

Картографический анализ пространственной структуры и фрагментации растительного покрова

В практике управления природопользованием и при разработке концепций сохранения биологического разнообразия применяют подходы, использующие анализ ландшафтных рисунков. Рисунок принимается как смесь пятен (контуров) различных размеров и геометрических форм, которая образуется в результате замещения части природного растительного покрова разнообразными системами, управляемыми человеком, при росте урбанизации, развитии сельского хозяйства и лесопользования [8]. По этой причине большое внимание уделяется развивающимся количественным методам оценки горизонтальной структуры и влияния ее усложнения на биоразнообразие [1; 2; 5; 8; 10; 11]. Одним из способов отображения пространственного рисунка растительного покрова является геоботаническая карта. Ее анализ дает большие возможности для дальнейшего изучения закономерностей распределения растительности и позволяет детализировать с применением количественных методов пространственное размещение тех или иных сообществ [16]. По мнению Б. М. Миркина [15], высокоинформативны результаты исследований динамики растительного покрова путем сопоставления геоботанических карт, составленных в разное время (от 5 до 50 лет). Сопоставление геоботанических карт разного времени позволяет оценить динамику растительного покрова в виде сукцессионных смен одних сообществ другими [17].

В таком контексте, особого внимания заслуживает фрагментация лесного растительного покрова – «forest fragmentation» – замена естественных лесных экосистем другими экосистемами на больших площадях [6; 11]. Это приводит как к образованию изолированных лесных массивов, так и к усилению краевых эффектов, что негативно отражается на лесной биоте. Наряду со снижением биоразнообразия и изменением динамики численности и распространения популяций, антропогенная фрагментация нарушает круговороты вещества и энергии, влияет на продуктивность экосистем, что в конечном итоге приводит к длительному снижению качества окружающей среды. Поэтому учет пространственных данных, характеризующих природные рисунки, моделирование их отклика на воздействие представляются как важнейшее условие при выработке стратегий рационального природообустройства [3].

Приемы статистического анализа природных мозаик и количественные оценки рисунка растительного покрова разнообразны и появляются как в результате специальных исследований, так и при решении практических задач природопользования [4; 5; 7; 12–14; 18]. Также наряду с обычными методами, оперирующими зависимыми от выбранного масштаба геометрическими характеристиками рисунка, развиваются методы, использующие феномен фрактальности [9], который позволяет избежать учета масштабной генерализации.

В условиях РТ значительная сложность пространственной мозаики лесного покрова, заметна уже на среднемасштабных картах лесных формаций (М 1:200 000), а с переходом на уровень единиц регулярного учета лесного фонда – лесохозяйственных выделов (М 1: 50 000 и более) становится еще очевиднее. Анализ метрики взаиморасположения контуров на среднемасштабной геоботанической карте по-

* Т. В. Рогова, Г. А. Шайхутдинова, М. В. Карпов, Казанский (Приволжский) федеральный университет (Казань).

E-mail: tatiana.rogova@kpfu.ru

казывает, что пространственная мозаика лесных формаций отличается высокой сложностью и дробностью (состоит из большого количества мелких контуров). Рисунок зональных сообществ (с участием дуба и темнохвойных) мелкоконтурный, в виде вкраплений небольших пятен в сложные по конфигурации мозаики прочих, преимущественно длительно- и короткопроизводных насаждений, что в значительной мере является следствием активного преобразования лесного покрова.

При сравнении количественных интегральных показателей контуров растительных формаций на разновременных среднемасштабных картах (карта растительности ТАССР, выполненная М. В. Марковым в 1944 г., и современная карта) наблюдается резкое увеличение количества контуров, обусловленное дроблением массивов лесных насаждений; уменьшение средней площади контуров всех формаций (кроме липняков); снижение площади естественных формаций (таких, как сосняки, ельники, дубравы); увеличение площадей производных мелколиственных лесов (осинники, березняки).

Наибольший интерес для анализа динамики рисунка представляют формации ельников, дубрав, сосняков и липняков, соответствующие коренным зональным типам лесных насаждений. На долю лесов с явным доминированием ели в регионе подтаежных елово-широколиственных лесов западного лесного Заволжья приходится не более 1 %, при средней площади контуров не более 0,5 км². На водораздельных местообитаниях ель самостоятельных фрагментов практически не образует. По сравнению с 1944 годом отмечается сокращение общей площади, занятой ельниками, и увеличение количества контуров при уменьшении площади отдельного контура.

Дубовые насаждения различного типологического состава приурочены как к водораздельным, так и к долинным типам местообитаний и характерны для всей территории республики. Однако меньшую долю (1,2 %) в растительном покрове они занимают в долинно-террасных районах Волги. В регионе северных широколиственных лесов с единичным участием ели на долю дубрав приходится от 5 до 15 % от общей площади, причем дубравы здесь занимают по значимости третье место после пашни и пастбищных лугов. Характерно, что в подтаежных ландшафтах Заволжья количество фрагментов дубовых насаждений также велико, мало отличаются они и по средним значениям площади отдельных контуров. Некоторые из фрагментов дубрав здесь явно имеют лесостепные признаки.

Однако тенденции изменения площади дубрав в растительном покрове за последние полвека не вселяют больших надежд для благоприятного прогноза по дубу. Так, во всех ландшафтах увеличилось число контуров дубрав и уменьшилась их средняя площадь, что свидетельствует об их фрагментации.

Интересно отметить, что характер пространственного рисунка формаций ельников и дубрав, определяющих специфику соседствующих зон подтаежных и широколиственных лесов, уверено указывает на экотонную природу растительного покрова. Однако роли каждой из них не равнозначны. Так, дубравы устойчиво присутствуют как постоянный элемент в структуре всех ландшафтов, максимально в Предволжье и меньше в террасово-долинных ландшафтах долины Волги. Ельники же даже в северных районах Республики Татарстан крайне малочисленны, и лишь в Западно-Казанском долинно-террасном ландшафтном районе они выражены массивно. Это обстоятельство указывает на признаки неморализации растительного покрова.

Формация сосновых лесов, отмечающаяся во всех районах, более устойчива, как по площади, так и количеству контуров, лишь в террасово-долинных ландшафтах Волги и Камы. Однако даже в благоприятных условиях местообитаний в Западно-Казанском ландшафтном районе площадь, занятая сосновыми лесами,

сократилась на 40 %, а количество контуров увеличилось почти в 5 раз при сокращении средней площади контуров. В Волго-Мешинском террасово-долинном районе при некотором увеличении общей площади сосновых лесов с 73 до 92 км² количество контуров возросло в 7 раз, что отражает как процесс фрагментации, так и изменение характера лесопользования (передача лесов в категорию лесопарковых и увеличение площади культур сосны).

Интересна динамика липовых насаждений, являющихся преимущественно длительно-производными в пределах рассматриваемой территории. Преимущественно везде сократилась площадь, занятая формацией липовых лесов, и увеличилось количество их фрагментов. В ландшафтных районах Предволжья отмечено значительное увеличение как количества контуров, так и общей площади с 4,2 до 14,2 км². При этом следует указать, что площадь, занятая коренными дубравами в ландшафте, сократилась на 13 км².

На долю коротко-производных мелколиственных насаждений, березняков и осинников, распространяющихся в ландшафтах республики после сплошных рубок, реже после пожаров, в современном растительном покрове приходится около 40 % площади. Количество контуров березняков и осинников значительно превышает количество контуров липовых лесов, что иллюстрирует их мелкоконтурный фрагментарный характер. Следует указать, что в подтаежных ландшафтах и в Волго-Мешинском долинно-террасном районе полосы широколиственных лесов коротко-производные лесные насаждения представлены преимущественно березняками, в то время как в ландшафтных районах Предволжья преобладают осиновые насаждения, что подтверждает более высокие требования осины к экологическим условиям местообитания. Таким образом, можно утверждать, что в подтаежных ландшафтах возобновление нарушенного лесного покрова обеспечивается через березовые насаждения, южнее в ландшафтах зоны широколиственных лесов – через осиновые и липовые насаждения. За полвека площадь березовых насаждений увеличилась во всех ландшафтах в несколько раз, количество контуров значительно возросло. Осиновые насаждения также увеличили свою площадь, количество контуров при этом в большей части ландшафтов возросло на порядок и более.

Для оценки состояния растительного покрова, и прежде всего зонального лесного, могут быть использованы такие показатели, как отношение площади условно коренных и длительно-производных типов леса (А) к площади коротко-производных насаждений (В) и площади культур (D). Введены два показателя: $P = A/B$ – показатель измененности лесной растительности; $N = A/(B + D)$ – показатель нарушенности лесной растительности. При подобном подходе оценка проводится лишь по составу древостоя, при этом не учитывается степень трансформированности напочвенного покрова лесных насаждений под воздействием того или иного фактора, например рекреации или выпаса под пологом леса. Вместе с тем, оговаривая некоторую условность такой оценки, полезно и нетрудно учесть эти показатели для выявления тенденций динамики лесного покрова на основании имеющихся среднемасштабных картографических материалов (таблица). Данные, приведенные в таблице, свидетельствуют о том, что наименее трансформированной можно считать сохранившуюся в условиях лесополья лесную растительность «южных» широколиственнолесных ландшафтов и массива Раифского участка Волжско-Камского заповедника. Худшее состояние отмечается для подтаежных районов, что указывает на отрицательную реакцию подтаежных хвойно-широколиственных лесов на антропогенное воздействие.

**Значения показателей измененности (P) и нарушенности (N)
лесной растительности (А – условно коренные и длительно-производные
формации; В – коротко-производные; D – культуры)**

Ландшафтные районы	$P = A/B$	$N = A/B + D$
Илетско-Ашитский возвышенно-равнинный район приуральских широколиственно-пихтово-еловых неморально-травяных и сосново-еловых зеленомошных лесов	1,12	0,79
Западно-Казанский террасово-долинный район восточноевропейских сосновых и широколиственно-сосновых подтаежных лесов	1,74	0,90
Казанский эрозионно-расчлененный район приуральских широколиственно-еловых неморальнотравяных подтаежных лесов	1,09	0,87
Нижне-Мешинский эрозионно-расчлененный район среднерусско-волжских широколиственных с елью неморально-травяных лесов	1,96	1,21
Прикамский правобережный район среднерусско-волжских широколиственных неморальнотравяных лесов	6,07	2,92
Волго-Мешинский террасово-долинный район восточноевропейских сосново-широколиственных и сосновых частично остепненных травяных лесов	2,96	1,56
Волго-Свияжский возвышенный район среднерусско-волжских широколиственных с елью неморальнотравяных лесов	5,71	3,48
Цивиль-Кубнинский возвышенный район среднерусско-волжских широколиственных с елью неморальнотравяных лесов и фрагментами сосново-широколиственных остепненных лесов	3,57	1,85
Раифский участок Волжско-Камского заповедника (ВКГПБЗ)	5,52	4,37

Статистической проверкой установлено, что индивидуальные показатели форм контуров растительных формаций (фрактальная размерность, коэффициенты расчлененности, индекс кругообразности) достоверно зависят от доминирующей лесообразующей породы, типа растительности и типа ландшафта. Обнаружена сильная зависимость коэффициента расчлененности и индекса кругообразности от площади контура, что для показателя формы является неудачным свойством. Значения фрактальной размерности, в свою очередь, показали независимость значений от площади, поэтому для анализа формы элементов рисунка растительного покрова предпочтительнее использование показателя фрактальной размерности. Границы контуров формаций в лесных ландшафтах более извилисты и сложны и менее однородны, чем в лесостепных. Контуры, обладающие максимальной фрактальной размерностью, размещаются в подтаежных районах. Контуры мозаики формаций в лесостепных районах Заволжья более чем в прочих тяготеют к форме круга. Здесь размеры и форма контуров наиболее равномерны.

Негативный эффект лесной фрагментации чаще всего рассматривают в контексте снижения биоразнообразия и изменения динамики численности и распространения популяций [11]. Для территории Раифского участка Волжско-Камского заповедника проведен анализ связи геометрических свойств контуров лесотаксационных выделов с величиной выявленного в их пределах видового богатства сосудистых растений. Статистически значимая положительная корреляционная зависимость была получена только для выборки выделов с доминированием в фор-

муле древостоя липы (длительно производные сообщества) между плотностью видового богатства (т. е. количеством видов на единицу площади) и фрактальной размерностью контура. Коэффициент корреляция Пирсона составил 0,63 при 0,95%-ном доверительном интервале.

Расчеты показателей фрактальной размерности и других коэффициентов, характеризующих форму контуров, и построение на их основе карт выявили, что эти показатели косвенно отражают интенсивность и продолжительность антропогенной нагрузки на территорию. Для оценки состояния растительного покрова необходимо учитывать характеристики его пространственной структуры, что позволяет более точно делать выводы о нарушенности территории.

Литература

1. Викторов А. С. Рисунок ландшафта. – М. : Мысль, 1986. – 179 с.
2. Викторов А. С. Рисунок ландшафта: Анализ геометрических свойств ландшафта и его практическое применение. – 2-е изд. – М. : Ленанд, 2014. – 184 с.
3. Миркин Б. М. Антропогенная динамика растительности // Итоги науки и техники. Ботаника. – 1984. – Т. 5. – С. 139–208.
4. Огуреева Г. Н., Микляева И. М., Суслова Е. Г., Швергунова Л. В. Среднемасштабное картографирование растительного покрова Московской области на эколого-динамической основе // Геоботаническое картографирование. – 1996. – С. 3–15.
5. Разумовский С. М. Закономерности динамики биоценозов. – М. : Наука, 1981. – 231 с.
6. Соколов А. С. Ландшафтное разнообразие: теоретические основы, подходы и методы изучения // Геополитика и экогеодинамика регионов. – 2014. – Т. 10, № 1. – С. 208–213.
7. Baker W. L. Longterm response of disturbance landscapes to human intervention and global change // Landscape Ecology. – 1995. – V. 10, № 3. – P. 143–159.
8. Cain D. H., Riitters K., Orvis K. A. Multi-scale analysis of landscape statistics // Landscape ecology. – 1997. – V. 12. – P. 199–212.
9. Dale V. H., King A. W., Mann L. K., Washington-Allen R. A., McCord R. A. Assessing Land-Use Impacts on Natural Resources // Environmental Management. – 1998. – V. 22, № 2. – P. 203–211.
10. Entel B., Hamilton N. T. M. Model description of dynamics of disturbance and recovery of natural landscapes // Landscape Ecology. – 1999. – V. 14. – P. 277–281.
11. Fox J., Krummel J., Yarnasarn S., Ekasingh M., Podger N. Land use and landscape dynamics in Northern Thailand: assessing change in tree upland watersheds // Ambio. – 1995. – Vol. 24, № 6. – P. 328–334.
12. Harris L. D., Silva-Lopez G. Forest fragmentation and the conservation of biological diversity / Conservation biology. The theory and practice of nature conservation preservation and management. – 1995. – P. 197–237.
13. Jaeger J. A. G. Landscape division, splitting index, and effective mesh size: new measures of landscape fragmentation // Landscape Ecology. – 2000. – V. 15. – P. 115–130.
14. Krummel J. R., Gardner R. H., Sugihara G., O'Neill R. V., Coleman P. R. Landscape patterns in a disturbed environment // Oikos. – 1987. – V. 48. – P. 321–324.
15. Mandelbrot B. B. The Fractal Geometry of Nature. – N.-Y. : Freeman, 1983. – 468 p.
16. Matlack G. R. Sociological edge effects: spatial distribution of human impact in suburban forest fragments // Environmental Management. – 1993. – V. 17, № 6. – P. 829–835.
17. Murcia C. Edge effects in fragmented forests: implications for conservation // Tree. – 1995. – V. 10, № 2. – P. 58–62.
18. Olsson E. G. A., Austrheim G., Grenne S. N. Landscape change patterns in mountains, land use and environmental diversity, Mid-Norway 1960–1993 // Landscape Ecology. – 2000. – V. 15. – P. 155–170.

T. V. Rogova, G. A. Shaykhutdinova, M. V. Karpov,
Kazan (Volga) Federal University (Kazan)

CARTOGRAPHIC ANALYSIS OF THE SPATIAL STRUCTURE AND FRAGMENTATION OF THE VEGETATION COVER

Fragmentation and actual forest pattern assessment is necessary for resource management and for biodiversity conservation. Highly informative are the results of research on the vegetation dynamics by comparing geobotanical maps compiled at different times. As a result of investigation discuss fragmentation indexes and forest pattern metric characteristics evaluated by using actual electronic geobotanical map of Tatarstan (scale 1:200 000), M. V. Markov's (1944) geobotanical map and geostatistic methods. When comparing the quantitative integral indicators of the forest pattern, a sharp increase in the number of patches is observed due to the forest fragmentation; a decrease in the average area of the patches of natural formations (spruce, oak and pine forests); an increase in the areas of aspen and birch forests. For assessing the state of vegetation cover, the index of variability and the index of disturbance of forest vegetation were used, calculated as the ratio of the area of conditionally indigenous and long-derived forest patches to the area of short-derived forests and to the cultivated plantations area, respectively. Calculations of the fractal dimension and other coefficients characterizing the shape of the pattern revealed that these indicators indirectly reflect the intensity and duration of the anthropogenic load on the territory.