

Литература

1. Закарюкин В. П., Крюков А. В. Сложнонесимметричные режимы электрических систем. Иркутск : ИГУ, 2005. 273 с.

2. Крюков А. В., Закарюкин В. П., Асташин С. М. Управление режимами систем тягового электроснабжения. Иркутск : ИрГУПС, 2009. 104 с.

3. Авербух А. М. Примеры расчетов неполнофазных режимов и коротких замыканий. Л.: Энергия, 1979. 184 с.

4. Flow3 – расчеты режимов электрических систем в фазных координатах : программа для ЭВМ / Крюков А. В., Закарюкин В. П. ; Федер. служба по интеллектуальной собственности, патентам и товарным знакам. Св. ГР № 2005611176 (РФ). Зарег. в Реестре программ 19.05.05.

УДК 630*810(57.063.3):630*36

*П.Б. Рябухин**, *Н.В. Казаков*, *А.Н. Бурлов*

**МЕТОД ЛЕСОПРОМЫШЛЕННОЙ ТИПИЗАЦИИ ЛЕСОСЕК
ПО ПРИРОДНО-ПРОИЗВОДСТВЕННЫМ УСЛОВИЯМ НА ПРИМЕРЕ ЕЛЬНИКОВ
ДАЛЬНЕВОСТОЧНОГО ФЕДЕРАЛЬНОГО ОКРУГА**

В статье представлен метод типизации лесосек для лесопромышленного использования, проведен анализ существующих подходов к формализации естественных и промышленных условий лесоэксплуатации, осуществлена классификация современных лесосек ельников региона.

Ключевые слова: алгоритм, метод, типизация, лесосека, еловые леса, природно-производственные условия, лесопромышленные параметры.

Интенсификация лесопромышленного производства, эффективность и надежность работы лесозаготовительных машин в значительной мере зависят от степени адаптации техники к конкретным условиям эксплуатации, которые прежде всего обуславливаются природными и климатическими факторами, а также региональной спецификой производства. Особенно это актуально для Дальневосточного федерального округа (ДФО), где существуют противоречия между растущей потребностью в продукции из древесины, демографической ситуацией и экологической уникальностью природы (недостаток специальных технических средств, реализующих ресурсосберегающие и природоохранные методы лесозаготовок; доминирующая экспортная специализация без комплексной переработки лесоматериалов на местах; острый дефи-

цит рабочей силы; ярко выраженные климатические контрасты и т.д.).

Сведение существующего многообразия совокупностей природно-производственных условий по лесопромышленным показателям к ограниченному числу типов позволит получить инструмент для более эффективного управления возобновляемыми ресурсами и значительно сузить диапазон результативного множества параметров создаваемых лесосечных машин для конкретных условий их эксплуатации, а также оценить применимость существующей лесозаготовительной техники.

Типизация природно-производственных условий, выполненная ЦНИИМЭ в восьмидесятые годы прошлого века [1], непосредственно связана с общим лесорастительным районированием территории страны и недостаточно отражает

специфические региональные условия. Районирование лесного фонда, в принципе, должно выполнять несколько функций, в том числе и регламентацию лесопользования в целом, нагрузки на лесной фонд и на лесные земли. Лесоводственная типизация, основанная на постулатах Г.Ф. Морозова, В.Н. Сукачева и других, проводимая ДВО РАН и ДальНИИЛХ, разделяет леса региона на огромное количество иерархических групп (таксономических) классов и подклассов по различным признакам, обобщению которых мешает отсутствие единой типологической классификации. В настоящее время ведутся исследования, направленные на проведение мониторинга биоразнообразия лесов на базе геоинформационных систем [9], где предлагается осуществить интеграцию методов дистанционной инвентаризации и анализ имеющихся данных различного формата и масштаба, характеризующих растительный покров. Однако при такой постановке задачи неминуемо вступают в противоречие точность создаваемых эколого-экономических моделей и процедура сведения результатов моделирования к обобщенным показателям [6], без которых невозможно отобразить информативно насыщенные выкладки о типах лесосек.

За рубежом также существуют несколько направлений типизации леса [7]. Из них наиболее известна типология финского ученого А.К. Каяндера, предложившего сам термин «тип леса» и выдвинувшего представление о биологической равноценности местообитаний. Типы леса, по Каяндеру, соответствуют группам совокупностей лесорастительных условий, экологические режимы которых определяются по напочвенному покрову без учета лесообразующей породы. Все существующие за рубежом направления в типизации леса базируются на двух научных основах, называемых, соответственно, экологические (преимущественно используются почвенные условия с построением различных класси-

фикационных систем) и фитоценоотические, или экосистемные (разработка классификаций сообществ по признакам растительности или по взаимосвязям растений со средой).

Другими словами, все многообразие лесотипологических подходов за рубежом можно рассматривать как типологию лесорастительных условий и типологию лесов. При этом концепция собственно типов леса получила наибольшее признание в странах с менее нарушенным лесным покровом (Финляндия, Швеция, Канада); в малолесных странах, особенно при больших объемах лесовосстановления и лесоразведения, в которых господствующее положение принадлежит типологии местообитаний.

С чисто научной точки зрения все указанные подходы к типологии лесов имеют право на существование. Каждое из направлений типизации леса обусловлено решать разнообразные и слабокоррелируемые (отличительные) задачи. Естественнонаучное объединение всех подходов – проблема грядущих исследований, решение которой находится в непознанных в настоящее время плоскостях.

Все реальные природные объекты имеют бесконечное число свойств, и выделение некоторого конечного подмножества их – акт субъективный. Меры близости, критерии качества также выбираются субъективно. Если задать цель, для достижения которой делается типизация, то качество типизации проверяется способностью достижения этой цели – удобна ли, экономична она и т. д. Эта проверка носит объективный характер, но выбор цели, опять-таки, субъективен, и для одной цели данная типизация будет хорошей, а для другой – нет.

Основная цель нашей классификации – выделение типичных лесосек по лесопромышленным показателям для создания математической модели природно-производственных условий. Созданную модель предлагается использовать как удобный инструмент, обеспечивающий значительное снижение объ-

емов работ по инвентаризации лесов, что в свою очередь позволит повысить устойчивость управления лесами, а также упростит поиск эффективных технологий и рациональных параметров лесозаготовительных систем машин непосредственно для конкретного (отличного от других) типа лесосек. Предлагаемый процесс, носящий формализованный характер, кроме оценки применимости существующих технологий и лесосечной техники, может быть использован для решения различных задач прогнозирования индивидуально для каждой типичной лесосеки.

Для удобства анализа лесосеку, как объект исследования, формализованно представим совокупностью достаточно информативного множества лесоэксплуатационных показателей (Y_i), таких, как средний объем ствола, запас древостоя, несущая способность грунтов, крутизна уклонов местности, обеспеченность подростом и состав древостоя [2].

Естественно, что в природе данные показатели носят вероятностный характер. Учесть эту стохастичность можно, описав данные показатели законами распределения случайных величин с соответствующими параметрами (оценка математического ожидания и дисперсия). Очевидно, что каждая лесосека как объект исследования может быть представлена совокупностью указанных параметров. Тогда проблему типизации можно условно свести к задачам теории распознавания образов, располагающей множеством отлаженных алгоритмов автоматической классификации и таксономии [3].

При классификации лесосек необходимо учитывать вероятностный характер наблюдений, неизбежно подверженных случайным возмущениям, сказывающимся на всех стадиях распознавания, от сбора информации до получения конечного результата, что предопределяет применение для этих целей статистических методов [4].

Информация об объектах (лесосеках), представляющая собой некую совокупность гиперточек, формирует наше представление об исследуемых объектах. В особой системе гиперкоординат параметров каждая отдельная лесосека представляет собой единичный точечный элемент. Совокупность этих точечных элементов и есть гиперобъем информативного множества лесосек, который, возможно, имеет неоднородную плотность, а следовательно, сгустки и пустоты их разделяющие.

Задача типизации лесосек по лесопромышленным показателям сводится к поиску и обособлению сгустков, а затем к выделению параметров, координат этих сгустков и степени их плотности.

Формализованная постановка задачи типизации в этом случае будет выглядеть следующим образом [8]:

$$S(v_{ij}, Y_{im}) \forall i, j \in 1, 2, 3, \dots, n; m \in 1, 2, 3, \dots, r;$$

$$\sum_{j=1}^n v_{ij} v_{kj} - \sum_{j=1}^n v_{ji} v_{jk} = 0; 0.0 \leq v_{ij} \leq 1.0,$$

где S – площадь гиперпроекции искомого множества точек; v_{ij} – элемент матрицы направляющих косинусов вращения; Y_{im} – значения i -го признака в m -й реализации; n – число признаков (характеристик лесосек); r – число реализаций (число лесосек в анализе).

Определение наиболее выгодного положения координатных осей основывается на минимизации площади (S) на одну из гиперплоскостей путем вращения координатных осей $\{\theta_1, \theta_2, \theta_3\}$.

$$\theta' = S \cdot \Theta \cdot \theta,$$

где Θ – матрица направляющих косинусов; θ, θ' – соответственно, координаты точек до и после поворота осей.

Существует много методов автоматизированной классификации. Возможность их реализации применительно к выделению типичных лесосек подробно рассмотрена в работе [10].

Анализ результатов реализации алгоритмов семейств FOREL, KRAB, SKAT,

BIGFOR, ROST путем применения пакетов прикладных программ показал, что процесс автоматической классификации лесосек, даже по лесопромышленным показателям, на сегодня невозможен как по условию несходимости различных методов к одному результату, так и по критерию недостаточной информативности с точки зрения поставленной цели. Существующие алгоритмы классификации и таксономии могут помочь разобратся лишь в достаточной информативности имеющихся признаков.

Таксономический анализ данных является мощным средством познания закономерностей изучаемых объектов, но апробация этих методов с целью типизации лесосек показала их несостоятельность. Поэтому был разработан и реализован алгоритм классификации лесосек, включающий комбинаторный анализ с эвристическими допущениями.

Для исследования выбраны еловые леса ДФО, над которыми в настоящее время нависла реальная угроза потери не только как возобновляемого естественным образом природного ресурса, но и как источника сохранения флоры и фауны.

Ельники являются второй на территории ДФО формацией по площади, уступая лиственничникам, и занимают 13,89 млн. га. Общий запас пихтово-еловых лесов округа составляет 2,3 млрд. м³. Огромные площади и запасы ельников, а также их высокая степень возобновляемости в естественных условиях создают впечатление неисчерпаемости этого ресурса. Опираясь на данную позицию, исчисляется и расчетная лесосека, которая составляет для хвойных лесов более 45 млн. м³. Однако настоящие реалии в отношении хвойных пород, и непосредственно ельников, далеки от оптимизма. Объемы заготовок неуклонно снижаются, площадь и запасы хвойных, особенно ельников, быстрыми темпами сокращаются. За последние 40 лет запас спелых и перестойных хвойных лесов сократился на 4,6 млрд. м³ (32 %), в то время как за-

пас спелых и перестойных пихтово-еловых лесов округа уменьшился на 1,6 млрд. м³ (40 %) [5].

В связи с этим в качестве характеристики лесных участков для формализации лесосек нами предложен следующий набор наиболее значимых индикаторов: запас древесины на гектаре, несущая способность грунтов, средний объем ствола, средний угол уклона местности и состав древостоя, включающий ель, пихту и мягколиственные. Также включен главный индикатор естественного сохранения и восстановления ельников – обеспеченность площади лесосеки подросом.

Статистический анализ наблюдений по этим признакам показал, что отмеченные переменные сильно коррелируют, коэффициенты корреляции лежат в пределах 0,01-0,37.

Очевидно, что прямой анализ исходного множества данных в применяемых координатных осях воспрепятствует процессу поиска перспективных для анализа проекций, поэтому первоначальные показатели $X(i, j)$ путем линейных преобразований сворачивались в новое пространство независимых признаков:

$$F = AX,$$

где A – матрица преобразований; F – новые переменные.

Причем, матрица A выбиралась таким образом, чтобы обеспечить декоррелируемость признаков F .

Полученная система координат вращается вокруг совокупности гиперточек лесосек в направлении минимизации критерия S (площадь проекции гиперобъема Q на плоскости).

На следующем этапе производятся вычисление и построение оптимальных проекций.

Для описания полученных типов применяются различные методы, наиболее удачно они представлены в работе У. Прэтт [8]. В нашем случае для идентификации лесосек наиболее подходящим является параметрическое оп-

ределение типов криволинейными гиперповерхностями, задаваемыми нелинейной системой уравнений:

$$\Psi_i (F_i, D_j) = 0$$

$$i \in 1, 2, \dots, n;$$

$$j \in 1, 2, \dots, k;$$

где $\Psi_i (\cdot)$ – нелинейная свертка F_i ; D_j – j -я строка матрицы параметров свертки, минимизирующая дисперсию отклонения контура Ψ_i от конечных точек (рис. 1).

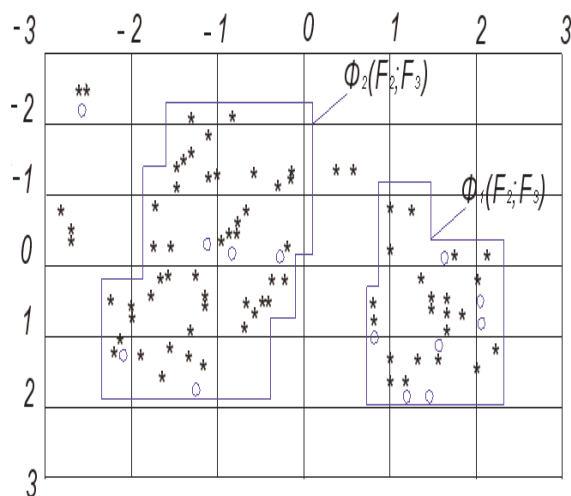


Рис. 1. Аппроксимация проекции гиперповерхности по конечным точкам на плоскости F_3, F_4 : $\Phi_1 - \Psi_1 (F_3, F_4)$; $\Phi_2 - \Psi_2 (F_3, F_4)$.

Анализ результатов классификации лесосек ельников ДФО в рамках приведенной методики показал, что наиболее информативной совокупностью являются условно выделенные девять совокупностей ельников.

Типизированные проекции, непересекающиеся множества которых 1, 2, ..., 9 в системе координат F_5, F_9 , показаны на рис. 2.

Интервальные оценки значений характеристик типичных лесосек ельников ДФО по данным на 2006 г. представлены в таблице 1.

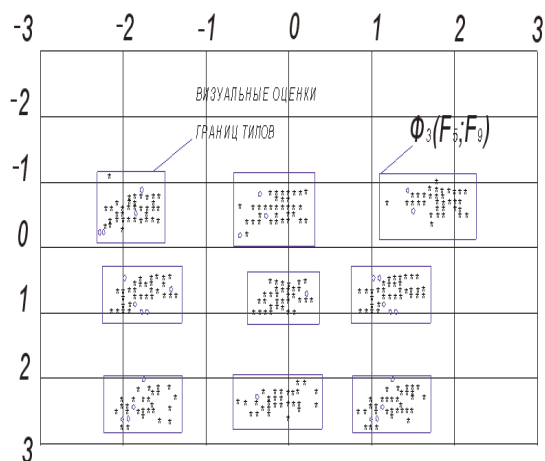


Рис. 2. Проекция гиперповерхности совокупностей ельников на плоскость F_5, F_9 .

Проведенные исследования показали, что предложенный метод обеспечивает возможность оценивать динамику формационного состава лесов и прогнозировать изменения природно-производственных условий под воздействием различных угнетающих факторов – как естественных, так и антропогенных, для информативного обеспечения устойчивого управления лесами.

Выводы:

1 Предложенный метод типизации лесосек позволяет формализовать природно-производственные условия по основным лесопромышленным показателям.

2 Установлено, что лесозаготовительные характеристики лесосек ельников ДФО взаимосвязаны, а широкий спектр их параметров может быть условно представлен совокупностью девяти типов, которые слабо пересекаются, т. е. обладают ярко выраженными модами.

3 Предложенный метод позволяет создать специализированную типологию для инвентаризации лесосечного фонда региона и распределить его по видам и системам лесозаготовительных машин и технологий лесозаготовок не только в арендных базах предприятий, но и во всех эксплуатационных лесах ДФО.

Таблица 1

Переменные	Математическое ожидание / дисперсия									
	Среднее по ДФО	Номера типов								
		1	2	3	4	5	6	7	8	9
Запас древесины, м3/га	<u>169,2</u>	<u>183.4</u>	<u>160.6</u>	<u>135.6</u>	<u>187.6</u>	<u>154.3</u>	<u>129.9</u>	<u>247.0</u>	<u>174.1</u>	<u>149.7</u>
	64,05	62,79	66,78	63,63	64,26	65,94	62,37	60,59	64,58	65,52
Несущая способность грунтов, кг/см ²	<u>2,17</u>	<u>3.48</u>	<u>3.48</u>	<u>3.48</u>	<u>2,17</u>	<u>2,17</u>	<u>2,17</u>	<u>0,86</u>	<u>0,86</u>	<u>0,86</u>
	0,67	1,07	1,07	1,07	0,67	0,67	0,67	0,26	0,26	0,26
Средний объем хлыста, м ³	<u>0,50</u>	<u>0.28</u>	<u>0.50</u>	<u>0.71</u>	<u>0.28</u>	<u>0.50</u>	<u>0.71</u>	<u>0.28</u>	<u>0.50</u>	<u>0.71</u>
	0,21	0,12	0,21	0,30	0,12	0,21	0,30	0,12	0,21	0,30
Средний уклон макропрофиля, градус	<u>16,20</u>	<u>14.73</u>	<u>13.43</u>	<u>13.27</u>	<u>13.60</u>	<u>12.33</u>	<u>12.11</u>	<u>24.10</u>	<u>21.82</u>	<u>20.39</u>
	3,62	4,46	4,46	4,44	4,01	4,10	4,00	2,41	2,39	2,30
Обеспеченность подростом, доля площади лесосеки	<u>0,84</u>	<u>0.86</u>	<u>0.83</u>	<u>0.82</u>	<u>0.85</u>	<u>0.83</u>	<u>0.81</u>	<u>0.87</u>	<u>0.86</u>	<u>0.86</u>
	0,23	0,23	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24	0,23	0,23	0,23
Состав насаждений: ель, доли	<u>4,89</u>	<u>4.98</u>	<u>4.86</u>	<u>4.80</u>	<u>4.97</u>	<u>4.96</u>	<u>4.93</u>	<u>5.08</u>	<u>4.96</u>	<u>4.45</u>
	2,30	2,40	2,60	2,72	1,85	2,27	2,61	1,62	2,01	2,67
Состав насаждений: пихта, доли	<u>3,49</u>	<u>3.38</u>	<u>3.28</u>	<u>3.25</u>	<u>3.32</u>	<u>3.37</u>	<u>3.70</u>	<u>3.19</u>	<u>3.51</u>	<u>4.45</u>
	2,97	2,63	2,95	2,87	2,72	3,07	2,99	3,08	3,20	3,23
Состав насаждений: мягколиственные, доли	<u>1,63</u>	<u>1.65</u>	<u>1.85</u>	<u>1.96</u>	<u>1.73</u>	<u>1.69</u>	<u>1.39</u>	<u>1.73</u>	<u>1.53</u>	<u>1.11</u>
	1,41	1,50	1,46	1,26	1,56	1,50	1,26	1,55	1,46	1,17
Вес типовой лесосеки, %		6,54	18,9	11,42	5,78	19,62	8,79	7,06	15,58	6,31

Литература

1. Типизация природно-производственных условий лесозаготовительных районов : рекомендации / ЦНИИМЭ. Химки, 1986. 23 с.
2. Барановский В.А., Некрасов Р.М. Системы машин для лесозаготовок. М.: Лесная промышленность, 1977. 248 с.
3. Загоруйко Н. Г., Елкина В. Н., Лабов Г. С. Алгоритмы обнаружения эмпирических закономерностей. Новосибирск : Наука, 1985. 110 с.
4. Загоруйко Н. Г. Методы распознавания и их применение. М.: Советское радио, 1972. 206 с.
5. Ковалев А. П. Лесоводственно-экологические основы устойчивого лесо-

пользования на Дальнем Востоке : дис.д – ра с/х наук. Уссурийск, 2004. 312 с.

6. Duda R.O., Hart R. E. Pattern Classification and Science Analysis, Wiles-Interescience, New York, 1993 . 265 p.
7. Лесная энциклопедия : в 2 т. / гл. ред. Г. И. Воробьев. М.: Советская энциклопедия, 1986. Т. 2. 631 с.
8. Прэтт У. Цифровая обработка изображений : пер. с англ. : в 2 кн. М.: Мир, 1987.
9. Пузаченко М.Ю., Черненко Т.В. ГИС-технологии в мониторинге биоразнообразия лесов // ArcReview. 2006. № 4 (39).
10. Казаков Н. В. Обоснование параметров и структуры лесозаготовительных машин и технологий для условий Дальнего Востока : дис. канд. техн. наук. Химки, 1991. 178 с.