. Florinsky I.V., Kuryakova G.A. Determination of grid size for digital terrain modelling in landscape investigations – exemplified by soil moisture distribution at a micro-scale. *Int. J. Geogr. Inf. Sci.* 2000. V. 14. No. 8. P. 815–832. doi: [10.1080/136588100750022804](https://doi.org/10.1080/136588100750022804)
10. Florinsky I.V., Eilers R.G., Manning G., Fuller L.G. Prediction of soil properties by digital terrain modelling. *Envir. Model. Soft.* 2002. V. 17. No. 3. P. 295–311. doi: [10.1016/S1364-8152\(01\)00067-6](https://doi.org/10.1016/S1364-8152(01)00067-6)
11. Florinsky I.V. Quantitative topographic method of fault morphology recognition. *Geomorphology*. 1996. V. 16. No. 2. P. 103–119. doi: [10.1016/0169-555X\(95\)00136-S](https://doi.org/10.1016/0169-555X(95)00136-S)
12. Florinsky I.V. Relationships between topographically expressed zones of flow accumulation and sites of fault intersection: analysis by means of digital terrain modelling. *Envir. Model. Soft.* 2000. V. 15. No. 1. P. 87–100. doi: [10.1016/S1364-8152\(99\)00025-0](https://doi.org/10.1016/S1364-8152(99)00025-0)
13. Florinsky I.V., Bliakharskii D.P. The 2017 catastrophic subsidence in the Dalk Glacier, East Antarctica: unmanned aerial survey and terrain modelling. *Rem. Sens. Lett.* 2019. V. 10. No. 4. P. 333–342. doi: [10.1080/2150704X.2018.1552810](https://doi.org/10.1080/2150704X.2018.1552810)
14. Флоринский И.В. Беспилотная аэрофотосъемка в летний сезон 67-й Российской антарктической экспедиции. *ИнтерКарто. ИнтерГИС*. 2022. Т. 28. № 1. (в печати).
15. Дедкова А.А., Флоринский И.В., Дюжев Н.А. Подходы к определению кривизны пластин по рельефу их поверхности. *Усп. физ. наук*. 2022. Т. 192. № 7. С. 754–771. doi: [10.3367/UFN.2021.10.039076](https://doi.org/10.3367/UFN.2021.10.039076)