

**ДИНАМИКА РИСУНКА СООБЩЕСТВ
ТЕМНОХВОЙНО-ШИРОКОЛИСТВЕННОГО ЛЕСА
В УСЛОВИЯХ ИНТЕНСИВНОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ**
**PATTERN DYNAMICS OF THE DARK
CONIFEROUS-BROAD-LEAVED FOREST UNDER PRESSURE**

Ибрагимова А.А., Шайхутдинова Г.А.
Ibragimova A.A., Shaykhutdinova G.A.

*Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования «Казанский (Приволжский) федеральный
университет», г. Казань, Российская Федерация
Kazan Federal University, Kazan, Russian Federation*

Аннотация. Представлены результаты анализа динамики рисунка участка подтаежного леса за 80-летний период. Оценка фрагментации выполнена по оцифрованным планам лесных выделов, составленным при учете лесного фонда в 1935, 1959 и 2014 гг. Выявлено непрерывное увеличение всех характеристик фрагментации исследуемого участка. Отсутствие периодов покоя, необходимых для релаксации нарушенных лесных сообществ, ведет к снижению устойчивости лесных экосистем и биоразнообразия.

Ключевые слова: лесная фрагментация, динамика рисунка, биоразнообразие, геоинформационный анализ

Abstract. The results of the analysis of the 80-year pattern dynamics of the dark coniferous-broad-leaved forest are presented. The fragmentation was assessed according to the digitized plans of the forest units, compiled during the 1935, 1959, and 2014 forest fund inventory. A continuous increase in all fragmentation characteristics was revealed. The lack of diapausing periods necessary for the relaxation of disturbed forest communities leads to a decrease in the stability and biodiversity of forest ecosystems.

Keywords: forest fragmentation, pattern dynamics, biodiversity, geoinformation analysis

Рост промышленности и сельскохозяйственное освоение земель в центральных районах Европейской России к концу XIX века привели к резкому сокращению лесистости в полосе бореального экотона (переходная полоса между лесной и степной зонами). Хорошим примером служит территория Республики Татарстан (РТ), лесистость которой к концу XIX в. сократилась до 32 %, а к шестидесятым годам XX в. снизилась до 18 % [1], оставаясь таковой и по сей день. Наряду с сокращением лесных площадей, интенсивная хозяйственная эксплуатация сохранившихся лесных массивов привела к сильному нарушению их пространственной структуры и формированию сложной мозаики естественных и антропогенно модифицированных

лесных экосистем. Совокупность всех этих явлений рассматривают как процесс лесной фрагментации.

Фрагментация и утрата лесов признаются основными угрозами для сохранения биоразнообразия и экологических функций лесов [4, 5, 7, 8]. В местообитаниях, фрагментированных ниже критического порогового уровня, начинают вымирать виды, меняются их популяционные характеристики, снижается продуктивность. Понимание закономерностей этих изменений в связи с фрагментацией – сложная задача, но это первый шаг к пониманию последствий изменения ландшафта и разработки экономически эффективных стратегий управления устойчивостью экосистем. Также важно оценить и степень фрагментации, определить пороговые уровни, которые могут привести к невосполнимым потерям.

Для выполнения оценок антропогенной фрагментации ландшафтов в последние годы все чаще применяют приемы геоинформационного анализа векторных картографических изображений, отражающих структуру земель, в том числе и лесного покрова [2, 6]. Высоко информативным историческим материалом, отражающим структуру лесного покрова, являются планы лесничеств, составленные в ходе таксации леса. Планы отражают мозаику основных хозяйственных единиц – выделов. Подобные учеты начали планомерно выполняться в староосвоенных регионах нашей страны начиная с 1920 гг. с частотой в 10 лет. При хорошей сохранности материалов в фондах архивов, можно подобрать ряды учетных данных (в том числе и картографических) за несколько периодов лесоустройства.

В качестве объекта исследования нами выбран фрагмент лесного массива Сурнарского участкового лесничества РТ. Лесничество располагается в подзоне хвойно-широколиственных лесов (подтаежные леса) и является местообитанием периферических популяций темнохвойных видов – ели финской *Picea × fennica* (Regel) Kom. и пихты сибирской *Abies sibirica* Ledeb. В условиях глобального потепления и усиления фрагментации местообитаний, ареалы бореальных видов-лесообразователей показывают тенденцию к сокращению, что особенно заметно на их южном пределе распространения.

Для модельной территории в фондах Государственного архива РТ были подобраны, отсканированы и оцифрованы фрагменты лесных планов 1935 и 1959 гг. Также в работе использованы материалы актуального лесоустройства 2014 г. (рис. 1).

Оцифровка квартальной сетки и лесохозяйственных выделов, обработка полученных изображений и дополнение их атрибутивной информацией осуществлялись с помощью программных продуктов EasyTrace, QGIS и MapInfo. Количество и размер выделов показывают степень фрагментированности участка и демонстрируют характер его использования.

Для каждого рассматриваемого временного интервала были оценены общие показатели, характеризующие свойства мозаики выделов лесных кварталов модельного участка (табл.).

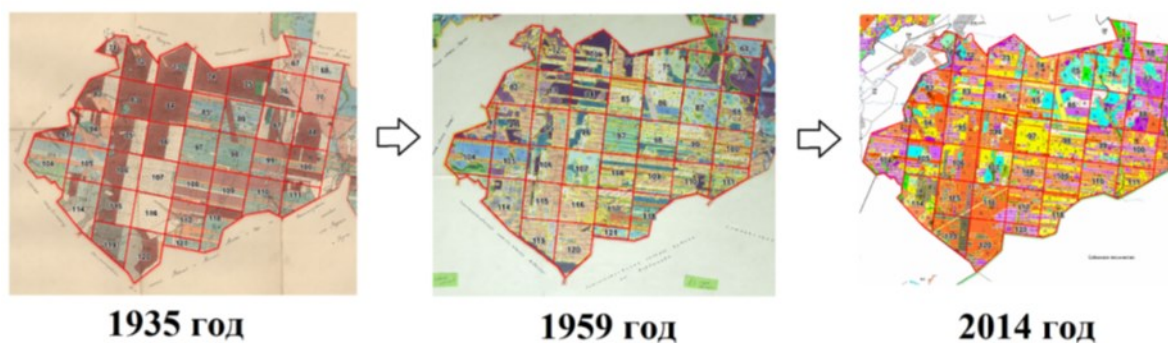


Рис. 1. Фрагменты лесных планов за три года лесоустройства

Таблица

Интегральные показатели рисунка лесного покрова

Количественный показатель	Формулы и обозначения	1935 г.	1959 г.	2014 г.
Общая площадь, км ²	S	42,4	43,4	42,5
Число контуров (выделов), шт.	n	543	879	1336
Кол-во типов контуров (формаций)	m	8	10	10
Средняя площадь контура, км ²	$S_0 = \frac{S}{n}$	0,08	0,05	0,03
Среднее квадратическое отклонение	$\sigma = \sqrt{\frac{\sum (S_j - S_0)^2}{n-1}}$	0,160	0,085	0,035
Коэффициент вариации	$V = \frac{\sigma}{S_0}$	2	1,7	1,2
Индекс дробности	$K_d = \frac{n}{S}$	12,8	20,2	31,4
Коэффициент сложности	$K_s = \frac{n}{S_0}$	6953,6	17793,4	41984,3
Коэффициент раздробленности	$K_r = \frac{S_0}{S}$	543	879	1336
Доминантный класс (доля площади от общей)	$W = \frac{S_D}{S}$, S _D – площадь доминантного класса	0,43 Темно-хвойные (6)	0,32 Сосняки (9)	0,32 Сосняки (9)
Показатель доминирования	$R = W - \frac{1}{m}$	0,3	0,2	0,2
Энтропийная мера сложности рисунка	$H = -\sum_{i=1}^m \frac{S_i}{S} \log_2 \frac{S_i}{S}$	7,6	8,7	9,8
Коэффициент неоднородности	$K_n = \frac{m}{m-1} \left[1 - \sum_{i=1}^m \left(\frac{S_i}{S} \right)^2 \right]$	0,84	0,89	0,91
Общая длина границ, км	$L = n \cdot 2 \cdot \sqrt{S_0 \pi}$	537,8	692,4	844,6

Преобладающим типом формаций в 1935 году являются зональные темнохвойные сообщества (елово- и пихтово-широколиственные), с 1959 года – культуры сосны (табл., рис. 2). Посадка монокультур сосны и ели на месте массовых вырубок леса в послевоенное время обеспечила сохранение лесных площадей, но привела к упрощению и унификации их видового состава.

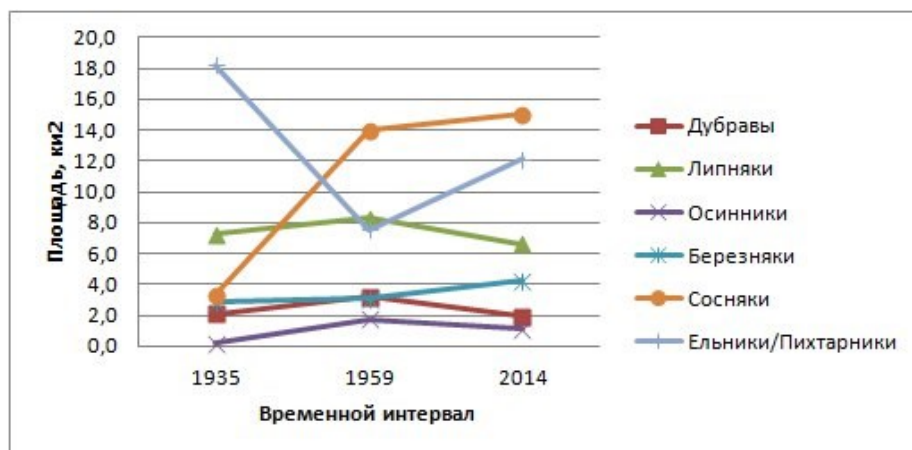


Рис. 2. Динамика площадей лесных формаций.

В связи с проведением рубок по годам учета заметно растет число выделов и соответственно уменьшается их площадь. Средняя площадь контура к настоящему времени уменьшилась на 62 % (с 0,08 до 0,03 км²), что свидетельствует о сильном нарушении лесной мозаики. Среднее квадратическое отклонение площади выделов от средней и коэффициент вариации в начале рассматриваемого периода максимальны, затем снижаются, что свидетельствует о заметном дроблении первоначально цельных участков леса.

Индекс дробности контуров (K_d) отражает отношение их количества к единице площади. Его динамика показывает усиление дробности рисунка. Коэффициент сложности структуры (K_s) сравнивает количество контуров и их среднюю площадь. Показатель постепенно увеличивается по годам учета, фиксируя усложнение структуры лесной мозаики. Коэффициент раздробленности (K_r) отражает отношение средней площади контура к площади всего массива и также заметно растет, особенно быстро в первый отрезок времени.

Энтропийная мера сложности рисунка оценивает его упорядоченность (однородность) и иногда трактуется как вероятность смены одного состояния другим [3]. В рассматриваемом временном интервале наблюдается увеличение этого показателя, причем с большей скоростью процесс идет в течение первого периода. Коэффициент неоднородности отличается от энтропийной меры сложности рисунка учетом количества классов, а не их удельных площадей, и его значения изменяются от 0 до 1. Данный показатель во все годы учета высокий, но также показывает тенденцию к росту, особенно в первый период.

Общая длина границ зависит от степени их извилистости и размеров контуров, рассматривается как мера выраженности экотонов. Наименьшая

длина границ в 1935-м году, так как рисунок сочетает цельные крупные лесные контуры, определяемые границами квартала, и мелкие послерубочные выделы, простые и прямоугольные по форме. К 2014 году происходит усиление извилистости границ, вследствие увеличения неоднородности рисунка выделов.

Таким образом, динамика всех рассчитанных характеристик показывает непрерывное усиление фрагментации исследуемого лесного массива. Постоянное усложнение мозаики, усиление энтропии и увеличение протяженности экотонов свидетельствует, что развивается процесс перехода лесных сообществ в новое состояние. Это состояние можно охарактеризовать как режим регулируемых человеком лесных плантаций, который исключает возможность восстановления популяций тех лесообразующих видов, которые плохо или вообще не способны возобновляться через посадку культур (пихта сибирская, дуб черешчатый). Отсутствие необходимых для релаксации нарушенных лесных сообществ периодов покоя, ведет к снижению устойчивости лесных экосистем. Минимизация площадей или полное исчезновение фрагментов естественных зональных сообществ ограничивает возможности рассеивания семян и расселения видов, что ведет к снижению общего уровня биологического разнообразия.

Библиографический список

1. Бойко, Ф. Ф. Изменение лесистости Татарской АССР в результате воздействия человека / Ф. Ф. Бойко // Проблемы отраслевой и комплексной географии. – Казань : Изд-во Каз. ун-та, 1976. – С. 179–184.
2. Викторов А. С. Рисунок ландшафта / А. С. Викторов. – М. : Мысль, 1986. – С. 48–63.
3. Ганзей, К. С. Оценка ландшафтного разнообразия вулканически активных островов / К. С. Ганзей // Известия РАН. Серия географическая, 2014. – № 2. – С. 61–70.
4. Forman, R. T. T. Land Mosaics: The Ecology of Landscapes and Regions / R. T. T. Forman. – UK : Cambridge University Press, 1995. – 656 p.
5. Harris, L. D. The fragmented forest: Island Biogeography Theory and the preservation of biotic diversity / L. D. Harris. – Chicago : University of Chicago Press, 1984. – 230 p.
6. Krummel, J. R. Landscape patterns in a disturbed environment / J. R. Krummel, R. H. Gardner, G. Sugihara, R. V. O'Neill, P.R. Coleman. – *Oikos* 48, 1987. – Copenhagen. – P. 321–324.
7. Loyn, R. H. Spatial patterns and fragmentation: Indicators for conserving biodiversity in forest landscapes. Criteria and indicators for sustainable forest management / R. H. Loyn, C. A. McAlpine. – UK : CAB International, Wallingford, 2001. – P. 391–422.
8. Rochelle, J. A. Forest fragmentation: Wildlife and management implication / J. A. Rochelle, L. Lehmann, J. Wisniewski. – USA : Brill, Boston, Massachusetts, 1999. – 322 p.