

УДК 630*52

АЛГОРИТМ ЭНТРОПИЙНО-ИНФОРМАЦИОННОГО АНАЛИЗА КОЛИЧЕСТВЕННЫХ И КАЧЕСТВЕННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ПОДРОСТА НА ПРОБНЫХ ПЛОЩАДЯХ

Л. В. Черных

Поволжский государственный технологический университет,
Российская Федерация, 424000, Йошкар-Ола, пл. Ленина, 3
E-mail: leonch1k89@mail.ru

Выявлены методические недостатки при учёте подроста и оценке лесовозобновления. Предложена квадротомическая модель данных для учёта подроста с последующей генерализацией на два уровня по четырём учётным площадкам. Оценка распространённости и самоорганизации молодого поколения леса выполняется по показателям энтропии. Предложен алгоритм учёта подроста и оценки лесовозобновления на лесном участке на основе энтропийно-информационного анализа.

Ключевые слова: подрост; жизнеспособность; лесные культуры; энтропия; встречаемость подроста; алгоритм; лесовозобновление; лесовосстановление; лесоустройство.

Введение. Правильное назначение мероприятий по лесовозобновлению возможно на основе информации о подросте на лесном участке. В зависимости от количества и состояния подроста на вырубке, гари, прогалине, планируемой лесосеке выбирается способ лесовозобновления с учётом целевого использования лесов.

Вопросу возобновления леса в нашей стране уделяется большое внимание. Накоплен значительный опыт, который описан в классических трудах А.А. Крюденера, Г.Н. Морозова, В.Н. Сукачева, М.Е. Ткаченко, А.В. Тюрина, И.С. Мелехова, А.В. Давыдова и многих учёных лесоводов [1, 2]. Современное состояние этого вопроса также отмечено во многих публикациях, например, с 2005 по 2014 год в нашей стране было опублико-

вано более 1500 работ по проблеме лесовозобновления и лесовосстановления.

Методическим вопросом обследования и учёта лесовозобновления посвящены работы А.А. Крюденера, Н.В. Побединского, И.С. Мелехова, С.В. Белова, А.В. Грязькина, А.Н. Мартынова, С.А. Денисова и многих других исследователей [1–5].

Особенно подробно приведены методические описания по обследованию естественного лесовозобновления и лесных культур в лесоустроительных инструкциях разных лет (1946, 1951, 1964, 1985, 1994, 2008, 2011 гг.), в отраслевом стандарте «Пробные площади лесоустроительные...»*, в правилах лесовосстановления** и руководствах по проведению лесовосстановительных работ в различных лесных районах страны [6], а также в книге «Лесоустройство» [7].

*ОСТ 56-69-83. Площади пробные лесоустроительные. Метод закладки. – М.: Изд. ЦБНТИлесхоз, 1984. – 60 с

**Правила лесовосстановления: Утверждены Приказом МПР России от 16.07.2007 №183. – М., 2007. – 28 с.

© Черных Л. В., 2015.

Для цитирования: Черных Л. В. Алгоритм энтропийно-информационного анализа количественных и качественных характеристик подроста на пробных площадях // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Сер.: Лес. Экология. Природопользование. – 2015. – № 3 (27). – С. 42-54.

Все вышеперечисленные публикации и нормативно-правовые документы направлены на определение количественных и качественных показателей подроста, являющихся основой назначения способа лесовосстановления.

Главным качественным показателем подроста является жизнеспособность, определяемая по признакам, например, для хвойных древесных пород жизнеспособность определяется по густоте и цвету хвои; выраженности мутовчатости; форме кроны, равномерности прироста по высоте стволика за 3–5 последних лет роста, поверхность коры стволика, прямолинейность стволика, отсутствие многовершинности. Для твёрдолиственных пород жизнеспособность подроста характеризуется нормальным облиствением кроны, пропорционально развитыми по высоте и диаметру стволиками * [2]. В большинстве случаев при учёте подроста жизнеспособность определяется как «благонадёжный» и «неблагонадёжный». Тип пространственного распределения подроста на лесном участке также можно считать качественным показателем.

После определения качества подроста определяются количественные показатели «благонадёжного» подроста древесных пород: густота на 1 га, высота, возраст, прирост по высоте, встречаемость, состав, доля неблагонадёжного подроста, количество всходов и самосева.

Отметим, что во всех работах главным результатом обследования подроста была принята жизнеспособность и густота, необходимая для формирования нового устойчивого лесного насаждения.

Подробный анализ существующих инструкций, методик, рекомендаций и указаний по учёту и обследованию подроста позволил выявить следующие методические недостатки:

1) определение типа распределения подроста по площади производится только по относительному значению числа подроста на учётных площадках;

2) отсутствует анализ показателей изменчивости густоты подроста;

3) недостаточно полно приведена последовательность работ по обследованию естественного лесовозобновления на лесном участке;

4) рекомендации по выбору способа лесовосстановления и лесовозобновления носят неопределённый, субъективный характер вследствие очень большой изменчивости густоты подроста;

5) выходная информация не формализована, отсутствует единая форма представления результатов обследования подроста;

6) весь цикл работ по учёту подроста на пробных площадях слабо обоснован методически и не автоматизирован этап камеральной обработки результатов измерений.

Исходя из вышеизложенного и перехода ведения лесного хозяйства на интенсивную модель хозяйствования, вопросы по оценке лесовозобновления являются важным элементом цикла воспроизводства лесных ресурсов. От точности и адекватности оценки показателей подроста на обследуемом лесном участке зависит качество проектных решений при лесоустройстве и организации ведения лесного хозяйства, поэтому разработка единого подхода к учёту и оценке подроста с позиции полноты сбора и обработки результатов измерений на пробных площадях является актуальной.

Цель работы – разработать алгоритм энтропийно-информационного анализа количественных и качественных показателей подроста на пробных площадях.

Для реализации этой цели необходимо решить следующие **задачи**:

- повысить информативность и точность оценки процессов лесовозобновления путём конструирования модели данных измерений показателей подроста;

* Правила лесовосстановления: Утверждены Приказом МПР России от 16.07.2007 №183. – М., 2007. – 28 с.

- выявить количественные приёмы и показатели для оценки пространственной структуры подроста;

- разработать алгоритм энтропийно-информационного анализа результатов измерений на пробной площади.

Материал и методика. Теоретической основой решения перечисленных задач для оценки естественного и искусственного возобновления леса может служить энтропийно-информационный подход и квадратомическая модель пространственных данных о подросте.

Исходным материалом для обоснования методики учёта и оценки подроста являются публикации, в которых обобщён труд многих исследователей в области оценки процессов лесовозобновления, теории информации, геоинформационных систем, теории баз данных. Для тестирования методики учёта и оценки подроста послужили материалы 35 пробных площадей, заложенных в полевой период 2012–2015 гг. на территории Республики Марий Эл.

Результаты и их обсуждение. Лесовозобновление – это сложный процесс жизни экосистемы, который очень трудно представить в виде вещественной модели. При этом модель должна наиболее полно отражать все свойства лесовосстановления на лесном участке. Поэтому, используя метод генерализации и абстракции, можно свести множество данных о подросте к конечному объёму исходных данных, которые подвергаются оценке и анализу. Надо выбрать такую модель, которая бы сохраняла основные свойства объектов исследования и не содержала бы второстепенных свойств. Таким образом, созданию основы для разработки алгоритма оценки лесовосстановления предшествует обоснование выбора модели данных предметной области.

В настоящее время для представления пространственных данных об объекте исследований используют следующие модели данных, классифицируемые по структуре [8–11]:

- сетевые – связь между элементами различных уровней свободная;

- иерархические – данные представляются в виде ориентированного графа;

- реляционные – данные формируются в виде одной или нескольких таблиц, а записи в таблицах идентифицируются при помощи первичного ключа, состоящего из набора полей таблицы, значения которых однозначно определяют каждую запись во всех таблицах;

- объектно-ориентированные – отдельные записи данных представляются в виде объектов, а между записями в базе данных и их функциями обработки устанавливаются взаимосвязи.

Любая модель данных содержит три компонента: структуру данных; набор допустимых операций и ограничения целостности.

Практическое использование моделей квадратомических деревьев было применено для обработки изображений. Из этой области данная модель была перенесена в геоинформационные системы [8, 11].

Для наших целей наиболее подходит иерархическая модель данных в виде квадратомического дерева. Рассмотрим эту модель на примере проектирования и использования геоинформационных систем [11].

В этой структуре двумерная геометрическая область рекурсивно подразделяется на квадранты, что определило название данной модели.

На рис. 1 показан фрагмент двумерной области ТА, состоящей из 16 пикселей. Напомним, что для представления, воспроизводства или обработки изображения в электронном виде минимальной единицей считается пиксель (точка).

Каждый пиксель обозначен цифрой. Вся область разбивается на четыре квадранта: А, Б, С, Д. Каждый из четырёх квадрантов является узлом квадратомического дерева. Квадрант ТА становится узлом более высокого иерархического уровня квадратомического дерева, а меньшие квадранты появляются на более низких уровнях.

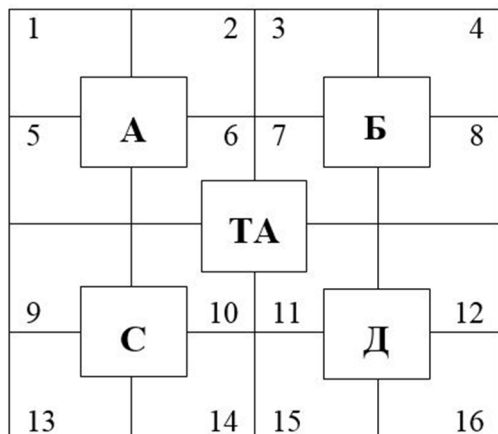


Рис. 1. Модель данных «Квадратомическое дерево» для представления растра

Технология построения квадратомического дерева основана на рекурсивном разделении квадрата на квадранты и подквадранты до тех пор, пока все подквадранты не станут однородными по отношению к значению изображения (цвета или тона) или пока не будет достигнут конкретный, заранее наименьший уровень разрешения. Данная технология широко используется для обработки и представления пространственных данных.

Преимущество такой структуры модели данных состоит в том, что регулярное разделение обеспечивает накопление, восстановление и обработку данных простым и эффективным способом. Её простота построения проистекает из геометрической регулярности разбиения, а эффективность достигается за счёт хранения только узлов с данными, которые представляют интерес.

В настоящее время модели данных, базирующиеся на квадратомических деревьях, используются в различных предметных областях для расчёта площадей, определения центроидов, распознавания образов, определения соседства, преобразования расстояний, разделения изображений, сглаживания данных и других функций. Вследствие этого появилась возможность использовать квадратомические деревья для хранения пространственных данных [8,11].

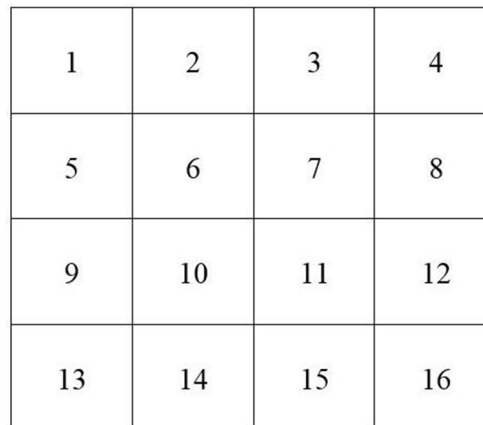


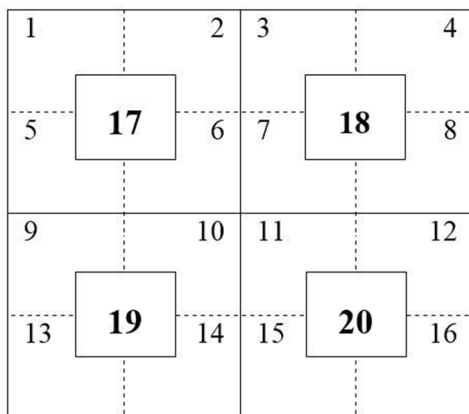
Рис. 2. Расположение учётных площадок на пробной площади

Известно, что квадратомическая модель данных при генерализации четырёх квадратов позволяет получить новую информацию о пространственных объектах. Для наших целей при учёте подростка на лесном участке это свойство модели позволяет получить новую площадку с известными атрибутами. Следовательно, генерализация четырёх исходных квадратов порождает новый квадрат (новую учётную площадку) с вычисленными средними значениями о подросте.

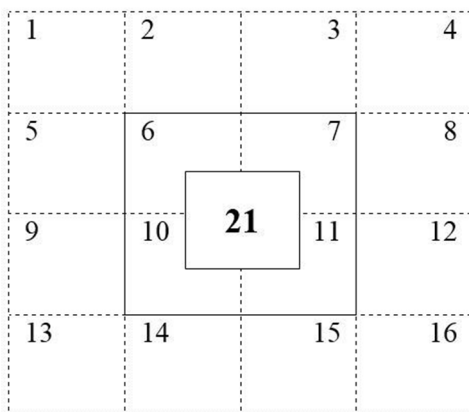
Отметим, что первоначально пространственной единицей учёта подростка является квадрат площадью 1, 4, 10 или 100 м². Пробная площадь включает 16 квадратов одинаковой площади (рис. 2) и всегда равна 1600 м². Если площадь учётной площадки равна 1, 4 или 10 м², то площадки закладываются в центре каждого квадрата площадью 100 м². В полевых условиях на каждом квадрате проводятся все работы по измерению и оценке подростка. Результаты измерений на квадрате фиксируются в карточке пробной площади по лесовозобновлению.

Принцип генерализации (обобщения) четырёх квадратов, примыкающих друг к другу, на пробной площади позволяет получить новые квадраты с вычисленной средней характеристикой подростка (рис. 3, а). Таким образом, на первом шаге генерализации мы получаем четыре до-

полнительных квадрата первичных данных о подросте на пробной площади. На втором уровне проводим генерализацию центральных квадратов (рис. 3, б, квадраты 6, 7, 10 и 11) и получаем ещё дополнительный квадрат с усреднённой информацией о подросте на пробной площади.



а



б

Рис. 3. Генерализация учётных площадок: а) первый уровень; б) второй уровень

Выполнив генерализацию по приведённой схеме пространственных исходных данных в виде 16 квадратов, мы получаем дополнительно пять квадратов с характеристикой подроста (рис. 4). При этом для последующих расчётов количественных и качественных характеристик подроста общее число квадратов на пробной площади составит 21 шт., или можно считать, что число учётных площадок при закладке пробных площадей при использовании квадратомической модели данных увеличивается на 31,2 %.

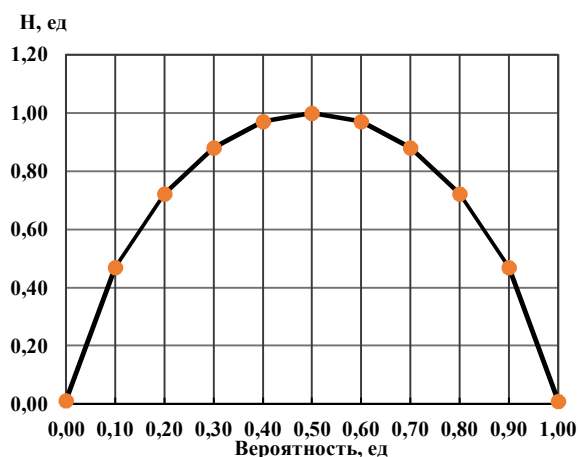


Рис. 4. Значения энтропии в зависимости от вероятности события при $m=2$

Применение квадратомической модели данных при учёте подроста позволит облегчить полевые работы на пробных площадях, повысить точность оценки количественных показателей густоты исследуемых растений, а также уменьшить изменчивость густоты.

Для характеристики пространственной структуры подроста на пробной площади воспользуемся величиной энтропии.

Согласно теории информации, для оценки неопределённости случайного события понятие «энтропия» введено в 1865 году немецким физиком Рудольфом Клаузиусом для оценки самопроизвольных процессов в термодинамической системе. Было показано, что энтропия системы достигает максимального значения при достижении равновесия процессов, происходящих в ней. В дальнейшем Людвиг Больцман (1872 год) развил статистическую теорию и связал энтропию системы с вероятностью её состояния.

Основой понятия «энтропия» является математическое выражение, предложенное Н. Винером и К. Шенноном в 1948 году [12–18]

$$H = -k \cdot \sum_{i=1}^m p_i \log_2 p_i, \quad (1)$$

где H – энтропия (количество информации) рассматриваемой системы; где p_i – вероятность того или иного состояния i -го

элемента системы; k – коэффициент пропорциональности; m – количество элементов системы.

Из приведённого выражения следует, что максимальное значение энтропии может быть тогда, когда все элементы системы m будут равновероятны.

Значение максимальной энтропии вычисляется по формуле Хартли, которую он предложил для определения количества информации [16]

$$H_{\max} = \log_2 m. \quad (2)$$

Если система примет определённое состояние с вероятностью 1, то энтропия будет равна 0, следовательно, будет справедливо равенство при всех остальных случаях

$$0 \leq H \leq H_{\max}. \quad (3)$$

Энтропия системы двух взаимоисключающих событий находится в пределах от 0 до 1.

Всё это говорит о том, что для оценки состояния любой сложной системы или её разнообразия можно воспользоваться свойствами показателя энтропии.

Для примера рассмотрим систему, состоящую из двух элементов, и вычислим значения энтропии при различной вероятности, например, с шагом 0,1

$$H = -[(p \cdot \log_2 p) + ((1-p) \cdot \log_2(1-p))]. \quad (4)$$

На рис. 4 по оси X отложены величины вероятностей событий P , по оси Y отложена вся сумма значения энтропии при $m=2$. Простой анализ графического изображения позволяет сделать вывод: кривая энтропии симметрична относительно средней точки, которая расположена в месте, где вероятность события равна 0,5. Это подтверждает, что при достижении равновесного состояния системы энтропия увеличивается, то есть величина энтропии может служить показателем оценки организации систем.

Таким образом, все вышеперечисленные рассуждения и доказательства можно отнести как к любой живой системе, так и лесному насаждению.

Обоснование эффективности применения квадротомической модели данных при исследовании пространственной структуры подроста покажем по материалам таксации 35 пробных площадей, заложенных на территории Республики Марий Эл.

В результате расчётов (табл. 1) оказалось, что величина энтропии на пробных площадях, имеющих 16 учётных площадок, в сравнении с оценкой энтропии по материалам 21 учётной площадки, имеет различия от $-8,8$ до $+17,9$ %, при этом средняя систематическая погрешность энтропии составляет $+6,5$ %. Различия в оценках энтропии в зависимости от числа учётных площадок сопровождаются случайной ошибкой, равной $\pm 6,8$ %, а для всех случаев $\pm 1,31$ %. Это говорит о том, что влияние генерализации исходных данных (при использовании квадротомической модели) на характеристику подроста на пробных площадях доказано. Следовательно, применение квадротомической модели данных при оценке количественных и качественных показателей подроста на пробных площадях позволяет более адекватно и точно оценить состояние лесовозобновления на лесных участках, а также сделать выводы о степени самоорганизации молодого поколения леса.

Следует отметить, что при различном количестве древесных пород, участвующих в возобновлении леса на лесном участке, сравнение энтропии не корректно, потому что значение максимальной энтропии также различается. Для устранения этого недостатка можно использовать показатель относительной энтропии

$$H_2 = \frac{H}{H_{\max}}. \text{ Мерой оценки относительной}$$

организованности системы служит $H_3 = 1 - H_2$ [10, 12].

Таблица 1

Значения энтропии относительной встречаемости подроста при использовании квадратомической модели данных на пробных площадях, заложенных на территории Республики Марий Эл

№ ПП	Количество древесных пород, шт.	Величина энтропии (H) количества подроста на пробной площади, ед.				Погрешность, %
		max	количество квадратов (учётных площадок)		оценка относительной организованности системы (H ₃)	
			16 шт.	21 шт.		
2	4	2,00	1,15	1,11	0,44	3,30
3	3	1,58	0,60	0,56	0,65	7,50
4	3	1,58	0,64	0,56	0,65	12,10
5	5	2,32	2,13	2,00	0,14	5,80
6	4	2,00	0,43	0,39	0,81	10,90
7	3	1,58	1,05	0,97	0,39	8,00
8	2	1,00	0,36	0,34	0,66	5,50
9	3	1,58	0,43	0,36	0,77	17,10
10	2	1,00	0,84	0,92	0,08	-8,80
11	4	2,00	1,41	1,30	0,35	8,00
12	5	2,32	1,12	1,03	0,55	7,70
14	2	1,00	0,95	0,93	0,07	1,70
15	3	1,58	1,37	1,39	0,12	-1,40
16	3	1,58	1,50	1,44	0,09	4,00
18	5	2,32	0,56	0,55	0,76	2,00
19	4	2,00	1,03	0,97	0,52	5,70
20	3	1,58	1,12	1,08	0,32	4,30
21	4	2,00	1,19	1,12	0,44	5,70
22	5	2,32	0,97	0,85	0,63	12,30
23	4	2,00	1,00	0,91	0,54	8,40
24	3	1,58	0,70	0,64	0,59	7,90
25	5	2,32	1,39	1,29	0,44	7,10
26	4	2,00	1,11	1,07	0,47	3,40
27	3	1,58	0,60	0,52	0,67	13,20
28	3	1,58	0,54	0,44	0,72	17,90
29	3	1,58	0,82	0,71	0,55	13,80
109	3	1,58	0,44	0,37	0,77	16,50
30	3	1,58	1,42	1,37	0,14	3,70
31	4	2,00	1,23	1,11	0,44	9,40
32	2	1,00	0,63	0,60	0,40	5,50
33	4	2,00	1,31	1,23	0,38	6,10
34	2	1,00	0,46	0,50	0,50	-8,00
35	4	2,00	1,24	1,09	0,45	11,80
36	3	1,58	1,02	1,05	0,34	-2,50
37	3	1,58	1,31	1,25	0,21	4,30

Важным качественным показателем характеристики подроста является тип его распределения в пространстве. При исследовании лесовозобновления пространственная характеристика подроста даёт основание для назначения мероприятий. Если тип распределения случайный или равномерный, то при достаточном количестве подроста естественный способ ле-

совосстановления будет обоснован, а если групповое распределение – назначается комбинированное лесовозобновление. В действующих нормативных документах определению типа распределения по площади рекомендуется определять по его встречаемости на учётных площадках. Если встречаемость свыше 65 %, то распределение равномерное, встречаемость

40 – 65 % – неравномерное и менее 40 % – групповое*.

Для достоверной оценки типа распределения подростка по площади используют различные методы, например, индекс Одумма, индекс дисперсии Соутвуда, индекс Морисита, уравнение Тейлора и др. [19, 20].

По нашему мнению, наиболее оптимальным методом определения типа распределения подростка на исследуемом участке можно считать индекс Морисита. При его расчёте отсутствует влияние размера учётной площадки и размеры выборки.

На практике для определения типа распределения подростка на лесном участке анализируется значение индекса М. Морисита [20]:

если его значение $0,85 \leq I_M \leq 1,25$ – распределение подростка на пробной площадке считается случайным,

$I_M < 0,85$ – распределение подростка равномерное;

$I_M > 1,25$ – распределение подростка групповое.

Для оценки подростка на лесном участке определяются следующие количественные и качественные показатели: древесная порода, коэффициент состава пород, средний возраст, средняя высота, густота по категориям высот и группам возраста, жизнеспособность, встречаемость, размещение по площади, категория земель, санитарное состояние и др.

Наиболее полно такую информацию можно получить путём измерения входных показателей на пробной площадке, используя выборочно-статистический метод учёта и оценки лесовозобновления.

Для повышения точности и достоверности оценки подростка на лесном участке нами предложен новый подход для сбора, обработки данных и интерпретации полученных результатов о подростке, который базируется на квадратомической модели данных и анализе энтропии пространственной густоты молодого поколения леса.

Всё вышеизложенное приведено в систему, что позволило разработать следующий алгоритм расчёта по результатам измерений показателей подростка на пробной площади.

Алгоритм учёта и оценки лесовозобновления на пробных площадях. Предлагаемый алгоритм учитывает опыт многих исследователей, посвятивших свои работы проблемам учёта и оценки лесовозобновления [1, 2, 4, 8, 9].

1. Первоначально введём обозначения: m – количество древесных пород на пробной площадке, ед.; i – индекс древесной породы, $i=1,2,\dots,m$; j – номер учётной площадки на пробной площадке, $j=1,2,3,\dots,k$; k – число учётных площадок на пробной площадке, $k=16$, или $k=4,5,6,\dots$; a – индекс группы возраста подростка на учётной площадке, $a=1,2,3,4$; h – индекс группы высот подростка на учётной площадке, $h=1,2,3$; N – общее число благонадёжного подростка на пробной площадке, шт.; n_i – общее число благонадёжного подростка i -й древесной породы на пробной площадке, шт.; n_{ijah} – число благонадёжного подростка i -й древесной породы на j -й учётной площадке, возраста a и высоты h , шт.; n_j – число благонадёжного подростка на j -й учётной площадке, шт.; s_j^{cp} – средняя площадь, приходящаяся на единицу подростка на j -м квадрате, m^2 ; SPP – величина пробной площадки, га; SUP – площадь одного квадрата (учётной площадки), m^2 ; $SUP=1, 4, 10, 100$; $HPDR_h$ – группа высот подростка, $h=1, 2, 3$; $APDR_a$ – группа возраста подростка, $a=1, 2, 3, 4$; V_{ij} – количество всходов i -й древесной породы на j -й учётной площадке, шт. на $1 m^2$; C_{ij} – количество самосева i -й древесной породы на j -й учётной площадке, шт. на $1 m^2$; $HPDL$ – группа высот подлеска i -й породы, $HPDL=1, 2, 3$; JPR – живой напочвенный покров, перечень; nn_{ijah} – число неблагонадёжного подростка i -й древесной породы на j -й учётной площадке, шт.; KP_i – число площадок, где число подростка i -й древесной породы > 0 , шт.; W_i – встречаемость подростка i -й древесной породы.

* Правила лесовосстановления: Утверждены Приказом МПР России от 16.07.2007 № 183. – М., 2007. – 28 с.

2. Расчётные формулы и обозначения для вычисления показателей подроста:

1) средняя площадь, приходящаяся на единицу подроста, м²;

$$S_0 = \frac{SPP}{N}, \quad (5)$$

где SPP – общая площадь пробной площади, $SPP = SUP \cdot k$, га; N – общее число подроста;

2) встречаемость подроста по i -й древесной породе

$$W_i = \frac{KP_i}{k} \cdot 100, \quad (6)$$

где KP_i – число площадок, где присутствует хотя бы 1 единица подроста i -й древесной породы, шт.; k – общее число площадок, шт.;

3) количество жизнеспособного подроста i -й древесной породы на 1 га по группам высот и группам возраста подроста на учётных площадках

$$n_{ih}^{1za} = \left(\sum_{j=1}^k \sum_{a=1}^4 \sum_{h=1}^3 n_{ijah} \right) / SPP; \quad (7)$$

4) средняя высота жизнеспособного подроста i -й древесной породы

$$HPDR_i = \frac{\sum_{j=1}^k \sum_{a=1}^4 (n_{ija1} \cdot HPDR1 + n_{ija3} \cdot HPDR2 + n_{ija5} \cdot HPDR3)}{n_i}, \quad (8)$$

где $HPDR1=0,25$ м; $HPDR2=1,0$ м; $HPDR3=2,0$ м.;

5) средний возраст жизнеспособного подроста i -й древесной породы

$$APDR_i = \frac{\sum_{j=1}^k \sum_{h=1}^3 (n_{ij1h} \cdot APDR1 + n_{ij2h} \cdot APDR2 + n_{ij3h} \cdot APDR3 + n_{ij4h} \cdot APDR4)}{n_i}, \quad (9)$$

где $APDR1=5$ лет; $APDR2=15$ лет; $APDR3=25$ лет; $APDR4=35$ лет;

6) относительное значение неблагонадёжного подроста (%)

$$NNP_i = \frac{\left(\sum_{j=1}^k nn_{ijah} \right)}{n_i + NN_i} \cdot 100, \quad (10)$$

где nn_{ijah} – число неблагонадёжного подроста на j -й учётной площадке по i -й древесной породе, шт.; NN_i – общее число неблагонадёжного подроста i -й древесной породы, шт.;

7) количество всходов на 1 га

$$V_i = \left[\left(\sum_{j=1}^k V_{ij} \right) / k \right] \cdot 10000; \quad (11)$$

8) количество самосева на 1 га

$$C_i = \left[\left(\sum_{j=1}^k C_{ij} \right) / k \right] \cdot 10000; \quad (12)$$

9) перерасчёт количества подроста различной высоты к крупному жизнеспособному подросту

$$n_i^k = \sum_{j=1}^k (n_{ij} \cdot KHML + n_{ij} \cdot KHRSR + n_{ij} \cdot KHKR), \quad (13)$$

$$N_{\text{общ}}^k = \sum_{i=1}^m n_i^k,$$

где $KHML=0,5$; $KHRSR=0,8$; $KHKR=1,0$, ед.; n_i^k – количество подростка i -й древесной породы, приведённого к крупному подросту, шт.;

10) энтропия разнообразия и пространственной структуры подростка на пробной площади

$$H = - \sum_{i=1}^m \frac{s_i}{SPP} \log_2 \frac{s_i}{SPP}, \quad (14)$$

где $s_i = \sum_{j=1}^k n_{ij} \cdot s_j^{cp}$, $s_j^{cp} = \sum_{k=1}^m s_{kj} / n_{ij}$;

11) максимальное значение энтропии характеристики разнообразия древесных пород, участвующих в возобновлении леса

$$H_{\text{max}} = \log_2 m; \quad (15)$$

12) мера абсолютной организованности распространения подростка

$$H_1 = H_{\text{max}} - H; \quad (16)$$

13) показатель относительной энтропии, изменяется от 0 до 1

$$H_2 = \frac{H}{H_{\text{max}}}; \quad (17)$$

14) мера относительной организованности распространения подростка

$$H_3 = 1 - H_2, \quad (18)$$

если $H_3 < 0,1$ – появление подростка на лесном участке носит вероятностный характер;

$0,1 < H_3 < 0,3$ – появление подростка на лесном участке носит вероятностно-детерминированный характер;

$H_3 > 0,3$ – появление подростка на лесном участке носит детерминированный характер;

15) характеристика пространственной структуры подростка на пробной площади определяется по значению индекса М. Морисита и рассчитывается по формуле [19]

$$I_M = k \cdot \frac{\sum_{j=1}^k n_j \cdot (n_j - 1)}{N(N - 1)}, \quad (19)$$

где n_j – число жизнеспособного подростка на j -й учётной площадке; N – общее число жизнеспособного подростка на пробной площади, шт.; k – число учётных площадок на пробной площади, шт.

Алгоритм расчёта количественных и качественных показателей подростка является основой для дальнейших работ по автоматизации камеральных работ по оценке лесовозобновления на лесном участке.

Выводы. Предложена квадротомическая модель данных для учёта и оценки подростка на пробных площадях. Применение этой модели позволяет уменьшить изменчивость встречаемости подростка за счёт генерализации первичных данных на двух иерархических уровнях. Теоретически число учётных площадок и, следовательно, общая площадь пробной площади увеличивается на 31,5 % от исходной.

Экспериментально установлено, что после генерализации исходных данных учётных площадок систематическая погрешность оценки встречаемости подростка составила +6,5 %, случайная ошибка равна $\pm 6,8$ %, а для всех случаев $\pm 1,31$ %.

Использование энтропийно-информационного анализа результатов измерений на учётных площадках позволяет оценить организованность появления подростка и его пространственную структуру через меру относительной энтропии и индекс М. Морисита.

Приведённый алгоритм расчёта количественных и качественных показателей подростка на пробной площади предлагается использовать при разработке автоматизированной информационной подсистемы «Подрост».

Список литературы

1. Крюденер, А. А. Сплошные и семенно-лесосечные рубки в типах насаждений приволжских губерний лесостепной области с преимущественно сосновым древостоем (в Симбирской, Пензенской, Саратовской и Самарской губерниях) Доклад / А. А. Крюденер. – Санкт-Петербург, 1910. – 72 с.
2. Денисов, С.А. Естественное возобновление сосны в Пензенской области / С.А. Денисов, В.М. Егоров. – Йошкар-Ола: МарГТУ, 2005. – 168 с.
3. Белов, С.В. Применение методов математической статистики при учёте естественного возобновления / С.В.Белов // Лесоводство, лесные культуры и почвоведение. – 1973. – Вып. 2. – С. 3-11.
4. Грязькин, А.В. Патент № 2084129, Российская Федерация, МКИ С 6 А 01 G 23/00. Способ учета подроста / А.В. Грязькин. – №94022328/13; Заяв. 10.06.94; Оpub. 20.07.97, Бюл. № 20.
5. Мартынов, А.Н. О методике определения показателя встречаемости подроста / А.Н. Мартынов // Лесное хозяйство. –1984. –№ 11. – С. 29-31.
6. Санников, Ю. Г. Способ оценки естественного возобновления / Ю. Г. Санников, А. С. Баранцев // Лесное хозяйство. – 1983. – № 10. – С. 38.
7. Сухих, В. И. Лесоустройство / В. И. Сухих, В. Л. Черных. – Йошкар-Ола: ПГТУ, 2014. – 400 с.
8. Черных, В.Л. Геоинформационные системы в лесном хозяйстве / В. Л. Черных. – Йошкар-Ола: МарГТУ, 2007. –200 с.
9. Черных, В.Л. Информационные технологии в лесном хозяйстве / В. Л. Черных, М.В. Устинов, М.М. Устинов [и др.] – Йошкар-Ола: МарГТУ, 2009. – 144 с.
10. Гайдышев, И.П. Решение научных и инженерных задач средствами Excel, VBA и C++ / И.П. Гайдышев. – СПб: БХВ-Петербург, 2004. – 512 с.
11. Цветков, В.Я. Геоинформационные системы и технологии / В.Я. Цветков. –М.: Финансы и статистика, 1998. – 288 с.
12. Денисенко, С.Г. Информационная мера Шеннона и ее применение в оценках биоразнообразия (на примере морского зообентоса) / С.Г. Денисенко. – СПб., 2006 [Исследования фауны морей, Т. 56 (64)]. – С.35-46.
13. Волькенштейн, М.В. Энтропия и информация / М.В. Волькенштейн. – М.: Наука, 1986. – 192 с.
14. Викторов, А. С. Рисунок ландшафта / А. С. Викторов. – М.: Мысль, 1986. – 179 с.
15. Shannon, C. E. The mathematical theory of communication / C. E. Shannon, W. Weaver. – Urbana, 1949. – 117 p.
16. Hartley, R.V.L. Transmission of information R.V.L. Hartley // Bell System Technical Journal. 1928. – Vol. 7. – Pp. 535–563.
17. Wiener, N. Cybernetics or Control and Communication in the Animal and the Machine / N. Wiener. – New York: The Technology Press and John Wiley & Sons, Inc. – Paris: Hermann et Cie, 1948. – 212 p.
18. Корогодина, В. И. Информация как основа жизни / В.И. Корогодина, В.Л. Корогодина. – Дубна: Издательский центр «Феникс», 2000. – 208 с.
19. Крамаренко, С.С. Особенности использования энтропийно-информационного анализа для количественных признаков биологических объектов / С.С. Крамаренко // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 2005. – Т. 7, № 1. – С. 242-47.
20. Morisita, M. Measuring the dispersion of individuals and analysis of the distributional patterns / M. Morisita // Mem.Fac.Sci.Kyushu Univ. – 1959. – Ser. E 2. – Pp. 215-235.

Статья поступила в редакцию 10.08.15.

Информация об авторе

ЧЕРНЫХ Леонид Валерьевич – аспирант кафедры лесоводства и лесоустройства, Приволжский государственный технологический университет. Область научных интересов – таксация леса и лесовосстановление, ГИС-технологии в лесном хозяйстве. Автор 14 публикаций.

UDC 630*52

**ALGORITHM OF ENTROPIC-INFORMATION ANALYSIS
OF QUALITATIVE AND QUANTITATIVE CHARACTERISTICS
OF YOUNG TREES IN THE SAMPLE AREAS**

L. V. Chernykh

Volga State University of Technology,
3, Lenin Sq., Yoshkar-Ola, 424000, Russian Federation
E-mail: leonch1k89@mail.ru

Key words: young trees; resiliency; forest plantations; entropy; frequency of young trees; algorithm; forest regeneration; forest restoration; forest management.

ABSTRACT

Introduction. Intensive business model needs solution of the problem of successful natural forest regeneration. Accuracy and adequateness of forest regeneration assessment determine the quality of design decision in the course of forest surveying and forest management. Thus, elaboration of a single approach to the problem is of current importance. **The goal of the research** includes elaboration of an algorithm for the analysis of qualitative and quantitative characteristics of young trees. **Materials and methods.** An entropic-information approach and quadtree model of spacial data about young trees were a theoretical basis for the algorithm elaboration aimed at forest regeneration assessment. The data collected from 35 sample areas were used to test an accounting methods and to assess young trees. **Results and discussion.** Using the method of generalization and abstraction, it is possible to bring a lot of data about young trees to the final volume of the initial data subjected to an assessment and analysis. The quadtree model of data used for young trees inventory with the subsequent generalization of the first measurement results at a sample area improves accuracy of estimation of occurrence and self-organization of a new generation of trees. The quadtree model of data makes it possible to calculate the indices of entropy and Morisita index when inventory of young trees. The experiment showed that the entropy in 16 quadrats varied within -8,8 ... +17,9 % (in comparison with entropy assessment in 21 quadrats). **Conclusion.** The algorithm for young trees inventory and forest regeneration assessment was elaborated. The algorithm is based on the entropic-information analysis of young trees distribution. This approach allows to estimate an organized nature of young trees growth and its spatial structure through the measure of relative entropy and Morisita index. The experiment showed that after generalization of the initial data of quadrats constant error for young trees occurrence estimation was +6,5%, random error $\pm 6,8\%$, for all the cases $\pm 1,31$. The algorithm for calculation of qualitative and quantitative characteristics of young trees at a sample area is offered to use when elaboration of an automated information subsystem «Podrost».

REFERENCES

1. Krudener A. A. *Splshnye i semenno-lesosechnye rubki v tipakh nasazhdeniy privolzhskikh guberniy lesostepnoy oblasti s preimushchestvenno osnovym drevostoem (v Simbirskoy, Penzenskoy, Saratovskoy i Samarskoy guberniyakh): doklad* [Clear Felling and Shelterwood Felling in Different Plantations of Volga Regions Located in Forest-Steppe Zone Where Pine Stands Predominate (Siberian, Penza, Saratov, and Samara Provinces): report]. Saint-Petersburg, 1910. 72 p.
2. Denisov S.A., Egorov V.M. *Estestvennoe vozobnovlenie sosny v Penzenskoy oblasti* [Natural Regeneration of Pine in Penza Oblast]. Yoshkar-Ola: MarSTU, 2005. 168 p.
3. Belov S.V. *Primenenie metodov matematicheskoy statistiki pri uchete estestvennogo vozobnovleniya* [Application of the Mathematical Statistics Methods When Defining Natural Regeneration]. *Lesovodstvo, lesnye kultury i pochvovedenie* [Forestry, Forest Plantations and Pedology]. Leningrad, 1973. Issue 2. Pp. 3-11.
4. Gryazkin A.V. *Sposob ucheta podrosta* [A Way for Young Trees Inventory] Patent RF, no. 2084129, 1997.
5. Martynov A.N. *O metodike opredeleniya pokazatelya vstrechaemosti podrosta* [On the Methods for Defining the Young Trees Occurrence]. *Lesnoe khozyaystvo* [Forestry]. 1984. № 11. Pp. 29-31.
6. Sannikov Yu. G., Barantsev A.S. *Sposob otsenki estestvennogo vozobnovleniya* [A Way to Assess Natural Regeneration]. *Lesnoe khozyaystvo* [Forestry]. 1983. № 10. P. 38.

7. Sukhikh V. I., Chernykh V.L. *Lesoustroystvo* [Forest Surveying]. Yoshkar-Ola: PGU, 2014. 400 p.
8. Chernykh V.L. *Geoinformatsionnye sistemy v lesnom khozyaystve* [Geoinformation Systems in Forestry]. Yoshkar-Ola: MarSTU, 2007. 200 p.
9. Chernykh V.L., Ustinov M.V., Ustinov M.M. et al. *Informatsionnye tekhnologii v lesnom khozyaystve* [IT in Forestry]. Yoshkar-Ola: MarSTU, 2009. 144 p.
10. Gaidyshev I.P. *Reshenie nauchnykh i inzhenernykh zadach sredstvami Excel, VBA i C_S++* [Solution of the Scientific and Engineering Problems by Means of Excel, VBA and C_C++]. Saint-Petersburg: BKHV-Peterburg, 2004. 512 p.
11. Tsvetkov V.Ya. *Geoinformatsionnye sistemy i tekhnologii* [Geoinformation Systems and Technologies]. Moscow: Finansy i statistika, 1998. 288 p.
12. Denisenko S.G. Informatsionnaya mera Shennona i ee primeneniye v otsenkakh bioraznoobraziya (na primere morskogo zoobentosa [Shannon Information Measure and its Application for Biodiversity Assessment (on the example of zoobenthos)]. *Issledovanie fauny morey* [Marine Fauna Investigation]. Saint-Petersburg, 2006, Vol. 56 (64). Pp. 35-46
13. Volkenstein M.V. *Entropiya i informatsiya* [Entropy and Information]. Moscow: Nauka, 1986. 192 p.
14. Viktorov A. S. *Risunok landshafta* [Landscape Design]. Moscow: Mysl, 1986. 179 p.
15. Shannon, C. E., Weaver W. The mathematical theory of communication. Urbana, 1949. 117 p.
16. Hartley R.V.L. Transmission of information. *Bell System Technical Journal*. 1928. Vol. 7. Pp. 535–563.
17. Wiener N. *Cybernetics or Control and Communication in the Animal and the Machine*. New York: The Technology Press and John Wiley & Sons, Inc. Paris: Hermann et Cie, 1948. 212 p.
18. Korogodin V. I., Korogodina V. L. *Informatsiya kak osnova zhizni* [Information as the Living Base]. Dubna: Izdatelskiy tsentr «Feniks», 2000. 208 p.
19. Kramarenko S.S. Osobennosti ispolzovaniya entropiyno-informatsionnogo analiza dlya kolichestvennykh priznakov biologicheskikh obektov [Peculiarities of Entropic-Information Analysis Use for the Qualitative Characters of Bioobjects]. *Izvestiya Samarskogo nauchnogo tsentra Rossiyskoy akademii nauk* [News of the Samara Research Center, RAS. 2005]. 2005. Vol. 7, № 1. Pp. 242-47.
20. Morisita M. Measuring the dispersion of individuals and analysis of the distributional patterns. *Mem.Fac.Sci.Kyushu Univ*. 1959. Ser. E 2. Pp. 215-235.

The article was received 10.08.15.

Citation for an article: Chernykh L. V. Algorithm of entropic-information analysis of qualitative and quantitative characteristics of young trees in the sample areas. *Vestnik of Volga State University of Technology*. Ser.: Forest. Ecology. Nature Management. 2015. No 3 (27). Pp. 42-54.

Information about the author

CHERNYKH Leonid Valeryevich – Postgraduate student at the Chair of Forestry and Forest Management, Volga State University of Technology. Research interests – forest taxation (valuation) and forest restoration, GIS-technologies in forestry. The author of 14 publications.