

АНАЛИЗ ФАКТОРОВ ВОСПРОИЗВОДСТВА ЛЕСНЫХ РЕСУРСОВ

FOREST RESOURCES: ANALYSIS OF THEIR REPRODUCTION FACTORS

В статье рассматривается сущность процесса восстановления лесов как основного пути сохранения лесного фонда Российской Федерации. Проведен анализ основных факторов лесовосстановления и оценка тесноты связи между ними. Реализован метод факторного анализа, позволивший получить укрупненные факторы восстановления лесов. Проведена оценка влияния каждой из полученных компонент на общий уровень лесовосстановления.

Ключевые слова: лес, лесные ресурсы, восстановление лесов, факторы лесовосстановления, факторный анализ, метод главных компонент.

The essence of forest restoration process as the main way to preserve the forest resources of the Russian Federation is considered in the article. The main reforestation factors and evaluation of close connection between them are analyzed. The method of factor analysis provided the aggregated reforestation factors are implemented, and the influence of each of the component's obtained on the overall level of reforestation is assessed.

Keywords: forest, forest resources, forest restoration, reforestation factors, factor analysis, principal component.

На территории Российской Федерации сосредоточены самые большие запасы лесных ресурсов в мире – на конец 2014 г. площадь лесного фонда составляла около 70% от территории страны. Однако следует отметить, что площадь лесов постоянно сокращается за счет увеличения рекреационной нагрузки и процесса урбанизации; лесных пожаров; переувлажнения и подтопления лесов; загрязнения окружающей среды; воздействия естественных вредителей [1]. Исходя из этого, основной проблемой на сегодняшний день является сохранение лесного фонда страны путем проведения грамотной политики воспроизводства лесных ресурсов, проведение статистического анализа которого и направлено на оценку основных факторов данного процесса.

С этой целью были отобраны исходные признаки воспроизводства лесных ресурсов. Первичный отбор показателей осуществлялся на основе качественного анализа системы 17 по-

казателей, характеризующих лесное хозяйство регионов РФ [2]:

- x_1 – число случаев лесных пожаров (единиц);
- x_2 – количество выполненных работ по строительству, реконструкции и содержанию дорог противопожарного назначения (тыс. м);
- x_3 – расходы на охрану лесов от пожаров (тыс. руб.);
- x_4 – погибло лесных насаждений (га);
- x_5 – сгорело леса на корню (m^3);
- x_6 – площадь лесных земель, пройденная пожарами (га);
- x_7 – площадь лесовосстановления (га);
- x_8 – площадь выполненных санитарно-оздоровительных мероприятий (га);
- x_9 – объем выполненных санитарно-оздоровительных мероприятий (m^3);
- x_{10} – искусственное лесовосстановление (га);
- x_{11} – расходы на защиту лесов (тыс. руб.);
- x_{12} – общая площадь очагов вредных организмов на конец отчетного года (га);
- x_{13} – площадь очагов вредных организмов, ликвидированных мерами борьбы (га);
- x_{14} – отношение количества случаев с установленными нарушителями лесного законодатель-

¹ Аспирант кафедры теории статистики и прогнозирования ФГБОУ ВПО Московский государственный университет экономики, статистики и информатики (МЭСИ).

ства к общему количеству зарегистрированных случаев нарушения лесного законодательства (%);

x_{15} – отношение суммы возмещенного ущерба от нарушений лесного законодательства к сумме нанесенного ущерба от нарушений лесного законодательства (%);

x_{16} – расходы на лесовосстановление (тыс. руб.);

x_{17} – количество выполненных работ по устройству противопожарных барьеров и разрывов (тыс. м).

Для оценки тесноты и направления взаимосвязи показателей был проведен корреляционный анализ исследуемых переменных на основе матрицы парных линейных коэффициентов корреляции [3] (табл. 1), выявивший достаточно сильную корреляцию ряда факторов друг с другом, что говорит о наличии мультиколлинеарности признаков в исследуемой совокупности

регионов по уровню лесного хозяйства. Так, мультиколлинеарность наблюдалась у следующих признаков: расходы на охрану лесов от пожаров и площадь лесных земель, пройденная пожарами ($r = 0,796$); расходы на охрану лесов от пожаров и количество выполненных работ по строительству, реконструкции и содержанию дорог противопожарного назначения ($r = 0,876$); гибель лесных насаждений и площадь лесных земель, пройденная пожарами ($r = 0,826$); гибель лесных насаждений и количество выполненных работ по строительству, реконструкции и содержанию дорог противопожарного назначения ($r = 0,783$); гибель лесных насаждений и расходы на охрану лесов от пожаров ($r = 0,839$). Наличие мультиколлинеарной связи может негативно отразиться на результатах дифференциации регионов по уровню воспроизводства лесных ресурсов и привести к получению некорректных результатов анализа.

Таблица 1

Матрица парных коэффициентов корреляции показателей воспроизводства природных ресурсов

	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6	x_7	x_8	x_9	x_{10}	x_{11}	x_{12}	x_{13}	x_{14}	x_{15}	x_{16}	x_{17}
x_1	1,00																
x_2	0,46	1,00															
x_3	0,58	0,44	1,00														
x_4	0,54	0,68	0,56	1,00													
x_5	-0,52	0,08	0,03	0,15	1,00												
x_6	0,05	0,31	0,33	0,24	0,25	1											
x_7	0,05	0,53	0,19	0,44	0,31	0,71	1										
x_8	-0,04	-0,04	0,03	0,03	0,07	0,09	0,14	1									
x_9	0,36	0,14	0,23	0,20	-0,11	0,08	0,10	0,40	1								
x_{10}	0,79	0,56	0,66	0,88	-0,00	0,04	0,11	-0,03	0,31	1							
x_{11}	0,18	0,61	0,36	0,52	0,21	0,59	0,69	0,16	0,36	0,32	1						
x_{12}	0,83	0,58	0,62	0,78	0,05	0,28	0,40	0,06	0,30	0,84	0,48	1					
x_{13}	0,54	0,27	0,57	0,36	-0,07	-0,01	0,00	0,25	0,31	0,51	0,14	0,41	1				
x_{14}	0,07	0,16	0,19	0,39	0,08	0,08	0,12	0,41	0,18	0,24	0,17	0,27	0,32	1			
x_{15}	-0,09	0,17	0,14	0,22	0,10	0,31	0,31	0,57	0,36	-0,02	0,37	0,13	0,38	0,56	1		
x_{16}	-0,16	-0,28	-0,15	-0,11	-0,10	-0,19	-0,32	0,18	0,12	-0,09	-0,30	-0,17	-0,11	0,13	0,07	1	
x_{17}	-0,11	-0,17	-0,18	-0,13	-0,07	-0,19	-0,20	0,03	0,00	-0,08	-0,22	-0,15	-0,10	-0,09	-0,06	0,24	1

В целях исключения мультиколлинеарности, снижения размерности исходных переменных и их обобщения целесообразно использовать методы факторного анализа, являющиеся методами анализа взаимозависимости, а также позволяющие снизить количество переменных до приемлемого уровня [4]. С математической точки зрения факторный анализ в некоторой степени аналогичен регрессионному анализу, так как

каждая переменная лесного хозяйства выражена линейной комбинацией латентных факторов.

В ходе реализации факторного анализа от высококоррелируемых переменных общим объемом 17 индикаторов мы перешли к пяти информативным латентным факторам, которые позволят объяснить связи в наборе переменных лесного хозяйства.

Для проверки целесообразности использова-

ния факторной модели был применен критерий сферичности Бартлетта (с помощью которого проверялась нулевая гипотеза об отсутствии корреляции между переменными в генеральной совокупности) и критерий адекватности выборки Кайзера – Мейера – Олкина (КМО). Критерий адекватности выборки КМО предполагает проверку нулевой гипотезы о том, что корреляционная матрица совокупности является единичной матрицей и отклоняется в соответствии с критерием сферичности Бартлетта. Приближенное значение статистики хи-квадрат равно 814,113, а критическое с 136-ю степенями свободы и уровнем значимости 0,05 составляет 110,056. Значение статистики КМО (0,745) также больше 0,5. Таким образом, факторный анализ можно рассматривать как приемлемый метод для анализа корреляционной матрицы и снижения размера совокупности.

В качестве процедуры факторного анализа был выбран метод главных компонент, который учитывает всю дисперсию данных. Целесообразность применения данного метода вызвана

необходимостью получения латентных переменных, которые в дальнейшем могут быть использованы на следующих этапах многофакторного анализа воспроизводства лесных ресурсов.

Решение о количестве извлекаемых главных компонент является очень важным для реализации дальнейшего статистического анализа, поскольку от правильности выбора зависит как полнота воспроизведения наблюдаемых корреляций, так и содержательная интерпретация результатов.

Определение, основанное на собственных значениях факторов, состоит в учете только тех факторов, собственные значения которых больше 1, притом что остальные факторы в модель не включаются. В нашем исследовании у первых пяти главных компонент собственные значения дисперсии превышали 1, что дало возможность предположить наличие пяти латентных переменных. Собственные значения и относительный вклад полученных факторов в суммарную дисперсию по данным за 2013 г. представлены в табл. 2.

Таблица 2

Собственные значения и относительный вклад первых компонент в суммарную дисперсию, рассчитанные по данным воспроизводства лесных ресурсов за 2013 г.

Компонента	Начальные собственные значения			Суммы квадратов нагрузок вращения		
	итого	% дисперсии	кумулятивный %	итого	% дисперсии	кумулятивный %
1.	5,635	33,145	33,145	4,576	26,917	26,917
2.	2,461	14,475	47,620	2,909	17,115	44,031
3.	2,218	13,047	60,667	2,435	14,322	58,353
4.	1,081	6,357	67,024	1,304	7,669	66,022
5.	1,032	6,070	73,094	1,202	7,072	73,094

Определение, основанное на проценте объясненной дисперсии, представлено в столбце 3 таблицы 1, где наглядно показана дисперсия, обусловленная влиянием первого, второго и последующих факторов. Данный метод определяет количество факторов на основе кумулятивного процента дисперсии. Так, дисперсия, вызванная влиянием первого фактора, равна 5,635 или 33,145% от полной дисперсии. Аналогично, дисперсия, обусловленная влиянием второго фактора, равна 2,461 или 14,475%, а два фактора вместе объясняют 47,62% полной дисперсии. Дисперсия, обусловленная влиянием третьего фактора, равна 2,218 или 13,047%, а первые три фактора вместе объясняют 60,667% полной дисперсии, что считается уже минимальным условием при выборе числа латентных переменных.

Удовлетворительным считается такое число факторов, которое объясняло бы как минимум 60% дисперсии. В нашем исследовании первые пять факторов суммарно объясняют 73,094% дисперсии, что является удовлетворительным и достаточным.

Определение, основанное на критериях значимости, сводится к нахождению статистической значимости отдельных собственных значений, по результатам которого оставляют только статистически значимые факторы. Данный метод дает удовлетворительные результаты только при небольшом объеме факторов (не более 200, а в нашем случае – их 17), в результате реализации которого было получено графическое изображение критерия «каменистой осыпи» (рис. 1), представляющее собой график зависимости

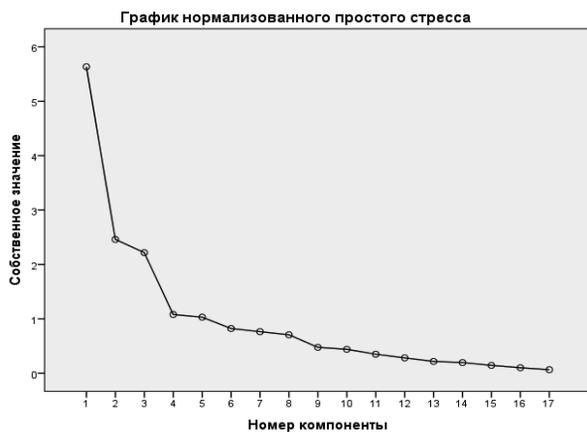


Рис. 1. График «каменистой осыпи» зависимости собственных значений от количества факторов, характеризующих воспроизводство лесных ресурсов

собственных значений от количества факторов в порядке их убывания. На графике виден четкий «обвал» на участке пяти факторов.

На третьем этапе факторного анализа необходимо было выбрать метод вращения факторов и провести интерпретацию полученных латентных переменных. Важным результатом факторного анализа является матрица факторных нагрузок, которая содержит коэффициенты, используемые для выражения нормированных переменных через факторы (табл. 2). Эти коэффициенты (F1–F5), называемые факторными нагрузками, представляют корреляции между факторами и переменными. Коэффициент с высоким абсолютным значением показывает, что фактор и переменная тесно взаимосвязаны.

Таблица 3

Факторы, влияющие на размер площади лесных земель, покрытых растительностью

Главные компоненты	Коэффициент интерпретации, %	Нагрузка	Переменные, включенные в главную компоненту
F1	0,941	0,729 0,812 0,958 0,861 0,586 0,855 0,619	Число случаев лесных пожаров Количество выполненных работ по строительству, реконструкции и содержанию дорог противопожарного назначения Расходы на охрану лесов от пожаров Погибло лесных насаждений Сгорело леса на корню Площадь лесных земель, пройденная пожарами Площадь лесовосстановления
F2	0,713	0,791 0,880 0,821	Площадь выполненных санитарно-оздоровительных мероприятий Объем выполненных санитарно-оздоровительных мероприятий Искусственное лесовосстановление
F3	0,778	0,783 0,752 0,846	Расходы на защиту лесов Общая площадь очагов вредных организмов на конец отчетного года Площадь очагов вредных организмов, ликвидированных мерами борьбы
F4	0,787	0,658 0,770	Отношение количества случаев с установленными нарушителями лесного законодательства к общему количеству зарегистрированных случаев нарушения лесного законодательства Отношение суммы возмещенного ущерба от нарушений лесного законодательства к сумме нанесенного ущерба от нарушений лесного законодательства
F5	0,707	0,661 0,643	Расходы на лесовосстановление Количество выполненных работ по устройству противопожарных барьеров и разрывов

Путем ортогонального вращения факторов методом Варимакс, основанным на максимизации дисперсии, матрица факторных коэффициентов была преобразована в более простую, с более усиленной интерпретируемостью факторов. Полученные коэффициенты матрицы факторных нагрузок являются хорошо экономически интерпретируемыми и при этом взаимонекоррелированными. Переход к главным компонентам позволил снизить размерность признакового пространства более чем в три раза при сохранении полноты объяснения дисперсии на достаточно высоком уровне – 73%. В целях интерпретации факторов в настоящей работе были определены переменные, которые имеют высокие значения нагрузок по одному и тому же фактору.

Таким образом, для анализа воспроизводства лесных ресурсов было выделено пять главных компонент, которые можно охарактеризовать следующим образом:

F_1 – уровень мероприятий по предупреждению и устранению лесных пожаров;

F_2 – уровень выполненных мероприятий по лесовосстановлению;

F_3 – уровень защиты лесов от вредных организмов;

F_4 – уровень правонарушений в сфере лесного хозяйства;

F_5 – уровень затрат на лесовосстановление.

В повернутой матрице из табл. 3 видно, что фактор F_1 имеет высокие коэффициенты для следующих переменных: x_3 – число случаев лесных пожаров; x_4 – количество выполненных работ по строительству, реконструкции и содержанию дорог противопожарного назначения; x_{10} – расходы на охрану лесов от пожаров; x_{12} – погибло лесных насаждений; x_{13} – сгорело леса на корню; x_{14} – площадь лесных земель, пройденная пожарами, и x_1 – площадь лесовосстановления. Следовательно, этот фактор можно назвать фактором, отвечающим за пожары и восстановление лесных ресурсов после пожаров. Коэффициент интерпретации для первого обобщенного фактора имеет достаточно высокое значение:

$$K_1 = \frac{a_{11}^2 + a_{21}^2 + a_{81}^2 + a_{101}^2 + a_{111}^2 + a_{161}^2 + a_{171}^2}{\sum_{j=1}^{17} a_{j1}^2} \cdot 100\% = 94,1\%.$$

То есть, представленные семь показателей объясняют 94,1% дисперсии первого обобщенного фактора.

Фактор F_2 тесно связан с показателями: x_8 – площадь выполненных санитарно-оздоровительных мероприятий; x_9 – объем выполненных санитарно-оздоровительных мероприятий и x_{10} – искусственное лесовосстановление. Дан-

ный фактор характеризует степень выполненных работ по лесовосстановлению. Представленные три индикатора объясняют 71,3% дисперсии второго обобщенного фактора.

Третий обобщенный фактор F_3 можно рассматривать как индикатор восстановления уровня лесистости территорий вследствие ликвидации очагов вредных организмов и проведения мероприятий по борьбе с ними, имеющий высокие факторные нагрузки на признаки, отражающие размер общей площади очагов вредных организмов (x_{12}) и площадь очагов вредных организмов, ликвидированных мерами борьбы (x_{13}). Как видно из табл. 2, оба показателя объясняют 77,8% дисперсии третьей латентной переменной.

Четвертый обобщенный фактор F_4 можно интерпретировать как интегральную характеристику уровня правонарушений в сфере лесного хозяйства. Увеличение значений этого фактора связано с высоким уровнем случаев нарушений в сфере лесного законодательства (x_{14}) и увеличением размера выплат за нанесенный ущерб (x_{15}). Представленные два индикатора объясняют 78,7% дисперсии четвертого обобщенного фактора.

Пятый обобщенный фактор F_5 характеризует уровень затрат на лесовосстановление, и чем больше объем расходов на мероприятия по лесовосстановлению (x_{16}), в том числе на работы по устройству противопожарных барьеров и разрывов (x_{17}), тем выше значение данной латентной переменной. Значение коэффициента интерпретации составило 70,7%.

Полученные главные компоненты могут быть использованы для проведения многомерных классификаций с целью формирования однородных территориальных групп по уровню размещения и развития лесного фонда и разработки эффективной стратегии использования и воспроизводства лесных ресурсов на субфедеральном и региональном уровнях [5]. Также практическая значимость полученных главных компонент заключается в возможности построения многофакторных регрессионных моделей для получения аналитического выражения существующих зависимостей.

Литература

1. Дарда Е.С., Куджаев Н.А. Статистическая оценка региональной дифференциации лесных пожаров: материалы конференции. VI Международный научно-практический форум «Инновационное развитие российской экономики». – М.: МЭСИ, 2013. – С. 98–101.

2. Федеральная служба государственной статистики. – Режим доступа: <http://www.gks.ru/>

3. Минашкин В.Г., Дарда Е.С., Клочкова Е.Н., Садовникова Н.А., Моисейкина Л.Г. Теория статистики. – М. : ЕАОИ, 2011. – 398 с.

4. Моисейкина Л.Г. Некоторые аспекты создания системы статистических показателей в сфере развития лесного хозяйства : материалы 14-й Международной научно-практической кон-

ференции «Экономика, экология и общество в XXI столетии». – СПб., 2012. – С. 126–135.

5. Садовникова Н.А., Дарда Е.С., Клочкова Е.Н., Моисейкина Л.Г., Александров О.В., Добролюбова Е.И. Методология формирования статистических индикаторов развития ресурсной базы России : монография. – Ярославль : Канцлер, 2014. – 368 с.