

Оценка лесозаготовительных условий в лесах приграничных регионов российской Арктики на основе факторного анализа

П.В. Будник¹, В.Н. Баклагин², О.Н. Галактионов¹, А.М. Крупко¹

¹Петрозаводский государственный университет, Петрозаводск

²Институт водных проблем Севера Карельского научного центра Российской академии наук, Петрозаводск

Аннотация: Цель данного исследования состояла в оценке лесозаготовительных условий центральных лесничеств Республики Карелия и Мурманской области. С этой целью, для двадцати семи центральных лесничеств региона исследования были собраны данные, представляющие собой двадцать переменных, характеризующих показатели ресурсов древесины, природно-производственные условия и дорожную инфраструктуру. Оценка лесозаготовительных условий проводилась на основе разработанной системы индикаторов, включающей пять показателей: ценность эксплуатационного фонда; репрезентативность территории по природным условиям произрастания лиственных пород и уровень расчетной лесосеки по мягколиственному хозяйству; репрезентативность территории по благоприятным природно-производственным условиям в регионе исследования; размер расчетных лесосек по хвойному хозяйству; и качество дорожной сети. Показатели представляли собой факторы, извлеченные методом главных осей в процессе факторного анализа. Факторы объяснили 81,4 % общей дисперсии двадцати изначально выбранных переменных. Результаты исследования показали, что по величине среднего запаса леса выделяются две группы лесничеств: лесничества Мурманской области, характеризующиеся низким средним запасом, и лесничества Республики Карелия. По уровню запасов в лесах лиственных пород деревьев и уровню расчетной лесосеки, по лиственному хозяйству обособляются четыре центральных лесничества, расположенных в южной части Республики Карелия. Наиболее благоприятными природно-производственными условиями обладают лесничества, расположенные в южной части Республики Карелия.

Ключевые слова: лесозаготовки, природно-производственные условия, факторный анализ, Карелия, Мурманская область, ресурсы древесины.

1. Введение

Мировое сообщество и государства, имеющие арктические территории, или граничащие с Арктикой, такие, как Россия, США, Канада, страны Северной Европы, а также ряд других стран, в частности, Китай и Япония признают важное экономическое значение арктического региона [1, 2]. Это обуславливается рядом факторов, среди которых можно выделить запасы природных ресурсов и потенциал транспортных коммуникаций. При этом, особую роль приобретают приграничные арктические территории. С одной стороны, такие территории могут выступать в качестве важных

транспортных путей, а с другой стороны - становятся пространствами напряженности и противостояния геополитических интересов. Поэтому, особую роль для России приобретают задачи развития таких регионов, как Республика Карелия и Мурманская область [3]. Многие работы связывают перспективы указанных субъектов с развитием лесопромышленного и минерально-сырьевого комплексов [4]. Данная работа сосредоточена на вопросах организации региональных систем управления лесными ресурсами.

С точки зрения системного подхода, регион в качестве объекта стратегического управления должен рассматриваться, как система, состоящая из подсистем, представляющих собой группы более мелких территорий со своими особенностями. Лесопользование предполагает межевание лесных земель Республики Карелия и Мурманской области на 27 центральных лесничеств (рис. 1).

В данном исследовании предложено рассматривать центральные лесничества в качестве таких подсистем. Принятие во внимание их особенностей, а также других характеристик позволит выработать программные подходы к стратегическому планированию развития регионов.

Управление лесными ресурсами связано с мероприятиями, направленными на экономически эффективное освоение лесных ресурсов, включая заготовку древесины и ее переработку, и обеспечение сохранения биологического разнообразия, самовоспроизводства, продуктивности лесных массивов. Поэтому оценка лесоэксплуатационных условий, определяющих эффективность лесозаготовок, является важной задачей обеспечения управления лесными ресурсами. При этом такая оценка должна вестись на основе научно-обоснованных критериев, определяющих эффективность лесозаготовительных компаний и производительность лесных машин. Учитывая результаты зарубежных исследований, направленных на выявление факторов, влияющих на производительность харвестеров [5, 6] и

форвардеров [7, 8], а также подобных отечественных исследований [9, 10], такие критерии должны включать качественные и количественные характеристики ресурсов древесины, природно-производственные условия и дорожную инфраструктуру.

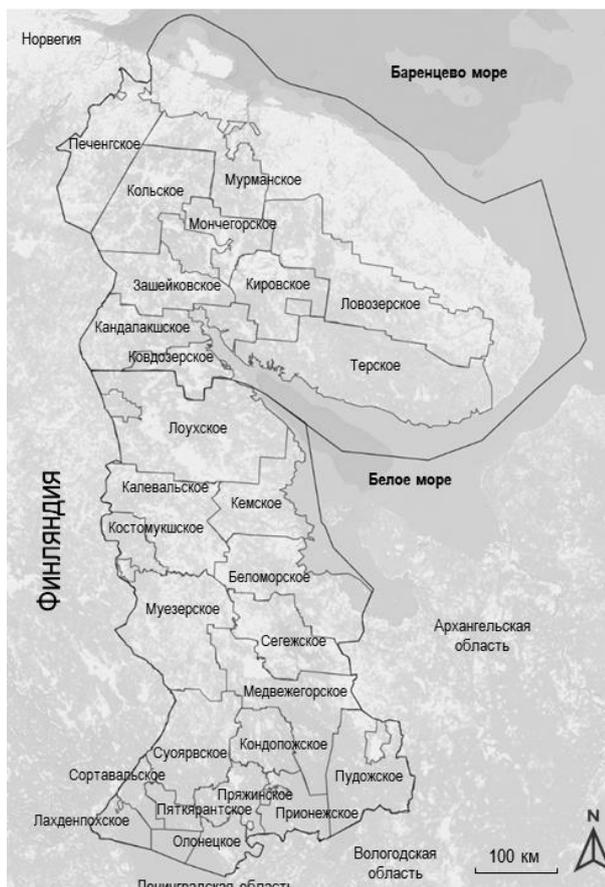


Рис. 1. – Схема межевания Республики Карелия и Мурманской области на центральные лесничества

Отметим, что проблемами многопараметрической оценки являются, во-первых, ее громоздкость, а, во-вторых – взаимосвязанность отдельных параметров между собой. Обе эти проблемы осложняют анализ и адекватность получаемых результатов. Кроме того, вторая проблема ограничивает применение к таким данным статистических методов обработки информации, в частности таких, как кластерный анализ.

Цель данного исследования состояла в оценке лесоэксплуатационных условий центральных лесничеств Республики Карелия и Мурманской

области. При этом основными задачами исследования были: разработка системы индикаторов, характеризующих качественные и количественные параметры ресурсов древесины, природно-производственные условия и дорожную инфраструктуру центральных лесничеств; и оценка центральных лесничеств на основе разработанной системы индикаторов.

2. Материалы и методы

Для оценки лесозаготовительных условий в центральных лесничествах были собраны данные, представляющих собой 20 переменных: R_f – расчетная лесосека при всех видах рубок по хвойному хозяйству (ликвидный), тыс.м³; R_d – расчетная лесосека при всех видах рубок по мягколиственному хозяйству (ликвидный), тыс.м³; R_{cf_f} – расчетная лесосека для осуществления сплошных рубок спелых и перестойных лесных насаждений по хвойному хозяйству в эксплуатационных лесах (ликвидная), тыс. м³; R_{cf_d} – расчетная лесосека для осуществления сплошных рубок спелых и перестойных лесных насаждений по мягколиственному хозяйству в эксплуатационных лесах (ликвидная), тыс. м³; $V_{p_4_5}$ – средний запас эксплуатационного фонда по Сосне 4-5 бонитета (сплошные рубки), м³/га; $V_{p_1_3}$ – средний запас эксплуатационного фонда по Сосне 1-3 бонитета (сплошные рубки), м³/га; $V_{s_4_5}$ – средний запас эксплуатационного фонда по Ели 4-5 бонитета (сплошные рубки), м³/га; $V_{s_1_3}$ – средний запас эксплуатационного фонда по Ели 1-3 бонитета (сплошные рубки), м³/га; V_b – средний запас эксплуатационного фонда по Березе (сплошные рубки), м³/га; V_a – средний запас эксплуатационного фонда по Осине (сплошные рубки), м³/га; MF_f – доля площади приспевающих хвойных древостоев (сплошные рубки) от общей площади лесничества, отведенной под сплошные рубки, %; MF_d – доля площади приспевающих мягколиственных древостоев (сплошные рубки) от общей площади лесничества, отведенной под сплошные рубки, %; V_g – расчетный средний запас леса (отношение запаса древесины

к лесопокрытой площади), $\text{м}^3/\text{га}$; P – плотность дорог, $\text{км}/\text{тыс.га}$; W_h – доля автомобильных дорог с твердым покрытием по протяженности; W_s – доля автомобильных грунтовых дорог круглогодичного действия по протяженности; III – доля площади лесничества с третьим классом природной пожарной опасности, %; IV – доля площади лесничества с четвертым классом природной пожарной опасности, %; V – доля площади лесничества с пятым классом природной пожарной опасности, %; AUF – доля земель, покрытых лесной растительностью (лесистость), %. В качестве источников данных использовались лесные планы регионов Республики Карелия и Мурманской области и лесохозяйственные регламенты центральных лесничеств.

Для разработки системы индикаторов применялся факторный анализ [11], в результате которого были получены собственные значения факторов, объясняющих большую часть дисперсии выбранных 20 переменных. Факторы извлекались методом главных осей. Количество извлекаемых факторов определялось по критерию Кайзера. Метод Варимакс применен для получения простой структуры факторов. По критериям Кайзера-Мейера-Олкина (КМО) и сферичности Бартлетта, осуществлялась проверка применимости факторного анализа к данным. На основе анализа состава переменных наиболее нагружаемых факторов, осуществлялась их интерпретация. Фактор интерпретировался, как причина совместной изменчивости группы переменных.

Оценка лесоэксплуатационных условий осуществлялась на основе сравнительного анализа значений извлеченных факторов для каждого центрального лесничества.

3. Результаты исследования и их обсуждение

Значение КМО, составившее 0,708, подтвердило возможность применения к имеющимся данным факторного анализа [12]. Критерий

сферичности Бартлетта показал статистическую достоверность результата. Корреляции между переменными значимо отличались от нуля ($p < 0,001$). Количество извлеченных факторов определялось по диаграмме собственных значений факторов (рис. 2) на основе критерия Кайзера.

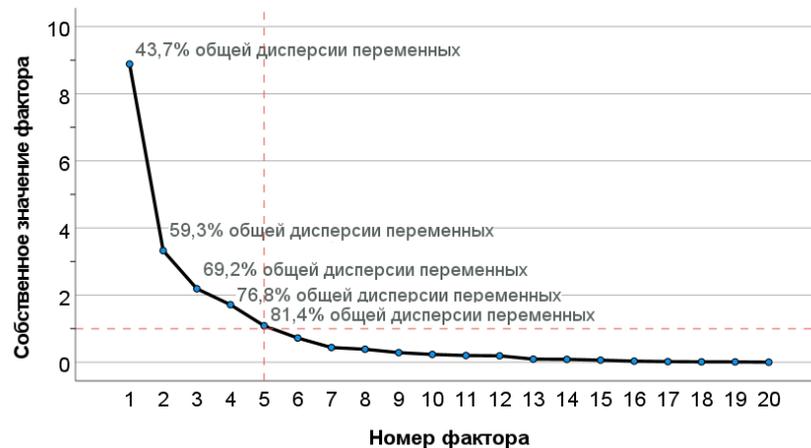


Рис. 2. – Диаграмма собственных значений факторов

Было определено 5 учитываемых факторов, объясняющих 81,4 % общей дисперсии переменных (таблица 1).

Таблица № 1

Извлеченные факторы

Обозначение фактора	Наименование фактора	Доля общей дисперсии переменных, объяснённая фактором, %	Переменные, наиболее нагружающие фактор	Значение нагрузки на фактор
1	2	3	4	5
F1	Ценность эксплуатационного фонда.	43,7	Vp_4_5	0,910
			Vp_1_3	0,909
			Vs_4_5	0,878
			Vb	0,875
			Vs_1_3	0,745
			MF_f	0,613
			Va	0,601
F2	Репрезентативность территории с точки зрения природных условий произрастания листовых пород и уровень расчетной лесосеки по мягколиственному хозяйству	15,6	IV	0,810
			R_d	0,766
			Rcf_d	0,755
			MF_d	0,669

1	2	3	4	5
F3	Репрезентативность территории по благоприятным природно-производственным условиям	10	AUF	0,871
			III	0,778
			P	0,730
			V_g	0,714
			V	-0,641
F4	Расчетная лесосека по хвойному хозяйству	7,5	R_f	0,778
			Rcf_f	0,764
F5	Качество дорожной сети	4,6	W_h	0,853
			W_s	-0,831



Рис. 3. – Диаграмма значений фактора F1 по центральным лесничествам (чем ближе к центру, тем меньше средний запас эксплуатационного фонда)

Фактор 2 (F2): репрезентативность территории по природным условиям произрастания лиственных пород и уровень расчетной лесосеки по мягколиственному хозяйству. Фактор объединяет переменные, характеризующие долю площади с четвертым классом природной пожарной опасности (с условиями, более характерными для произрастания лиственных пород) и значения расчетных лесосек по мягколиственному хозяйству. Фактор объясняет 15,6 % общей дисперсии переменных. Переменная, характеризующая долю площади лесничества с четвертым классом природной пожарной опасности, наиболее нагружает данный фактор.

Анализ значений F2 позволяет выделить четыре центральных лесничества с наибольшим запасом древесины лиственных пород и условиями, характерными для их распространения в рассматриваемом регионе: Пудожское, Пряжинское, Олонецкое и Прионежское центральные лесничества (рис. 4). Эти лесничества расположены на южной границе Республики Карелия вдоль берегов Онежского озера и между Ладожским и Онежским озерами. В общем, в зависимости от значения F2, можно выделить три группы центральных лесничеств.



Рис. 4. – Диаграмма значений фактора F2 по центральным лесничествам (чем ближе к центру, тем меньше представлены лиственные породы и меньше расчетная лесосека по лиственному хозяйству)

Наименьшие значения фактора F2 имеют центральные лесничества Республики Карелия, расположенные вдоль границы с Финляндией и на побережье Белого моря.

Фактор 3 (F3): репрезентативность территории благоприятным природно-производственным условиям. Фактор объединяет переменные, характеризующие: лесистость территории; долю площади, относящуюся к

третьему классу природой пожароопасности; плотность дорог; расчетный средний запас леса; инверсную долю площади пятого класса природной пожарной опасности. Чем больше значение фактора, тем выше лесистость территории, больше средний запас леса и плотность дорог, территория более сухая и характерна для наиболее ценных хвойных пород древесины. Фактор объясняет 10 % общей дисперсии переменных.

На рис. 5 в рассматриваемом регионе можно выделить три основные группы лесничеств по значениям фактора F3: с наиболее благоприятными природно-производственными условиями; со средними; и наихудшими. Наилучшими природно-производственными условиями характеризуются центральные лесничества в южной части Республики Карелия.



Рис. 5 – Диаграмма значений фактора F3 по центральным лесничествам (чем ближе к центру, тем хуже природно-производственные условия).

Наихудшими условиями обладают лесничества, расположенные в северной части Республики Карелия ближе к Белому морю (Кемское, Сегежское, Беломорское) и восточные лесничества Мурманской области (Ловозерское, Терское, Кировское).

Фактор 4 (F4): расчетная лесосека по хвойному хозяйству. Фактор определяется двумя переменными: величиной расчетной лесосека для осуществления сплошных рубок спелых и перестойных лесных насаждений в эксплуатационных лесах и расчетной лесосекой при всех видах рубок. Переменные характеризуют расчетные лесосеки по хвойному хозяйству. Фактор объясняет 7,5 % общей дисперсии переменных. На рис. 6 представлены результаты группировки центральных лесничеств по значению F4.



Рис. 6. – Диаграмма значений фактора F4 по центральным лесничествам (чем ближе к центру, тем меньше значения расчетных лесосек по хвойному хозяйству)

Наибольшими значениями расчетных лесосек по хвойному хозяйству характеризуются лесничества Республики Карелия: Пудожское, Лоухское, Суоярвское, Медвежьегорское, Муезерское.

Фактор 5 (F5): качество дорожной сети. Фактор наиболее нагружают две переменные: доля автомобильных дорог по протяженности с твердым покрытием и инверсная доля автомобильных грунтовых дорог

круглогодичного действия по протяженности. Фактор объясняет 4,6 % общей дисперсии переменных. По значению фактора F5, можно выделить две группы лесничеств, если исключить два резко отличающихся лесничества, а именно - Мурманское и Лахденпохское центральные лесничества (рис. 7).



Рис. 7. – Диаграмма значений фактора F5 по центральным лесничествам (чем ближе к центру, тем меньше дорог с твердым покрытием и больше грунтовых дорог)

К первой группе относятся лесничества, где доля грунтовых дорог не превышает долю дорог с твёрдым покрытием более чем в два раза. Соответственно, ко второй группе относятся лесничества, где доля грунтовых дорог превышает долю дорог с твёрдым покрытием более чем в два раза. По значению фактора F5, лесничества географически расположены хаотично.

4. Заключение

Результаты исследования подтвердили возможность применения факторного анализа для разработки системы показателей

лесоэксплуатационных условий территорий лесного фонда. На примере Мурманской области и Республики Карелия была разработана системы индикаторов, характеризующая ресурсы древесины, природно-производственные условия и дорожную инфраструктуру 27 центральных лесничеств. Система включает в себя 5 ключевых характеристик (индикаторов) центральных лесничеств: ценность эксплуатационного фонда; репрезентативность территории по природным условиям произрастания лиственных пород и уровень расчетной лесосеки по мягколиственному хозяйству; репрезентативность территории по благоприятным природно-производственным условиям в регионе исследования; размер расчетных лесосек по хвойному хозяйству; и качество дорожной сети. Данные характеристики объясняли 81,4 % общей дисперсии двадцати изначально выбранных переменных, характеризующих лесоэксплуатационные условия в центральных лесничествах.

Предложенная система индикаторов лесоэксплуатационных условий позволяет сократить для анализа количество переменных, характеризующих ресурсы древесины, природно-производственные условия и дорожную инфраструктуру. Результаты исследования могут быть учтены при проектировании мероприятий, направленных на экономически эффективное освоение лесных ресурсов, включая заготовку древесины и ее переработку, и обеспечение сохранения биологического разнообразия, самовоспроизводства, продуктивности лесных массивов в Республике Карелия и Мурманской области. Методические основы целесообразно использовать для разработки системы индикаторов лесоэксплуатационных условий лесных территорий других регионов страны.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 23-21-00143, <https://rscf.ru/project/23-21-00143/>.

Литература

1. Goodsite M., Swanstrom N. Towards A Sustainable Arctic: International Security, Climate Change And Green Shipping. World Scientific Publishing Europe Ltd, 2023. 280 p. URL: doi.org/10.1142/q0390
 2. Рудаков М. Н. Природные ресурсы Арктики и экономические интересы Финляндии // Инженерный вестник Дона, 2014, №2. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2014/2410.
 3. Морозков В.А., Хоменко К.В., Грушева А.В. Развитие Арктической зоны Российской Федерации как фактор повышения уровня экономической безопасности: отдельные аспекты на примере республики Карелия // X Международная научно-практическая конференция «Культура, наука, образование: проблемы и перспективы». - 2022. - С. 166-173. URL: [10.36906/KSP-2022/23](https://doi.org/10.36906/KSP-2022/23)
 4. Крупко Н. С. Некоторые аспекты кластеризации экономики Республики Карелия // Инженерный вестник Дона, 2014, №1. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2014/2253.
 5. Kormanek, M., Baj, D. Analysis of Operation Performance in the Process of Machine Wood Harvesting with Fao Far 6840 Mini-Harvester // Agricultural engineering. 2018. №22(1). pp. 73-82.
 6. Olivera A, Visser R, Acuna M, Morgenroth J. Automatic GNSS-enabled harvester data collection as a tool to evaluate factors affecting harvester productivity in a Eucalyptus spp. harvesting operation in Uruguay // Int J For Eng. 2016. № 27(1). pp. 15–28. URL: doi.org/10.1080/14942119.2015.1099775
 7. Proto, A. R., Macri, G., Visser, R. Harrill H., Russo D., Zimbalatti G. Factors affecting forwarder productivity // Eur J Forest Res. 2018. №137. pp. 143-151. URL: doi.org/10.1007/s10342-017-1088-6
-

8. DeArmond D., Ferraz João B.S., Higuchi N. Natural recovery of skid trails: a review // Canadian Journal of Forest Research. 2021. № 51(7). pp. 948-961. URL: doi.org/10.1139/cjfr-2020-0419

9. Шегельман И. Р., Васильев А. С. Развитие сети лесовозных дорог – важнейший фактор повышения экономической доступности лесных ресурсов и лесопользования в регионах Европейского Севера России // Инженерный вестник Дона, 2017, №3. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/N3y2017/4311.

10. Ивашнев М. В. Классификация почвенно-грунтовых условий как важнейшего фактора выбора типов и конструкций машин для расчистки лесных площадей при строительстве линейных объектов // Инженерный вестник Дона, 2014, №1. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2014/2229.

11. Schreiber J. B. Issues and recommendations for exploratory factor analysis and principal component analysis // Research in Social and Administrative Pharmacy. 2021. №17(5). pp. 1004-1011. URL: doi.org/10.1016/j.sapharm.2020.07.027

12. Kaiser, H. F., Rice, J. Little Jiffy, Mark IV // Educational and Psychological Measurement. 1974. № 34(1). pp. 111–117. URL: 10.1177/001316447403400115.

References

1. Goodsite M., Swanstrom N. Towards A Sustainable Arctic: International Security, Climate Change And Green Shipping. World Scientific Publishing Europe Ltd, 2023. 280 p. URL: doi.org/10.1142/q0390

2. Rudakov M.N. Inzhenernyj vestnik Dona, 2014, №2. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2014/2410.

3. Morozkov V.A., Khomenko K.V., Grusheva A.V. X Mezhdunarodnaya nauchno-prakticheskaya konferentsiya «Kul'tura, nauka, obrazovaniye: problemy i perspektivy», 2022. pp. 166-173. URL: 10.36906/KSP-2022/23



4. Krupko N. S. Inzhenernyj vestnik Dona, 2014, №1. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2014/2253.
5. Kormanek, M., Baj, D. Agricultural engineering. 2018. №22 (1). pp. 73-82.
6. Olivera A, Visser R, Acuna M, Morgenroth J. Int J for Eng. 2016. № 27(1). pp. 15–28. URL: doi.org/10.1080/14942119.2015.1099775
7. Proto, A. R., Macri, G., Visser, R. Harrill H, Russo D., Zimbalatti G. Eur J Forest Res. 2018. №137. pp. 143-151. URL: doi.org/10.1007/s10342-017-1088-6
8. DeArmond D., Ferraz João B.S., Higuchi N. Canadian Journal of Forest Research. 2021. № 51(7). pp. 948-961. URL: doi.org/10.1139/cjfr-2020-0419
9. Shegel'man I. R., Vasil'yev A. S. Inzhenernyj vestnik Dona, 2017, №3. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/N3y2017/4311.
10. Ivashnev M. V. Inzhenernyj vestnik Dona, 2014, №1. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2014/2229.
11. Schreiber J. B. Research in Social and Administrative Pharmacy. 2021. №17 (5). pp. 1004-1011. URL: doi.org/10.1016/j.sapharm.2020.07.027
12. Kaiser, H. F., Rice, J. Educational and Psychological Measurement. 1974. № 34(1). pp. 111–117. URL: [10.1177/001316447403400115](https://doi.org/10.1177/001316447403400115).