

АВТОМАТИЗИРОВАННОЕ ВЫДЕЛЕНИЕ ЛАНДШАФТНЫХ ЕДИНИЦ ПУТЕМ КЛАССИФИКАЦИИ РЕЛЬЕФА С ПРИМЕНЕНИЕМ ГИС

Мкртчян А. С.

Львовский национальный университет имени Ивана Франка
alemkrt@yahoo.com

Существенным недостатком большинства методик ландшафтного картографирования является субъективность при проведении ландшафтных границ. Хотя в ряде случаев (бровки оврагов, уступы террас) границы определяются однозначно, во многих других случаях точное положение границы между геокомплексами остается на усмотрение исследователя. Результатом нередко являются существенные отличия ландшафтных карт, составленных разными исследователями по сходной методике на одну и ту же территорию.

Приведение методологии ландшафтоведения в соответствие с общепринятой естественнонаучной методологией, в частности, требует разработки интерсубъективных методик, позволяющих разным исследователям получать идентичные результаты при использовании одинаковых исходных данных. Существенным импульсом к разработке таких методик может стать развитие методов геоинформационного анализа. Так, мало исследованными остаются возможности автоматизированных классификаций местоположений, которые, при условии наличия достаточных исходных данных и адекватных алгоритмов их обработки, способны выделить в ландшафте территориальные единицы, гомогенные в отношении ряда заданных показателей, сведя при этом к минимуму субъективный фактор.

Как известно, рельеф является одним из важнейших факторов пространственной дифференциации ландшафтных характеристик. Морфология земной поверхности является одним из основных критериев при выделении и картировании природных территориальных комплексов. Не секрет, что именно топографические карты и стереопары аэрофоснимков служат главным источником пространственной информации при оконтуривании геокомплексов, содержание которых определяется в ходе полевых исследований.

В современных ГИС основным способом представления топографической информации являются цифровые модели рельефа (ЦМР). Компьютерный анализ ЦМР предоставляет возможность использования производных морфометрических, гидрологических и иных характеристик, полученных путем применения к ЦМР того или иного алгоритма, для косвенного определения характеристик почвы, биоценозов, микроклимата и других компонентов ландшафта. Так, с недавнего времени получили распространение модели, предсказывающие детальное распределение характеристик растительности горных территорий с использованием топографических показателей, полученных путем анализа ЦМР [5]. Такие топографические показатели также широко используются для предсказания отдельных характеристик почв [4].

Благодаря высокой пространственной детальности ЦМР служат главным источником данных при автоматизированной классификации местоположений. В качестве критериев классификации, как правило, выступают топографические (морфометрические) показатели – абсолютное и относительное превышение, наклон поверхности, ее выпуклость в плане и профиле. При этом возможны два подхода к определению конкретных значений критериев выделения территориальных единиц. При первом подходе такие критерии определяются,

исходя из априорных представлений о градациях морфометрических показателей, морфометрических признаках структурных линий рельефа и обусловленных рельефом ландшафтных границ. Так, И. Круглов предложил методику полуавтоматизированного выделения педоморфологических ландшафтных единиц, которая предусматривает деление склонов на 7 категорий по крутизне, а также на выпуклые и вогнутые в плане и профиле; днища долин и вершинные поверхности выделялись, исходя из значений дренажной площади [2]. Схожая методика создания карты природных территориальных комплексов на основе морфометрического анализа ЦМР описана В. Сысуевым [10].

При другом подходе в основу автоматизированной классификации рельефа и связанных с ним ландшафтных характеристик кладется статистическая кластеризация параметров рельефа. При этом вместо проведения границ по заранее заданным критериям, выделяются "естественные группировки" местоположений в пространстве атрибутов. Генерализация многомерных данных путем статистического анализа (например, итерационного кластерного анализа) широко используется, в частности, в практике дистанционного зондирования для классификации мультиспектральных изображений.

Использование при выделении ландшафтных единиц морфометрических показателей "в чистом виде" ставит вопрос об обоснованности выбора этих показателей и их градаций в качестве индикаторов пространственного распределения характеристик других компонентов ландшафта. Более целесообразным является использование с этой целью комплексных показателей и индексов, характеризующих определенные процессы, которые регулируются рельефом и влияют на распределение ландшафтных характеристик. Так, В. Сысуев использовал при ландшафтной классификации рельефа три группы топографических переменных, характеризующих, соответственно, перераспределение солнечной радиации, перераспределение влаги и перераспределение твердого вещества под действием гравитации [10].

Нами с целью создания и тестирования методики автоматизированного выделения ландшафтных единиц была использована ЦМР для участка возвышенности в окрестностях Львова, покрытой листовым, преимущественно буковым лесом на светло-серых лесных почвах. Аналогичная методика, реализованная нами для участка долины верхнего течения р. Днестр (Львовская область, Украина), описана в [1]. ЦМР была создана путем интерполяции соответствующих слоев топокарты с помощью функции TOPOGRID программного пакета Arc/Info. Горизонтальная детальность (размер пиксела) ЦМР составляла 5 м.

В качестве основных факторов ландшафтной дифференциации, регулируемых рельефом, учитывались перераспределение солнечной радиации в зависимости от экспозиции и наклона поверхности, перераспределение влаги по склону, и эрозионный потенциал, характеризующий энергию склоновых потоков, которые способствуют сносу и переотложению твердого материала.

Для расчета распределения показателя, характеризующего перераспределение солнечной радиации, использовался алгоритм, разработанный Л. Кумаром с коллегами (реализованный в форме макропрограммы shortwave.aml среды Arc/Info), который позволяет рассчитать интегральную величину поступления коротковолновой солнечной радиации за произвольный период, с учетом эффектов затенения и атмосферного поглощения радиации при низкой высоте солнца над горизонтом, но без учета поглощения облачностью и длинноволновой радиации [6]. Нами рассчитана величина поступления радиации за наиболее важный в экологическом отношении период с 1 марта до 31 октября.

Для отображения перераспределения влаги под действием гравитации можно использовать составной топографический индекс (топографический индекс влажности, СТИ), предложенный И. Муром и П. Гесслером. Этот индекс отражает положение в ландшафтной катене и рассчитывается по формуле

$$СТИ = \ln(A_s / \tan \beta),$$

где A_s – дренажная площадь (площадь водосбора, рассчитанная на единицу длины замыкающего контура), β – крутизна склона [9]. Большие значения этого индекса соответствуют аккумуляции влаги, повышенному ее содержанию в почве, что, в свою очередь,

влияет на другие почвенные характеристики, микроклимат, водный баланс, экологические условия местопроизрастаний. Целый ряд исследований включает данный индекс в число показателей, используемых для предсказания характеристик почвы. Так, П. Гесслер с коллегами разработали статистическую почвенно-ландшафтную модель для предсказания ряда почвенных характеристик, используя такие морфометрические показатели, как плановая кривизна, индекс СТИ и дренажная площадь. Данная модель в среднем предсказывает 65% пространственной вариации почвенных характеристик. Согласно исследованию [4], индекс СТИ сам по себе объясняет 71% вариации мощности почвенного горизонта А, 84% вариации мощности почвенного профиля и 78% вариации содержания почвенного углерода.

Для определения эрозионного потенциала рельефа использовалось выражение из усовершенствованного Универсального уравнения потерь почвы:

$$LS = (m+1) [A_s / a_0]^m [\sin \gamma / b_0]^n,$$

где A_s – дренажная площадь, γ – крутизна склона, m и n – стандартные параметры, $a_0 = 22.1$ м – длина и $b_0 = 0.09 = \sin(5.16^\circ)$ – наклон поверхности стандартных участков, на которых определялись параметры модели [7]. Использование синуса крутизны склонов объясняется тем, что именно к нему является пропорциональной параллельная склону составляющая силы притяжения, которая является действующей силой склонового потока. Для определения реальных объемов смыва величина LS должна быть умножена на значения переменных, характеризующие другие факторы эрозии (осадки, почву, растительность и т. д.)

Первым этапом анализа было создание растровых ГИС-слоев описанных ландшафтно-экологических показателей путем применения к исходной ЦМР средств картографической алгебры (использовался инструментарий ГИС Arc/Info [11]). Экологические показатели были дополнены абсолютной высотой, которая, в частности, влияет на температурные характеристики и дополнительно помогает дифференцировать низинные местоположения в днищах долин и местоположения на вершинных поверхностях, которые могут иметь схожий радиационный режим и близкие значения СТИ и LS из-за низких значений γ (крутизны склонов). Далее все показатели были стандартизированы путем вычитания среднего значения слоя и последующего деления на величину его стандартного отклонения.

Для экологической классификации рельефа и выделения ландшафтных единиц на основе охарактеризованных показателей нами использовалась методика итерационного кластерного анализа, который выделяет классы на основе анализа естественных группировок данных в пространстве атрибутов. Классификация данных осуществлена путем последовательного применения функций ISOCLUSTER и MLCLASSIFY программного пакета Arc/Info. Алгоритм, использованный в первой из этих функций, базируется на методике мигрирующих средних, которая состоит в отнесении каждого элемента (местоположения, пикселя) к классу с ближайшим к нему положением центроида в многомерном пространстве атрибутов (показателей, используемых в классификации), с последующим пересчетом положения центроидов всех классов. В результате был одержан растровый слой, каждый пиксель которого отнесен к одному из пяти классов, соответствующих выделенным морфотипам (типам местоположений, рис. 1).

В дальнейшем растровый слой был подвергнут автоматическому сглаживанию и векторизации, для преобразования в векторный слой, в котором каждый отдельный выдел полученных морфотипов представлен полигоном с отдельной записью в таблице атрибутов.

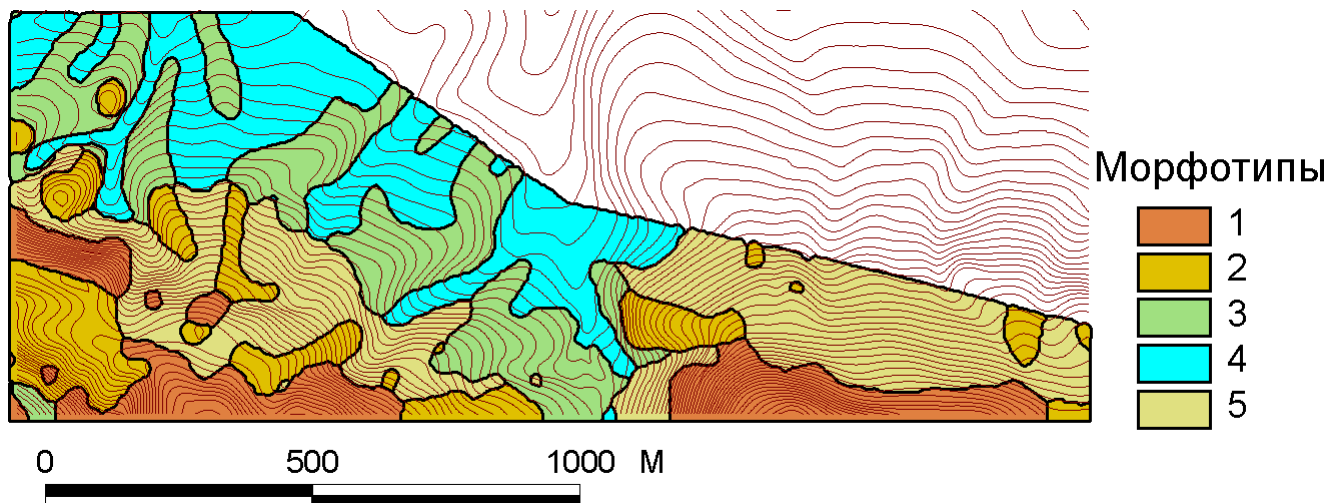


Рис. 1. Морфотипы, выделенные путем автоматизированной классификации ЦМР.

Полученные морфотипы поддаются простой ландшафтной интерпретации. Морфотип 1 соответствует узким гребням и крутым гравитационным (осыпным) склонам, с короткопрофильными щебневатыми почвами на делювии песчаников. Морфотип 2 занимает выположенные вершинные поверхности, структурные ступени на склонах и останцевые холмы, с короткопрофильными почвами на делювии песчаников и известняков и маломощных лессовидных суглинках. Морфотип 3 занимает выпуклые пологие нижние участки склонов, с глубокими слабооглеенными почвами на лессовидных суглинках. Морфотип 4 занимает днища балок и вогнутые нижние участки пологих склонов, с глубокими оглеенными почвами на лессовидных суглинках. Морфотип 5 соответствует верхним покатым частям склонов, с среднепрофильными почвами на маломощных лессовидных суглинках.

Для выявления экологической значимости классификации полученные морфотипы были сопоставлены с характеристиками растительности. Так, ранней весной нами в 46 точках, равномерно распределенных по участку, определялось проективное покрытие весеннего эфемероида анемоны (ветреницы) дубравной (*Anemone Nemorosa L.*). Данное растение вегетирует до развития крон деревьев, следовательно, его распространение по участку слабо зависит от величины сомкнутости древостоя. Обилие анемоны определялось по шкале Воронова [3], которая предусматривает 4 класса проективного учета. Нами была показана статистически значимая связь проективного покрытия анемоны с величинами крутизны склонов и поступления солнечной радиации [8]. Эта связь была использована нами для интерполяции точечных значений проективного покрытия (разработанная нами методика интерполяции опубликована в [8]).

На рис. 2 показана статистическая связь значений обилия анемоны с выделенными морфотипами. Статистический анализ (метод ANOVA) показал высокую надежность связи (значение критерия F составляет 4,175 при 4 степенях свободы, что соответствует уровню достоверности связи 0,9937). Наименьшим обилием характеризуется морфотип 1, наибольшим – морфотипы 3 и 2, остальные морфотипы занимают промежуточное положение.

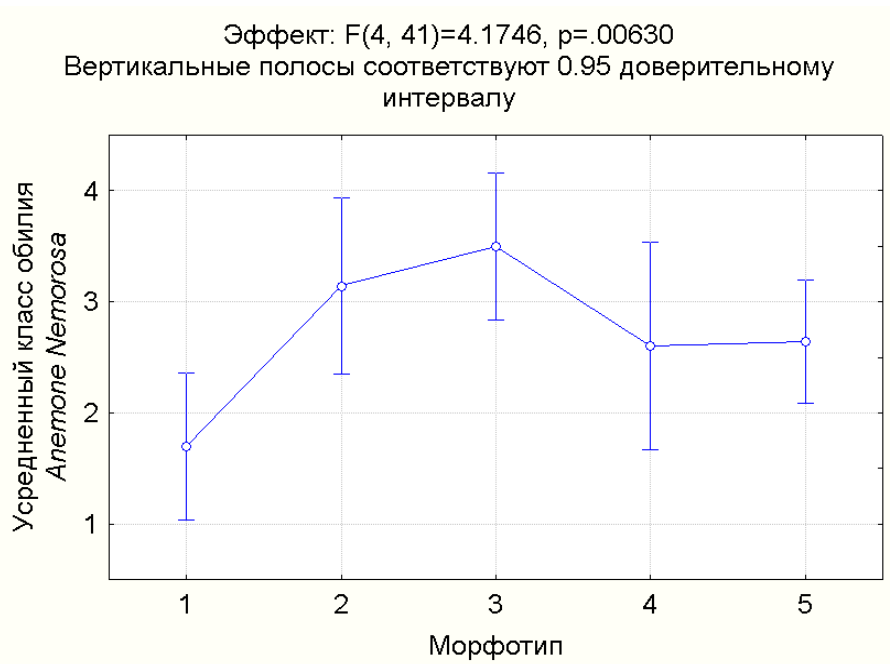


Рис. 2. Зависимость между морфотипами и классами обилия анемоны

Морфотипы, выделенные в ходе классификации, были также сопоставлены с характеристиками природного древостоя, определенными в 78 пунктах в пределах участка. Такие характеристики включали формулу древостоя, средние высоту и толщину деревьев, расстояние между ними. В частности, сопоставление морфотипов с формулой древостоя показало, что доля бука наименьшая в морфотипе 4 (бук избегает переувлажненных местоположений, где его место в древостое занимает ольха). Наоборот, наибольшая доля бука характерна для морфотипов 1 и 5, соответствующих хорошо дренированным крутым склонам (рис. 3). Морфотип 3 характеризовался существенно большей долей граба и ольхи, по сравнению с морфотипом 2, где к буку местами примешивается береза.

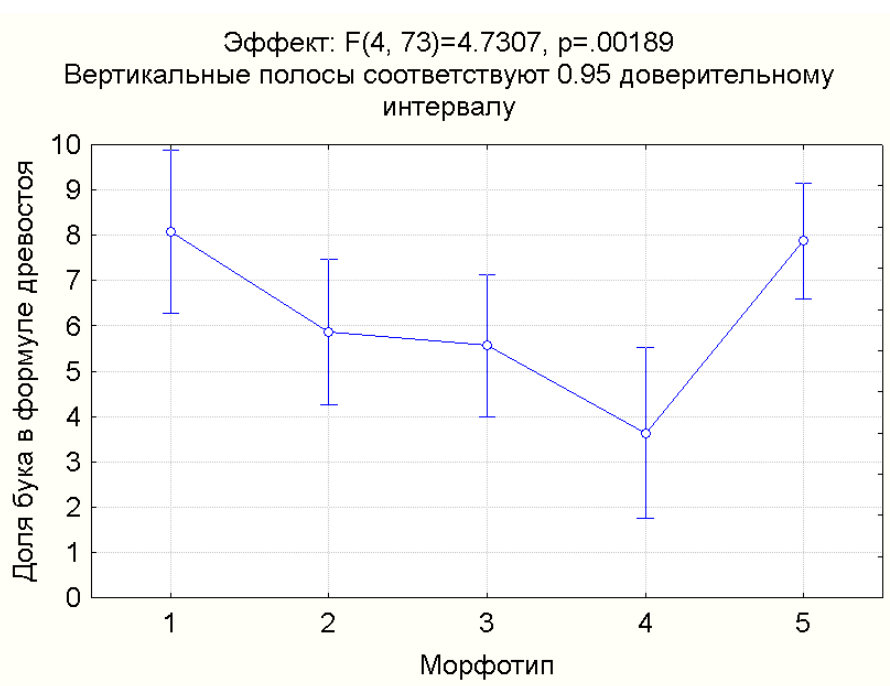


Рис. 3. Зависимость между морфотипами и долей бука в формуле древостоя.

Таким образом, метод автоматизированной классификации ЦМР дает возможность выделять территориальные единицы, характеризующиеся статистически значимыми отличиями

экологических характеристик. Главным преимуществом данной методики является полная воспроизводимость результатов, отсутствие субъективности при разбиении территории на геокомплексы и проведении границ между ними. Разумеется, для надежного выделения контуров геокомплексов одной ЦМР недостаточно: необходимо привлекать данные, характеризующие целый ряд ландшафтообразующих факторов, включая геологическое строение и характер антропогенных нагрузок. Вместе с тем, выделение геокомплексов с помощью воспроизводимых автоматизированных методик, на основе экологически значимых параметров способствует получению более надежных и объективных результатов.

Список использованных источников

1. Ковальчук И. П., Мкртчян А. С., Круглов И. С. Автоматизированная типизация земель горно-предгорных ландшафтов на основе параметров рельефа // Рельеф и природопользование предгорных и низкогорных территорий. Материалы международной научно-практической конференции 3-7 октября 2005 г. Барнаул: Изд-во АлтГУ, 2005. –С. 133-138.
2. Круглов І. Методика напівавтоматизованого створення геопросторового шару педоморфологічних одиниць басейну верхнього Дністра // Вісн. Львів. ун-ту. Сер. геогр. – 2004. – Вип. 31. –С. 312-320.
3. Миркин Б. М., Розенберг Г. С. Фитоценология: принципы и методы. –М.: Наука, 1978. – 211 с.
4. Gessler P.E., Moore I.D., McKenzie N.J., Ryan P.J. Soil landscape modelling and spatial prediction of soil attributes // *Int. J. Geogr. Inf. Syst.* – 1995. –Vol. 9. –P. 421–432.
5. Guisan A., Zimmermann N. Predictive habitat distribution models in ecology // *Ecological Modelling.* –2000. –№135. –P. 147–186.
6. Kumar L., Skidmore A.K., Knowles E. Modelling topographic variation in solar radiation in a GIS environment // *International Journal for Geographical Information Science.* –1997. –Vol. 11(5). – P. 475-497.
7. Mitasova H., J. Hofierka, M. Zlocha, and R. L. Iversen. Modeling topographic potential for erosion and deposition using GIS // *Int. Journal of Geographical Information Science.* –1996a.–10(5). –P. 629-641.
8. Mkrтчян А. Spatial interpolation of field data on plant abundance // Comarmot B., Hamor F. D. (eds.) *Natural Forests in the Temperate Zone of Europe – Values and Utilisation. Proceedings of international conference 13-17 October 2003.* –Birmensdorf, Swiss: Federal Research Institute WSL; Rakhiv: Carpathian Biosphere Reserve. –P. 314-321.
9. Moore I.D., Gessler P. E., Nielsen G. A., Peterson G. A. Soil attribute prediction using terrain analysis // *Journal of Soil Science Society of America.* –1993. –Vol. 57. –С. 443–452.
10. Syssouev V. Modelling geosystem differentiation // *Вісн. Львів. ун-ту. Сер. геогр.* – 2004. – Вип. 31. –С. 340-349.
11. *Understanding GIS: An Arc/Info method.* –Redlands, California: Esri, 1994. –420 pp.

В статье рассматриваются возможности автоматизированного выделения ландшафтных единиц путем классификации ЦМР в ГИС методом итерационного кластерного анализа. В качестве критериев такой классификации целесообразно использовать количественные показатели, которые характеризуют ландшафтные процессы. При классификации участка возвышенности выделено 5 ландшафтных единиц, которые различаются между собой в отношении ряда характеристик растительного покрова.