

УДК 911.52:51

## ВЫЯВЛЕНИЕ И КАРТОГРАФИРОВАНИЕ ЛАНДШАФТНЫХ ГРАНИЦ

Бобра Т.В.

*В статье показаны возможности применения комбинированного подхода для выявления и картографирования граничных геосистем на топологическом и хорологическом уровнях. Определены признаки граничных геосистем*

Ключевые слова: граничные геосистемы, информационные градиенты, информация неоднородность, компьютерное моделирование

Ландшафтные границы (граничные геосистемы), как и другие объекты комплексной географии, представляют собой сложные системы, в которых сочетаются явления разного уровня организации. В них проявляются явления эмерджентности, континуальности и дискретности, эффекты неопределенности и субъективности, полифункциональности и пр. Поэтому при анализе систем такого рода нельзя становиться на точку зрения уникальности или типичности, континуальности или дискретности, объективности или субъективности как единственную. В граничных системах диалектически сочетаются свойства и характеристики различного типа. Они взаимодополняют друг друга и определяют двойственность характера ландшафтных границ. Эти положения явились методологической основой настоящего исследования. \*

В отличие от ландшафтных комплексов, в основу выделения которых положены принципы относительной однородности состава, строения, генезиса, динамики и функционирования, характерной чертой ландшафтных границ является неоднородность, пространственная изменчивость ландшафтных характеристик, наличие резких смен и скачков.

В рамках континуального подхода изучение ландшафтных границ приобретает самостоятельное значение, поскольку они выступают в качестве активных субъектов организации географического пространства, которые характеризуются своей структурой, генезисом, динамикой и функционированием. Ландшафтные границы как активный элемент структуры географической оболочки выполняют целый ряд специфических функций в пространственно-временной организации земной поверхности.

Поскольку феномен ландшафтных границ может рассматриваться на двух различных уровнях организации – топологическом и хорологическом, то и совокупность используемых показателей для каждого из уровней различна.

Для топологического уровня (уровень фаций и простых урочищ) важнейшим критерием выделения ландшафтной границы является максимальный информационный градиент изменения биоценологических, ландшафтно-геофизических и ландшафтно-геохимических параметров.

Для хорологического уровня (уровень сложных урочищ, местностей, ландшафтов) важнейшим критерием выделения границ выступает максимальный

градиент изменения пространственной неоднородности сочетания элементарных ландшафтных комплексов.

Данное исследование ставило целью показать возможности использования комбинированного подхода к выявлению, картографированию и анализу ландшафтных границ на топологическом уровне на примере ландшафтных комплексов территории Карадагского ландшафтно-экологического стационара (КЛЭС) (Юго-Восточный Крым).

Комбинированный подход к изучению ландшафтных границ предусматривает наряду с детальными полевыми исследованиями, использование аэрофотоснимков, их компьютерную обработку, дешифрирование и анализ, а также компьютерное моделирование ландшафтных границ на основе ГИС-технологий.

Основными идентификационными признаками выявления ландшафтных границ выступал рельеф и растительность, а также некоторые геофизические характеристики ландшафтных комплексов.

Методика компьютерного картографирования и анализа ландшафтных границ предполагает комбинированный подход к анализу и обработке географической информации. Речь идет, прежде всего, об использовании, наряду с данными, получаемыми в ходе полевых ландшафтных исследований, результатов дешифрирования аэрофотоснимков.

Полевой этап включал в себя картографирование и описание ландшафтных комплексов по традиционным методикам [1; 2; 3; 4]. В ходе этих исследований на территорию Карадагского ландшафтно-экологического стационара (балка Лесная) была составлена ландшафтная карта [6]. Вместе с тем были детально изучены геология и рельеф, почвы, растительность, гидрологические и микроклиматические условия. Была заложена нерегулярная (в пространственном отношении) сеть точек, в рамках которой проводились полустационарные измерения микроклиматических, фенологических, геохимических показателей. Результаты этих исследований были опубликованы ранее [5; 6].

Одной из особенностей полевого изучения ландшафтных границ на Карадагском ландшафтно-экологическом стационаре является то, что они подстилались и опирались на материалы первичного дешифрирования аэрофотоснимков. Полученные материалы полевых исследований послужили основой для последующей идентификации объектов, выделяемых по аэрофотоснимку. Дальнейшая процедура картографирования ландшафтных границ осуществлялась с использованием аэрофотоснимков и с периодическим уточнением результатов дешифрирования в полевых условиях.

Для устранения эффектов изменения фотона на снимке, связанного с изменением крутизны и экспозиции склонов, использовались аэрофотоснимки, на которых дата и время съемки было выбрано таким образом, чтобы лучи солнца падали практически перпендикулярно к осредненной поверхности юго-восточного макросклона хр. Беш-Таш, в пределах которого заложена балка Лесная.

Внутренние флуктуации светового тона аэрофотоснимка стационара, связанные с изменением мезорельефа, учитывались при дешифрировании снимка путем компьютерного сличения яркости фотона на различных элемента рельефа с

уже идентифицированными опорно-тестовыми участками, расположенными в пределах этих мезоформ. Так, например, если фации с пушистодубовым лесом на коричневых маломощных почвах, расположенные на склонах северо-восточной экспозиции, имеют коэффициент светового тона 235-250 единиц, а на склонах южной экспозиции 220-243, то для избежания двусмысленности в идентификации этих контуров мы вводили поправку в 15-25 единиц для склонов южной экспозиции.

Подготовка аэрофотоснимка к дальнейшей его обработке осуществлялась с помощью программы Photoshop 5.0, которая имеет широкий спектр инструментов, позволяющих вырезать, масштабировать, трансформировать необходимые для работы фрагменты снимков. В этой же программе осуществлялось выравнивание фотографического тона снимков, первичная классификация и идентификация отображаемых объектов, а также трансляция копий полученных обработанных изображений в другие форматы записи растровой информации, необходимые для экспорта в другие программы. В частности из растрового формата сканированного изображения \*TIF (TIFF) в формат \*BMP; \*PSD; \*AI; \*PDF, что позволяет в дальнейшем экспортировать эти изображения в другие программы.

Векторизация замкнутых контуров осуществлялась автоматически с помощью программы Adobe Streamline 4.0 с последующей трансляцией полученного векторизированного изображения в формат САD-систем \*DFX, который, в свою очередь, может импортироваться большинством GIS- и Mapping-системами.

Процедуру оцифровки, классификации, тематического картографирования по аэрофотоснимку и анализ полученных контуров или полей мы осуществляли с помощью программ: Arc View 3.1 Spatial Analysis; MapInfo 5.5; ENVI 3.0; HLIImage++97; Surfer32. Подробную информацию о функциональных возможностях этих программ при анализе и обработке разного рода изображений (в том числе и аэрофотоснимков) можно найти в справочном аппарате этих программных продуктов.

С помощью Arc View 3.1 и MapInfo 5.5 мы осуществили ряд процедур по построению цифровых моделей изображений ПТК ландшафтно-экологического полигона. В Arc View 3.1 каждому ландшафтному комплексу, выделенному и описанному в ходе полевых экспедиционных исследований, ставились в соответствие определенный диапазон изменения индекса световой плотности аэрофотоснимка, который изменяется от черного – 0 до белого 256.

Затем ландшафтные комплексы были объединены в восемь групп по изменению в пространстве ландшафтно-экологических условий, индицирующихся, главным образом, по изменению растительных сообществ с различной вертикальной структурой, степенью увлажненности и биомассой. Наиболее распространенными являются геопоты, ландшафтно-экологические условия которых благоприятны для произрастания ксеромезофильных сообществ *Carpineto (Orientalis) – Querceta* с коричневыми среднемощными щебнистыми и местами каменистыми почвами. Сомкнутость древесного яруса от 0,8 до 0,9; высота древостоя до 10 метров. В подлеске участвуют кизил и грабинник, имеющие здесь форму деревьев.

Наименьшие площади занимают геотопы, ландшафтно-экологические условия которых благоприятны для произрастания разнообразных сообществ из *Festuceta valesiaca*, *Bothriochloeta ischaemii*, *Agropyreta pectinatii*, *Stipeta ponticae* (et *pulcherrimae*), *Elytrigietea nodosae*, *Alopecureta vaginatii*, относящихся к настоящим (типичным) степям, сформированы на склонах пологих и покатых чаще восточной экспозиции, а также на ровных участках.

Таким образом, сопоставление результатов детальных ландшафтных и геоботанических исследований и соответствующей плотности фототона на рабочем аэрофотоснимке исследуемой территории, позволило дальнейшую процедуру идентификации, классифицирования и оцифровки контуров ландшафтных выделов перенести на машинный – компьютерный уровень.

Осуществить классификацию территории, ее оконтуривание и подобрать картографический дизайн оформления результатов позволили возможности программы Arc View 3.1 Spatial Analysis (рис. 1).

Для выявления и проведения ландшафтных границ был использован метод информационных градиентов, предложенный А.Д. Армандом [7]. Формализовать этот процесс удалось, введя некую универсальную меру, которая приводит разнородные признаки (параметры) к единой системе. Этой мерой является количество разнообразия или информации в широком смысле слова, выраженное в численной форме.

Вычисление величины приращения информации (информационного градиента) предполагает выполнение ряда последовательных операций. Алгоритм расчета, предложенный А.Д. Армандом, является достаточно сложным и громоздким. В связи с этим подобные расчеты проводились им только по профилю и с использованием небольшого числа параметров [7].

Использование современных компьютерных технологий позволило использовать этот метод не только для выделения ландшафтных границ по профилю, но и перевести эту процедуру в двухмерную и трехмерную плоскость.

Для этого территория КЛЭС была покрыта системой профилей, проходящих через основные типы геотопов, по которым фиксировались изменения ландшафтно-геофизических, ландшафтно-экологических показателей (температура почвы на глубине 5 см., температура приземного слоя воздуха на высотах 0.1 м.; 0.5 м., 1.0 м. 1.5 м.; проективное покрытие, мощность гумусового горизонта, поверхностная щелбистость и др.) и индекса фототона отмасштабированного и территориально привязанного аэрофотоснимка стационара (программа ENVI 3.0.).

Используя алгоритм расчета информационных градиентов по профилю, а также возможности статистического анализа в прикладных пакетах программы MapInfo 5.5 – Ахум 5.0, Curve Expert 1.3, S-Plus 4.5, Tehnplot, Spw 4, мы получили возможность рассчитать изменение информационных градиентов по площади КЛЭС и построить карту пространственного распределения информационной неоднородности (информационно-полевой структуры) (рис. 2).

Далее по расчетным количественным данным предварительно была построена трехмерная модель математической поверхности величины приращения информации на единицу площади. Затем по полученной виртуальной поверхности

строилась карта уклонов данной математической поверхности, которая и отражает пространственное изменение информационных градиентов на единицу площади.

Приращения информации на представленной карте выражается в градусах уклона математической поверхности, построенной по пространственно распределенным значениям величины суммарного приращения информации по ряду ранее перечисленных показателей на единицу площади. Так, наиболее пространственно однородные участки соответствуют значению - 0, максимально возможные по неоднородности участки соответствуют значению - 90.

При заданном размере операционных единиц (1 метр на местности и 1 пиксель на аэрофотоснимке) и при данном количестве анализируемых показателей выяснилось, что на рассматриваемой территории полностью однородных участков очень мало, их площади не превышают 0,1% от общей площади стационара. К таким участкам относятся небольшие пространства в ядрах типичности степных или лесных фаций, фации, сформировавшиеся на субгоризонтальных поверхностях выходов известняков, небольшие «пятна» типчаково-степных ассоциаций на пологих участках склонов и т.д. Практически 95% территории занимают пространства с величиной градиента приращения информации более 60. Максимальные площади занимают территории с величиной градиента приращения информации от 73 до 78 и от 84 до 89.

Анализ результатов расчета изменения информационных градиентов по площади и их визуализация в виде карты, отражающей пространственную информационную неоднородность, позволяет сделать следующие выводы:

1. Полученные результаты отражают информационно-полевую структуру территории Карадагского стационара. На карте отображены различные участки, зоны и области с количественно-определенными значениями степени пространственной информационной однородности-неоднородности (от 0 до 90).

2. При совмещении ландшафтной карты стационара полученной карты информационной неоднородности становится возможным конкретно указать степень «относительности» внутренней однородности того или иного ландшафтного выдела, поскольку именно этот критерий декларируется как один из основных признаков выделения ландшафтных комплексов (в том числе ранга фаций).

3. Территория Карадагского стационара в целом характеризуется высокой степенью пространственной информационной неоднородности. Большая часть территории (98%) имеет степень неоднородности выше 69.

4. Зоны, где изменения информационного градиента составляют 79,629 - 89,583, представляют собой граничные геосистемы топологического (фациального) уровня.

5. Анализ пространственного рисунка зон максимальных информационных градиентов (максимальной информационной неоднородности), соответствующих ландшафтными границам (граничным геосистемам), показывает, что ландшафтные границы представляют собой площадные образования, а не линии. Эти зоны имеют определенную ширину, которая для территории Карадагского стационара на фациальном уровне рассмотрения колеблется в среднем от 1 до 3 метров.

6. Ширина граничных зон вдоль осевой линии их простираения меняется в зависимости от изменения контрастности ландшафтно-экологических условий.

7. Наряду с выявленными граничными геосистемами топологического уровня, которым присущи определенные признаки, на исследуемой территории достаточно часто встречаются области, где информационная неоднородность также высока, однако данные образования нельзя назвать граничными геосистемами. Такие области максимальных градиентов здесь формируются микроформами эрозионной сети, или точечными объектами (крупные камни, отдельно стоящие деревья или куртины, эрозионные рытвины и крупные промоины, нарушения на небольшой площади почвенного и растительного покрова кабанами и т.п.). Подобные объекты, вероятно, можно назвать «ландшафтными новообразованиями». Их информационная функция очень важна с точки зрения прогнозирования, поскольку они позволяют определить тенденции изменения ландшафтной структуры исследуемой территории.

8. Визуально хорошо различимы отличия в пространственной дифференциации информационно-полевой структуры на территории стационара. Более однородной является верхняя приводораздельная часть макросклона хребта Беш-Таш, а наиболее неоднородной нижняя прибалочная часть склона. Это связано, прежде всего, с ее большей расчлененностью, большим разнообразием ландшафтно-экологических условий и пестротой растительных сообществ.

9. Четко прослеживаются различия между склонами северной и южной экспозиций балки Лесная. Склоны южных экспозиций характеризуются большей информационной неоднородностью, в том числе и за счет обилия «ландшафтных новообразований». Склоны северных экспозиций отличаются меньшей степенью информационной неоднородности.

Думается, что подобная картина объясняется большей динамичностью и неустойчивостью ландшафтных комплексов на склоне южной экспозиции. С одной стороны, здесь имеет место ландшафтная инверсия, связанная с метелевым переносом. Это выражается в большем увлажнении в зимне-весенний период и как следствие в большем развитии эрозионных склоновых процессов и процессов закустаривания и облесения на южном склоне.

С другой стороны, большая прогреваемость в летне-осенний период определяет в это время более высокую степень засушливости южного склона балки. К тому же, по крайней мере, раз в несколько лет (3-х летний цикл) создаются критические, неблагоприятные для лесовозобновления и закустаривания условия.

10. Высокая пространственная информационная неоднородность, высокая в пространственном отношении доля граничных геосистем свидетельствует о низкой степени устойчивости ландшафтной системы бассейна балки Лесная в целом.

11. Высокий уровень информационной неоднородности территории стационара объясняется тем, что она в свою очередь тоже находится в переходной граничной зоне более высокого уровня. Хребет Беш-Таш, на склоне которого заложена балка Лесная (территория стационара), занимает приморское положение и находится в приморском ландшафтном макроэотоне. Кроме этого, данная территория является

границей между вулканической группой массива Карадаг и всеми известняковыми массивами Юго-Восточного Крыма.

Таким образом, выявление и картографирование ландшафтной организации (особенно горных территорий) на топологическом уровне показало эффективность и необходимость применения метода информационных градиентов. Он позволяет формализовать процедуру выделения ландшафтных комплексов и их границ на основе количественной оценки степени внутренней однородности-неоднородности ландшафтных контуров для каждой конкретной территории.

### Список литературы

1. Исаченко А.Г. Основы ландшафтоведения и физико-географическое районирование. М.: Мысль, 1965. – 327 с.
2. Берущашвили Н.Л., Жучкова В.К. Методы комплексных физико-географических исследований. – М.: Изд-во МГУ, 1997. – 320 с.
3. Крауклис А.А. Проблемы экспериментального ландшафтоведения. – Новосибирск: Наука, 1979. – 231 с.
4. Миллер Г.П., Петлин В.Н. Исследование динамики и развития ПТК полу стационарными и экспедиционными методами. – Львів: Вид-во Львів. Ун-ту, 1985. – 69 с.
5. Обоснование создания Карадагской станции фонового экологического мониторинга: Под. ред. В.А. Бокова и др. - Симферополь: ЭИЦ «Крымская инициатива», 1995. – 92 с.
6. Ландшафтно-экологический стационар Карадагского природного заповедника/ Национальная академия наук Украины: Под ред. А.Л. Морозовой, Ю.И. Будашкина, В.А. Бокова. – Симферополь: Таврия-Плюс, 1999. – 110 с.
7. Армаид А.Д. Метод информационных градиентов в географическом районировании // Известия АН СССР. Серия географическая. – 1973. – № 3. – С. 104-114.

### Анотація

#### ***Бобра Т.В. Виявлення та картографування ландшафтних меж***

*У статті показані можливості застосування комбінованого підходу до виявлення і картографування граничних геосистем на топологічному і хорологічному рівнях. Виявлено ознаки граничних геосистем.*

Ключові слова: граничні геосистеми, інформаційні градієнти, інформаційна неоднорідність, комп'ютерне моделювання

### Summary

#### ***Bobra T.V. Detection and mapping of landscape borders***

*The article demonstrates ways and means the combo approach to detection and mapping of boundary geosystems on topological and chorological levels. The parameters of landscape borders were spotted.*

Keywords: boundary geosystems, information gradients, information heterogeneity, computer modeling.