

СТРУКТУРА СРЕДНЕТАЕЖНОГО ЕЛЬНИКА ЧЕРНИЧНОГО ЧЕРЕЗ СОРОК ЛЕТ ПОСЛЕ ИНТЕНСИВНОЙ ВЫБОРОЧНОЙ РУБКИ В НЕРЕСТООХРАННОЙ ЗОНЕ ОНЕЖСКОГО ОЗЕРА¹

© 2025 г. С. М. Синькевич*, В. В. Тимофеева

Институт леса Карельского научного центра РАН, ул. Пушкинская, д. 11, Петрозаводск, 185910 Россия

*E-mail: sergei.sinkevich@krc.karelia.ru

Поступила в редакцию 26.03.2024 г.

После доработки 23.09.2024 г.

Принята к публикации 15.11.2024 г.

Исследованы состояние и структура насаждения, сформировавшегося за 40 лет после высокоинтенсивной равномерно-постепенной рубки в нерестоохранной зоне Онежского озера. На пробных площадях, заложенных в 1982 г. перед рубкой в относительно разновозрастном смешанном ельнике черничного типа леса III–IV класса бонитета с запасом около $220 \text{ м}^3 \text{ га}^{-1}$, доля ели равнялась 40%, а густота среднего и крупного елового подроста составляла около 1 тыс. шт. га^{-1} . В результате рубки запас снизился на 50–70%, и доля ели в нем составила 60–65%. К 2023 г. на участке рубки сформировались ступенчато-сомкнутые смешанные древостои с преобладанием ели и общим запасом $250–300 \text{ м}^3 \text{ га}^{-1}$. Половина наличного запаса сосредоточена в нижней части полога, под которым имеется более 3 тыс. шт. га^{-1} елового подроста. Исследована пространственная вариабельность густоты, запаса, породного состава древостоя и естественного возобновления в контексте обеспечения устойчивости насаждения. Проанализированы данные о динамике прироста, крупных древесных остатках, возрастной структуре древостоя и подроста. Уточнена роль технологической сети в формировании неоднородности запаса, прироста, породного состава и подроста. Изучены видовой состав и проектное покрытие живого напочвенного покрова как индикатора и фактора динамики насаждения. Выявлены статистические зависимости между структурными элементами фитоценоза, способствующие пониманию его развития и устойчивости. Показано соответствие сформировавшегося после рубки насаждения основным критериям выделения биологически ценных лесов. По результатам анализа полученных данных и литературных источников сделан вывод о перспективности продолжения выборочного хозяйства в интересах дальнейшего роста и устойчивости ельника и выполнения им защитных функций.

Ключевые слова: ель обыкновенная, разновозрастный древостой, состав, пространственная структура, подрост, живой напочвенный покров, биоразнообразие, защитные леса, выборочные рубки.

DOI: 10.31857/S0024114825010071 **EDN:** EDKTHS

В лесах Северо-Западного федерального округа, которые продолжают оставаться сырьевой базой деревообрабатывающей и целлюлозно-бумажной промышленности, доля защитных лесов достигает 38%. Ведение хозяйства в них, имеющее основной целью поддержание экологической функциональности, должно также учитывать социально-экономические условия (Лесной кодекс, 2006; Желдак и др., 2023). Необходимость научных исследований

в этом направлении непосредственно вытекает из современного понимания экосистемных услуг, включающих наравне со средообразующими также сырьевые и социальные аспекты оценки лесов (Лукшина и др., 2015). Реализация защитных функций лесов зависит от их устойчивости, в значительной мере определяемой пространственным и видовым разнообразием (Волков и др., 2002; Стороженко, 2007; Федорчук и др., 2012). Снижение последнего требует отдельного внимания в контексте реализации стратегии интенсификации использования и воспроизводства лесов (Концепция..., 2015).

¹Исследование выполнено в рамках государственных задачей ФИЦ КарНЦ РАН (Институт леса).

В связи с этим растет число исследований биоразнообразия на лесных участках с внедрением элементов интенсивного хозяйства (Бурова и др., 2010; Беляева и др., 2012; Амосова, Ильинцев, 2022). В качестве одной из мер предупреждения потерь биоразнообразия была сформулирована концепция Variable Retention Forestry, или “лесоводства с сохранением лесной среды” (Gustaffson et al., 2012; Shorokhova et al., 2019; Крышень и др., 2020). Отдельные положения этой концепции внедряли в практику лесопользования Северо-Запада РФ на протяжении последних 20 лет в рамках реализации программ лесной сертификации (Рай и др., 2008; Выявление..., 2009).

В Карелии около 80% защитных лесов имеют непосредственное отношение к водным объектам (Ананьев, Синькевич, 2015). Поэтому поддержание экологической функциональности защитных лесов должно обеспечивать уровень общего прироста, эффективно компенсирующего превышение осадков над испарением. В то же время необходимо формирование такой породной и пространственной структуры лесных насаждений, которая бы обеспечивала эффективный перевод поверхностного стока в грунтовый (Побединский, 2013). Актуальность этих задач возрастает особенно в связи с имеющим место трендом увеличения общей суммы осадков и прогнозами Росгидромета на его сохранение в ближайшем будущем (Доклад..., 2018; Лесной план..., 2018).

Необходимого уровня прироста можно достичь за счет наличия достаточного количества активно растущих деревьев или проведением выборочных рубок там, где в связи с возрастной структурой лесного фонда со временем снижается его экологическая функциональность как в региональном аспекте (водорегулирующая), так и в глобальном – в депонировании углерода (Лесной кодекс..., 2006; Синькевич, Ананьев, 2020). Доступным для определения в натуре критерием экологической функциональности защитных лесов, кроме безусловно необходимого породного состава, должен быть запас древостоя, достаточный для обеспечения необходимого уровня прироста, транспирации, водорегулирования и связывания атмосферного углерода. В то же время устойчивость насаждений, ценных с эколого-экономической точки зрения, в значительной мере зависит от конкурентных отношений в фитоценозе, которые также требуют внимания.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДИКА

Объект исследования – относительно разновозрастный ельник, расположенный в нерестоохранной зоне Онежского озера ($60^{\circ}36' с. ш.$, $34^{\circ}41' в. д.$), пройденный 40 лет назад равномерно-постепенной рубкой высокой интенсивности. Смешанное насаждение III–IV класса бонитета черничного

типа леса сформировалось под воздействием проведенных в прошлом (1860 и 1930 гг.) выборочных рубок сосново-еловых древостоев. Рельеф участка равнинный, со слабым уклоном к востоку, почва грубогумусная сильноподзолистая на прибрежной абрэированной морене. Две постоянные пробные площади размером 80×80 м заложены в 1982 г. перед проведением рубки (табл. 1), и одна пробная площадь размером 60×100 м на этой же делянке заложена в год обследования. Рубку выполняли по сортиментной технологии с ручной валкой. Пробные площади размещали так, чтобы две их стороны были параллельны намеченным технологическим коридорам, расстояние между которыми составляло 25 м.

На пробных площадях (ПП), разбитых на квадратные секции 10×10 м, выполнены сплошной перечет древостоя по 2-сантиметровым ступеням толщины раздельно по породам, двум возрастным группам и категориям состояния, измерение высот (230 деревьев), сплошной учет жизнеспособного подроста по общепринятым категориям крупности. Выявление флористического состава и проектного покрытия видов живого напочвенного покрова (ЖНП) проводили на 25–30 площадках, систематически размещенных на каждой пробной площади; для оценки флористического сходства и видового разнообразия рассчитывали коэффициент Жаккара (K_j) и H' – индекс Шеннона (Песенко, 1982; Методы..., 2002). Для выяснения истории, возрастной структуры и оценки реакции древостоя на проведенную рубку отобрано 180 кернов буравом Пресслера на высоте 1.3 м и 30 модельных растений подроста. При отборе кернов фиксировали диаметр дерева, породу, возрастную категорию и расположение относительно технологических коридоров. Для уточнения возраста дополнительно отбирали керны на высоте пня у деревьев различных размеров и возрастных категорий. На свежих кернах после зачистки и контрастирования измерена ширина всех годичных слоев с точностью 0.01 мм. Дорубочная характеристика древостоя на ПП 4, заложенной в год обследования, была восстановлена на основании данных учета пней и суммарного прироста за 40 лет. Таксационные характеристики древостоя определены раздельно по секциям 10×10 м, что позволило оценить пространственную вариабельность исследуемых параметров фитоценоза и выявить статистические связи между ними. Для оценки неоднородности горизонтальной структуры насаждения вычислены, помимо коэффициента вариации, индекс Симпсона в качестве показателя доминирования и индекс Пилю (нормированный индекс Шеннона) как мера выравненности размещения объектов разных классов (Мэггаран, 1992; Федорчук и др., 2009). Обработка и анализ данных выполнены с использованием табличного процессора MS Excel и пакета программ

Statistica 10. Измерения выполнены с использованием научного оборудования Центра коллективного пользования ФИЦ КарНЦ РАН.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Запас древостоя по состоянию на год проведения постепенной рубки составлял в среднем около $230 \text{ м}^3 \text{ га}^{-1}$. Сухостой был представлен отставшими в росте угнетенными экземплярами ели (*Picea abies*) и березы (*Betula pendula*) (15–35 шт./га) и перестойной осиной (*Populus tremula L.*) (20 шт./га) с общим объемом 10–20 $\text{м}^3 \text{ га}^{-1}$. В результате рубки запас древостоя в разных частях выделя уменьшился на 49–70% (табл. 1).

Радиальный прирост деревьев после рубки увеличился в среднем в 2 раза, в результате чего общее изменение запаса по древостою в целом составило в среднем $5.4 \text{ м}^3 \text{ га}^{-1} \text{ год}^{-1}$, а по ели – $1.6 \text{ м}^3 \text{ га}^{-1} \text{ год}^{-1}$. По прошествии 40 лет после рубки запас превысил исходные значения на 28–40% в зависимости от породного состава и условий произрастания. Запас еловой части древостоя прирастал эффективнее при большей интенсивности рубки, реализованной в значительной мере за счет лиственных пород (рис. 1).

Накопление отпада за период наблюдений (табл. 1) оказалось обратно пропорционально интенсивности рубки. Появление сухостоя было закономерным следствием конкуренции, а валеж формировавшийся из крупных деревьев. Общим для всех трех пробных площадей является наличие перестойных осин, которые постепенно теряют устойчивость из-за развития стволовых гнилей. Средние объемы стволов валежа, относящегося к 2–4 классу разложения (Стороженко, 2012; Химич, Шорохова, 2018), на всех пробных площадях близки ($\sim 0.35 \text{ м}^3$), и то же самое можно сказать о средних объемах стволов усохших деревьев (0.2 м^3). Среднегодовые темпы накопления отпада не превышают 1% запаса, оставленного после рубки высокой интенсивности (ПП 1 и ПП 2), и аналогичны результатам по выборочным рубкам и наблюдениям в разновозрастных ельниках Ленинградской области (Декатов и др., 1985; Федорчук и др., 2010). За последнее десятилетие количество валежа существенно увеличилось на участке с наименьшей интенсивностью рубки (ПП 4), при этом половину выпавших деревьев составили крупномерная осина и береза.

Важным условием длительного существования участка леса является его пространственная

Таблица 1. Изменение характеристик насаждения на пробных площадях ПП 1, ПП 2, ПП 4

Средние таксационные показатели	ПП 1			ПП 2			ПП 4		
	1982 г., до рубки	1982 г., после рубки	2022 г.	1982 г., до рубки	1982 г., после рубки	2022 г.	1982 г., до рубки	1982 г., после рубки	2022 г.
Диаметр ели, см	16.4	17.8	21.3	14.9	13.6	17.9	18.0	18.4	23.2
Высота древостоя, м	14.7	15.5	18.5	13.7	12.7	16.0	15.5	14.5	23.7
Общий запас, $\text{м}^3 \text{ га}^{-1}$:									
– живых деревьев	216	63	304	200	66	255	239	123	338
– сухостоя	10		8	19		8	–		14
– валежа	–		6	–		8	–		40
Выборка запаса, %	70			65			49		
Доля пород в составе:									
ель	4.1	6.2	5.0	4.2	6.0	5.3	4.9	5.3	4.3
береза	2.2	2.1	2.3	2.2	1.6	1.6	0.9	1.0	0.7
осина	3.7	1.7	2.5	2.6	1.5	2.2	4.0	3.3	4.6
сосна	0.1	+	+	1.0	0.9	0.7	0.2	0.3	0.2
ольха, ива, рябина	–	–	0.2	–	–	0.1	+	0.1	0.2
Подрост, тыс. шт. га^{-1} :									
до 0.5 м	0.27	–	2.3	0.09	–	1.4	–	–	1.1
0.5–1.5 м	0.29	–	1.6	0.21	–	1.8	–	–	0.9
более 1.5 м	0.62	–	0.4	0.72	–	0.4	–	–	0.9

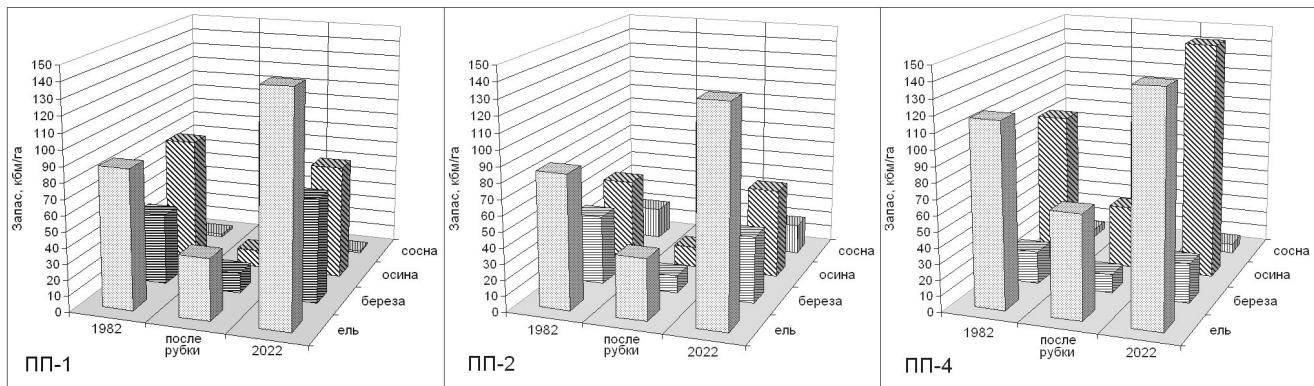


Рис. 1. Изменение запаса составляющих пород на пробных площадях ПП 1, ПП 2, ПП 4 в течение 40 лет на участке интенсивной постепенной рубки в ельнике черничном.

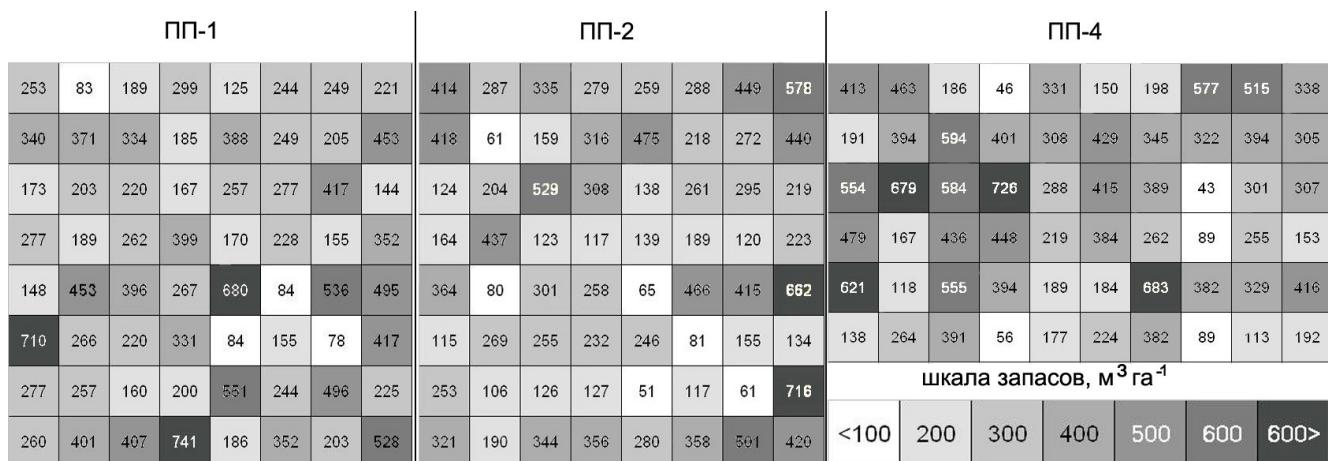


Рис. 2. Пространственная вариабельность общего запаса на секциях 10×10 м в ельнике черничном через 40 лет после проведения постепенной рубки.

неоднородность (Дробышев и др., 2003; Стороженко, 2020). Интегральным показателем, обобщающим действие причин, ее определяющих, является общий запас, позволяющий оценить соответствие породного состава и условий произрастания насаждения с учетом целевого назначения лесов.

Локальные значения общего запаса по секциям распределены согласно логнормальному закону и существенно отличаются от среднего запаса на пробной площади (рис. 2).

Причиной этого являются как неравномерность выборки, так и наличие отдельных крупных деревьев I яруса. В то же время коэффициенты вариации общего запаса составляют 46–51%, и за пределами $\pm 3\sigma$ оказывается не более одного случая в каждом варианте.

Пространственная равномерность запаса, оцениваемая индексом Симпсона, очень близка в вариантах максимальной интенсивности рубки (0.215 и 0.222) и отличается доминированием секций с запасом около $250 \text{ m}^3 \text{га}^{-1}$, при этом выравненность

запаса, характеризуемая индексом Пилу в случае максимальной интенсивности рубки (ПП 1), несколько выше (0.417 и 0.406). Для варианта с наименьшей интенсивностью рубки (ПП 4) значения индексов Симпсона и Пилу равны соответственно 0.178 и 0.455, свидетельствуя об отсутствии доминирования какого-либо класса и гораздо лучшей выравненности запаса.

В среднем по секциям две трети (от 46 до 72%) от общего запаса сосредоточено во II ярусе, что указывает на перспективы сохранения темпов прироста древостоя в целом. Корреляции между запасами ярусов не отмечено в значительной мере из-за того, что на 30% (от 15 до 40%) секций деревья верхнего яруса отсутствуют.

Диапазон изменчивости густоты деревьев I яруса (табл. 2) существенно выше, чем прочих таксационных показателей. Причиной повышенной вариабельности запаса яруса, составляющей в среднем 117%, являются доминирующие деревья. Деревья подчиненного II яруса распределены по площади гораздо более равномерно; при средней

Таблица 2. Средние величины ($M \pm m$) густоты и запаса древостоя по ярусам на пробных площадях в ельнике черничном через 40 лет после рубки высокой интенсивности

Пробная площадь	Число деревьев, шт. га ⁻¹						Общий запас, м ³ га ⁻¹	
	I ярус		II ярус		III ярус		I ярус	II ярус
	всего	старые	всего	старые	всего	старые	всего	всего
ПП 1	128 ± 16	51 ± 9	11 ± 4	1229 ± 64	172 ± 20	500 ± 41	138 ± 18	166 ± 9
ПП 2	109 ± 14	38 ± 8	5 ± 2	1235 ± 82	398 ± 30	428 ± 39	101 ± 15	168 ± 11
ПП 4	200 ± 17	73 ± 12	3 ± 2	1353 ± 68	167 ± 22	255 ± 25	205 ± 19	133 ± 12

густоте 1270 экз га⁻¹ (табл. 2) коэффициент вариации числа стволов перечетного размера составляет 40%, а запаса – 55%.

Распределение по диаметру деревьев ели и березы перечетного размера до рубки и через 40 лет после нее характеризуется ярко выраженной левой асимметрией. Доля числа стволов экспоненциально убывает ($R^2 = 0.86–0.88$) с 45–50% в ступени 8 см до долей процента в ступенях 36–40 см. Для осины характерна бимодальность распределения по диаметру с максимумами в области 12 и 32 см, особенно проявившаяся после рубки.

Породный состав древостоя варьирует в пространстве по тем же причинам, что и запас. Для сохранения функциональности прибрежных лесов, назначением которых является перевод поверхностного стока во внутриводный (Побединский, 2013), важно участие ели в составе. В обследованном насаждении не отмечено преимущественной выборки ели и ухудшения состава древостоя (табл. 1). Более того, непосредственно после рубки доля ели была в среднем на одну единицу состава больше, чем в конце периода наблюдений. Секции с долей участия ели более 4 единиц занимают 60–70% площади делянки. Степень вариабельности доли ели в формуле состава насаждения, составляющая 43% на ПП 1 и ПП 2, свидетельствует о равномерности ее размещения. Доминирование секций с чистым еловым древостоем и, соответственно, наименьшая выравненность состава отмечены на ПП 2. Наиболее равномерна доля участия ели в варианте с наименьшей интенсивностью рубки (ПП 4), для которой значения индексов Симпсона и Пилю равны 0.116 и 0.543 соответственно.

В результате интенсивного разрастания крон осины после рубки восстановление ее запасашло более быстрыми темпами, и доля ели пополнялась преимущественно за счет деревьев второго яруса и крупного подроста. В результате участие ели на секциях с наибольшими запасами существенно ниже, что характеризуется коэффициентом корреляции от –0.30 до –0.58.

Полученные оценки вариабельности запаса и состава древостоя и их динамики свидетельствуют о необходимости вмешательства в процесс

дальнейшего развития насаждения, чтобы снизить вероятность ветровала в будущем.

Возрастная структура древостоя, сформировавшегося после рубки, оценивалась в ходе перечета визуально с разделением на категории “старые” и “молодые” (табл. 2) с учетом размеров дерева, строения коры и кроны. Более детальную информацию получали при подсчете годичных слоев на кернах, при отборе которых также фиксировали диаметр и внешние признаки возраста деревьев (Дыренков, 1984; Волков, 2003).

По результатам сопоставления возрастов и диаметров 100 учетных деревьев ели с данными перечета по ступеням толщины и возрастным категориям можно констатировать экспоненциальное уменьшение доли деревьев ели перечетного размера от 66 до 1% в интервале возрастов от 40 до 200 лет. Таким образом, наибольшая доля общего запаса ели (32%) приходится на деревья возрастом 60–100 лет. Предыдущее и последующее 40-летние поколения, а также деревья старше 140 лет составляют по 23% запаса ели. Для деревьев березы и осины основного полога преобладающим является возрастной диапазон 80–100 лет, а также присутствует до 20% экземпляров в возрасте до 200 лет.

По представленности разных поколений ели обследованный древостой может быть классифицирован как относительно разновозрастный (Дыренков, 1984; Волков, 2003), что является одним из признаков биологически ценных лесов (Выявление..., 2009). Устойчивости к интенсивному разреживанию 1982 г. способствовали рубки, проведенные в прошлом и сформировавшие ступенчато-сомкнутый полог насаждения, в результате чего создались предпосылки для продолжения выборочного хозяйства (Алексеев, Молчанов, 1954; Синькевич, 1980). Вероятный проигрыш в хозяйственной продуктивности (Валеев, 1989) компенсируется в защитных лесах сохранением их экологической функциональности.

Динамика прироста – обязательный элемент содеряжательной лесоводственной оценки накопленного за 40 лет после рубки древесного запаса. Основную роль в экологической функциональности

насаждения в данном случае играет ель, динамика радиального прироста которой показана на рис. 3.

Деревья, представляющие два основных по доле запаса поколения и имевшие на момент обследования возраст в среднем 70 и 150 лет, сходно реагировали на рубку 1982 г. увеличением прироста в 2–4 раза; реакция старшего поколения была закономерно слабее.

Увеличение прироста деревьев обоих поколений непосредственно около технологического коридора существенно ниже, чем на удалении 5 м от него. Это различие хотя и сгладилось через несколько лет после рубки, но продолжало проявляться на протяжении, по крайней мере, 20 лет.

В глубине межкоридорных пространств реакция была существенно слабее и проявлялась на протяжении до 20 лет, а у старших поколений – не более 10 лет. С учетом численности деревьев разных поколений и их пространственного размещения можно оценить длительность периода активного увеличения радиального прироста вследствие рубки в 25 лет. По прошествии этого срока возможен очередной прием коммерчески окупаемой рубки, направленной на поддержание защитных свойств насаждения.

Подрост является необходимым условием поддержания устойчивости и функциональности лесных насаждений (Стороженко, 2022) и их восстановления после экзогенных нарушений. До проведения постепенной рубки в 1982 г. численность преимущественно среднего и крупного подроста составляла 1.1 тыс. шт. га⁻¹ (табл. 1). В качестве восстановительного резерва это количество было явно недостаточным.

По прошествии 40 лет после рубки общая численность подроста возросла в 3–4 раза, причем средняя густота оказалась прямо пропорциональна интенсивности рубки. В размерной структуре возобновления увеличилась до 40–50% доля мелкого подроста. Его преобладание после интенсивных

выборочных рубок в ельниках отмечалось лесоводами и ранее (Алексеев, Молчанов, 1954; Латышев и др., 2010). С учетом общепринятых поправочных коэффициентов на размер подроста его общая численность в переводе на крупный за 40 лет достигла 2.2–2.8 тыс. шт. га⁻¹.

Пространственная вариабельность общей численности елового подроста при достаточной разреженности полога материнского древостоя (ПП 1, ПП 2) составляет 52% и определяется преимущественно групповым размещением мелких экземпляров ($V = 88\%$), приуроченных к местам техногенных повреждений лесной подстилки и старым ветровальным комплексам. Неравномерность численности среднего и крупного подроста характеризуется коэффициентом вариации 56–60%. В варианте наименьшей интенсивности рубки (ПП 4) вариабельность густоты подроста выше на 20% для всех категорий крупности.

Возрастная структура подроста определяется давностью последней рубки и наличием последовавших за нею семенных годов. Анализ модельных экземпляров подроста показал, что в интервале высот 0.3–0.8 м возраст ели меняется от 15 до 30 лет, после чего до высоты 4 м не превышает 35 лет. Эта закономерность аппроксимируется уравнением гиперболы с коэффициентом корреляции $R = 0.88$. Встречающиеся в пасеках экземпляры старше этого возраста составляют 10% от общего количества и имеют дорубочный период угнетения около 10 лет. Высота таких елей может составлять от 0.8 до 2.5 м. При этом возраст на момент начала резкого увеличения прироста (год рубки), составлявший от 7 до 20 лет, не коррелирует с высотой, достигнутой к концу периода наблюдений. Возраст подроста, расположенного непосредственно в технологических коридорах, имеет такой же диапазон изменчивости и вид связи с высотой, как и во всей совокупности данных. Возраст появлявшихся позже более молодых экземпляров линейно связан с их высотой.

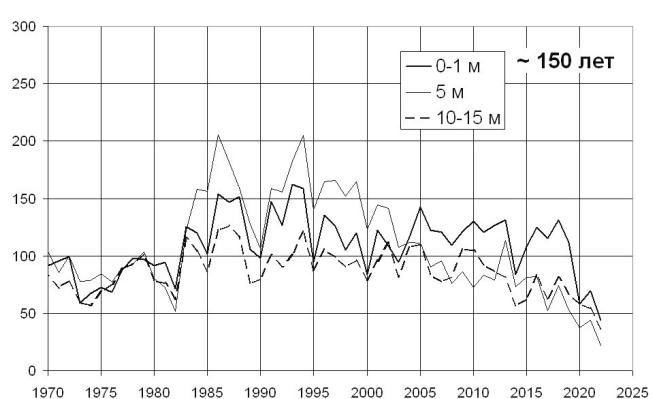
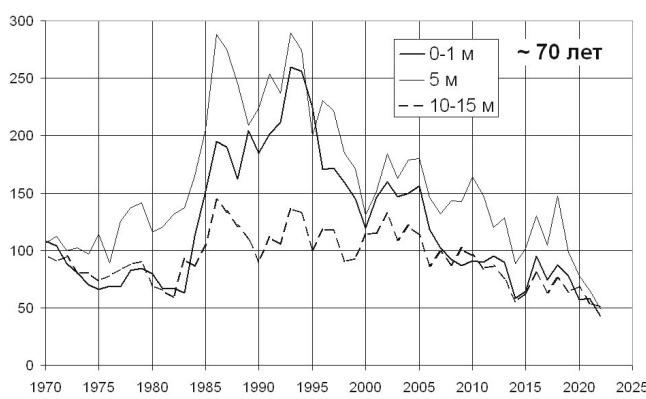


Рис. 3. Динамика ширины годичных колец (мм·10⁻²) двух поколений деревьев ели среднего возраста 70 и 150 лет, находящихся на разном расстоянии (0–1 м, 5 м и 10–15 м) от технологических коридоров.

Наличие предполагаемых зависимостей численности елового подроста от таксационных показателей материнского древостоя исследовано средствами корреляционного анализа на уровне секций 10×10 м для каждой категории крупности подроста. В качестве факторов влияния рассмотрены общий запас, густота I и II ярусов, а также доли участия ели, березы и осины в составе верхнего яруса. Слабо, но достоверно падает численность мелкого подроста с увеличением общего запаса древостоя ($R = 0.25-0.30$). Схожим образом зависит крупный подрост от густоты II яруса. Влияние конкретных пород при наибольшей интенсивности рубки (ПП 2 и ПП 4) выявить не удалось, а на ПП 4 отмечено достоверное положительное влияние ($R = 0.47$) полога березы в основном на мелкий подрост.

Живой напочвенный покров (ЖНП) является индикатором уровня и разнообразия условий произрастания и одновременно фактором, ограничивающим появление и развитие всходов древесных пород. Его общая характеристика на объекте исследования приведена в табл. 3. Всего в ЖНП обследованных насаждений зарегистрировано 24 вида сосудистых растений и 7 видов моховообразных. В эпифитном ярусе отмечено значительное распространение охраняемого лишайника (Красная книга..., 2020; Приказ..., 2023) лобарии легочной (*Lobaria pulmonaria* (L.) Hoffm.), представленной в основном на осинах, но встречающейся также на подросте ели.

Число видов травяно-кустарникового яруса (ТКЯ) на участках с разной интенсивностью рубки варьирует от 16 до 20, а видовой состав характерен для коренных типов леса еловой формации (Казимиров, 1971; Крышень и др., 2021). В травяно-кустарниковом ярусе, вне зависимости от степени интенсивности рубки древостоев, преобладают случаи общего проективного покрытия (ОПП) от 10 до 30%; повышенная встречаемость более высоких значений ОПП отмечена только на ПП 2.

Незначительные в целом по делянке значения проективного покрытия затрудняют сравнение вариантов, в связи с чем целесообразно использовать также показатель встречаемости видов на учетных площадках. Это позволяет получить контрастно различающиеся косвенные оценки условий освещенности, которая имела место ранее, и более обоснованно судить об эффективном плодородии.

Абсолютным доминантом ТКЯ на всех пробных площадях является черника (*Vaccinium myrtillus* L.), доля других видов не превышает 2–3%. Проективное покрытие черники максимально в варианте с самой высокой интенсивностью рубки (ПП 1), где оно может достигать 40% и более. В остальных случаях абсолютно преобладают значения 10–20%. При наименьшей интенсивности

рубки (ПП 4) более выражено присутствие характерных для ельника черничного теневыносливых видов – кислицы (*Oxalis acetosella* L.) и майника двулистного (*Maianthemum bifolium*). При этом высокая встречаемость кислицы, майника, некоторых папоротников (щитовник картузианский (*Dryopteris carthusiana*), голокучник обыкновенный (*Gymnocarpium dryopteris*)) и присутствие неморальных видов (чина весенняя (*Lathyrus vernus*), любка двулистная (*Platanthera bifolia*)) указывают также на повышенное плодородие почвы, что подтверждается и существенно большим древесным запасом. И наоборот, меньшая встречаемость (или отсутствие) этих видов на ПП 1 и ПП 2 в совокупности с достоверно большим проективным покрытием мохово-лишайникового яруса (МЛЯ) говорит о пониженном плодородии.

Высокая встречаемость на ПП 4 рыхлодерновинных злаков (овсик извилистый (*Avenella flexuosa*), вейник тростниковый (*Calamagrostis arundinacea*)), ползучего кустарничка линнеи северной (*Linnaea borealis* L.), длинно- и псевдокорневищных папоротников свидетельствует о том, что после рубки древостоя в недавнем прошлом они имели высокое проективное покрытие, которое стало причиной наименьшего количества елового подроста.

В мохово-лишайниковом ярусе зарегистрировано 7 видов мхов, типичных для еловых древостоев среднетаежной подзоны. Доминантами как по проективному покрытию, так и по встречаемости являются гилокомиум блестящий (*Hylocomium splendens*), плевроциум Шребера (*Pleurozium schreberi*), ритидиадельфус трехгранный (*Rhytidadelphus triquetrus*). Наибольшее среднее покрытие мохового яруса отмечено в варианте с самым низким древесным запасом (ПП 2). В отличие от травяно-кустарникового яруса моховое покрытие может достигать 90%, но абсолютно доминирует его значения в 5–20%.

В целом по объекту исследования коэффициент вариации общего проективного покрытия ЖНП невелик и составляет 20–30%, что существенно меньше его значений для древостоя и подроста. Сравнение уровня разнообразия ТКЯ по индексу Шеннона (H') показало идентичность ПП 1 и ПП 2 ($H' = 0.56-0.60$) и существенное отличие ПП 4 ($H' = 1.08$). В то же время по разнообразию мохового покрова последняя идентична с ПП 1 ($H' = 0.30-0.33$), но обе они существенно отстают от ПП 2 ($H' = 0.59$). По коэффициенту Жаккара флоры ЖНП участков с наиболее высокой интенсивностью рубки (ПП 1 и ПП 2) также сходны между собой ($K_j = 0.80$) и менее близки с флорой варианта минимальной интенсивности рубки (ПП 4) – $K_j = 0.60$ (ПП 1 и ПП 4), $K_j = 0.68$ (ПП 2 и ПП 4). Близкие значения флористического сходства с контролем по Жаккару (0.56–0.72)

Таблица 3. Среднее проективное покрытие и встречаемость видов живого напочвенного покрова на пробных площадях в ельнике черничном через 40 лет после рубки

Ярусы и виды	Проективное покрытие, %			Встречаемость, %		
	ПП 1	ПП 2	ПП 4	ПП 1	ПП 2	ПП 4
Травяно-кустарничковый ярус:	18.0	13.9	16.6	—	—	—
<i>Athyrium filix-femina</i> (L.) Roth	< 1	—	—	4	—	—
<i>Avenella flexuosa</i> (L.) Drej.	< 1	< 1	< 1	4	36	15
<i>Calamagrostis arundinacea</i> (L.) Roth	< 1	< 1	< 1	14	21	75
<i>Carex globularis</i> L.	< 1	< 1	< 1	11	4	5
<i>Dryopteris carthusiana</i> (Vill.)H.P.Fuchs	< 1	< 1	< 1	4	11	15
<i>Equisetum sylvaticum</i> L.	< 1	< 1	—	18	4	—
<i>Fragaria vesca</i> L.	< 1	—	—	4	—	—
<i>Gymnocarpium dryopteris</i> (L.) Newm.	< 1	—	< 1	43	—	50
<i>Goodyera repens</i> (L.) R. Br.	< 1	< 1	—	4	7	—
<i>Lathyrus vernus</i> (L.) Bernh.	—	—	< 1	—	—	5
<i>Linnaea borealis</i> L.	< 1	< 1	< 1	39	43	70
<i>Luzula pilosa</i> (L.) Willd.	—	< 1	< 1	—	18	25
<i>Maianthemum bifolium</i> (L.) F. W. Schmidt	< 1	< 1	2.7	64	18	90
<i>Melampyrum pratense</i> L.	< 1	< 1	< 1	18	50	70
<i>Orthilia secunda</i> (L.) House	< 1	< 1	< 1	39	61	25
<i>Oxalis acetosella</i> L.	< 1	< 1	3.2	50	14	90
<i>Platanthera bifolia</i> (L.) Rich.	—	—	< 1	—	—	5
<i>Pyrola rotundifolia</i> L.	—	—	< 1	—	—	5
<i>Rubus arcticus</i> L.	—	—	< 1	—	—	10
<i>Rubus saxatilis</i> L.	< 1	< 1	< 1	14	7	20
<i>Solidago virgaurea</i> L.	< 1	—	< 1	25	—	35
<i>Trifolium europaea</i> L.	< 1	< 1	< 1	32	29	70
<i>Vaccinium myrtillus</i> L.	16.5	12.5	10.3	96	96	90
<i>Vaccinium vitis-idaea</i> L.	1.3	2.2	1.9	86	93	90
Всего видов в ярусе	19	16	20	—	—	—
Мохово-лишайниковый ярус	20.0	40.0	18.6	—	—	—
<i>Dicranum scoparium</i> Hedw.	< 1	< 1	< 1	21	32	25
<i>Hylocomium splendens</i> (Hedw.) Shimp.	3.7	14.9	3.5	75	96	80
<i>Plagiomnium cuspidatum</i> (Hedw.) T.J.Kop.	—	—	< 1	—	—	5
<i>Pleurozium schreberi</i> (Brid.) Mitt.	1.0	13.8	4.3	43	89	45
<i>Polytrichum commune</i> Hedw.	—	1.0	< 1	—	18	5
<i>Rhytidiodelphus triquetrus</i> (Hedw.) Warnst.	15.9	5.6	5.8	86	50	75
<i>Sphagnum girgensohnii</i> Russow	< 1	5.2	< 1	4	18	10
Всего видов в ярусе	5	6	7	—	—	—
Общее проективное покрытие, %	31.0	50.0	28.5	—	—	—

отмечены в опыте с полным и частичным удалением древостоя в среднетаежном ельнике травяном (Рай и др., 2012).

Технологическая сеть является существенным фактором, влияющим на разнообразие состава и структуры лесных фитоценозов, подвергающихся хозяйственному воздействию. Технологические коридоры (шириной до 5 м), служащие ее основой, могут занимать до 25% общей площади, на которых существенно трансформируется весь комплекс условий лесной среды. На объекте исследования в условиях ручной валки и трелевки по сильно каменистой почве эти изменения ограничиваются преимущественно увеличением освещенности и поступления осадков.

Общий запас древостоя на секциях с технологическими коридорами закономерно и достоверно меньше, чем в межкоридорном пространстве (в пасеках) на 25–40%, при этом доля ели больше на 1-2 единицы состава. На всех пробных площадях в зоне коридоров отмечено достоверное снижение численности деревьев I яруса в 2 раза по сравнению с пасеками, а густота II яруса одинакова или различается незначительно. Общая густота подроста ели в 1.5–2 раза достоверно выше в зоне технологических коридоров благодаря повышенной освещенности. Это соответствует данным о влиянии трелевочных волоков на пространственное распределение подроста в разновозрастном ельнике Архангельской области (Торбик, Феклистов, 2014).

Видовое разнообразие живого напочвенного покрова на пробных площадях с максимальной интенсивностью рубки (ПП 1, ПП 2) как в пасеках, так и в технологических коридорах практически идентично – 21–22 вида сосудистых растений, 5–6 видов мхов (табл. 4). Средние значения ОПП на учетных площадках, расположенных в коридорах или в непосредственной близости от них, достоверно выше в 1.5 раза, чем в межкоридорных пространствах (табл. 4) в основном за счет черники и брусники (*Vaccinium vitis-idaea* L.), а также некоторых других видов (щитовник картузианский (*Dryopteris carthusiana*), земляника лесная (*Fragaria vesca* L.), ортилия однобокая (*Orthilia secunda*)).

Незначительное увеличение проективного покрытия злаковпренебрежимо мало, но сравнение их встречаемости в технологических коридорах и в пасеках свидетельствует, что в первые годы после рубки они могли образовывать сплошной покров, который впоследствии элиминировался из-за разрастания поросли лиственных пород. Такие виды, как седмичник (*Trientalis europaea* L.), ожика волосистая (*Luzula pilosa* (L.) Willd.), папоротники и хвощ лесной (*Equisetum sylvaticum* L.), в пределах объекта исследования участвуют в формировании проективного покрытия ТКЯ незначительно, но их встречаемость в технологических коридорах, как правило, в 2–3 раза выше, чем в пасеках.

Общие для объекта исследования изменения в моховом ярусе в технологических коридорах связаны с незначительным увеличением проективного покрытия **ритидиадельфуса трехгранных**, кукушкина льна (*Polytrichum commine* Hedw.) и сфагнума Гиргензона (*Sphagnum girgensohni* Russ.). Места разрастания последнего приурочены к понижениям нанорельефа, но не встречаются повсеместно, так как колейность в коридорах в пределах объекта отсутствует. Уровень разнообразия ТКЯ, оцениваемый по индексу Шеннона, не имеет существенных отличий в технологических коридорах и пасеках, а для мохового яруса отмечено его увеличение в технологических коридорах в среднем на 20%.

Для выявления предполагаемого влияния древесной растительности на видовой состав и развитие живого напочвенного покрова выполнен корреляционный анализ связей общих параметров древостоя с некоторыми характеристиками ЖНП (табл. 5).

Влияние общего запаса древесного яруса на ОПП преимущественно отрицательно. Проективное покрытие мхов с ростом древесного запаса во всех случаях сокращается, а травяно-кустарничковый ярус реагирует слабо положительно. Аналогичным, но менее достоверным оказалось влияние числа деревьев I яруса, которые в значительной мере определяют его запас.

Влияние доли участия ели в составе древостоя однозначно положительно сказывается на ОПП, что обеспечивается в основном через моховой ярус. Присутствие берескета в составе древостоя отрицательно сказывается на моховом покрове и, соответственно, – на общем проективном покрытии; ее влияние на травяно-кустарничковый ярус в целом неоднозначно. Наличие осины в составе древесного полога оказывает безусловно отрицательное влияние на общее проективное покрытие и развитие основных ярусов ЖНП. Наличие второго яруса, как правило, образуемого елью, также в большинстве случаев оказалось отрицательным фактором развития ЖНП; сходным было также влияние общей густоты елового подроста.

В отношении проективного покрытия отдельных, наиболее часто встречающихся, видов однозначных результатов получить не удалось в связи с различиями эдафических условий на пробных площадях. Среднее число видов оказалось положительно связано с долей ели в составе насаждения и отрицательно – с долей осины.

Исследование видового разнообразия и пространственной структуры живого напочвенного покрова не выявило устойчивых тенденций распространения видов растений, способных препятствовать возобновлению целевых пород или ухудшать условия для перевода поверхностного стока во внутриводный.

Таблица 4. Влияние технологических коридоров на развитие живого напочвенного покрова на участке постепенной рубки 40-летней давности в ельнике черничном

Ярусы и виды	Проективное покрытие, %				Встречаемость, %			
	ПП 1		ПП 2		ПП 1		ПП 2	
	пасеки	коридоры	пасеки	коридоры	пасеки	коридоры	пасеки	коридоры
Травяно-кустарничковый	17.5	27.2*	11.5	30.8*	—	—	—	—
<i>Athyrium filix-femina</i>	< 1	—	—	—	4	—	—	—
<i>Avenella flexuosa</i>	—	< 1	< 1	1.8	—	13	21	70
<i>Calamagrostis arundinacea</i>	< 1	< 1	< 1	< 1	13	31	26	10
<i>Carex globularis</i>	< 1	—	< 1	—	13	—	5	—
<i>Dryopteris carthusiana</i>	—	2.2	< 1	< 1	—	31	11	5
<i>Equisetum sylvaticum</i>	< 1	< 1	< 1	—	17	6	5	—
<i>Fragaria vesca</i>	—	< 1	—	—	—	6	—	—
<i>Gymnocarpium dryopteris</i>	< 1	< 1	—	< 1	46	25	—	5
<i>Goodyera repens</i>	< 1	—	< 1	< 1	4	—	5	10
<i>Linnaea borealis</i>	< 1	< 1	< 1	< 1	46	19	47	25
<i>Luzula pilosa</i>	—	—	< 1	< 1	—	—	5	40
<i>Maianthemum bifolium</i>	< 1	1.0	< 1	< 1	67	63	21	15
<i>Melampyrum pratense</i>	< 1	< 1	< 1	< 1	17	6	47	35
<i>Orthilia secunda</i>	< 1	1.6	< 1	1.9	42	44	58	55
<i>Oxalis acetosella</i>	< 1	< 1	< 1	< 1	50	44	16	10
<i>Rubus saxatilis</i>	< 1	< 1	< 1	—	17	19	11	—
<i>Solidago virgaurea</i>	< 1	1.9	—	< 1	25	44	—	5
<i>Trientalis europaea</i>	< 1	< 1	< 1	< 1	25	38	5	45
<i>Vaccinium myrtillus</i>	16.3	18.3	10.5	21.2*	96	88	100	90
<i>Vaccinium vitis-idaea</i>	1.1	1.5	1.9	6.0*	83	69	95	80
Мохово-лишайниковый	19.4	19.4	33.5	48.1	—	—	—	—
<i>Dicranum scoparium</i>	< 1	< 1	< 1	< 1	17	19	37	15
<i>Hylocomium splendens</i>	3.6	3.4	14.3	16.0	71	50	95	50
<i>Pleurozium schreberi</i>	1.1	2.0	15.2	8.0	38	38	89	65
<i>Polytrichum commune</i>	—	< 1	< 1	4.3	—	13	5	45
<i>Rhytidadelphus triquetrus</i>	15.3	18.1	6.3	13.1	88	69	47	65
<i>Sphagnum girgensohnii</i>	< 1	< 1	< 1	14.2	4	6	5	30
ОПП	30.5	44.1*	42.1	74.7*	—	—	—	—

Примечание. * – различия между зонами коридоров и пасек достоверны.

Таблица 5. Корреляционные связи характеристик живого напочвенного покрова с параметрами древесной растительности ельника черничного через 40 лет после рубки (жирным шрифтом – значимо при $p < 0.0500$, курсивом – при $p < 0.1000$)

Элементы описания ЖНП	Общий запас	Доля участия пород			Число деревьев		Подрост
		ели	березы	осины	I яруса	II яруса	
Проективное покрытие, %:			ПП 1				
– общее	0.11	0.08	–0.39	–0.32	–0.10	0.13	–0.19
– ТКЯ	0.28	0.02	–0.12	–0.50	0.34	–0.04	–0.20
– моховой ярус	–0.06	0.23	–0.44	–0.17	–0.27	0.21	–0.15
<i>Vaccinium myrtillus</i>	0.41	–0.04	–0.05	–0.56	0.41	0.01	–0.32
<i>Vaccinium vitis-idaea</i>	0.01	0.16	–0.05	0.13	0.05	–0.03	0.01
<i>Rhytidadelphus triquetrus</i>	0.10	0.36	–0.44	–0.28	–0.03	0.25	–0.08
<i>Hylocomium splendens</i>	–0.30	–0.14	–0.01	0.20	–0.42	–0.05	–0.08
Число видов трав	0.03	0.33	0.05	–0.16	0.13	0.16	–0.03
Общее число видов	0.11	0.38	0.05	–0.19	0.16	0.18	0.07
Проективное покрытие, %:			ПП 2				
– общее	–0.58	0.69	–0.24	–0.66	–0.44	–0.38	0.24
– ТКЯ	0.14	0.04	0.33	–0.21	0.02	0.12	0.00
– моховой ярус	–0.66	0.72	–0.34	–0.66	–0.50	–0.42	0.27
<i>Vaccinium myrtillus</i>	0.17	–0.03	0.35	–0.13	0.03	0.20	0.05
<i>Vaccinium vitis-idaea</i>	–0.10	0.11	0.07	–0.07	–0.25	0.17	0.33
<i>Pleurozium schreberi</i>	–0.36	0.43	–0.33	–0.35	–0.20	–0.27	0.16
<i>Hylocomium splendens</i>	–0.23	0.30	–0.16	–0.26	–0.21	–0.12	0.28
Число видов трав	–0.34	0.45	–0.35	–0.43	–0.14	–0.14	–0.13
Общее число видов	–0.31	0.39	–0.21	–0.41	–0.15	–0.06	–0.10
Проективное покрытие, %			ПП 4				
– общее	–0.33	0.70	–0.18	–0.67	–0.03	–0.46	–0.46
– ТКЯ	–0.03	0.39	–0.13	–0.36	0.11	–0.31	–0.31
– моховой ярус	–0.42	0.69	–0.07	–0.70	–0.14	–0.41	–0.41
<i>Vaccinium myrtillus</i>	–0.19	0.53	–0.04	–0.55	–0.01	–0.46	–0.46
<i>Oxalis acetosella</i>	0.16	–0.25	0.17	0.19	0.10	0.14	0.14
<i>Maianthemum bifolium</i>	0.09	–0.33	0.15	0.29	0.02	0.06	0.06
Число видов трав	0.09	–0.19	0.16	0.15	–0.09	0.24	0.24
Общее число видов	–0.04	0.01	0.09	–0.04	–0.04	0.07	0.07

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Равномерно-постепенная рубка с выборкой до 70% запаса в относительно разновозрастном смешанном древостое ельника черничного не приводит к необратимой трансформации структуры и устойчивости насаждения. Выполненное комплексное исследование основных слагающих элементов лесного фитоценоза, сформировавшегося за 40 лет после разреживания высокой интенсивности, не выявило признаков снижения защитных свойств.

Восстановление исходного запаса после интенсивного разреживания в спелом ельнике III–IV класса бонитета завершается через 25–30 лет, после чего для поддержания экологической функциональности возможно и необходимо проведение очередного приема рубки с выборкой преимущественно крупномерных деревьев.

По параметрам возрастной и пространственной структуры древостоя, наличию крупных древесных остатков, специфике соответствующего коренным ельникам живого напочвенного покрова обследованное насаждение соответствует критериям биологически ценных лесов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Алексеев С.В., Молчанов А.А.* Выборочные рубки в лесах Севера. М., 1954. 148 с.
- Амосова И.Б., Ильинцев А.С.* Эколого-биологический анализ живого напочвенного покрова в ельниках черничных, пройденных двухприемными рубками ухода // Растительный покров Европейского Севера и Арктики: XIV Перфильевские научные чтения, посвященные 140-летию со дня рождения И.А. Перфильева: мат-лы Межрегиональной научной конференции. Архангельск, 2022. С. 180–188.
- Ананьев В.А., Синькевич С.М.* Рекомендации по проведению рубок в защитных лесах Карелии. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2015. 34 с.
- Беляева Н.В., Грязькин А.В., Ковалев Н.В., Фетисова А.А., Кази И.А.* Сравнительная оценка структуры живого напочвенного покрова после рубок ухода и комплексного ухода залесом в сосняках брусничных // Лесной вестник. 2012. № 6. С. 193–198.
- Бурова Н.В., Торбик Д.Н., Феклистов П.А.* Изменение флористического разнообразия после выборочных рубок в ельниках черничных // Лесной вестник. 2010. № 5. С. 49–52.
- Валеев В.Н.* Выборочные и сплошнолесосечные рубки в Карелии (сравнительная продуктивность хозяйствства). Петрозаводск: Карелия, 1989. 102 с.
- Волков А.Д.* Биологические основы эксплуатации ельников северо-запада таежной зоны России. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2003. 250 с.
- Волков А.Д., Белоцерковская Т.В., Курхинен Ю.П. и др.* Фактор биоразнообразия и комплексная продуктивность лесных экосистем северо-запада таежной зоны европейской части России. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2002. 223 с.
- Выявление и обследование биологически ценных лесов на Северо-Западе европейской части России. Т. 2. Пособие по определению видов, используемых при обследовании на уровне видов / Под ред. Л. Андерсона, Н.М. Алексеевой, Е.С. Кузнецовой. СПб., 2009. 258 с.
- Декатов Н.Н., Минаев В.Н., Савицкий С.С.* Отпад после второго приема промышленно-выборочных рубок в ельниках // Лесоустройство, таксация, аэрометоды: сборник научных трудов. Л.: ЛенНИИЛХ, 1985. С. 49–55.
- Доклад об особенностях климата на территории Российской Федерации за 2017 год. М.: Росгидромет, 2018. 69 с.
- Дробышев Ю.И., Коротков С.А., Румянцев Д.Е.* Устойчивость древостоев: структурные аспекты // Лесохозяйственная информация. 2003. № 7. С. 2–11.
- Дыренков С.А.* Структура и динамика таежных ельников. Л., 1984. 174 с.
- Желдак В.И., Дорощенкова Э.В., Сычева А.Н., Липкина Т.В., Живаев Е.Е.* Технологическая реализация лесоводственных мероприятий, обеспечивающих эффективное выполнение лесами функций депонирования и консервации углерода // Лесохозяйственная информация. 2023. № 3. С. 5–25. <https://doi.org/10.24419/LHI.2304-3083.2023.3.01>
- Казимиров Н.И.* Ельники Карелии. Л.: Наука, 1971. 139 с.
- Концепция интенсивного использования и воспроизводства лесов. СПб.: СПбНИИЛХ, 2015. 16 с.
- Красная книга Республики Карелия. Белгород: Константа, 2020. 448 с.
- Крышень А.М., Синькевич С.М., Шорохова Е.В.* Variable Retention Forestry – лесоводство, ориентированное на непрерывное в пространстве и во времени сохранение лесной среды // Растительные ресурсы. 2020. Т. 56. № 3. С. 1–7.
- Крышень А.М., Геникова Н.В., Преснухин Ю.В.* Ряды восстановления ельников черничных Восточной Фенноскандии // Ботанический журнал. 2021. Т. 106. № 2. С. 107–125.
- Латышев В.А., Сабанин А.А., Минаев В.Н., Орлов М.М.* Рекомендации по ведению выборочной формы хозяйства в разновозрастных древостоях ели в средней тайге // Тр. СПбНИИЛХ. Вып. 2. СПб., 2010. С. 54–64.
- Лесной кодекс Российской Федерации от 04.12.2006 № 200-ФЗ (ред. от 02.07.2021 с изм. и доп., вступ. в силу с 01.09.2021) [Электронный ресурс]. URL: www.consultant.ru (дата обращения: 25.09.2021).
- Лесной план Республики Карелия на 2019–2028 годы. Петрозаводск, 2018. 236 с.

- Лукина Н.В., Исаев А.С., Крышень А.М. и др. Приоритетные направления развития лесной науки как основы устойчивого управления лесами // Лесоведение. 2015. № 4. С. 243–254.
- Методы изучения лесных сообществ: монография / Е.Н. Андреева, И.Ю. Баккал, В.В. Горшков и [др.]; Рос. акад. наук. Ботан. ин-т им. В.Л. Комарова. СПб.: НИИХХимии СПбГУ, 2002. 240 с.
- Мэгарран Э. Экологическое разнообразие и его изменение. М.: Мир, 1992. 179 с.
- Побединский А.В. Водоохранная и почвозащитная роль лесов. Пушкино: ВНИИЛМ, 2013. 208 с.
- Рай Е.А., Торхов С.В., Бурова Н.В. и др. Ключевые биотопы лесных экосистем Архангельской области и рекомендации по их охране. Архангельск, 2008. 30 с.
- Рай Е.А., Бурова Н.В., Сластников С.И. Влияние оставления деревьев при сплошной рубке на флористическое разнообразие // Вестник САФУ. Естественные науки. 2012. № 3. С. 54–58.
- Песенко Ю.А. Принципы и методы количественного анализа в фаунистических исследованиях. М.: Наука, 1982. 288 с.
- Приказ Минприроды РФ от 23.05.2023 № 320 “Об утверждении перечня объектов растительного мира, занесенных в Красную книгу Российской Федерации” (зарегистрировано в Минюсте РФ 21.07.2023 № 74362). 2023. 26 с.
- Синькевич М.П. Обобщение опыта несплошных рубок в лесах Карельской АССР // Вопросы практического лесоводства в хвойных лесах Северо-Запада РСФСР. Петрозаводск, 1980. С. 23–49.
- Синькевич С.М., Ананьев В.А. Лесной кодекс о лесопользовании в защитных лесах // Вопросы лесной науки. 2020. Т. 3. № 3. С. 1–5.
<https://doi.org/10.31509/2658-607x-2020-3-3-1-5>
- Стороженко В.Г. Устойчивые лесные сообщества (теория и эксперимент). М.: Гриф и К, 2007. 192 с.
- Стороженко В.Г. Динамика древесного отпада в коренных ельниках европейской тайги // Хвойные бореальной зоны. 2012. Т. 30. № 3–4. С. 205–210.
- Стороженко В.Г. Эволюционные принципы устойчивости лесных сообществ // Сибирский лесной журнал. 2020. № 4. С. 87–96.
- Стороженко В.Г. Особенности горизонтальной структуры лесов еловых формаций европейской тайги России // Известия вузов. Лесной журнал. 2022. № 2. С. 39–49.
<https://doi.org/10.37482/0536-1036-2022-2-39-49>
- Торбик Д.Н., Феклистов П.А. Зависимость количества благонадежного хвойного подроста от экологических факторов на площадях рубок ухода // Экологические проблемы Арктики и северных территорий. Межвузовский сборник научных трудов. Архангельск: САФУ, 2014. Вып. 17. С. 130–133.
- Федорчук В.Н., Кузнецова М.Л., Шорохов А.А. Оценка экосистемного разнообразия лесов // Тр. СПбНИИЛХ. СПб., 2009. Вып. 1. С. 29–40.
- Федорчук В.Н., Кузнецова М.Л., Шорохова Е.В., Шорохов А.А. Изменение структурных показателей высоковозрастных древостоев по материалам постоянных наблюдений // Тр. СПбНИИЛХ. СПб., 2010. Вып. 1. С. 42–49.
- Федорчук В.Н., Шорохов А.А., Шорохова Е.В., Кузнецова М.Л., Тетюхин С.В. Массивы коренных еловых лесов: структура, динамика, устойчивость. СПб.: Издво Политехн. ун-та, 2012. 140 с.
- Химич Ю.Р., Шорохова Е.В. Шкалы разложения крупных древесных остатков (КДО) и их использование в микологических исследованиях // Грибные сообщества лесных экосистем. Москва-Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2018. Т. 5. С. 136–140.
- Shorohova E.V., Sinkevich S.M., Kryshen A.M., Vanha-Majamaa I. Variable Retention Forestry in European boreal forests in Russia // Ecological Processes. 2019. V. 8. № 34. P. 1–11.
<https://doi.org/10.1186/s13717-019-0183-7>
- Gustafsson L., Baker S.C., Bauhus J. et al. Retention Forestry to Maintain Multifunctional Forests: A World Perspective // BioScience. 2012. V. 62. № 7. P. 633–645.

Structure of a Middle Taiga Vaccinium Spruce Forest after 40 Years since an Intensive Selective Cut in the Fish Spawning Protection Zone of Lake Onega

S. M. Sinkevich*, V. V. Timofeeva

Forest Institute of the Karelian Research Centre of the RAS,
 Pushkinskaya st. 11, Petrozavodsk, 185910 Russian Federation

*E-mail: sergei.sinkevich@krc.karelia.ru

The condition and structure of the stand formed over 40 years after high-intensity, even, gradual logging in the fish spawning protection zone of Lake Onega were studied. In the test plots laid out in 1982 before logging in a relatively uneven-aged mixed spruce forest of the vaccinium type of forest of III–IV quality class with a wood stock of about $220 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$, the proportion of spruce was 40%, and the density of medium and large spruce undergrowth was about 1 thousand trees ha^{-1} . As a result of logging, the

reserve decreased by 50–70%, and the proportion of spruce in it was 60–65%. By 2023, stepped-closed mixed stands with a predominance of spruce and a total reserve of 250–300 m³ ha⁻¹ were formed on the logging site. Half of the available stock is concentrated in the lower part of the canopy, under which there are more than 3 thousand trees ha⁻¹ of spruce undergrowth. The spatial variability of density, stock, species composition of the stand and natural regeneration in the context of ensuring the sustainability of the stand is studied. Data on the dynamics of increment, large woody debris, age structure of the stand and undergrowth are analysed. The role of the technological network in the formation of heterogeneity of the stock, increment, species composition and undergrowth was clarified. The species composition and projective cover of the living ground cover as an indicator and factor of the dynamics of the stand are studied. Statistical relationships between the structural elements of the phytocoenosis are revealed, contributing to the understanding of its development and stability. The correspondence of the stand formed after felling to the main criteria for identifying biologically valuable forests is shown. Based on the results of the analysis of the obtained data and literary sources, a conclusion was made about the prospects of continuing selective management in the interests of further growth and sustainability of the spruce forest and the performance of its protective functions.

Keywords: Norway spruce, uneven-aged forest stand, composition, spatial structure, undergrowth, living ground cover, biodiversity, protective forests, selective cuts.

REFERENCES

- Alekseev S.V., Molchanov A.A., *Vyborochnye rubki v lesakh Severa* (Selective cutting in the forests of the North), Moscow, 1954, 148 p.
- Amosova I.B., Il'intsev A.S., Ekologo-biologicheskii analiz zhivogo napochvennogo pokrova v el'nikakh chernichnykh, pridennnykh dvukhpiemnymi rubkami ukhoda (Ecological and biological analysis of living ground cover in blueberry spruce forests, carried out by two-stage thinning), *Rastitel'nyi pokrov Evropeiskogo Severa i Arktiki: XIV Perfil'evskie nauchnye chteniya, posvyashchennye 140-letiyu so dnya rozhdeniya I.A. Perfil'eva* (Vegetation cover of the European North and the Arctic: XIV Perfil'ev scientific readings dedicated to the 140th anniversary of the birth of I.A. Perfil'ev), Proc. Of the Interregional Scientific Conf., Arkhangelsk, 2022, pp. 180–188.
- Anan'ev V.A., Sin'kevich S.M., *Rekomendatsii po provedeniyu rubok v zashchitnykh lesakh Karelii* (Recommendations for logging in protective forests of Karelia), Petrozavodsk: KarNTs RAN, 2015, 34 p.
- Belyaeva N.V., Gryaz'kin A.V., Kovalev N.V., Fetisova A.A., Kazi I.A., Sravnitel'naya otsenka struktury zhivogo napochvennogo pokrova posle rubok ukhoda i kompleksnogo ukhoda za lesom v sosnyakakh brusnichnykh (Influence care forest cutting on development vegetation lower (on example Alsheevscogo of the forest area, Republic Bashkortostan)), *Lesnoi vestnik*, 2012, No. 6 (89), pp. 193–198.
- Burova N.V., Torbik D.N., Feklistov P.A., Izmenenie floristicheskogo raznoobraziya posle vyborochnykh rubok v el'nikakh chernichnykh (Change of a floristic diversity after selective fellings in fir groves bilberry), *Lesnoi vestnik*, 2010, No. 5, pp. 49–52.
- Dekatov N.N., Minaev V.N., Savitskii S.S., Otpad posle vtorogo priema promyshlennno-vyborochnykh rubok v el'nikakh (Waste after the second round of industrial-selective logging in spruce forests), In: *Lesoustroistvo, taksatsiya, aerometody* (Forest management, taxation, aerial methods), Collection of scientific papers, Leningrad: LenNIILKh, 1985, pp. 49–55.
- Doklad ob osobennostyakh klimata na territorii Rossiiskoi Federatsii za 2017 god* (Report on climate features in the Russian Federation for 2017), Moscow: Rosgidromet, 2018, 69 p.
- Drobyshev Yu.I., Korotkov S.A., Rumyantsev D.E., Ustoichivost' drevostoev: strukturnye aspekty (Stability of tree stands: structural aspects), *Lesokhozyaistvennaya informatsiya*, 2003, No. 7, pp. 2–11.
- Dyrenkov S.A., *Struktura i dinamika taezhnykh el'nikov* (Structure and dynamics of the boreal spruce forest), Leningrad: Nauka, 1984, 174 p.
- Fedorchuk V.N., Kuznetsova M.L., Shorokhov A.A., Otsenka ekosistemnogo raznoobraziya lesov (Assessment of forest ecosystem diversity), *Tr. SPbNIILKh*, 2009, Issue 1, pp. 29–40.
- Fedorchuk V.N., Kuznetsova M.L., Shorokhova E.V., Shorokhov A.A., Izmenenie strukturnykh pokazatelei vysokovozrastnykh drevostoev po materialam postoyannykh nablyudenii (Change in the structure of old-growth forest stands based on the permanent observations), *Tr. SPbNIILKh*, 2010, Issue 1 (21), pp. 42–49.
- Fedorchuk V.N., Shorokhov A.A., Shorokhova E.V., Kuznetsova M.L., Tetyukhin S.V., *Massivy korennyykh elovykh lesov: struktura, dinamika, ustoichivost'* (Intact spruce woodlands: Structure, dynamics, resilience), Saint-Petersburg: Izd-vo Politekhnicheskogo un-ta, 2012, 140 p.
- Fedorchuk V.N., Shorokhov A.A., Shorokhova E.V., Kuznetsova M.L., Tetyukhin S.V., *Massivy korennyykh elovykh lesov: struktura, dinamika, ustoichivost'* (Massifs of indigenous spruce forests: structure, dynamics, stability), Saint Petersburg: Izd-vo Politekhn. un-ta, 2012, 140 p.

- Gustafsson L., Baker S.C., Bauhus J. et al., Retention Forestry to Maintain Multifunctional Forests: A World Perspective, *BioScience*, 2012, Vol. 62, No. 7, pp. 633–645.
- Kazimirov N.I., *El'niki Karelii* (Karelian Spruce forests), Leningrad: Nauka, 1971, 139 p.
- Khimich Yu.R., Shorokhova E.V., Shkaly razlozheniya krupnykh drevesnykh ostatkov (KDO) i ikh ispol'zovanie v mikologicheskikh issledovaniyakh (Large woody debris (LWD) decomposition scales and their use in mycological studies), In: *Gribnye soobshchestva lesnykh ekosistem* (Fungal communities of forest ecosystems), Moscow-Petrozavodsk: KarNTs RAN, 2018, Vol. 5, pp. 136–140.
- Kontsepsiya intensivnogo ispol'zovaniya i vospriyvoda lesov* (The concept of intensive use and reproduction of forests), Saint Petersburg: SPbNIILKh, 2015, 16 p.
- Krasnaya kniga Respubliki Kareliya* (Red Book of the Republic of Karelia), Belgorod: Konstanta, 2020, 448 p.
- Kryshen' A.M., Genikova N.V., Presnukhin Yu.V., Ryady vosstanovleniya el'nikov chernichnykh Vostochnoi Fennoscandii (Reforestation series of bilberry spruce forests in Eastern Fennoscandia), *Botanicheskii zhurnal*, 2021, Vol. 106, No. 2, pp. 107–125.
- Kryshen' A.M., Sin'kevich S.M., Shorokhova E.V., Variable Retention Forestry – lesovedstvo, orientirovannoe na nepreryvnoe v prostranstve i vo vremeni sokhranenie lesnoi sredy (Variable retention forestry is targeted to preserve the temporal and spatial continuity of forest habitats and ecosystem functions), *Rastitel'nye resursy*, 2020, Vol. 56, No. 3, pp. 1–7.
- Latyshev V.A., Sabanin A.A., Minaev V.N., Orlov M.M., Rekomendatsii po vedeniyu vyborochnoi formy khozyaistva v raznovozrastnykh drevostoyakh eli v srednei taige (Recommendations for the management of selective management in mixed-age spruce stands in the middle taiga), *Tr. SPbNIILKh*, Issue 2 (22), Saint Petersburg, 2010, pp. 54–64. No. 200-FZ, available at: www.consultant.ru (September 25, 2021).
- Lesnoi plan Respubliki Kareliya na 2019–2028 gody* (Forest plan of the Republic of Karelia for 2019–2028), Petrozavodsk, 2018, 236 p.
- Lukina N.V., Isaev A.S., Kryshen' A.M. et al., Bartalev S.A., Prioritetnye napravleniya razvitiya lesnoi nauki kak osnovy ustoichivogo upravleniya lesami (Research priorities in forest science – the basis of sustainable forest management), *Lesovedenie*, 2015, No. 4, pp. 243–254.
- Megarran E., *Ekologicheskoe raznoobrazie i ego izmerenie* (Ecological diversity and its measurement), Moscow: Mir, 1992, 184 p.
- Metody izucheniya lesnykh soobshchestv* (Methods of forest communities study), Saint Petersburg: Izd-vo NII Khimii SPbGU, 2002, 240 p.
- Pesenko Y.A., *Printsipy i metody kolichestvennogo analiza v faunisticheskikh issledovaniyakh* (Principles and methods of quantitative analysis in studies of fauna), Moscow: Nauka, 1982, 288 p.
- Pobedinskii A.V., *Vodoohhrannaya i pochvozashchitnaya rol' lesov* (Water protection and soil protection role of forests), Pushkino: Vseros. NII lesn. mekhaniz., 2013, 208 p.
- N 320, registered in Ministry of Justice of the Russian Federation on July 21, 2023, No. 74362, 2023, 26 p.
- Rai E.A., Burova N.V., Slastnikov S.I. Vliyanie ostavleniya derev'ev pri sploshnoi rubke na floristicheskoe raznoobrazie (The Effect of Leaving the Trees after Clear-Cutting on Floristic Diversity), *Vestnik SAFU. Estestvennye nauki*, 2012, No. 3, pp. 54–58.
- Rai E.A., Torkhov S.V., Burova N.V. et al., *Klyuchevye biotopy lesnykh ekosistem Arkhangelskoi oblasti i rekomendatsii po ikh okhrane*, Arkhangelsk, 2008, 30 p.
- Shorokhova E.V., Sinkevich S.M., Kryshen A.M., Vanha-Majamaa I., Variable Retention Forestry in European boreal forests in Russia, *Ecological Processes*, 2019, Vol. 8, No. 34, pp. 1–11. <https://doi.org/10.1186/s13717-019-0183-7>
- Sin'kevich M.P., Obobshchenie opyta nesploshnykh rubok v lesakh Karel'skoi ASSR (Generalization of the experience of non-clear cutting in the forests of the Karelian ASSR), In: *Voprosy prakticheskogo lesovedstva v khvoinykh lesakh Severo-Zapada RSFSR* (Issues of practical forestry in coniferous forests of the North-West of the RSFSR), Petrozavodsk, 1980, pp. 23–49.
- Sin'kevich S.M., Anan'ev V.A., Lesnoi kodeks o lesopol'zovanii v zashchitnykh lesakh (Forest code about forest use in protected forests), *Voprosy lesnoi nauki*, 2020, Vol. 3, No. 3, pp. 5.
- Storozhenko V.G. Dinamika drevesnogo otpada v korennnykh el'nikakh evropeiskoi taiga (Wood debris dynamics in indigenous spruce forests of European Taiga), *Khvoinye boreal'noi zony*, 2012, Vol. 30, No. 3–4, pp. 205–210.
- Storozhenko V.G. Evolyutsionnye printsipy ustoichivosti lesnykh soobshchestv (The evolutionary principles of sustainability of forest communities), *Sibirskii lesnoi zhurnal*, 2020, No. 4, pp. 87–96.
- Storozhenko V.G., Osobennosti gorizonta'noi struktury lesov elovykh formatsii evropeiskoi taigi Rossii (Features of the horizontal structure of forests of spruce formations in the European taiga of Russia), *Izvestiya VUZov. Lesnoi zhurnal*, 2022, No. 2, pp. 39–49. <https://doi.org/10.37482/0536-1036-2022-2-39-49>
- Storozhenko V.G., *Ustoichivye lesnye soobshchestva: teoriya i eksperiment* (Sustainable forest communities: Theory and experiment), Moscow: Grif i K, 2007, 192 p.
- Torbik D.N., Feklistov P.A., Zavisimost' kolichestva blagonadezhnogo khvoinogo podrosta ot ekologicheskikh faktorov na ploshchadyakh rubok ukhoda (Dependence of the amount of reliable coniferous undergrowth on environmental factors in thinning areas), *Ekologicheskie problemy Arktiki i severnykh territorii* (Environmental problems of the Arctic and northern territories), Interacademic collection of scientific papers, Arkhangelsk: SAFU, 2014, Issue 17, pp. 130–133.

Valyaev V.N., *Vyborochnye i sploshnolesosechnye rubki v Karelii (sравнительная производительность лесозаготовки)* (Selective and clear-cutting in Karelia (comparative productivity of the farm)), Petrozavodsk: Kareliya, 1989, 102 p.

Volkov A.D., Belonogova T.V., Kurkhiran Yu.P. et al., *Faktor bioraznoobraziya i kompleksnaya produktivnost' lesnykh ekosistem severo-zapada taezhnoi zony evropeiskoi chasti Rossii* (Biodiversity factor and complex productivity of forest ecosystems of the northwest taiga zone of the European part of Russia), Petrozavodsk: KarNTs RAN, 2002, 223 p.

Volkov A.D., *Bioekologicheskie osnovy ekspluatatsii el'nikov severo-zapada taezhnoi zony Rossii* (Bioecological basis for the exploitation of spruce forests in the north-west of the taiga zone of Russia), Petrozavodsk: Iz-vo Karel'skogo NTs RAN, 2003, 250 p.

Vyyavlenie i obsledovanie biologicheskikh tsennyykh lesov na Severo-Zapade Evropeiskoi chasti Rossii. Posobie po opredeleniyu vidov, ispol'zuemykh pri obsledovanii na urovne vydelenii (Recognizing and studying biologically valuable forests in northwest of European part of Russia. Guide to finding species for stratum level surveys), Saint-Petersburg: Pobeda, 2009, Vol. 2, 258 p.

Zheldak V.I., Doroshchenkova E.V., Sycheva A.N., Lipkina T.V., Zhivaev E.E., Tekhnologicheskaya realizatsiya lesovedstvennykh meropriyatiy, obespechivayushchikh effektivnoe vypolnenie lesami funktsii deponirovaniya i konservatsii ugleroda (Technological Realization Silvicultural Activities that Ensure the Effective Performance of the Functions of Carbon Deposition and Conservation by the Forest), *Lesokhozyaistvennaya informatsiya*, 2023, No. 3, pp. 5–25.

<https://doi.org/10.24419/LHI.2304-3083.2023.3.01>