



УДК 630*23

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2017.4.9

ЛЕСОВОДСТВЕННО-СТАТИСТИЧЕСКИЙ ПОДХОД К НАЗНАЧЕНИЮ СПОСОБОВ ЛЕСОВОССТАНОВЛЕНИЯ ПРИ ЛЕСОУСТРОЙСТВЕ

Л.В. Черных, канд. с.-х. наук, зав. лаб.

Д.В. Черных, канд. с.-х. наук, ст. преп.

С.А. Денисов, д-р с.-х. наук, проф.

В.Л. Черных, д-р с.-х. наук, проф.

Поволжский государственный технологический университет, пл. Ленина, д. 3,
г. Йошкар-Ола, Республика Марий Эл, Россия, 424000; e-mail: sitlx@mail.ru

Назначение лесохозяйственных мероприятий в рамках лесного проектирования является важной задачей лесоустройства. К одной из основных проектируемых групп мероприятий относится и лесовосстановление. Цель исследования заключается в обобщении закономерностей естественного лесовосстановления в различных лесорастительных условиях для хвойно-широколиственных лесов Среднего Поволжья, разработке методики балльной оценки количественных и качественных характеристик подроста для объективного назначения способов лесовосстановления на таксационном выделе. Объектом исследования являлись лесные насаждения Республики Марий Эл. Исходными данными для проведения статистического анализа служили информация о 44 пробных площадях и база данных, состоящая из почти 50 тыс. единиц таксационных характеристик лесных насаждений. С использованием в среде STATISTICA модуля «Дерева классификации и регрессии» проведен кластерный анализ основных лесоводственных факторов, влияющих на наличие и густоту подроста. Разработаны интерполированные десятибалльные шкалы таксационных показателей для оценки перспективности способов лесовосстановления. Каждая шкала корректируется поправочным коэффициентом силы влияния этого фактора на появление подроста. По анализируемому таксационному выделу накапливается балльная оценка лесоводственных факторов. Исходя из суммы баллов, приведенных к 10-балльной шкале, все таксационные выделы лесного участка оцениваются по перспективности искусственного или естественного лесовосстановления. Разработанная методика лесоводственно-статистической оценки целесообразности способа лесовосстановления является объективным оценочным инструментом. Его использование представляется возможным как для небольшого лесного участка, так и для лесного района.

Ключевые слова: лесовосстановление, лесоводственные факторы, вероятность, кластерный анализ, «дерево решений», балльная оценка.

Для цитирования: Черных Л.В., Черных Д.В., Денисов С.А., Черных В.Л. Лесоводственно-статистический подход к назначению способов лесовосстановления при лесоустройстве // Лесн. журн. 2017. № 4. С. 9–22. (Изв. высш. учеб. заведений). DOI: 10.17238/issn0536-1036.2017.4.9

Введение

Назначение лесохозяйственных мероприятий в рамках лесного проектирования – одна из основных задач лесоустройства, к которым относится и лесовосстановление [6, 8, 11]. В настоящее время накоплены значительные знания о лесовосстановительных процессах, сформированы большие массивы лесоустроительных данных о состоянии лесов и хозяйственной деятельности в них [4, 5, 12, 13]. Анализ этих материалов с использованием информационных технологий позволяет получать новые сведения для эффективного проектирования и управления лесами, в том числе и для обоснования соотношения объемов лесовосстановления разными способами. Следует особо отметить, что в лесных планах субъектов Российской Федерации (РФ), а также в проектах освоения лесов до сих пор соотношение естественного и искусственного лесовосстановления чаще всего устанавливается волюнтаристски. Причиной тому является отсутствие методики обоснования объемов лесовосстановления по способам на уровне регионов и отдельных хозяйств. Разработка такой методики для лесного хозяйства весьма актуальна.

Цель исследования – разработка методики назначения и обоснования способов лесовосстановления на подготовительном этапе полевой таксации и при разработке проектов освоения лесов, лесохозяйственных регламентов и лесных планов субъектов РФ.

Перед нами стояли следующие задачи:

выявить вес основных факторов, оказывающих влияние на успешность процесса естественного возобновления леса;

разработать методику назначения и обоснования соотношения способов лесовосстановления на этапе лесоустроительных работ.

Объекты и методы исследования

Объектом исследования являлся процесс естественного возобновления леса (ЕВЛ) в хвойно-широколиственных лесах Среднего Поволжья. Исходными данными для проведения статистического анализа служили материалы о 44 пробных площадях и таксационные характеристики почти 50 тыс. выделов лесных насаждений Республики Марий Эл.

В качестве методической основы нами была предложена унифицированная модель принятия решений, в которой уровень влияния каждого фактора на успешность ЕВЛ представлен балльными оценками. Исходя из многочисленных исследований отечественных и зарубежных лесоводов [1, 5, 7, 15, 16], нами использовались следующие факторы: тип леса, тип лесорастительных условий, состав древостоя, относительная полнота, класс бонитета, густота подлеска и др. Уровень их влияния на вероятность появления подростка с наилучшими количественными и качественными характеристиками определялся многофакторным дисперсионным анализом. Влияние указанных факторов на густоту подростка рассматривалось отдельно по двум возрастным категориям: «леса всех возрастов» и «спелые + перестойные леса».

Для предсказания степени влияния таксационных показателей насаждений на наличие и густоту подроста использован модуль «Деревья классификации и регрессии» в среде STATISTICA [3] и алгоритмы классификации [14, 17].

Расчет и анализ основных статистических показателей (среднее арифметическое значение, дисперсия, среднеквадратическое отклонение, квартили, доверительные интервалы) балльной оценки лесоводственных факторов произведены по общепринятым формулам [10].

Результаты исследования и их обсуждение

В матрицу исходных данных для расчетов вошла выборочная совокупность объемом 49 633 ед. наблюдений. Результаты расчетов приведены в табл. 1–3.

Таблица 1

Многофакторный дисперсионный анализ густоты подроста в различных типах леса, лесорастительных условиях, при разных продуктивности и составе древостоя

Источник варьирования	Дисперсия	Число степеней свободы, ед.	Средний квадрат (ms)	F	p
Класс бонитета	299,54	7	42,79	39,42	0,0001
Тип леса	980,87	24	40,87	37,65	0,0001
Тип лесорастительных условий	184,65	14	13,19	12,15	0,0001
Коэффициент состава	188,21	9	20,91	19,27	0,0001
Случайная ошибка	53 825,53	49 586	1,09	–	–

Таблица 2

Многофакторный дисперсионный анализ зависимости густоты подроста от древесной породы и возраста древостоя

Источник варьирования	Дисперсия	Число степеней свободы, ед.	Средний квадрат (ms)	F	p
Древесная порода	692,06	8	86,51	90,65	0,0001
Возраст древостоя	10 244,55	88	116,41	121,99	0,0001
Случайная ошибка	47 280,84	49 547	0,95	–	–

Таблица 3

Многофакторный дисперсионный анализ зависимости густоты подроста от группы полноты древостоя и густоты подлеска

Источник варьирования	Дисперсия	Число степеней свободы, ед.	Средний квадрат (ms)	F	p
Полнота древостоя	1,62	1	1,62	10,24	0,0001
Густота подлеска	3,39	3	1,13	7,13	0,0001
Случайная ошибка	356,07	2 249	0,16	–	–

Оказалось, что фактические значения критериев Фишера F_{ϕ} для всех анализируемых факторов больше табличных на уровне значимости $p = 0,0001$.

Абсолютные значения критерия Фишера показывают, что на густоту подроста самое значительное влияние оказывают древесная порода и возраст древостоя элемента леса.

Фрагмент работы алгоритма «Деревья классификации и регрессии» приведен на рис. 1, из которого видно, что на первом шаге выявляется влияние возраста основного элемента леса на подрост, при этом совокупность делится на две части по возрасту 83,5 лет.

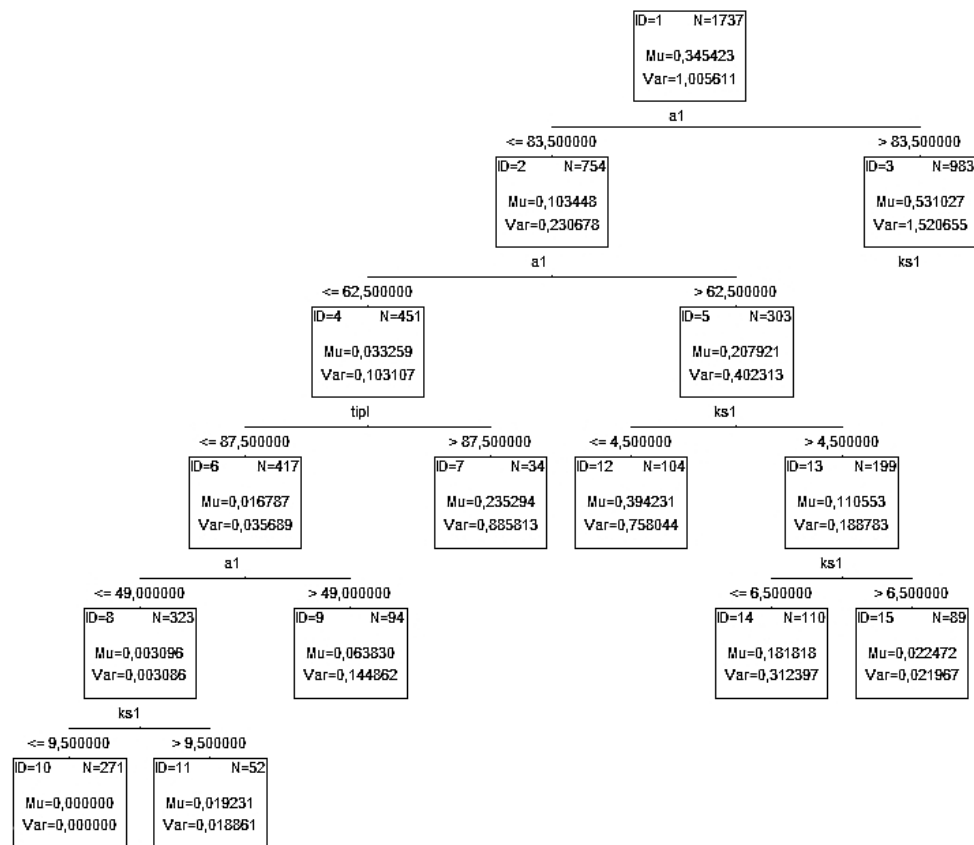


Рис. 1. Пример построения «дерева решений» о густоте подроста по 11 переменным (фрагмент): ID – номер узла дерева; N – число наблюдений анализируемой однородной совокупности; Mu – среднее значение густоты подроста; Var – дисперсия густоты подроста

Далее совокупность, имеющая возраст менее 83,5 лет, подлежит делению по возрасту 62,5 года и формирует в этом узле две совокупности с влиянием на подрост коэффициента состава и типа лесонасаждений.

«Дерево решений» считается построенным, когда все ветви деления невозможно разделить на потомки. По окончании построения рассчитывается относительная величина степени (силы) влияния каждого исследуемого фактора на наличие и густоту подроста.

В табл. 4 и на рис. 2 представлены результаты вычислений по алгоритму «Деревья классификации и регрессии», которые отображают степень влияния конкретного фактора на количество и густоту подроста в хвойных насаждениях.

Таблица 4

Влияние таксационных показателей на наличие и густоту подроста хвойных древесных пород (по материалам массовой таксации пробных площадей (ПП))

Переменная (сокращенное обозначение)	Степень влияния, %
Экспозиция (<i>rumb</i>), ед.	8
Уклон местности (<i>krut</i>), ...°	14
Класс бонитета (<i>bon</i>), ед.	75
Коэффициент состава (<i>ks</i>), ед.	43
Возраст (<i>AI</i>), лет	29
Полнота (<i>pol</i>), ед.	17
Густота подлеска (<i>npdl</i>)	59
Тип леса (<i>tl</i>)	100
Тип лесорастительных условий (<i>tlu</i>)	94
Древесная порода (<i>por</i>)	15

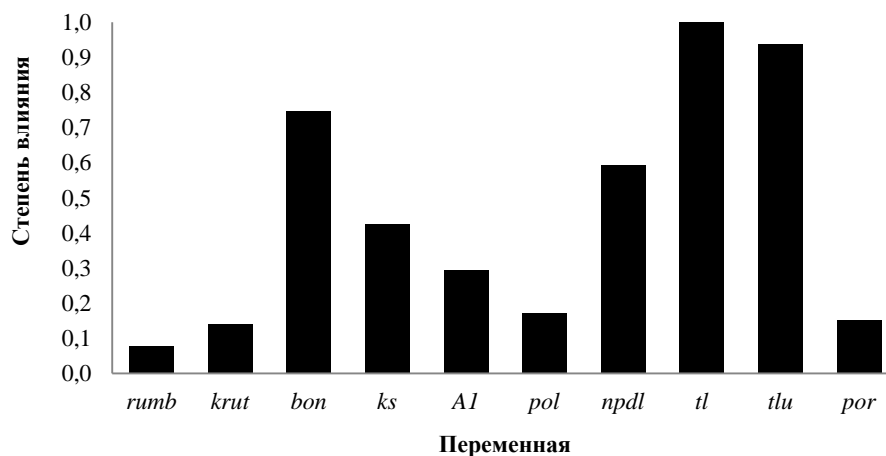


Рис. 2. Степень влияния (в относительных единицах) таксационных показателей на наличие и густоту подроста в хвойных насаждениях (по материалам массовой таксации ПП)

Максимальное значение (1,0) свидетельствует о сильном влиянии, минимальное (0,139) – о слабом. Отметим, что результаты вычислений по материалам пробных площадей и массовой таксации лесных насаждений получены для разного числа наблюдений, но выявляют одинаковые факторы, влияющие на подрост: тип леса, тип лесорастительных условий и класс бонитета.

Степень воздействия факторов на появление подростка в хвойных и мелколиственных насаждениях дифференцирована из-за различной продолжительности жизненного цикла и оборота рубки. В мелколиственных лесах возраст играет большую роль, чем в хвойных. За одинаковый промежуток времени изменение состояния подростка в мелколиственных лесах происходит интенсивней за счет порослевой регенерации и более богатых условий произрастания.

Полнота древостоя яруса в мелколиственных лесах менее важна, потому что в таких насаждениях подрост формируется преимущественно из теневыносливых пород, а богатство почв в известной степени компенсирует недостаток освещенности (принцип компенсации экологических факторов). Густота подлеска, как и относительная полнота, обусловлены условиями освещенности и конкуренцией за свет.

Тип лесорастительных условий и класс бонитета имеют различное влияние на состояние подростка в хвойных и лиственных насаждениях. Статистический анализ подтверждает, что тип леса – единственный фактор, который стабильно сохраняет свое прямое влияние на характеристики подростка под пологом.

Сила влияния коэффициента состава древостоев на густоту подростка изменяется от 0,42 в хвойных насаждениях до 0,33 в мелколиственных насаждениях.

По нашим данным, такие факторы, как рельеф, экспозиция и крутизна склонов, в хвойно-широколиственных лесах Среднего Поволжья имеют незначительное влияние на появление подростка (8,0...14,0 %).

Можно утверждать, что характеристика подростка на том или ином участке на 91,4 % зависит от перечисленных выше факторов.

Вопрос об учете факторов (всех значимых количественных и качественных показателей), влияющих на характеристику подростка, предлагаем оценивать в баллах по единой шкале путем линейной интерполяции от оптимумов произрастания насаждений до лимитирующего уровня их значений [2]. Уровень влияния каждого фактора оценивали по 10-балльной шкале с корректировкой степени его влияния, которую определяли по алгоритму «Деревья классификации и регрессии» в пределах от 0 до 1,0.

Преимущество многофакторной балльной оценки состоит в индивидуальном подходе к конкретным лесным районам, отличающимся уровнем ведения лесного хозяйства. Для выявления степени влияния основных факторов на характеристику подростка в лесорастительных зонах необходим статистический анализ больших объемов данных по алгоритму «Деревья классификации и регрессии», содержащих характеристики лесных насаждений.

Таблица 5

Шкалы балльной оценки таксационных показателей деревьев по вероятности успешного лесовосстановления

Группа влажности	Нормативы для оценки лесовосстановления по количеству подроста, тыс. шт. [9]										
	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
Сухие	≥8,0	6,0...8,0	4,5...6,0	4,0...4,5	3,5...4,0	3,0...3,5	2,5...3,0	2,0...2,5	1,5...2,0	1,0...1,5	<1,0
	≥4,0	3,0...4,0	2,5...3,0	2,2...2,5	1,9...2,2	1,5...1,9	1,2...1,5	1,0...1,2	0,7...1,0	0,5...0,7	<0,5
	≥3,0	2,0...3,0	1,5...2,0	1,3...1,5	1,1...1,3	1,0...1,1	0,8...1,0	0,7...0,8	0,6...0,7	0,5...0,6	<0,5
Сухие	≥8,0	7,0...8,0	6,0...7,0	5,5...6,0	4,7...5,5	4,0...4,7	3,5...4,0	3,0...3,5	2,5...3,0	2,0...2,5	<2,0
	≥7,0	6,0...7,0	4,5...6,0	4,0...4,5	3,5...4,0	3,0...3,5	2,5...3,0	2,0...2,5	1,5...2,0	1,0...1,5	<1,0
	≥4,0	3,5...4,0	3,0...3,5	2,6...3,0	2,3...2,6	2,0...2,3	1,7...2,0	1,5...1,7	1,3...1,5	1,0...1,3	<1,0
Относительная полнота	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10
Балл	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10

Балльная оценка перспективности назначения способа лесовосстановления

Выполненный статистический анализ экспериментального материала и накопленные знания о процессах лесовосстановления позволили разработать нормативы 10-балльной оценки эффективности лесовосстановления по следующим факторам: густота подроста в соответствии с правилами лесовосстановления; относительная полнота; возраст, коэффициент состава; тип лесорастительных условий; тип леса, класс бонитета; густота подлеска, рельеф, древесная порода (табл. 5, 6).

На первом этапе по каждому фактору в отдельности были обозначены лучшие и худшие условия для создания искусственных насаждений. Промежуточные условия влияния факторов интерполированы между их максимальными и минимальными значениями в баллах. Вектор увеличения баллов по каждому фактору направлен на улучшение условий для ЕВЛ, что позволяет детерминировать оценку для всей совокупности таксационных выделов на лесном участке.

На следующем этапе баллы каждой шкалы умножаются на поправочный коэффициент влияния этого фактора на характеристику подроста по хозяйствам. Поправочный коэффициент – это степень влияния фактора, выраженная в процентах (табл. 4) или в относительных величинах (рис. 2), которые были получены при кластерном и регрессионном анализе исследуемой совокупности по таксационным показателям.

Такие шкалы по лесоводственным факторам могут разрабатываться для хвойного, мелколиственного и твердолиственного хозяйств и по лесорастительным зонам.

Таблица 6

Шкалы балльной оценки типов лесорастительных условий и классов бонитета по вероятности успешного лесовосстановления

Оценка типов лесорастительных условий по вероятности успешного лесовосстановления, балл				
Гигротоп	Трофотоп*			
	A	B	C	D
0	3	3	4	4
1	1	1	2	2
2	0	0	0	0
3	1	0	0	0
4	10	10	10	10
5	10	10	10	10

Оценка классов бонитета древостоев по вероятности успешного лесовосстановления

Класс бонитета	1A	1	2	3	4	5	5A
Балл	0	0	2	4	8	10	10

*Использована классификация П.С. Погребняка.

Распределение баллов по оценке потенциального способа лесовосстановления объекта проектирования подчиняется нормальному закону распределения случайной величины.

Основной результат использования на практике предложенного подхода к назначению способа лесовосстановления заключается в том, что по каждому таксационному выделу накапливается балльная оценка влияния лесоводственных факторов на характеристику подроста.

Для формализации назначения способа лесовосстановления на таксационном выделе нами разработана следующая методика.

1. Выбирается объект проектирования лесовосстановления и определяется лесорастительная зона.

2. Устанавливаются управляющие факторы, влияющие на процессы лесовосстановления.

3. Проводится статистический анализ по алгоритму «Деревья классификации и регрессии» для определения силы влияния «независимых» факторов на наличие и количество подроста в объекте проектирования.

4. Создается база данных лесоустроительной информации для объекта проектирования.

5. Для независимых факторов влияния на ЕВЛ устанавливаются 10-балльные шкалы оценки целесообразности способа лесовосстановления (табл. 6).

6. По установленным шкалам для каждого таксационного выдела по независимым переменным определяются баллы оценки целесообразности способа лесовосстановления в последовательности, указанной в табл. 7.

Таблица 7

**Расчет баллов при оценке целесообразности способа лесовосстановления
на таксационном выделе**

№ ПП	Индекс j	«Независимая» переменная (k -фактор)	Расчет баллов*
1	1	Густота подроста	$k_{j(j=1)} = f(Npdr, tlu, por)$
2	2	Относительная полнота	$k_{j(j=2)} = f(pol, por)$
3	3	Коэффициент состава	$k_{j(j=3)} = f(ks, por)$
4	4	Тип лесорастительных условий	$k_{j(j=4)} = f(tlu, por)$
5	5	Класс бонитета	$k_{j(j=5)} = f(bon, por)$
6	6	Тип леса	$k_{j(j=6)} = f(Apdr, A, Vlk, por)$
7	7	Транспортная доступность	$k_{j(j=7)} = f(l)$
8	8	Класс возраста древостоя	$k_{j(j=8)} = f(A, por)$
9	9	Густота подлеска	$k_{j(j=9)} = f(npdl, por)$
10	10	Экспозиция рельефа местности	$k_{j(j=10)} = f(rumb, por)$

*Обозначения приведены в табл. 4.

7. Вычисляется матрица баллов по всем факторам для проектируемого объекта:

$$a_{ij} = k_j, \quad j = 1, 2, 3, \dots, 10,$$

где a_{ij} – значение влияния j фактора (от 1 до 10) с присвоением значения переменной k_j , балл;

i – номер таксационного выдела, $i = 1, 2, 3, \dots, n$;

n – общее число таксационных выделов, шт.

8. Определяется сумма баллов по всем факторам:

$$ball_i = \sum_{j=1}^{10} a_{ij}.$$

9. Рассчитывается общая приведенная оценка целесообразности способа лесовосстановления по 10-балльной шкале:

$$SRball_i = \frac{ball \cdot 10}{\max \cdot ball_i},$$

где $\max \cdot ball$ – максимальный балл в рассматриваемой совокупности.

10. Вычисляются основные статистические показатели для приведенной оценки лесовосстановления ($SRball_i$): среднее значение, дисперсия, среднеквадратическое отклонение, доверительные интервалы.

11. Рассчитываются граничные значения баллов по оценке целесообразности способа лесовосстановления с использованием квантили с вероятностью $p = 0,25$.

12. Устанавливается верхняя граница значения балла для назначения искусственного лесовосстановления:

$$BLK \leq \bar{X} - t_{0,25}\delta,$$

где \bar{X} – среднее значение балла лесовосстановления для рассматриваемой совокупности, балл;

$t_{0,25}$ – значение квантили с вероятностью 0,25, ед.;

δ – среднеквадратическое отклонение.

13. Устанавливается нижняя граница значения балла для назначения естественного лесовосстановления:

$$ELVS \geq \bar{X} + t_{0,25}\delta.$$

14. Устанавливаются границы комбинированного и естественного лесовосстановления (*KBLVS*):

$$BLK < KBLVS < ELVS.$$

Дополнительными условиями в этом диапазоне для назначения конкретного способа лесовосстановления могут являться:

естественное лесовосстановление путем минерализации почвы при условии, что имеются участки с типом лесорастительных условий A_1 , A_2 , B_2 и оценка подроста по количеству получила 0, 1 или 2 балла;

комбинированное лесовосстановление при условии, что характеристика подроста имеет 0, 1 или 2 балла, а также характеристика производительности насаждения (класс бонитета первый и выше) имеет 0 баллов.

15. Установленная оценка целесообразности способа лесовосстановления записывается в повыведельную базу данных исследуемого объекта.

16. На основании потенциального способа лесовосстановления таксационного выдела на лесном участке в эксплуатационных лесах формируются хозяйства по способу рубки: сплошнолесосечное, выборочное.

16.1. Сплошнолесосечное хозяйство состоит из совокупности выделов с потенциальным мероприятием искусственного или комбинированного лесовосстановления. В сплошнолесосечное хозяйство включаются эксплуатационные участки леса с потенциальным естественным лесовосстановлением сырых и заболоченных гиротопов, а также лесотаксационные выделы, где обеспечено нормативно-достаточное количество предварительной генерации хвойных или твердолиственных пород. Все сырые и заболоченные гиротопы опасны при проведении постепенных и выборочных рубок, последствия этих рубок – ветровалы.

16.2. Выборочное хозяйство составляется из оставшихся спелых и перестойных лесотаксационных выделов эксплуатационных и защитных лесов, где нормативно возможна заготовка древесины. Рубки в них планируются исходя из выполняемой роли защитных лесов: добровольно-выборочные или постепенные.

17. Формируются полевые карточки таксации с указанием потенциальных способов лесовосстановления и формы хозяйства по способу рубки; ведомости лесотаксационных выделов по установленным оценкам целесообразности способов лесовосстановления.

Выводы

1. Множественный дисперсионный анализ с высокой вероятностью подтвердил значительное влияние главных рассмотренных факторов на возобновление леса. По методу «Деревья классификации и регрессии» выявлена сила влияния «независимых» переменных на густоту подроста, что позволило ранжировать учетные факторы и разработать нормативы 10-балльной оценки потенциальной эффективности лесовосстановления.

2. Разработанная методика лесоводственно-статистического обоснования способов лесовосстановления позволяет автоматизировать их назначение при подготовительных этапах лесоустройства и отказаться от принятия субъективных решений при проектировании объемов работ по способам лесовосстановления на всех уровнях – от отдельного хозяйства до уровня субъекта Федерации.

3. Методику лесоводственно-статистического обоснования способа лесовосстановления предлагается использовать как объективный оценочный инструмент при лесовосстановлении, а также как основание для формирования хозяйств по способу рубок в объектах лесохозяйственного проектирования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бабич Н.А., Корчагов С.А., Конюшатов О.А., Стребков Н.Н., Лупанова И.Н. Актуальные проблемы лесовосстановления на Европейском Севере России в рамках перехода к интенсивной модели ведения лесного хозяйства // Лесн. журн. 2013. № 2. С. 74–83. (Изв. высш. учеб. заведений).
2. Бескровный И.М. Анализ альтернатив и выбор диагностических гипотез. Ч. II. Модели выбора альтернатив при множественности и неопределенности критериев // Современные наукоемкие технологии. 2012. № 2. С. 33–40.
3. Боровиков В.П. STATISTICA. Искусство анализа данных на компьютере. СПб.: Питер, 2011. 656 с.
4. Воробьев Г.И., Мухамедшин К.Д., Девяткин Л.М. Лесное хозяйство мира. М.: Лесн. пром-сть, 1984. 352 с.
5. Избранные труды Г.Ф. Морозова. М.: МГУЛ, 2004. 168 с.
6. Лесной кодекс Российской Федерации. Комментарии. М.: ВНИИЛМ, 2007. 856 с.
7. Листов А.А. Мероприятия по ускоренному лесовозобновлению в сосняках лишайниковых Европейского Северо-Востока СССР. Архангельск: СевНИИЛХ, 1982. 40 с.
8. Об утверждении лесоустроительной инструкции: приказ МПР России от 12.12.2011 № 516. М., 2011. 25 с. URL: <http://www.rosleshoz.gov.ru/docs/leshoz/208> (дата обращения: 03.05.17).
9. Правила лесовосстановления: утв. Приказом МПР России от 16.07.2007 № 183. М., 2007. 28 с.
10. Соколов П.А., Черных В.Л. Вариационная статистика: учеб. пособие. Йошкар-Ола: МарПИ, 1990. 104 с.
11. Сухих В.И., Черных В.Л. Лесоустройство: учеб. Йошкар-Ола: ПГТУ, 2014. 400 с.

12. Токарчук С.М. Выбор и обоснование показателей оценки природного разнообразия территории // Весн. Брэсцкага ўн-та. Сер. 5. Хімія. Біялогія. Навукі аб зямлі. 2014. № 1. С. 102–110.

13. Хлюстов В.К. Комплексная оценка и управление древесными ресурсами: модели-нормативы-технологии. Кн. 1. М.: РГАУ-МСХА им. К.А. Тимирязева, 2015. 289 с.

14. Leskovec J., Rajaraman A., Ullman J.D. Mining of Massive Datasets. Cambridge, 2014. 511 p.

15. Stanturf J.A., Madsen P., eds. Restoration of Boreal and Temperate Forests. USA, Boca Raton, 2004. 600 p. Print ISBN: 978-1-56670-635-3. eBook ISBN: 978-0-203-49778-4.

16. Sustainable Forest Management in Canada. URL: <http://www.canadianembassy.org/trade/sustainable-en.pdf> (дата обращения 20.04.2012).

17. Zaki M.J., Meira W.Jr. Data Mining and Analysis: Fundamental Concepts and Algorithms. Cambridge, 2014. 593 p.

Поступила 15.02.17

UDC 630*23

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2017.4.9

Silvicultural and Statistical Approach to the Reforestation Methods Assignment in Forest Management

L.V. Chernykh, Candidate of Agricultural Sciences, Head of Laboratory

D.V. Chernykh, Candidate of Agricultural Sciences, Senior Lecturer

S.A. Denisov, Doctor of Agricultural Sciences, Professor

V.L. Chernykh, Doctor of Agricultural Sciences, Professor

Volga State University of Technology, pl. Lenina, 3, Yoshkar-Ola, 424000, Mari El Republic, Russian Federation; e-mail: sitlx@mail.ru

Agricultural activities in the framework of the forest design is one of the main objectives of forest management. Reforestation is one of the basic projected groups of activities. The goal of research is to generalize the regularities of natural reforestation in various forest sites for mixed coniferous-broad leaved forests of the Middle Volga region, to develop a numerical score methodology of the undergrowth quantitative and qualitative characteristics for the objective assignment of reforestation methods in a survey plot. The object of the research is the forest plantations of the Mari El Republic. The initial data for the statistical analysis is the information of 44 sample plots and a database consisting of almost 50 thousand units of taxation characteristics of forest plantations. Using the module “Trees of Classification and Regression” in the STATISTICA environment, we have carried out a cluster analysis of the main silvicultural factors affecting the presence and density of undergrowth. Interpolated ten-point scales of taxation indicators are developed to assess the prospects of reforestation methods. Each scale is corrected by a correction factor of the power of influence of this

For citation: Chernykh L.V., Chernykh D.V., Denisov S.A., Chernykh V.L. Silvicultural and Statistical Approach to the Reforestation Methods Assignment in Forest Management. *Lesnoy zhurnal* [Forestry journal], 2017, no. 4, pp. 9–22. DOI: 10.17238/issn0536-1036.2017.4.9

factor on the appearance of undergrowth. According to the analyzed survey plot, a score of silvicultural factors is accumulated. Based on the sum of the scores given to the 10-point scale, all survey plots of the forest area are assessed according to the prospects of artificial or natural reforestation. The developed method of silvicultural and statistical determination of the feasibility assessment of the reforestation method is an objective evaluation tool. Its use is possible for both a small forest plot and a forest area.

Keywords: reforestation, silvicultural factor, probability, cluster analysis, decision tree, numerical score.

REFERENCES

1. Babich N.A., Korzhagov S.A., Konyushatov O.A., Strebkov N.N., Lupanova I.N. Aktual'nye problemy lesovosstanovleniya na Evropeyskom Severe Rossii v ramkakh perekhoda k intensivnoy modeli vedeniya lesnogo khozyaystva [Topical Issues of Reforestation in the European North of Russia in the Context of Switching to the Intensive Model of Forest Management]. *Lesnoy zhurnal* [Forestry journal], 2013, no. 2, pp. 74–83.
2. Beskrovnyy I.M. Analiz al'ternativ i vybor diagnosticheskikh gipotez. Ch. II. Modeli vybora al'ternativ pri mnozhestvennosti i neopredelennosti kriteriev [Analysis of Alternatives and Choice of Diagnostic Hypotheses. Part II. Models of a Choice of Alternatives at Plurality and Uncertainty of Criteria]. *Sovremennye naukoemkie tekhnologii* [Modern high technologies], 2012, no. 2, pp. 33–40.
3. Borovikov V.P. *STATISTICA. Iskusstvo analiza dannykh na komp'yutere* [STATISTICA. The Art of Computer Data Analysis]. Saint Petersburg, 2011. 656 p.
4. Vorob'ev G.I., Mukhamedshin K.D., Devyatkin L.M. *Lesnoe khozyaystvo mira* [Forestry in the World]. Moscow, 1984. 352 p.
5. *Izbrannye trudy G.F. Morozova* [G.F. Morozov's Selectas]. Moscow, 2004. 168 p.
6. *Lesnoy kodeks Rossiyskoy Federatsii. Kommentarii* [Forest Code of the Russian Federation. Comments]. Moscow, 2007. 856 p.
7. Listov A.A. *Meropriyatiya po uskorennomu lesovozobnovleniyu v sosnyakakh lishaynikovyykh Evropeyskogo Severo-Vostoka SSSR* [Measures for Accelerated Reforestation in Lichen Pine Forests of the European Northeast of the USSR]. Arkhangelsk, 1982. 40 p.
8. *Ob utverzhdenii lesoustroitel'noy instruktsii: prikaz MPR Rossii ot 12.12.2011 № 516* [On the Approval of Forest Management Instructions: the Order from the Ministry of Natural Resources of Russia of 12 December 2011, No. 516]. Moscow, 2011. 25 p. Available at: <http://www.rosleshoz.gov.ru/docs/leshoz/208> (accessed 03.05.17).
9. *Pravila lesovosstanovleniya: utv. Prikazom MPR Rossii ot 16.07.2007 № 183* [Rules of Reforestation: Approved by the Order from the Ministry of Natural Resources of Russia of 16 July 2007, No. 183]. Moscow, 2007. 28 p.
10. Sokolov P.A., Chernykh V.L. *Variatsionnaya statistika: ucheb. posobie* [Variation Statistics]. Yoshkar-Ola, 1990. 104 p.
11. Sukhikh V.I., Chernykh V.L. *Lesoustroystvo: ucheb.* [Forest Management]. Yoshkar-Ola, 2014. 400 p.
12. Tokarchuk S.M. *Vybor i obosnovanie pokazateley otsenki prirodnogo raznoobraziya territorii* [Selection and Substantiation Indicators Assessment of Natural

Diversity Territory]. *Vesnik Brestskaga ūn-ta. Ser. 5. Khimiya. Biyalogiya. Navuki ab zyamli* [Vesnik of Brest University. Series 5. Chemistry. Biology. Sciences about Earth], 2014, no. 1, pp. 102–110.

13. Khlyustov V.K. *Kompleksnaya otsenka i upravlenie drevesnymi resursami: modeli-normativy-tehnologii. Kn. 1* [Integrated Assessment and Management of Wood Resources: Models-Normatives-Technologies. Book 1]. Moscow, 2015. 289 p.

14. Leskovec J., Rajaraman A., Ullman J.D. *Mining of Massive Datasets*. Cambridge, 2014. 511 p.

15. Stanturf J.A., Madsen P., eds. *Restoration of Boreal and Temperate Forests*. USA, Boca Raton, 2004. 600 p. Print ISBN: 978-1-56670-635-3. eBook ISBN: 978-0-203-49778-4.

16. *Sustainable Forest Management in Canada*. Available at: <http://www.canadianembassy.org/trade/sustainable-en.pdf> (accessed 20.04.2012).

17. Zaki M.J., Meira W.Jr. *Data Mining and Analysis: Fundamental Concepts and Algorithms*. Cambridge, UK, 2014. 593 p.

Received on February 15, 2017