

Леса России и хозяйство в них. 2025. № 4 (95). С. 37–51.

Forests of Russia and economy in them. 2025. № 4 (95). P. 37–51.

Научная статья

УДК: 630*181.3:581.1

DOI: 10.51318/FRET.2025.95.4.004

ФИЗИОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ РОСТА И РАЗВИТИЯ ПОДРОСТА ЕЛИ В СОКОЛЬСКОМ БОРУ НАЦИОНАЛЬНОГО ПАРКА «РУССКИЙ СЕВЕР»

Лилия Валерьевна Зарубина¹, Виктория Андреевна Зайцева²,
Юлия Андреевна Платонова³, Людмила Викторовна Кузнецова⁴

^{1–3} Вологодская государственная молочно-хозяйственная академия им. Н. В. Верещагина,
село Молочное, Россия

⁴ Национальный парк «Русский Север», Кириллов, Россия

¹ liliya270975@yandex.ru; <https://orcid.org/0000-0003-3834-0521>

² selizeonka@yandex.ru; <https://orcid.org/0009-0001-7692-2314>

³ qwplatonova@yandex.ru; <https://orcid.org/0009-0006-6012-1500>

⁴ priroda.russever@mail.ru; <https://orcid.org/0009-0002-2690-9004>

Аннотация. За последние годы по мере обострения экологических проблем, которые тесно связаны с эксплуатацией лесных ресурсов местным населением и туристами, происходит деградация и разрушение уникальных природных экосистем. В связи с этим возникает необходимость своевременного выявления негативных изменений в физиологическом состоянии экосистем и дальнейшей их защите и охране. Цель исследования – изучение водного режима естественного возобновления ели, как показателя, характеризующего физиологическое состояние растительного организма. Объектами исследования стали пять участков сосновых древостоев, близких по возрасту и таксационной характеристике, относящихся к зеленомошной группе типов леса, и участок елового насаждения, находящийся на территории Сокольского бора в национальном парке «Русский Север». При закладке пробных площадей и их оценке руководствовались методиками, общепринятыми в таксации и лесоводстве. По качественной характеристике состояния насаждений на пробных площадях и категории санитарного состояния насаждения характеризуются как ослабленные. Отмечено, что подрост хвойных пород на всех опытных участках по жизненному состоянию является сомнительным, по густоте – редким. Установлено, что у подрост ели водный дефицит в среднем на уровне 15 %, что не является критичным для роста и развития растений. Анализируя зависимость интенсивности транспирации и освещенности под пологом леса на объектах исследования, можно отметить, что между ними имеется сильная положительная связь.

Ключевые слова: хвойные насаждения, естественное возобновление, влажность хвои, водный дефицит, влагонасыщение, освещенность, интенсивность транспирации

Для цитирования: Физиологические особенности роста и развития подрост ели в Сокольском бору национального парка «Русский Север» / Л. В. Зарубина, В. А. Зайцева, Ю. А. Платонова, Л. В. Кузнецова // Леса России и хозяйство в них. 2025. № 4 (95). С. 37–51.

Original article

PHYSIOLOGICAL FEATURES OF GROWTH AND DEVELOPMENT OF SPRUCE UNDERGROWTH IN THE SOKOLSKIY FOREST OF THE NATIONAL PARK “RUSSIAN NORTH”

Liliya V. Zarubina¹, Victoria A. Zaitseva², Yulia A. Platonova³,
Lyudmila V. Kuznetsova⁴

¹⁻³ FSBEI HE Vologda State Dairy Academy named after N. V. Vereshchagin,
the village of Molochnoye, Russia

⁴ FSBI National Park «Russian North», Kirillov, Russia

¹ liliya270975@yandex.ru; <https://orcid.org/0000-0003-3834-0521>

² selizeonka@yandex.ru; <https://orcid.org/0009-0001-7692-2314>

³ qwplatonova@yandex.ru; <https://orcid.org/0009-0006-6012-1500>

⁴ priroda.russever@mail.ru; <https://orcid.org/0009-0002-2690-9004>

Abstract. In recent years, as environmental problems have become more severe, which are closely related to the exploitation of forest resources by local population and tourists, there has been a degradation and destruction of unique natural ecosystems. In this regard, there is a need to identify negative changes in the physiological state of ecosystems in a timely manner and to protect and preserve them. The purpose of this research is to examine the water regime of natural spruce regeneration as an indicator of the physiological state of the plant organism. The research objects were five plots of pine forests that are similar in age and taxation characteristics, belonging to the green moss group of forest types, and the plot of spruce forests located in the Sokolsky Forest National Park «Russian North». When laying out the sample plots and evaluating them, we were guided by methods generally accepted in taxation and forestry. Based on the assessment of the quality characteristics of the plantations in the sample plots and the category of sanitary condition, the plantations were classified as weakened. It was noted that the undergrowth of coniferous species in all the experimental plots was in a questionable state of vitality and sparse in terms of density. It was also established that the undergrowth of spruce had an average water deficit of 15 %, which is not critical for the growth and development of the plants. Analyzing the dependence between transpiration intensity and illumination under the forest canopy, it can be observed that there is a strong positive correlation between them.

Keywords: coniferous plantations, natural regeneration, needle moisture, water deficit, moisture saturation, illumination, transpiration intensity

For citation: Physiological features of growth and development of spruce undergrowth in the Sokolskiy forest of the national park “Russian North” / L. V. Zarubina, V. A. Zaitseva, Yu. A. Platonova, L. V. Kuznetsova // Forests of Russia and economy in them. 2025. № 4 (95). P. 37–51.

Введение

В связи с обострением экологической ситуации в настоящее время существенно возросло внимание к последствиям интенсивной деятельности человека, особенно в аспекте лесозаготовительной индустрии. Это влияние приводит к нарушениям в структуре и функционировании природных экосистем, затрагивая обширные территории и водные пространства. В результате возникает

потребность в защите уникальных природных участков нашей планеты. Для противодействия усиливающейся эксплуатации природы и ее отрицательным последствиям было инициировано создание защищенных территорий. Эти зоны, обладающие высокими консервационными значениями, теперь попадают под охрану, которая регулируется на локальном и глобальном уровнях, что помогает в сохранении биоразнообразия

и поддержании экологического баланса. Данные действия призваны предотвратить дальнейшее ухудшение состояния окружающей среды и обеспечить устойчивое использование природных ресурсов. Концепция защитных территорий предполагает не только предотвращение дальнейшего ухудшения экологической обстановки, но и разработку методов восстановления уже нанесенного вреда. Таким образом, охраняемые зоны выступают фундаментом для долгосрочной стратегии сохранения окружающей среды, а также являются критически важными для поддержания уникального характера и целостности наших природных экосистем (Реймерс, 1978).

Национальный парк «Русский Север» находится в северной части Вологодской области, на Восточно-Европейской равнине. Он привлекает взгляды своей природной красотой. Величественные просторы равнины, охватывающие значительную часть России, задают особый темп жизни местной флоре и фауне, создавая для них уникальную среду обитания. Национальный парк славится не только своей географической позицией, но и умеренным климатом, где воздействие близкого Атлантического океана создает условия для выраженной сезонности. Результат этого влияния – картина меняющихся времен года, каждое из которых вносит свой неповторимый оттенок в палитру ландшафта. Эта мозаика климатических свойств еще более усиливается за счет огромных водных площадей, озер и болот в локальных районах парка, которые заметно модифицируют его климатические черты (Национальный парк..., 2025). Парк, раскинувшийся на огромной территории в 168,02 тыс. га, представляет собой уникальное природное наследие. Он имеет функциональные зоны с различными целями использования и уровнями охраны. В нем выделяются:

- заповедная зона;
- особо охраняемая зона;
- рекреационная зона;
- зона хозяйственного назначения;
- зона охраны объектов культурного наследия.

Все леса национального парка отнесены к защитным лесам (Лесной кодекс, 2006). Географически национальный парк находится в зоне

Балтийско-Белозерской тайги, что подтверждается классификацией лесного районирования (Приказ..., 2014). Важно отметить, что лесные массивы парка, охватывающие 144,5 тыс. га земли, признаны защитными территориями. Этот статус обеспечивает их сохранность и предотвращает негативное влияние человеческой деятельности. Помимо прочего, защита подобных территорий является критически важной для поддержания биологического разнообразия и экологического баланса. Лесные массивы занимают 86 % территории, это подчеркивает значительный вес лесных экосистем в структуре заповедных зон. Помимо типичных лесных массивов, в парке присутствует и более редкая категория территорий – нелесные земли, составляющие 14 %, или 23,52 тыс. га. Внимание привлекают и характерные для данной местности типы ландшафтов. Основу среди них составляют черничные, долгомошные, травяно-болотные типы местопроизрастания. Эти типы ландшафтов занимают в сумме порядка 64 % лесистой части парка, что свидетельствует о доминировании данных экосистем (Национальный парк..., 2025).

В границах национального парка насчитывается широкое разнообразие древесных пород, особенно хвойных, которые выросли и адаптировались к местным условиям. Растительность отличается высокой экономической ценностью, особенно за счет присутствия сосняков и ельников, которые выделяются среди других экосистем. Уникальность и богатство флоры национального парка не только предоставляет великолепные возможности для экотуризма, но и является объектом защиты и изучения (Национальный парк..., 2025).

Цель, методика

и объекты исследования

Цель работы – изучение водного режима подроста ели как показателя, характеризующего физиологическое состояние растительного сообщества, для определения перспективности его сохранения в уникальном природном объекте Вологодской области.

Для изучения водного режима подроста ели на территории Сокольского бора, который является

частью национального парка «Русский Север», было заложено шесть пробных площадей. Эти участки находятся на побережье Волго-Балтийского канала на незначительной удаленности друг от друга. Расстояние от водного объекта до центра объектов варьирует от 30 до 160 м. В табл. 1 представлена характеристика исследовательских участков.

Закладка пробных площадей проведена в соответствии с ОСТ 56-69–83. Для изучения процессов накопления подроста в пределах насаждения используется метод круговых площадок. Подрост

хвойных пород подразделяется на три категории: жизнеспособный, сомнительный и нежизнеспособный. В соответствии с ОСТ 56-81–84 на каждой пробной площади в наиболее типичном месте размещают почвенный разрез (Роде, 1963).

Для определения влажности хвои елового подроста образцы высушивают в алюминиевых бюксах при температуре 100–105 °С. Сушка проводится в сушильных шкафах до постоянного веса образцов. После сушки образцы охлаждаются в эксикаторах и взвешиваются (Евстигнеев, 1996).

Таблица 1
Table 1

Таксационная характеристика объектов исследования
Taxation characteristics of research objects

Состав Composition	Средние Medium		Класс бонитета Bonitet class	G_{ϕ} м²/га G_a м²/га	$P_{отн}$ P_{rel}	Возраст, лет Age, years	Кол-во экземпляров, шт./га Number of samples, pcs./ha	М, м³/га M , m³/ha	Категория санитарного состояния Category of sanitary condition
	D_{cp} , см D_{av} , sm	H_{cp} , м H_{av} , m							
1 пробная площадь ($C_{чep}$) 1 sample plots (blueberry pine forest)									
9C1ЕедБ 9p1SpедВ	32,3	24,2	I	29,0	0,81	73	659	308	2,28
2 пробная площадь (C_{op}) 2 sample plots (cowberry pine forest)									
10CедЕедБ 10PsinSpВ	26,7	22,7	II	35,5	0,90	74	642	382	1,80
3 пробная площадь ($E_{чep}$) 3 sample plots (blueberry spruce forest)									
7E3C 7Sp3P	29,5	22,0	II	30,7	0,70	83	446	286	1,85
4 пробная площадь ($C_{чep}$) 4 sample plots (blueberry pine forest)									
7C3БедЕ 7P3BsinE	22,8	22,0	II	30,9	0,81	75	632	307	1,21
5 пробная площадь (C_{op}) 5 sample plots (cowberry pine forest)									
8C1E1Б 8P1Sp1В	23,5	19,7	II	29,8	0,81	74	694	278	2,50
6 пробная площадь (C_{op}) 6 sample plots (cowberry pine forest)									
9C1БедЕ 9P1BsinSp.	29,6	20,2	II	29,2	0,76	74	642	310	2,71

Интенсивность транспирации изучалась методом двухкратного быстрого взвешивания образцов (Иванов, 1950) с применением торсионных весов ВТ-1000 с 9–12-кратной повторностью в теплую солнечную погоду. Для опыта готовились образцы от 3–5 постоянных деревьев на каждой пробной площади. Результаты выражались в мг H_2O на 1 г свежей массы хвои в час. Экспозиция опыта – 2–3 мин. Реальный водный дефицит хвои устанавливался путем донасыщения ее дистиллированной водой в течение суток с последующим высушиванием в термостатах при температуре 105 °С до момента, пока вес не перестанет изменяться (обычно от 3 до 4 ч) (Лархер, 1978; Зарубина, Коновалов, 2014).

На пробных площадях внутри растительных сообществ был изучен характер и изменчивость освещенности при помощи люксметра Ю-116 М на высоте 1,5 м по 35–40 перпендикулярно расположенным к солнцу точкам в околополуденные часы (Алексеев, 1975). На каждой пробной площади закладывались ленты по диагонали, на которых было сделано 30 замеров освещенности, вне зависимости от того, попадает измерение в просвет между кронами или нет. Параллельно с изучением освещенности в насаждениях были проведены замеры освещенности на открытом месте вдоль дорог.

Статистическая обработка данных проведена общепринятыми в лесоводстве и таксации методами. Результаты исследования являются достоверными благодаря значительному объему экспериментальных данных и использованию современного компьютерного программного обеспечения (Гусев, 2002).

Средний балл санитарного состояния в сосновом древостое 2,81, что характеризует насаждение как ослабленное (Правила..., 2020). Стоит отметить, что в основном влияние оказало санитарное состояние деревьев на 5-й и 6-й пробных площадях. В мае 2021 г. данные участки пострадали от сильного урагана, что существенно снизило показатель санитарного состояния насаждений. В еловом насаждении средний балл санитарного состояния равен 1,85, что соответствует здоровому древостою.

Объектами исследования являются пять участков сосновых древостоев, близких по возрасту и таксационной характеристике, относящихся к зеленомошной группе типов леса, и участок елового насаждения. В сосняках почвы характеризуются как среднеподзолистые, песчаные иллювиально-железистые на оглеенных флювиогляциальных песках. В ельнике черничном почвообразующая порода представлена моренным суглинком. Почва слабоподзолистая, развивающаяся на легком суглинке, подстилаемом мелкопесчаным моренным суглинком.

Результаты и их обсуждение

Учет естественного возобновления на объектах исследования показал, что в Сокольском бору под пологом древостоя преобладает молодое поколение ели. Характеристика подроста по категориям жизнеспособности на пробных площадях представлена в табл. 2 (Платонова и др., 2020а, б).

Подрост хвойных пород практически на всех опытных участках по жизненному состоянию характеризуется как сомнительный, а по густоте – редкий (Правила..., 2021).

Вода – это главный компонент активных растительных клеток, на долю ее приходится до 90 % сырого веса. В зрелых растительных клетках большая часть воды содержится в крупной центральной вакуоли, занимающей 80–90 % всего объема клетки. Водонасыщенность тканей служит важной экологической характеристикой условий местопроизрастания растений, степени обеспеченности их почвенной влагой (Зарубина, Коновалов, 2014).

Водный режим растений является важным элементом общего обмена веществ. Высокая обводненность – необходимое условие для нормальной работы ассимиляционного аппарата. Хвоя является структурной единицей побега, жизнедеятельность которой во многом определяет продуктивность дерева (Сенькина 2009; Карасев, Карасева, 2011; Water..., 2011; Зарубина, Коновалов, 2014; Сазонова, Придача, 2020). Для исследования водного режима было взято по три образца хвои из трех частей кроны. Интенсивность водонасыщения хвои подроста ели представлена в табл. 3.

Таблица 2
Table 2

Характеристика хвойного подроста на опытных объектах (штг.)
Characteristics of coniferous undergrowth at experimental sites (pcs.)

Группы высот Height groups	1 ПП $C_{чep}$ 1 PP P_{bl}						2 ПП $C_{бр}$ 2 PP $P_{сов}$						3 ПП $E_{чep}$ 3 PP SP_{bl}						4 ПП $C_{чep}$ 4 PP P_{bl}						5 ПП $C_{бр}$ 5 PP $P_{сов}$						6 ПП $C_{бр}$ 6 PP $P_{сов}$					
	Ель Spruce			Сосна Pine			Ель Spruce			Сосна Pine			Ель Spruce			Сосна Pine			Ель Spruce			Сосна Pine			Ель Spruce			Сосна Pine			Ель Spruce			Сосна Pine		
	Ж V	С Q	Нж Nv	Ж V	С Q	Нж Nv	Ж V	С Q	Нж Nv	Ж V	С Q	Нж Nv	Ж V	С Q	Нж Nv	Ж V	С Q	Нж Nv	Ж V	С Q	Нж Nv	Ж V	С Q	Нж Nv	Ж V	С Q	Нж Nv	Ж V	С Q	Нж Nv	Ж V	С Q	Нж Nv			
До 0,5 м To 0,5 m	–	64	2	–	3	1	4	2	–	1	1	–	19	53	–	–	2	–	–	1	–	–	–	1	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	
0,6–1,5 м 0,6–1,5 m	2	56	5	1	–	1	2	7	–	–	–	–	5	9	–	–	2	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–		
От 1,5 м From 1,5 m	56	64	–	–	–	–	4	–	–	–	–	–	1	–	–	–	1	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–		
На ПП On PP	58	184	7	1	3	2	10	9	–	–	–	–	25	62	–	–	5	–	–	–	–	–	–	1	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	
В переводе на крупный Translated into large	58	141	5	1	2	1	8	6	–	–	1	–	14	34	–	–	4	–	–	–	–	–	–	1	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	
На 1 га Per 1 ha	1933	4700	166	33	66	33	253	200	–	–	33	–	466	1133	–	–	133	–	–	–	–	–	–	33	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	
Густота Density	4283			66			353			49			1032			66			17			100														

Примечание. ПП – пробная площадь; Ж – жизнеспособный, С – сомнительный, Нж – нежизнеспособный, $C_{чep}$ – сосняк черничный, $C_{бр}$ – сосняк брусничный, $E_{чep}$ – ельник черничный.

Note. PP – permanent plots, V – viable, Q – questionable, Nv – not viable, P_{bl} – blueberry pine, $P_{сов}$ – cowberry pine, SP_{bl} – blueberry spruce.

Таблица 3

Table 3

Интенсивность водонасыщения хвои подроста ели

Intensity of water saturation of spruce needles

Показатели Indicators	Объект исследований The object of research								
	1 ПП $C_{чер}$ 1 PP P_{bl}			2 ПП $C_{бр}$ 2 PP P_{cow}			3 ПП $E_{чер}$ 3 PP SP_{bl}		
	Верхняя часть кроны The upper part of the crown	Средняя часть кроны The middle part of the crown	Нижняя часть кроны The lower part of the crown	Верхняя часть кроны The upper part of the crown	Средняя часть кроны The middle part of the crown	Нижняя часть кроны The lower part of the crown	Верхняя часть кроны The upper part of the crown	Средняя часть кроны The middle part of the crown	Нижняя часть кроны The lower part of the crown
<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>	<i>7</i>	<i>8</i>	<i>9</i>	<i>10</i>
Исходная (полевая) масса 100 шт. хвоинок, г Initial weight of 100 pieces needles, g	2,31	2,63	2,04	1,98	2,00	1,88	1,93	1,91	1,78
1 день, г 1 day, g	2,52	2,67	2,05	2,24	2,17	1,98	2,21	1,98	1,91
2 день, г 2 day, g	2,53	2,71	2,08	2,27	2,25	2,06	2,26	2,06	1,96
3 день, г 3 day, g	2,56	2,75	2,12	2,32	2,32	2,07	2,29	2,06	1,99
Интенсивность насыщения хвои водой, % The intensity of saturation of needles with water, %									
Полевая Field	90,23	95,64	96,23	85,34	86,96	90,82	82,97	92,72	89,45
После насыщения, % After saturation, %									
1 день, г 1 day, g	98,44	97,09	96,7	96,55	94,35	95,65	96,07	96,12	95,98
2 день, г 2 day, g	98,83	98,55	98,11	97,84	97,83	99,52	98,69	100	98,49
3 день, г 3 day, g	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Исходная (полевая) масса 100 шт. хвоинок, г Initial weight of 100 pieces needles, g	4 ПП $C_{чер}$ 4 PP P_{bl}			5 ПП $C_{бр}$ 5 PP P_{cow}			6 ПП $C_{бр}$ 6 PP P_{cow}		
	1,7	1,64	1,58	1,58	1,44	1,39	1,39	1,55	1,44
	1,98	1,81	1,76	1,88	1,81	1,54	1,83	1,66	1,87
	2,05	1,89	1,84	1,90	1,84	1,62	1,85	1,69	1,98
	2,08	1,92	1,88	1,91	1,85	1,61	1,85	1,71	1,99

Окончание табл. 3
The end of the table 3

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Интенсивность насыщения хвои водой, % The intensity of saturation of needles with water, %									
Полевая Field	81,73	86,32	84,04	82,72	77,84	86,34	75,14	90,64	72,36
После насыщения, % After saturation, %									
1 день, г 1 day, g	95,19	95,26	93,62	98,43	97,3	95,65	98,92	97,08	93,97
2 день, г 2 day, g	98,56	99,47	97,87	99,48	99,46	99,38	100	98,83	99,5
3 день, г 3 day, g	100	100	100	100	100	100	100	100	100

Примечание. ПП – пробная площадь; $C_{чер}$ – сосняк черничный, $C_{бр}$ – сосняк брусничный, $E_{чер}$ – ельник черничный.
Note. PP – permanent plots, P_{bl} – blueberry pine, P_{cow} – cowberry pine, SP_{bl} – blueberry spruce.

Масса 100 шт. хвоинок во всех частях кроны наибольшая в сосняке черничном на ПП 1, и с изменением типа леса она снижается. Полевая насыщенность хвои водой у подроста более 85 % на всех пробных площадях. Необходимо отметить, что наибольшее количество воды хвоя подроста поглощает в первые сутки намачивания (от 93,64 до 98,44 %), в последующие дни масса увеличивается незначительно, прибавляя от 0,01 до 7,5 %, в основном происходит ее набухание.

Основная масса воды испаряется в первые 2 ч (до 50 % от общей массы хвои). На 1-, 2-, 3-й пробных площадях для высушивания 100 шт. хвоинок из верхней части кроны до абсолютно сухого состояния потребовалось на час больше, чем для других образцов. Это можно объяснить тем, что изначально содержание влаги в полученных образцах было выше.

Нормальная жизнедеятельность растения обусловлена достаточной влажностью хвои. Поступление воды в растягивающиеся клетки и их вакуолизация возможны лишь в результате активной работы корней, поэтому в период роста молодых побегов корни должны обладать высокой активной способностью поглощать влагу из почвы (Коновалов, Зарубина, 2002; Мухаметова и др., 2020).

Наибольшей влажностью обладает хвоя средней части кроны (от 45,14 до 60,42 %), наименьшей – хвоя нижней части кроны (от 46,04 до

55,39 %), но различия между ними статистически не доказаны (табл. 4). По нашим данным можно отметить, что обводненность хвои не зависит ни от высоты, ни от возраста дерева, но изменяется в зависимости от типа леса. Вода является главной составной частью в хвое первого года (более 50 %), так как именно в ней более интенсивно протекают метаболические процессы. По мере старения хвои влажность ее снижается, что связано с уменьшением водопоглощающих и водоудерживающих свойств биокolloидов тканей растений (Коновалов, Зарубина, 2002).

Водный дефицит является важным диагностическим показателем жизненного состояния растения (табл. 5). Увеличение водного дефицита влияет практически на все физиологические процессы – поступление воды, закрывание устьиц, транспирацию, фотосинтез, дыхание и др. Физиологические процессы без заметных нарушений могут протекать при открытых устьицах лишь при сравнительно небольшом (3–14 %) водном дефиците (Зарубина, Коновалов, 2014).

Оптимальным для фотосинтеза является не полное насыщение тканей водой, а водный дефицит от 5 до 20 % от полного насыщения. Согласно данным Л. И. Гордеевой и А. В. Веретенникова, депрессия физиологических процессов у ели обычно наступает при водном дефиците 27,5 % (Гордеева, Веретенников, 1976).

Таблица 4
Table 4

Влажность хвои елового подроста
Humidity of spruce needles

Время сушки Drying time	Объект исследования The object of research								
	1 ПП $C_{чер}$ 1 PP P_{bl}			2 ПП $C_{бр}$ 2 PP P_{cow}			3 ПП $E_{чер}$ 3 PP SP_{bl}		
	Верхняя часть кроны The upper part of the crown	Средняя часть кроны The middle part of the crown	Нижняя часть кроны The lower part of the crown	Верхняя часть кроны The upper part of the crown	Средняя часть кроны The middle part of the crown	Нижняя часть кроны The lower part of the crown	Верхняя часть кроны The upper part of the crown	Средняя часть кроны The middle part of the crown	Нижняя часть кроны The lower part of the crown
Исходная масса 100 шт. хвоинок, г Initial weight of 100 pieces needles, g	2,31	2,63	2,04	1,98	2,00	1,88	1,9	1,91	1,78
2 часа 2 hours	1,23	1,38	1,00	1,24	1,10	0,99	1,03	0,99	0,89
3 часа 3 hours	1,12	1,27	0,96	1,08	0,99	0,91	0,98	0,95	0,79
4 часа 4 hours	0,89	1,04	0,91	1,07	0,93	0,87	0,98	0,91	0,77
Влажность хвои, % Humidity of the needles, %	61,47	60,46	55,39	45,96	53,50	53,72	48,42	52,36	56,74
Исходная масса 100 шт. хвоинок, г Initial weight of 100 pieces needles, g	4 ПП $C_{чер}$ 4 PP P_{bl}			5 ПП $C_{бр}$ 5 PP P_{cow}			6 ПП $C_{бр}$ 6 PP P_{cow}		
	1,70	1,64	1,58	1,58	1,44	1,39	1,39	1,55	1,44
2 часа 2 hours	0,91	0,84	0,79	0,91	0,85	0,81	0,75	0,69	0,77
3 часа 3 hours	0,85	0,8	0,76	0,89	0,79	0,75	0,74	0,65	0,75
4 часа 4 hours	0,84	0,79	0,76	0,89	0,79	0,75	0,74	0,65	0,74
Влажность хвои, % Humidity of the needles, %	50,59	51,83	51,9	43,67	45,14	46,04	46,76	58,06	48,61

Примечание. ПП – пробная площадь; $C_{чер}$ – сосняк черничный, $C_{бр}$ – сосняк брусничный, $E_{чер}$ – ельник черничный.
Note. PP – permanent plots, P_{bl} – blueberry pine, P_{cow} – cowberry pine, SP_{bl} – blueberry spruce.

Наше исследование показало, что у подроста ели в сосняке брусничного типа условий место-произрастания (ПП 6) водный дефицит составляет 26,6 %, что позволяет охарактеризовать состояние подроста на данном участке как близкое к депрессии. На остальных участках водный дефицит оста-

ется в среднем на уровне 13–18 %, что не является критичным. Для определения статистических различий средних величин влажности хвои и водного дефицита использовали t -критерий Стьюдента (табл. 6).

Таблица 5

Table 5

Водный дефицит хвои подроста ели
Water deficiency in spruce needles

Показатели Indicators	Объект исследований The object of research								
	1 ПП $C_{чер}$ 1 PP P_{bl}			2 ПП $C_{бр}$ 2 PP P_{cow}			3 ПП $E_{чер}$ 3 PP SP_{bl}		
	Верхняя часть кроны The upper part of the crown	Средняя часть кроны The middle part of the crown	Нижняя часть кроны The lower part of the crown	Верхняя часть кроны The upper part of the crown	Средняя часть кроны The middle part of the crown	Нижняя часть кроны The lower part of the crown	Верхняя часть кроны The upper part of the crown	Средняя часть кроны The middle part of the crown	Нижняя часть кроны The lower part of the crown
Полевое насыщение хвои водой, % Field saturation of needles with water, %	90,23	95,64	96,23	85,34	86,96	90,82	82,97	92,72	89,45
Водный дефицит, % Water shortage, %	9,77	4,36	3,77	14,66	13,04	9,18	17,03	7,28	10,55
Показатели Indicators	4 ПП $C_{чер}$ 4 PP P_{bl}			5 ПП $C_{бр}$ 5 PP P_{cow}			6 ПП $C_{бр}$ 6 PP P_{cow}		
	Верхняя часть кроны The upper part of the crown	Средняя часть кроны The middle part of the crown	Нижняя часть кроны The lower part of the crown	Верхняя часть кроны The upper part of the crown	Средняя часть кроны The middle part of the crown	Нижняя часть кроны The lower part of the crown	Верхняя часть кроны The upper part of the crown	Средняя часть кроны The middle part of the crown	Нижняя часть кроны The lower part of the crown
	Верхняя часть кроны The upper part of the crown	Средняя часть кроны The middle part of the crown	Нижняя часть кроны The lower part of the crown	Верхняя часть кроны The upper part of the crown	Средняя часть кроны The middle part of the crown	Нижняя часть кроны The lower part of the crown	Верхняя часть кроны The upper part of the crown	Средняя часть кроны The middle part of the crown	Нижняя часть кроны The lower part of the crown
Полевое насыщение хвои водой, % Field saturation of needles with water, %	81,73	86,32	84,04	82,72	77,84	86,34	75,14	72,64	72,36
Водный дефицит, % Water shortage, %	18,27	13,68	15,96	17,28	22,16	13,66	24,86	27,36	27,64

Примечание. ПП – пробная площадь; $C_{чер}$ – сосняк черничный, $C_{бр}$ – сосняк брусничный, $E_{чер}$ – ельник черничный.

Note. PP – permanent plots, P_{bl} – blueberry pine, P_{cow} – cowberry pine, SP_{bl} – blueberry spruce.

По данным табл. 6 видно, что при вероятности безошибочного заключения 95 % различия между данными участками практически отсутствуют ($t_{sr0,95} = 2,2$). Благодаря сложной системе регуляции растение способно адаптировать интенсивность транспирации к изменяющимся условиям окружающей среды, что позволяет поддерживать оптимальный водный режим и обеспечивать нормальное функционирование всего организма (Веретенников, 1987).

Транспирация обеспечивает превращение воды из жидкого состояния в парообразное, защищает растения от перегрева, поддерживая температуру листьев на несколько градусов ниже окружающей среды, создает непрерывный ток воды, препят-

ствует полному насыщению растительных клеток водой, что оптимизирует множество метаболических реакций, а также обеспечивает передвижение растворимых минеральных и частично органических питательных веществ от корней к другим частям растений (Чернышенко и др., 2017, Андросова, 2020). В процессе изучения транспирации на всех объектах нами проведено определение интенсивности освещенности. В день исследования (15.08.2022) была ясная, практически безоблачная погода, освещенность на открытом месте в среднем составила 58 500 лк. Измерения достоверны, получены с достаточно высокой точностью в 3–5 %, при этом изменчивость опытных данных незначительна (рисунок).

Таблица 6

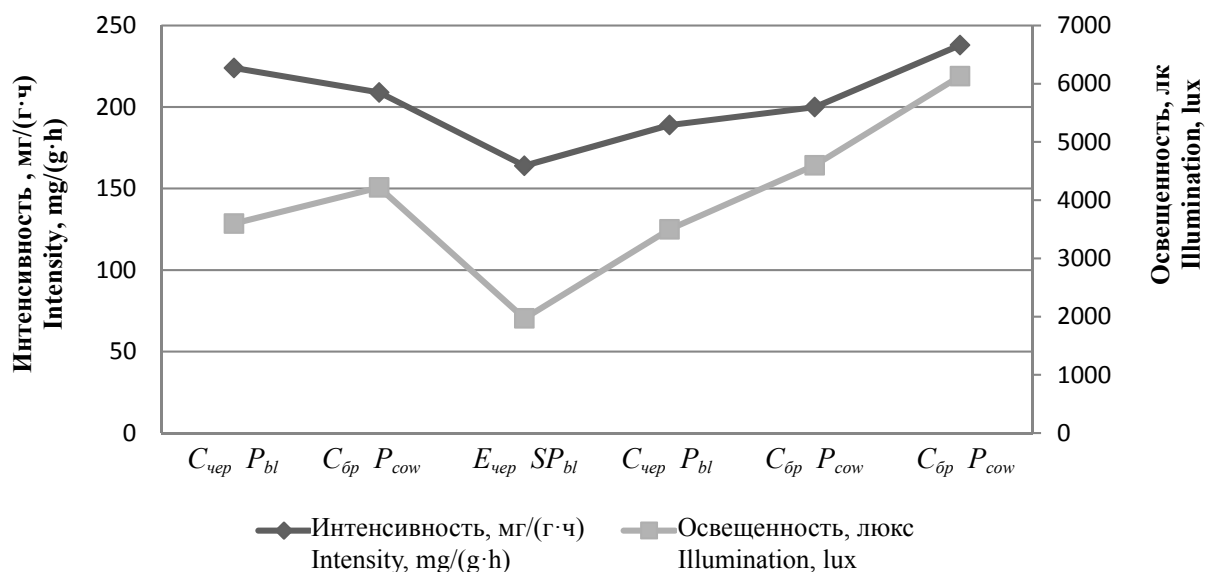
Table 6

Статистические показатели влажности и водного дефицита хвои подраста ели
Statistical indicators of moisture content and water deficit of spruce undergrowth needles

Показатель Indicator	Объект исследования The object of research											
	1 ПП $C_{чер}$ 1 PP P_{bl}		2 ПП $C_{бр}$ 2 PP P_{cow}		3 ПП $E_{чер}$ 3 PP SP_{bl}		4 ПП $C_{чер}$ 4 PP P_{bl}		5 ПП $C_{бр}$ 5 PP P_{cow}		6 ПП $C_{бр}$ 6 PP P_{cow}	
	$M \pm m$	$M \pm m$	$t_{0,95}$	$M \pm m$	$t_{0,95}$	$M \pm m$	$t_{0,95}$	$M \pm m$	$t_{0,95}$	$M \pm m$	$t_{0,95}$	
Влажность хвои, % Humidity of the needles, %	59,11±0,6	51,06±0,5	0,2	52,51±0,8	0,1	51,44±0,7	0,2	44,95±0,8	0,2	51,15±0,9	0,4	
Водный дефицит, % Water shortage, %	15,97±0,1	12,29±0,2	1,8	11,62±0,2	1,7	15,81±0,3	1,4	17,70±0,1	2,3	20,62±0,2	3,1	

Примечание. ПП – пробная площадь; $C_{чер}$ – сосняк черничный, $C_{бр}$ – сосняк брусничный, $E_{чер}$ – ельник черничный. Критическое значение t -критерия Стьюдента $t_{0,95} = 2,2$.

Note. PP – permanent plots, P_{bl} – blueberry pine, P_{cow} – cowberry pine, SP_{bl} – blueberry spruce. The critical value of the Student's t -test is $t_{0,95} = 2,2$.



Зависимость интенсивности транспирации от освещенности
Dependence of transpiration intensity on illumination

Свет выступает как ключевой фактор, определяющий интенсивность транспирации в хвойных растениях, воздействуя как напрямую через нагрев тканей, так и косвенно через физиологические механизмы регуляции. В темноте растения транспирируют в десятки раз слабее, чем при полном солнечном освещении (Веретенников, 1987).

Анализируя результаты исследования, можно отметить, что при повышении освещенности интенсивность транспирации также возрастает, т. е. между ними имеется сильная положительная связь ($y = 0,03x + 50$, $r = 0,85$). Это также подтверждается в работах других авторов (Карпов, 1969; Крамер, 1983; Богатырев, Васильева, 1985).

Выводы

Подрост имеет важное лесоводственное значение, являясь источником формирования нового древостоя, восстановления и сохранения лесов, а также объектом биоразнообразия, что очень важно для уникального природного объекта – национального парка «Русский Север». По результатам нашего научного эксперимента можно отметить, что естественный подрост ели под пологом насаждений в Сокольском бору на всех опытных участках по жизненному состоянию характеризуется как сомнительный, а по густоте – редкий.

В результате изучения водного режима выявлено, что у подрост ели в сосняке брусничного типа условий местопроизрастания (ПП 6) водный дефицит составляет 26,6 %, что позволяет охарактеризовать состояние подрост на данном участке как близкое к депрессии. На остальных участках

водный дефицит остается в среднем на уровне 13–18 %, что не является критичным. Наибольшая интенсивность транспирации у подрост ели нами отмечена в сосняке брусничном (ПП 6) – 238,0 мг/(г·ч), а наименьшая – ельнике черничном (ПП 5) – 164 мг/(г·ч). Анализируя зависимость интенсивности транспирации и освещенности под пологом леса на объектах исследования, можно отметить, что между ними имеется сильная положительная связь.

Таким образом, по результатам исследования можно отметить, что с целью сохранения уникальных природных экосистем необходимо проводить меры по защите и охране лесов в Сокольском бору на территории национального парка «Русский Север». В качестве таких мер следует организовывать определенные маршруты посещения данных территорий, а также проводить лесоводственный уход за лесом.

Список источников

- Алексеев В. А. Световой режим леса. М. : Наука, 1975. 280 с.
- Андросова А. В. Транспирации как ключевой показатель водного обмена // Научный альманах. 2020. № 22. С. 111–115.
- Богатырев Ю. Г., Васильева И. Н. Водный режим почв и подрост ели на вырубках и под пологом леса // Лесоведение. 1985. № 2. С. 16–25.
- Веретенников А. В. Физиология растений с основами биохимии : учеб. пособие. Воронеж : Изд-во ВГУ, 1987. 256 с.
- Гордеева Л. И., Веретенников А. В. Водный режим подрост ели в связи с рубками в северной подзоне тайги европейской части СССР // Вопросы лесовосстановления на Европейском Севере. Архангельск : АИЛиЛХ, 1976. С. 305–311.
- Гусев И. И. Моделирование экосистем : учеб. пособие. Архангельск : Изд-во Арханг. гос. техн. ун-та, 2002. 112 с.
- Евстигнеев О. И. Отношение лиственных деревьев к свету и водообеспеченности в связи со структурой леса // Лесоведение. 1996. № 6. С. 26–35.
- Зарубина Л. В., Коновалов В. Н. Эколого-физиологические особенности ели в березняках черничных. Архангельск : ИД САФУ, 2014. 378 с.
- Иванов Л. А. О методе быстрого взвешивания для определения транспирации в естественных условиях // Ботанический журнал. 1950. Т. 35. Вып. 2. С. 171–185.
- Карасев В. Н., Карасева М. А. Особенности водного режима деревьев ели европейской в ранневесенний период // Известия высших учебных заведений. Лесной журнал. 2011. № 1. С. 37–42.
- Карпов В. Г. Экспериментальная фитоценология темнохвойной тайги. М. : Наука, 1969. 335 с.
- Коновалов В. Н., Зарубина Л. В. Эколого-биологические особенности подрост ели в мягколиственных лесах : монография. Архангельск : САФУ, 2002. С. 91–96.
- Крамер П. Д. Физиология древесных растений. М. : Лесн. пром-сть, 1983. 96 с.

- Лархер В. Экология растений. М. : Мир, 1978. 382 с.
- Лесной кодекс Российской Федерации от 04.12.2006 № 200-ФЗ. URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_64299/ (дата обращения: 15.06.2025).
- Мухаметова С. В., Анисимова С. В., Ямалиева Р. Р. Водообмен побегов древесных растений // Вестник ландшафтной архитектуры. 2020. № 21. С. 50–52.
- Национальный парк «Русский Север» : [сайт]. URL: <https://russever.region35.ru/> (дата обращения: 10.06.2025).
- Об утверждении Перечня лесорастительных зон Российской Федерации и Перечня лесных районов Российской Федерации : приказ Министерства природных ресурсов и экологии Российской Федерации от 18 августа 2014 г. № 367. URL: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/411296269/> (дата обращения: 10.06.2025).
- ОСТ 56-69–83. Пробные площади лесоустроительные. Метод закладки. М., 1983. 59 с.
- ОСТ 56-81–84. Полевые исследования почвы. Порядок и способы проведения работ, основные требования к результатам. М., 1984. 17 с.
- Платонова Ю. А., Зайцева В. А., Зарубина Л. В. Оценка лесовозобновления в национальном парке «Русский Север» // Молодые исследователи – регионам : матер. Междунар. науч. конф. (Вологда, 21–23 апреля 2020 г.). Вологда, 2020б. Т. 1. С. 487–489.
- Платонова Ю. А., Смирнов С. А., Зарубина Л. В. Изучение лесовозобновительных процессов на особо охраняемых природных территориях на примере национального парка «Русский Север» // Молодые исследователи агропромышленного и лесного комплексов – регионам : сб. науч. тр. по результатам работы IV Междунар. молод. науч.-практ. конф. 2020а. С. 242–245.
- Правила лесовосстановления, формы, состава, порядка согласования проекта лесовосстановления, оснований для отказа в его согласовании, а также требований к формату в электронной форме проекта лесовосстановления : приказ Министерства природных ресурсов и экологии Российской Федерации от 29 декабря 2021 г. № 1024. URL: <https://docs.cntd.ru/document/728111110> (дата обращения: 10.06.2025).
- Правила санитарной безопасности в лесах : Постановление Правительства Российской Федерации от 9 декабря 2020 г. № 2047. URL: <https://docs.cntd.ru/document/573053313> (дата обращения: 10.06.2025).
- Реймерс Н. Ф. Особо охраняемые природные. М. : Мысль, 1978. 298 с.
- Роде А. А. Водный режим почв и его регулирование. М. : Изд-во АН СССР, 1963. 119 с.
- Сазонова Т. А., Придача В. Б. Влияние почвенных условий среднетаежного сосняка лишайникового на рост и показатели минерального и водного режима сосны обыкновенной // Труды Карельского научного центра Российской академии наук. 2020. № 11. С. 113–123.
- Сенькина С. Н. Транспирация и устьичное сопротивление сосны обыкновенной в разных условиях произрастания // Известия высших учебных заведений. Лесной журнал. 2009. № 6. С. 45–52.
- Чернышенко О. В., Рудая О. А., Ефимов С. В. Интенсивность транспирации листьев у некоторых видов рода *Рео́ния* L. как один из возможных показателей их адаптации к условиям среды // Вестник МГУЛ. Лесной вестник. 2017. № 3. С. 78–86.
- Water, heat, and airborne pollutants effects on transpiration of urban trees / H. Wang, Z. Ouyang, W. Chen [et al.] // Environmental Pollution. 2011. Vol. 159, Iss. 8–9. P. 2127–2137.

References

- Alekseev V. A. The light regime of the forest. Moscow : Nauka, 1975. 280 p.
- Androsova A. V. Transpiration as a key indicator of water metabolism // Scientific almanac. 2020. № 22. P. 111–115. (In Russ.)

- Bogatyrev Yu. G., Vasilyeva I. N.* The water regime of soils and spruce undergrowth in cuttings and under the canopy of the forest // Forestry Science. 1985. № 2. P. 16–25. (In Russ.)
- Chernyshenko O. V., Rudaya O. A., Efimov S. V.* Leaf transpiration intensity in some species of the genus *Paesia* L. as one of the possible indicators of their adaptation to environmental conditions // Vestnik MGUL. Lesnoy vestnik. 2017. № 3. P. 78–86 (In Russ.)
- Evstigneev O. I.* The relation of deciduous trees to light and water availability in connection with the structure of the forest // Forestry Science. 1996. № 6. P. 26–35. (In Russ.)
- Forest Code of the Russian Federation № 200-FZ dated 04.12.2006. URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_64299/ (accessed 15.06.2025).
- Gordeeva L. I., Veretennikov A. V.* The water regime of spruce undergrowth in connection with logging in the northern taiga subzone of the European part of the USSR // Reforestation issues in the European North. Arkhangelsk : AILH, 1976. P. 305–311. (In Russ.)
- Gusev I. I.* Modeling ecosystems : Study guide. Arkhangelsk : Publishing House of Arkhangelsk State Technical University, 2002. 112 p.
- Ivanov L. A.* On the method of rapid weighing for determining transpiration in vivo // The nerd. Journal. 1950. Vol. 35, Issue 2. P. 171–185. (In Russ.)
- Karasev V. N., Karaseva M. A.* Features of the water regime of European spruce trees in the early spring period // News of higher educational institutions. Forest magazine. 2011. № 1. P. 37–42. (In Russ.)
- Karpov V. G.* Experimental phytocenology of the dark coniferous taiga. Moscow : Science, 1969. 335 p.
- Konovalov V. N., Zarubina L. V.* Ecological and biological features of spruce undergrowth in soft-leaved forests : The monograph. Arkhangelsk : NArFU, 2002. P. 91–96.
- Kramer P. D.* Physiology of woody plants. Moscow : Forestry industry, 1983. 96 p.
- Larher V.* Plant Ecology. Moscow : Mir, 1978. 382 p.
- Mukhametova S. V., Anisimova S. V., Yamalieva R. R.* Water exchange of shoots of woody plants // Bulletin of Landscape Architecture. 2020. № 21. P. 50–52. (In Russ.)
- National Park “Russian North” : [website]. URL: <https://russever.region35.ru/> (accessed 10.06.2025).
- On Approval of the List of Forest-growing Zones of the Russian Federation and the List of Forest Regions of the Russian Federation : Order № 367 of the Ministry of Natural Resources and Ecology of the Russian Federation dated August 18, 2014. URL: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/411296269/> (accessed 10.06.2025).
- OST 56-69–83. The trial areas are forestry. The bookmark method. Moscow, 1983. 59 p.
- OST 56-81–84. Field soil research. The order and methods of work, the basic requirements for the results. Moscow, 1984. 17 p.
- Platonova Yu. A., Smirnov S. A., Zarubina L. V.* Study of reforestation processes in specially protected natural areas on the example of the Russian North National Park // Young researchers of agro–industrial and forestry complexes – by region : Collection of scientific papers based on the results of the IV International Youth Scientific and practical conference. 2020. P. 242–245. (In Russ.)
- Platonova Yu. A., Zaitseva V. A., Zarubina L. V.* Assessment of reforestation in the Russian North National Park. Young Researchers to the regions Proceedings of the International Scientific Conference (Vologda, April 21–23, 2020). Vologda, 2020. Vol. 1. P. 487–489. (In Russ.)
- Reimers N. F.* Specially protected natural areas. Moscow : Mysl, 1978. 298 p.
- Rode A. A.* The water regime of soils and its regulation. Moscow : Publishing House of the USSR Academy of Sciences, 1963. 119 p.
- Rules of sanitary safety in forests. Decree of the Government of the Russian Federation № 2047 of December 9, 2020. URL: <https://docs.cntd.ru/document/573053313> (accessed 10.06.2025).

- Sazonova T. A., Pridacha V. B.* The influence of soil conditions of the middle taiga lichen pine on the growth and indicators of the mineral and water regime of the common pine // Proceedings of the Karelian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences. 2020. № 11. P. 113–123. (In Russ.)
- Senkina S. N.* Transpiration and stomatal resistance of the common pine in different growing conditions // News of higher educational institutions. Forest magazine. 2009. № 6. P. 45–52. (In Russ.)
- The rules of reforestation, the form, composition, procedure for approving the reforestation project, the grounds for refusal to approve it, as well as the requirements for the format in electronic form of the reforestation project : Order of the Ministry of Natural Resources and Ecology of the Russian Federation № 1024 dated December 29, 2021. URL: <https://docs.cntd.ru/document/728111110> (accessed 10.06.2025).
- Veretennikov A. V.* Plant physiology with the basics of biochemistry : textbook. Voronezh : VSU Publishing House, 1987. 256 p.
- Water, heat, and airborne pollutants effects on transpiration of urban trees / *H. Wang, Z. Ouyang, W. Chen* [et al.] // Environmental Pollution. 2011. Vol. 159, Iss. 8–9. P. 2127–2137.
- Zarubina L. V., Kononov V. N.* Ecological and physiological features of spruce in blueberry birch forests. Arkhangelsk : SAFU Publishing House, 2014. 378 p.

Информация об авторах

Л. В. Зарубина – доктор сельскохозяйственных наук, профессор;

В. А. Зайцева – аспирант;

Ю. А. Платонова – аспирант;

Л. В. Кузнецова – научный сотрудник.

Information about the authors

L. V. Zarubina – Doctor of Agricultural Sciences, Professor;

V. A. Zaitseva – postgraduate student;

Yu. A. Platonova – postgraduate student;

L. V. Kuznetsova – researcher.

Статья поступила в редакцию 31.07.2025; принята к публикации 20.09.2025.

The article was submitted 31.07.2025; accepted for publication 20.09.2025.
