

Леса России и хозяйство в них. 2025. № 4 (95). С. 69–76.

Forests of Russia and economy in them. 2025. № 4 (95). P. 69–76.

Научная статья

УДК 630.283.1:630.187

DOI: 10.51318/FRET.2025.95.4.007

## ВЫБОРОЧНЫЕ РУБКИ КАК СПОСОБ ПОВЫШЕНИЯ ПРОДУКТИВНОСТИ ДИКОРАСТУЩИХ ЧЕРНИЧНИКОВ

Юрий Алексеевич Аржанников<sup>1</sup>, Игорь Александрович Панин<sup>2</sup>,  
Владислав Сергеевич Кропотин<sup>3</sup>

<sup>1–3</sup> Уральский государственный лесотехнический университет,  
Екатеринбург, Россия

<sup>1</sup> Wolf1997@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4345-6879>

<sup>2</sup> paninia@m.usfeu.ru, <http://orcid.org/0000-0002-7798-3442>

<sup>3</sup> kropotin.wlad99@yandex.ru

**Аннотация.** Создание полукультур черники, а именно повышение урожайности дикорастущих черничников путем проведения лесоводственных и агротехнических мероприятий, является одним из направлений развития отрасли заготовок дикорастущих ягод. В настоящее время в России оно не развивается в отличие от выращивания дикоросов на плантациях. Это связано с отсутствием необходимой нормативно-правовой базы для культивирования черничников в лесной среде, а также недостаточным научно-теоретическим обоснованием. В данной работе представлены данные изучения влияния проходных и равномерно-постепенных рубок на ресурсы дикорастущей черники в условиях сосняка ягодникового подзоны средней тайги Свердловской области. Установлено, что снижение полноты древостоя до оптимальной 0,5–0,7 приводит к многократному увеличению продуктивности ягодников. Проективное покрытие черники в таких насаждениях составляет 3,3–60,5 %, надземная фитомасса в абсолютно сухом состоянии – 132,0–2460,0 кг/га, а урожайность достигает 80,4 кг/га. Это почти в два раза выше по сравнению с таковыми в спелых и перестойных насаждениях сосняка ягодникового, где рубок не проводилось. Таким образом, снижение полноты древостоя до оптимальной можно рекомендовать в качестве способа повышения урожайности дикорастущих черничников.

**Ключевые слова:** черника обыкновенная, *Vaccinium myrtillus* L., дикорастущие ягоды, полукультуры черники, оптимальные полноты, выборочные рубки, сосняк ягодниковый

**Для цитирования:** Аржанников Ю. А., Панин И. А., Кропотин В. С. Выборочные рубки как способ повышения продуктивности дикорастущих черничников // Леса России и хозяйство в них. 2025. № 4 (95). С. 69–76.

Original article

## SELECTIVE CUTTING AS A WAY TO INCREASE THE PRODUCTIVITY OF WILD BLUEBERRIES PLANTS

Yuri A. Arzhannikov<sup>1</sup>, Igor A. Panin<sup>2</sup>, Vladislav S. Kropotin<sup>3</sup>

<sup>1–3</sup> Ural State Forest Engineering University, Yekaterinburg, Russia

<sup>1</sup> Wolf1997@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4345-6879>

<sup>2</sup> paninia@m.usfeu.ru, <http://orcid.org/0000-0002-7798-3442>

<sup>3</sup> kropotin.wlad99@yandex.ru

**Abstract.** The creation of semi-crops of blueberries, namely, increasing the yield of wild blueberries plants through forestry and agrotechnical measures, is one of the directions of development of the wild berry procurement industry. Currently, this area is not developing in Russia, unlike the cultivation of wild plants on plantations. This is due to the lack of the necessary regulatory framework for the cultivation of blueberries plants in the forest environment, as well as insufficient scientific and theoretical justification. This article presents data on the research of the effect of continuous and evenly gradual cutting on wild blueberry resources in the conditions of berry-bearing pine forests of the middle taiga subzone of the Sverdlovsk region. It was found that reducing the fullness of the stand to an optimal 0,5–0,7 leads to a multiple increase in berry-bearing plants productivity. The projective coverage of blueberries in such plantations is 3,3–60,5 %, the aboveground phytomass in an absolutely dry state is 132,0–2460,0 kg/ha, and the yield reaches 80,4 kg/ha. This is almost twice as high as in ripe and over-grown plantations, where no cutting was carried out. Thus, reducing the fullness of the stand to optimal can be recommended as a way to increase the yield of wild blueberries plants.

**Keywords:** blueberries, *Vaccinium myrtillus* L., wild berries, blueberry semi-crops, optimal fullness, selective cutting, berry-bearing pine plant

**For citation:** Arzhannikov Yu. A., Panin I. A., Kropotin V. S. Selective cutting as a way to increase the productivity of wild blueberries plants // Forests of Russia and economy in them. 2025. № 4 (95). P. 69–76.

### Введение

Плантационное выращивание дикорастущих ягод во многих странах мира является развитой отраслью с большим товарооборотом. Сегодня она постепенно развивается и на территории Российской Федерации. Проблеме создания плантаций дикоросов в нашей стране посвящено множество актуальных исследований (Проблемы использования..., 2019; Тяк и др., 2020; Перспективы..., 2023 и др.). Общим мнением является перспективность данной отрасли. Плантации лесных ягод позволяют получать стабильный высокий урожай ягод на конкретных территориях с удобной логистикой и наличием доступных трудовых ресурсов. Культивированные дикоросы должны

удовлетворить растущий спрос на лесные ягоды в условиях уменьшения трудоспособного сельского населения и сокращения площадей дикорастущих ягодников под влиянием антропогенных нагрузок. Альтернативой созданию плантаций лесных ягод является их выращивание в лесной среде путем повышения продуктивности уже существующих дикорастущих ягодников. В научной литературе для этого закрепился термин «полукультуры». Основные исследования в данном направлении проводились в 70-е и 80-е годы XX в. и давали положительный результат. Особенно большое внимание уделялось повышению урожайности дикорастущей черники (Валова, 1975; Черкасов, Шутов, 1981; Запаранюк, 1982). Анализ

доступных научных данных показал отсутствие актуальных исследований по данной тематике. Вместе с тем полукультуры черники вполне могут составлять конкуренцию ягодным плантациям, решая схожие задачи.

Известным фактом является наличие зоны экологического оптимума по освещенности подпологового пространства, наиболее благоприятного для роста и плодоношения конкретных видов плодовых растений, подлеска и живого напочвенного покрова. Для черники обыкновенной при редком подросте и подлеске это относительная полнота древостоя в диапазоне от 0,4 до 0,7. При меньших полнотах черника испытывает стресс, так как повреждается прямыми солнечными лучами, а при больших – нехватку солнечного света (Коростелев и др., 2010; Годовалов и др., 2018). Добиться повышения продуктивности дикорастущих черничников возможно посредством регулирования густоты древостоя рубками.

Вопросу влияния рубок на запасы и урожайность дикорастущей черники посвящено немало исследований, однако в них рассматриваются преимущественно последствия сплошных рубок (Зворыкина, 1972; Курлович, 1988; Торопова, Старицын, 2019). Исследователи сходятся во мнениях, что сплошные рубки пагубно сказываются на ресурсах дикорастущей черники. Вопрос влияния выборочных и постепенных рубок на дикорастущие черничники изучен недостаточно.

Важно отметить, что в настоящее время ресурсы дикорастущих ягод при проектировании лесохозяйственных мероприятий в России не принимаются во внимание. В частности, не существует соответствующей нормативно-правовой базы. Для ее возникновения и обоснования требуется всестороннее изучение вопроса изменений ресурсов дикорастущих ягод в послерубочный период.

#### **Цель, задача, методика и объекты исследования**

Нашей целью является установление ресурсов дикорастущей черники после выборочных и постепенных рубок в условиях сосняка ягодникового (С. яг.) подзоны средней тайги Свердловской

области. Для этого на территории Уральского учебно-опытного лесхоза (УУОЛ УГЛТУ) были подобраны участки, на которых были заложены пробные площади (ПП) по общепринятым в лесных науках методикам. Это места проведения выборочных рубок различной давности, а также первого приема равномерно-постепенных рубок. Всего было заложено 11 ПП. В табл. 1 представлена их таксационная характеристика. Давность проведения рубки варьирует от 4 до 14 лет, текущая относительная полнота – от 0,5 до 0,8. Относительные полноты до рубки составляли 0,8–1,0, после рубки – 0,5–0,7. Снижение полноты в результате частичной уборки древостоя составило 0,2–0,3. На момент закладки ПП по истечении времени после рубок полноты некоторых древостоев увеличились до 0,6–0,8. По возрасту насаждения варьируют от 65 до 130 лет. В приспевающих древостоях проводились проходные рубки (ПРХ), в спелых и перестойных – 1-й прием равномерно-постепенных рубок (РПР).

В качестве контроля были также использованы данные из наших ранее опубликованных работ о ресурсах черники в спелых и перестойных насаждениях С. яг. на территории подзоны средней тайги Свердловской области (Панин, Аржанников, 2024).

ЖНП изучался на учетных площадках размером  $0,25 \times 0,25$  м, которые закладывались по ходовым линиям через равные расстояния в количестве, необходимом для обеспечения точности учета в 10 %. На них в соответствии с общепринятыми методиками определялся видовой состав растений, их проективное покрытие, надземная фитомасса в абсолютно сухом состоянии и текущий урожай плодов (Бунькова и др., 2020; Панин, Белов, 2022). Сушка проводилась в лабораторных условиях с использованием сушильного шкафа при температуре  $95^{\circ}\text{C}$ . Для сушки применялись взятые с каждой ПП навески надземных частей растений. Спелые и целые плоды черники пересчитывались и взвешивались. Отдельно учитывались неспелые и поврежденные ягоды. Их вес определялся путем умножения количества на среднюю массу 100 ягод черники, собранных на данной ПП.

Таблица 1  
Table 1Таксационные характеристики ПП  
Taxation characteristics of PP

№ ПП № PP	Кв. Quarter	Выд. District	Вид рубки Type of logging	Год вырубki / давность, лет Year of deforestation / ago, years	Возраст Age	Относительные полноты Relative completeness			Состав древостоя Composition of stand
						до рубки before logging	после рубки after logging	на момент учета at time of study	
1	26	11	РПП EGL	$\frac{2002}{12}$	130	0,7	0,5	0,6	10С 10Р
2	25	11	ПРХ PLIF	$\frac{2000}{14}$	85	0,9	0,7	0,8	6С4Б+С 6Р4Б+Р
3	28	7	ПРХ PLIF	$\frac{2018}{6}$	65	0,8	0,6	0,6	4Р1Л5Б 4Р1Л5В
4	28	43	РПП EGL	$\frac{2016}{8}$	110	0,9	0,7	0,7	7Р1Л2Б+Е 7Р1Л2Б+Ф
5	28	26	РПП EGL	$\frac{2018}{6}$	70	0,9	0,7	0,8	7Р3В+Л 7Р3В+Л
6	22	22	РПП EGL	$\frac{2018}{6}$	110	0,8	0,5	0,5	7С1Л2Б 7Р1Л2Б
7	22	13	ПРХ PLIF	$\frac{2018}{6}$	65	0,9	0,7	0,7	5С5Б+ЛП,Л 5Р5В+Lin,Л
8	22	18	РПП EGL	$\frac{2020}{4}$	130	0,8	0,5	0,5	4С2С1Л3Б 4Р2Р1Л3В
9	22	19	ПРХ PLIF	$\frac{2020}{4}$	65	1	0,7	0,7	5Р5Б+Л,С 5Р5В+Л,С
10	6	41	РПП EGL	$\frac{2016}{8}$	130	0,9	0,7	0,7	6Р4Б+Л 6Р4В+Л
11	6	9	ПРХ PLIF	$\frac{2016}{8}$	70	0,9	0,7	0,7	5Р5Б 5Р5В

*Примечание.* РПП – равномерно-постепенная рубка; ПРХ – проходная рубка; С – сосна; Б – береза; Л – лиственница; Е – ель; ЛП – липа.

*Note.* EGL – evenly gradual logging; PLIF – partial logging of immature forests; Р – pine; В – birch; Л – larch; Е – spruce; Lin – linden.

**Результаты и их обсуждение**

Полученные на ПП показатели запасов черники обыкновенной представлены в табл. 2. Надземная фитомасса в абсолютно сухом состоянии варьирует в диапазоне от 112,0 до 2460 кг/га при проективном покрытии от 2,8 до 61,5 % и урожайности от 0 до 80,4 кг/га. Это позволяет однозначно утверждать, что насаждения С. яг. спустя 4–14 лет после уборки части древостоя многократно превышают по запасам черники спелые и перестойные насаждения, где ранее рубок не проводилось. Для сравнения: их надземная фитомасса черники в абсолютно сухом

состоянии – 12,7–426,3 кг/га, проективное покрытие – 2,1–11,8 %, а урожайность не превышает 39,8 кг/га.

Никакой разницы по ресурсному потенциалу черники в насаждениях после проходных рубок и первого приема равномерно-постепенных не прослеживается. Параметры сопоставимы и отличаются незначительно. Также не установлено зависимости показателей запаса черники от относительной полноты древостоев. Корреляционный анализ показал, что связь между относительными полнотами и ресурсами черники в насаждениях после проходных и равномерно-постепенных

Таблица 2

Table 2

Показатели запасов черники обыкновенной на объектах исследования

Indicators of stocks of blueberries according to the objects of the study

№ ПП No PP	Давность, лет Ago, years	Надземная фитомасса абсолютно сухая, кг/га Aboveground phytomass is absolutely dry, kg/ha	Проективное покрытие, % Projective cover, %	Урожай плодов, кг/га Fruit yield, kg/ha
Проходная рубка Partial logging of immature forests				
9	4	1340,0	33,5	73,8
3	6	2460,0	61,5	80,4
7	6	435,0	10,9	7,3
11	8	1355,6	33,9	62,0
2	14	132,0	3,3	0,0
Равномерно-постепенная рубка Evenly gradual logging				
8	4	1715,0	42,9	62,0
5	6	700,0	17,5	16,4
6	6	385,0	9,6	21,9
4	8	308,6	7,7	0,0
10	8	1352,0	33,8	26,2
1	12	112,0	2,8	3,3
Контроль (Панин, Аржанников, 2024) Control (Panin, Arzhannikov, 2024)		12,7–426,3	2,1–11,8	0–39,8

рубков отсутствует. Значение коэффициента корреляции  $r_{xy}$  по всем трем установленным параметрам меньше 0,1. При этом полноты рассматривались текущие (на момент учета), итоговые после рубки, а также исходные (до рубки). Связи нет во всех трех случаях. На этом необходимо заострить внимание, поскольку связь ресурсов черники и относительных полнот является подтвержденным фактом, установленным в различных исследованиях (Коростелев и др., 2010; Годовалов и др., 2018). В том числе данная закономерность прослеживается в спелых и перестойных насаждениях С.яг. района проведения исследования, где выборочные и постепенные рубки первого приема не проводились (Панин, Аржанников, 2024).

Исходной гипотезой было то, что запасы черники будут меняться по мере увеличения давности рубки, однако полученные данные ее опровергают. При анализе всех трех показателей и возможной связи с давностью рубки никакой системы или закономерности не наблюдается.

На данном этапе у нас нет данных, чтобы делать предположения о причинах отсутствия данных связей на объектах нашего исследования или полностью исключить фактор случайности. Можно отметить, что в насаждениях С.яг. спустя 4–14 лет после частичной уборки древостоя развитие ЖНП может идти по различным сценариям под влиянием множества факторов, из-за чего количественные показатели запасов оказываются мало предсказуемыми. В том числе относительные

полноты и давность рубки оказываются ненадежными предикторами. К примеру, при одинаковой относительной полноте 0,7 проективное покрытие черники может варьировать от 2,8 до 17,5 %, при одинаковой давности рубки 8 лет – от 7,7 до 33,9 %. Можно констатировать, что данный вопрос нуждается в дальнейшем изучении.

Также отметим, что далеко не каждое из исследуемых насаждений после снижения полноты древостоя в ходе рубок характеризуется наличием значительных ресурсов черники. На двух ПП урожайность отсутствовала, еще на 3 составила всего 3,3–16,4 кг/га. Проективное покрытие черники на 4 ПП из 11 менее 10 %. Все эти насаждения находятся в оптимальных условиях по относительным полнотам. Кроме того, после рубки прошло достаточно времени для разрастания кустарничков черники. Таким образом, повышение ресурсов черники после частичной уборки древостоя не является гарантированным результатом.

### Выводы

1. Выборочные и проходные рубки позволяют многократно увеличить запасы дикорастущей черники в условиях С.яг. подзоны средней тайги Свердловской области. Урожай плодов в таких насаждениях достигает 84 кг/га, что в два раза выше, чем в спелых и перестойных насаждениях, где рубок не проводилось.

2. В изучаемых насаждениях связи запасов черники с давностью рубки и относительными полнотами не прослеживается.

3. Проведение рубок, снижающих полноту древостоя до 0,5–0,7, можно рассматривать как действенный способ повышения урожайности дикорастущих черничников.

4. С помощью частичной уборки древостоя можно значительно повысить урожайность имеющихся продуктивных зарослей, однако данное лесохозяйственное мероприятие не гарантирует развитие в С.яг. черничника.

### Список источников

- Бунькова Н. П., Залесов С. В., Залесова Е. С. Основы фитомониторинга. Изд. 3-е, доп. и перераб. Екатеринбург : Урал. гос. лесотехн. ун-т, 2020. 90 с.
- Валова З. Г. Повышение продуктивности черничников в Белоруссии // Лесное хозяйство. 1975. № 9. С. 74–76.
- Годовалов Г. А., Залесов С. В., Коростелев А. С. Недревесная продукция леса. Изд. 4-е, перераб. и доп. М. : Юрайт, 2018. 351 с.
- Запаранюк А. Е. Повышение урожайности дикорастущих ягодников путем применения минеральных удобрений на Урале : дис. ... канд. с.-х. наук : 06.03.03 / Запаранюк Александр Евгеньевич. Свердловск, 1982. 229 с.
- Зворыкина К. В. Влияние вырубki на урожайность черники // Продуктивность дикорастущих ягодников и их хозяйственное использование. Киров : ВНИИХОЗ, 1972. С. 17–19.
- Коростелев А. С., Залесов С. В., Годовалов Г. А. Недревесная продукция леса : учебник. Екатеринбург : УГЛТУ, 2010. 480 с.
- Курлович Л. Е. Динамика проективного покрытия черники и видового состава травяно-кустарничкового яруса в сосняках – черничниках после рубок главного пользования // Вопросы лесного охотоведения и недревесной продукции леса. М. : ВНИИЛМ, 1988. С. 75–79.
- Проблемы использования и воспроизводства фитогенных пищевых и лекарственных ресурсов леса на землях лесного фонда Костромской области / С. С. Макаров, Е. С. Багаев, С. Ю. Цареградская, И. Б. Кузнецова // Лесной журнал. 2019. № 6. С. 118–131.
- Панин И. А., Аржанников Ю. А. Ресурсы черники обыкновенной в насаждениях сосняка ягодникового подзоны средней тайги Свердловской области // Леса России и хозяйство в них. 2024. № 3 (90). С. 26–34.



- Панин И. А., Белов Л. А. Определение ресурсов дикорастущих пищевых и лекарственных растений : учеб. пособие. Екатеринбург : УГЛУТУ, 2022. 87 с.
- Перспективы плантационного выращивания лесных ягодных растений в северных регионах России / С. С. Макаров, Г. В. Тях, А. И. Чудецкий [и др.] // Арктика 2035 : актуальные вопросы, проблемы, решения. 2023. № 3 (15). С. 62–77.
- Торопова Е. В., Старицын В. В. Продуктивность черники обыкновенной (*Vaccinium myrtillus* L.) в экотонной зоне вырубки // Проблемы обеспечения экологической безопасности и устойчивое развитие арктических территорий : сб. матер. Всерос. конф. с междунар. участием. II Юдахинские чтения, Архангельск, 24–28 июня 2019 года / отв. ред. И. Н. Болотов. Архангельск : ОМ-медиа, 2019. С. 407–412.
- Тях Г. В., Макаров С. С., Курлович Л. Е. Выращивание лесных ягодных растений в России: современное состояние и перспективы // Леса России: политика, промышленность, наука, образование : матер. Всерос. V науч.-техн. конф.-вебинара, Санкт-Петербург, 16–18 июня 2020 года / СПб. гос. лесотехн. ун-т им. С. М. Кирова. СПб. : Политех-Пресс, 2020. С. 254–256.
- Черкасов А. Ф., Шутов В. В. Способы, оптимальные сроки заготовки дикорастущих ягод и пути повышения продуктивности естественных зарослей ягодников семейства брусничных : метод. рекомендации. М., 1981. 30 с.

## References

- Bunkova N. P., Zalesov S. V., Zalesova E. S. Fundamentals of phytomonitoring. 3rd edition, expanded and revised. Yekaterinburg : Ural State Forest Engineering University, 2020. 90 p.
- Cherkasov A. F., Shutov V. V. Methods, optimal timing of harvesting wild berries and ways to increase the productivity of natural berry crops of the lingonberry family : Method. rec. Moscow, 1981. 30 p.
- Godovalov G. A., Zalesov S. V., Korostelev A. S. Non-timber forest production 4th ed., revised and an additional edition. Moscow : Yurait, 2018. 351 p.
- Korostelev A. S., Zalesov S. V., Godovalov G. A. Non-timber forest production : textbook. Yekaterinburg : UGLU, 2010. 480 p.
- Kurlovich L. E. Dynamics of the projective cover of blueberries and the species composition of the herbaceous shrub layer in blueberry pine forests after logging of the main use. // Issues of forest hunting and non-timber forest products. Moscow : VNIILM, 1988. P. 75–79. (In Russ.)
- Panin I. A., Arzhannikov Yu. A. Resources of common blueberry in the deposits of berry pine of the middle taiga subzone of the Sverdlovsk region // Forests of Russia and economy in them. 2024. № 3 (90). P. 26–34. (In Russ.)
- Panin I. A., Belov L. A. Determining the resources of wild food and medicinal plants : A textbook. Yekaterinburg : UGLTU, 2022. 87 p.
- Problems of using and reproducing phytogenic food and medicinal forest resources on the lands of the Kostroma Region forest fund / S. S. Makarov, E. S. Bagaev, S. Y. Tsaregradskaya, I. B. Kuznetsova // Forest Journal. 2019. № 6. P. 118–131. (In Russ.)
- Prospects of plantation cultivation of forest berry plants in the northern regions of Russia / S. S. Makarov, G. V. Tyak, A. I. Chudetsky [et al.] // Arctic 2035: current issues, problems, solutions. 2023. № 3 (15). P. 62–77. (In Russ.)
- Toropova E. V., Staritsyn V. V. Productivity of blueberries (*Vaccinium myrtillus* L.) in the ecotone cutting zone // Problems of ensuring environmental safety and sustainable development of Arctic territories : proceedings of the All-Russian Conference with international participation. II Yudakhinsky readings, Arkhangelsk, June 24–28, 2019 / The responsible editor is I. N. Bolotov. Arkhangelsk : OM-media, 2019. P. 407–412. (In Russ.)

- Tyak G. V., Makarov S. S., Kurlovich L. E.* Cultivation of wild berry plants in Russia: current state and prospects // Forests of Russia: politics, industry, science, education : proceedings of the All-Russian V Scientific and Technical Conference-webinar, St. Petersburg, June 16-18, 2020 / St. Petersburg State Forest Engineering University named after S. M. Kirov. Saint Petersburg : Polytech Press, 2020. P. 254–256. (In Russ.)
- Valova Z. G.* Increasing the productivity of blueberries in Belarus // Forestry. 1975. № 9. P. 74–76. (In Russ.)
- Zaparanyuk A. E.* Increasing the yield of wild berries by using mineral fertilizers in the Urals : dissertation for the degree of Candidate of agricultural Sciences in the field of 06.03.03 / *Zaparanyuk Alexander Evgenievich*. Sverdlovsk, 1982. 229 p.
- Zvorykina K. V.* The effect of logging on blueberry yields // Productivity of wild berries and their economic use. Kirov : All-Union Scientific Research Institute of Hunting and Animal Husbandry, 1972. P. 17–19. (In Russ.)

#### ***Информация об авторах***

*Ю. А. Аржанников – аспирант;*  
*И. А. Панин – кандидат сельскохозяйственных наук, доцент;*  
*В. С. Кропотин – магистр.*

#### ***Information about the authors***

*Yu. A. Arzhannikov – postgraduate student;*  
*I. A. Panin – Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor;*  
*V. S. Kropotin – Master's degree.*

*Статья поступила в редакцию 25.04.2025; принята к публикации 03.07.2025.*  
*The article was submitted 25.04.2025; accepted for publication 03.07.2025.*

---

---