

Валентина Леонидовна Бопп

Красноярский государственный аграрный университет, Красноярск, Россия

vl_kolesnikova@mail.ru

ВЛИЯНИЕ ФИТОГОРМОНА И НАНОЧАСТИЦ БИОГЕННОГО ФЕРРИГИДРИТА НА ФОРМИРОВАНИЕ ТОВАРНОСТИ САЖЕНЦЕВ ОБЛЕПИХИ МУЖСКОГО ТИПА В УСЛОВИЯХ КРАСНОЯРСКОЙ ЛЕСОСТЕПИ

Цель исследований – определить влияние обработки зеленых черенков фитогормоном и наночастицами биогенного ферригидрита на формирование товарности саженцев облепихи мужского типа в условиях Красноярской лесостепи. Эксперименты проведены в 2018–2023 гг. в ООО «Садовый центр Аграрного университета». Объект исследования – сорт-опылитель облепихи Алей. Размножение культуры проводили способом зеленого черенкования, черенки заготавливали в I декаде июля. Для повышения корнеобразовательной способности черенки обрабатывали с экспозицией в 12 ч в растворе индоллил-3-уксусной кислоты (ИУК) (контроль) и ИУК с добавлением наночастиц биогенного ферригидрита (Feh) в 6 модификациях: в чистом виде и допированных алюминием (Feh_Al), кобальтом (Feh_Co), кремнием (Feh_Si), молибденом (Feh_Mo) марганцем (Feh_Mn). Подготовленные черенки высаживали в теплицу. Весной следующего года у окорененных черенков учитывали параметры развития корневой системы: размеры зоны окоренения, количество корней 1-го порядка ветвления, их суммарную длину и затем их высаживали на доращивание в открытый грунт. Осенью выкопанные саженцы распределяли на 1-й, 2-й товарные сорта и нестандарт. В среднем за период проведения исследований на варианте с обработкой черенков ИУК товарность саженцев составила 88,9 %. Обработка черенков растворами ИУК + Feh_Co, ИУК + Feh_Si, ИУК + Feh_Mo, ИУК + Feh способствовала повышению товарности посадочного материала на 8,0; 6,6; 5,1; 4,4 и 3,8 % соответственно. Вклад фактора «стимулятор корнеобразования» в формирование саженцев 1-го товарного сорта составил 18,0 %, 2-го товарного сорта – 10,9 %. Основное влияние оказали условия вегетации: 67,4 % для 1-го сорта и 62,5 % для 2-го сорта. Матрица парных коэффициентов показывает очень высокую положительную взаимосвязь между показателями «суммарная длина корней 1-го порядка ветвления» у окорененных черенков и «товарность саженцев» ($r = 0,971$).

Ключевые слова: питомниководство, облепиха, стимулятор роста, наночастицы, биогенный ферригидрит, саженцы, товарность, корреляция

Для цитирования: Бопп В.Л. Влияние фитогормона и наночастиц биогенного ферригидрита на формирование товарности саженцев облепихи мужского типа в условиях Красноярской лесостепи // Вестник КрасГАУ. 2026. № 5. С. 27–37. DOI: 10.36718/1819-4036-2026-5-27-37.

Финансирование: работа выполнена при поддержке ООО «Садовый центр Аграрного университета».

Valentina Leonidovna Bopp

Krasnoyarsk State Agrarian University, Krasnoyarsk, Russia

vl_kolesnikova@mail.ru

INFLUENCE OF PHYTOHORMONE AND BIOGENIC FERRIHYDRITE NANOPARTICLES ON THE FORMATION OF MARKETABILITY OF MALE SEA BUCKTHORN SEEDLINGS IN THE KRASNOYARSK FOREST-STEPPE

The aim of this study was to investigate the effect of treating green cuttings with a phytohormone and biogenic ferrihydrite nanoparticles on the development of marketable male sea buckthorn seedlings in the Krasnoyarsk forest-steppe. The experiments were conducted from 2018 to 2023 at the Garden Center of the Agrarian University. The study subject was the pollinator variety of sea buckthorn, 'Aley.' Propagation was carried out using green cuttings, with cuttings harvested in the first ten days of July. To enhance root formation, the cuttings were exposed for 12 hours to a solution of indole-3-acetic acid (IAA) (control) and IAA supplemented with six modifications of biogenic ferrihydrite (Feh) nanoparticles: pure and doped with aluminum (Feh_Al), cobalt (Feh_Co), silicon (Feh_Si), molybdenum (Feh_Mo), and manganese (Feh_Mn). The prepared cuttings were planted in a greenhouse. The following spring, root development parameters were recorded for the rooted cuttings, including the size of the rooting zone, the number of first-order roots, and their total length. They were then planted in open ground for further growth. In the fall, the dug-up seedlings were divided into first and second commercial grades, and non-standard varieties. On average, during the research period, the marketability of seedlings in the variant with the treatment of cuttings with IAA was 88.9 %. Treatment of cuttings with solutions of IAA + Feh_Co, IAA + Feh_Si, IAA + Feh_Mo, IAA + Feh, IAA + Feh_Mn contributed to an increase in the marketability of planting material by 8.0; 6.6; 5.1; 4.4 and 3.8 % respectively. The contribution of the "root formation stimulator" factor to the formation of seedlings of the 1st commercial variety was 18.0 %, and of the 2nd commercial variety – 10.9 %. The main influence was exerted by vegetation conditions: 67.4 % for the 1st variety and 62.5 % for the 2nd variety. The matrix of paired coefficients shows a very high positive relationship between the indicators "total length of roots of the 1st order of branching" in rooted cuttings and "marketability of seedlings" ($r = 0.971$).

Keywords: nursery, sea buckthorn, growth stimulator, nanoparticles, biogenic ferrihydrite, seedlings, marketability, correlation

For citation: Bopp V.L. Influence of phytohormone and biogenic ferrihydrite nanoparticles on the formation of marketability of male sea buckthorn seedlings in the Krasnoyarsk forest-steppe. *Bulletin of KSAU*. 2026. N 5. P. 27–37. (In Russ.). DOI: 10.36718/1819-4036-2026-5-27-37.

Funding: the work was carried out with the support of the Garden Center of the Agrarian University LLC.

Введение. Среди садовых культур, возделываемых в умеренной климатической зоне России, особое место занимает облепиха крушиновидная (*Hippophae rhamnoides* L.). Востребованность плодов облепихи ежегодно увеличивается: высокий уровень содержания в плодах биологически активных веществ (БАВ) позволяет получать качественные продукты питания и лекарственные препараты профилактического, реабилитационного и лечебного назначения [1–3]. У культуры выражена мелиоративная способность корневой системы, что обеспечивает возможность использования ее для рекультивации отвалов при добыче полезных ископаемых и закреплении песчаных почв [4]. Декоративные и бактерицидные качества листьев позволяют применять кустарник в озеленении населенных пунктов [5]. Технологии воспроизводства облепихи разработаны, однако их базовые принципы постоянно совершенствуются

[6]. Обеспечение потребности в посадочном материале облепихи для садоводства, благоустройства и мелиорации – важная задача питомниководства.

Облепиха – двудомное растение. Для качественного опыления в промышленных садах на 10 растений женского типа высаживают 1 мужское. Для рекультивационных работ и в ландшафтных проектах преимущественно используют растения мужского типа. В государственном реестре селекционных достижений допущено к использованию 84 сорта облепихи, среди них только 2 сорта являются опылителями: Алей и Гном. В Восточно-Сибирском регионе питомники в основном размножают сорт Алей. Рост и развитие растений, высаженных на постоянное место, выполнение ими функционального предназначения зависят от качества саженцев. Исследования, направленные на повышение товарности посадочного материала облепихи, не те-

ряют своей актуальности. Поиск научной информации показал, что использование наноматериалов повышает корнеобразовательную активность стеблевых черенков садовых растений [7–10].

Цель исследования – определить влияние обработки зеленых черенков фитогормоном и наночастицами биогенного ферригидрита на формирование товарности саженцев облепихи мужского типа в условиях Красноярской лесостепи.

Объекты и методы. Опыты были проведены в ООО «Садовый центр Аграрного университета» в 2018–2023 гг. Территория землепользования предприятия расположена в Красноярской лесостепи. Объект исследования – высокозимостойкий, сильнорослый сорт-опылитель облепихи Алей, созданный в НИИ садоводства Сибири им. М.А. Лисавенко. Размножение культуры проводили способом зеленого черенкования по общепринятой методике М.Т. Тарасенко (Тарасенко М.Т. Размножение растений зелеными черенками. М.: Колос, 1967. 184 с.). Черенковый материал, заготовленный в первой декаде июля, замачивали в течение 12 часов в растворе индолил-3-уксусной кислоты (ИУК) и в таком же растворе с добавлением наночастиц биогенного ферригидрита различных модификаций в дозе 1 мг/л. Схема опыта: ИУК (контроль); ИУК + наночастицы биогенного ферригидрита (Feh); ИУК + наночастицы биогенного ферригидрита, допированные алюминием (Feh_Al); ИУК + наночастицы биогенного ферригидрита, допированные кобальтом (Feh_Co); ИУК + наночастицы биогенного ферригидрита, допированные кремнием (Feh_Si); ИУК + наночастицы биогенного ферригидрита, допированные молибденом (Feh_Mo); ИУК + наночастицы биогенного ферригидрита, допированные марганцем (Feh_Mn). Регенерация зеленых черенков проходила в теплице, оборудованной мелкокапельным поливом. Контролируемые показатели у окоренных черенков (однолетних растений) (2018–2022 гг.): зона окоренения, количество корней 1-го порядка ветвления и их суммарная длина. Весной следующего года окоренные черенки высаживали в открытый грунт на доращивание в соответствии со схемой опыта. Осенью, после выкопки саженцев (2019–2023 гг.), у двулетних растений определяли их товарность в соответствии с требованиями норматива (ГОСТ Р 53135-2008 «Посадочный материал плодовых, ягодных, субтропических,

орехоплодных, цитрусовых культур и чая. Технические условия»), разделяя полученную продукцию на 1-й и 2-й товарные сорта и нестандарт. Статистическую обработку полученных экспериментальных данных проводили методами дисперсионного и корреляционного анализов, используя пакет программ MS Excel и SNEDECOR.

Результаты и их обсуждение. Длина зоны окоренения черенкового материала облепихи сорта Алей варьирует по годам исследований (табл. 1). Формирование корней, в основном в базальной части черенка, наблюдалось в 2018 г., в среднем по вариантам опыта зона корнеобразования составила 1,3 см. В последующие годы эксперимента участки ризогенеза занимали от 2,8 см (2021 г.) до 4,5 см (2022 г.). В среднем по годам исследований у зеленых черенков, обработанных ИУК, зона корнеобразования находилась в пределах 3,8 см. Добавление к фитогормону наночастиц гидроксида железа (Feh) и наночастиц в вариации Feh_Mo статистически значительно снизило размеры зоны корнеобразования на 1,0 см (–26,3 %) и на 0,7 см (–18,4 %) соответственно. На остальных вариантах опыта достоверных различий не отмечено.

Сосредоточение корневых зачатков, способных к формированию адвентивных корней, на определенной длине стеблевого черенка может быть взаимосвязано с их количеством. Меньше всего корней в среднем по вариантам эксперимента образовалось в 2018 г. – по 3,3 шт. на черенке. Наиболее высокая активность образования корней у зеленых черенков облепихи сложилась в 2019 и 2020 гг.: в среднем по вариантам опыта на 1 черенке насчитывалось по 8,8 и 9,3 шт. корней соответственно. Применение модификаций стимуляторов роста ИУК + Feh_Co, ИУК + Feh_Si, ИУК + Feh_Mn достоверно способствовало более интенсивному образованию корней по сравнению с контрольным значением. Лучший результат достигнут на варианте обработки черенкового материала смесью ауксина и наночастиц биогенного ферригидрита, допированного кремнием: в среднем за период исследований на черенке сформировалось по 8,3 шт. корней, что на 1,5 шт. (+ 22,1 %) превышает показатель контрольных растений. Замачивание зеленых черенков в стимуляторах роста ИУК + Feh, ИУК + Feh_Al, ИУК + Feh_Mo не выявило статистически значимых различий в количестве придаточных корней по отношению к фитогормону.

Морфометрические параметры корневой системы окоренных черенков облепихи
Morphometric parameters of the root system of rooted sea buckthorn cuttings

Стимулятор роста (фактор В)	Фактор А (год)					Среднее по фактору В
	2018	2019	2020	2021	2022	
Зона окоренения, см						
ИУК	1,4	5,6	4,8	3,3	4,1	3,8
ИУК + Feh	0,9	3,3	4,0	1,9	4,0	2,8
ИУК + Feh_Al	1,7	4,0	4,1	2,7	4,3	3,3
ИУК + Feh_Co	1,4	4,8	4,6	2,0	5,1	3,6
ИУК + Feh_Si	1,5	4,8	4,8	3,2	5,0	3,8
ИУК + Feh_Mo	0,9	3,3	3,9	2,5	5,0	3,1
ИУК + Feh_Mn	1,3	3,4	4,2	4,4	4,3	3,5
Среднее по фактору А	1,3	4,2	4,3	2,8	4,5	–
НСР факторов: А – 0,3; В – 0,5						
Количество корней 1-го порядка ветвления, шт.						
ИУК	2,1	8,1	8,6	7,9	7,2	6,8
ИУК + Feh	3,5	8,4	8,6	7,5	8,9	7,4
ИУК + Feh_Al	2,9	8,2	8,2	6,2	7,4	6,6
ИУК + Feh_Co	3,7	9,5	10,1	8,2	8,7	8,1
ИУК + Feh_Si	3,7	10,2	10,5	8,2	9,0	8,3
ИУК + Feh_Mo	3,6	8,4	8,7	5,7	8,5	7,0
ИУК + Feh_Mn	3,7	8,8	10,3	6,7	9,2	7,7
Среднее по фактору А	3,3	8,8	9,3	7,2	8,4	–
НСР факторов: А – 0,7; В – 0,8						
Суммарная длина корней 1-го порядка ветвления, см						
ИУК	15,6	56,9	67,1	65,8	55,3	52,2
ИУК + Feh	21,2	86,4	119,5	68,4	89,7	77,0
ИУК + Feh_Al	25,5	61,4	66,5	65,2	59,6	55,7
ИУК + Feh_Co	30,6	164,1	90,0	83,8	133,2	100,3
ИУК + Feh_Si	27,7	138,4	87,7	79,6	94,5	85,6
ИУК + Feh_Mo	23,4	100,3	88,1	67,8	55,0	73,9
ИУК + Feh_Mn	26,7	103,5	97,2	55,0	93,8	75,3
Среднее по фактору А	24,4	101,6	88,0	69,4	88,0	–
НСР факторов: А – 7,2; В – 8,2						

Среди исследуемых показателей развития корневой системы окоренных черенков облепихи, в части возможности прогнозирования интенсивности ростовых процессов саженцев при их дальнейшем доращивании, приоритетное значение имеет определение суммарной длины корней. Чем больше длина поглощающей поверхности, тем больше влаги и растворенных в ней элементов питания может потребить растение, тем больше вероятность формирования количественных и линейных параметров побеговой и корневой систем, соответствующих требованиям стандарта на посадочный материал. Исследования [11] показывают, что методы

культивирования в питомнике оказывают существенное влияние на рост корней культуры.

У окоренных черенков длина корней 1-го порядка ветвления в 1 год наблюдений в среднем по опыту составила 24,4 см. Наиболее короткая корневая система сформировалась у контрольных экземпляров – 15,6 см. Обработка зеленых черенков композициями фитогормона с добавлением наночастиц гидроксида железа в различных модификациях способствовала усилению активности ростовых процессов. Наиболее длинные корни зафиксированы на вариантах ИУК + Feh_Co, ИУК + Feh_Si и ИУК + Feh_Mn – 30,6 см, 27,7 и 26,7 см, что выше кон-

трольных значений на 15,0 см (+ 96,2 %), на 12,4 см (+ 77,6 %) и на 11,1 см (+ 71,2 %) соответственно.

Самые благоприятные условия для корнеобразовательной способности черенкового материала облепихи сложились в 2019 г., в среднем по опытным вариантам длина корней 1-го порядка ветвления составила 101,6 см. Совместное использование ауксина и суспензий наночастиц биогенного ферригидрата, допированных кобальтом и кремнием, обеспечило образование наиболее развитой корневой системы на окорененных черенках. Суммарная длина адвентивных корней в версиях эксперимента ИУК + Fe_h_Co и ИУК + Fe_h_Si находилась в пределах 164,1 и 138,4 см; различия в линейном росте корней в данных вариантах превосходили контроль на 107,2 см (+ 188,4 %) и 81,5 см (+ 143,2 %). Положительный отклик однолетних растений на условия морфогенеза в 2019 г. по сравнению с предыдущим периодом исследований более значительно выражен при использовании версий стимуляторов корнеобразования с добавлением наноматериалов, чем с обработкой зеленых черенков ИУК в чистом виде. Исключение составил вариант ИУК + Fe_h_Al, на котором темпы прироста длины корней уступали контрольным растениям.

В среднем за 5 лет наблюдений в контроле суммарная длина корней 1-го порядка ветвления у окорененных черенков облепихи составила 52,2 см. Применение в качестве стимулятора корнеобразования композиции ИУК + Fe_h_Al не оказало достоверного влияния на формирование размеров корневой системы. В остальных вариантах с использованием наночастиц гидроксидов железа получено статистически значимое повышение интенсивности роста поглотительной поверхности однолетних растений. Лучший результат достигнут при замачивании черенкового материала в растворе ИУК + Fe_h_Co – общая длина придаточных корней составила 100,3 см, что больше, чем у контрольных экземпляров, на 48,1 см (+ 92,1 %). Ранжирование версий эксперимента по суммарной длине корней по убывающему тренду распределилось следующим образом: ИУК + Fe_h_Co > ИУК + Fe_h_Si > ИУК + Fe_h > ИУК + Fe_h_Mn > ИУК + Fe_h_Mo > ИУК + Fe_h_Al > ИУК.

Приживаемость саженцев садовых растений, высаживаемых на постоянное место произрастания, их дальнейшее развитие и продуктивность насаждений во многом определяются качеством посадочного материала [12]. Как показывают исследования [11], для снижения воз-

действия стресс-факторов при пересадке растений и обеспечения успешной приживаемости саженцев решающее значение имеет развитие корневой системы. Соответственно, на финансовую устойчивость плодовых садов оказывают влияние множество факторов, в т. ч. она будет зависеть от товарности саженцев, используемых при закладке новых плантаций. При этом, по мнению [13], от категории качества не зависят активность фотосинтеза, морфометрия плодов и содержание в них биохимических соединений.

Промышленные питомники заинтересованы в наибольшем выходе товарных саженцев с доминированием первого товарного сорта, что положительно отражается на цене реализации продукции. Растения, не отвечающие требованиям стандарта, подлежат доращиванию в течение следующего вегетационного сезона, что снижает рентабельность их производства.

Выход посадочного материала облепихи сорта Алей первого товарного сорта, несмотря на тот факт, что он был нестабилен по годам исследования, тем не менее высокий: от 67 % в 2023 г. до 92,5 % в 2020 г. (табл. 2). Причем в 2020 г. в варианте ИУК + Fe_h_Co весь произведенный посадочный материал соответствовал первому товарному сорту (100 %).

На формирование морфометрических показателей развития побеговой и корневой систем растений облепихи, определяющих соответствие особей первому сорту, основное влияние оказали условия вегетации – 67,4 % (рис. 1); влияние стимуляторов роста при окоренении черенков было существенным – 18,0 %, но в 3,7 раза меньшим. Используемые при размножении облепихи стимуляторы корнеобразования с добавлением наночастиц биогенного ферригидрата, а также наночастиц, допированных кобальтом, кремнием, молибденом и марганцем, оказали положительное статистически значимое влияние на повышение доли саженцев первого товарного сорта. В среднем за годы проведения исследований наибольший выход высокосортного посадочного материала был получен из черенков, обработанных стимулирующими композициями ИУК + Fe_h_Co и ИУК + Fe_h_Si – 86,2 и 81,3 % соответственно, что на 15,3 % (+ 21,6 %) и 10,4 % (+ 14,7 %) выше, чем в контрольном варианте. Обработка стеблевых черенков раствором фитогормона с добавлением стимулирующей композиции ИУК + Fe_h_Al не оказала достоверного влияния на выход саженцев первого товарного сорта.

Качество саженцев облепихи, %
Quality of sea buckthorn seedlings, %

Стимулятор роста (фактор В)	Фактор А (год)					Среднее по фактору В
	2019	2020	2021	2022	2023	
Первый товарный сорт						
ИУК	73,3	85,6	75,6	61,1	58,9	70,9
ИУК + Feh	77,8	90,0	80,0	66,7	66,7	76,2
ИУК + Feh_Al	73,3	85,6	76,7	64,5	64,5	72,9
ИУК + Feh_Co	91,1	100,0	92,2	75,6	72,2	86,2
ИУК + Feh_Si	85,6	95,5	86,7	72,2	66,7	81,3
ИУК + Feh_Mo	77,8	96,7	8,1	72,2	67,8	79,1
ИУК + Feh_Mn	81,1	94,4	80,0	70,0	72,2	79,6
Среднее по фактору А	80,0	92,5	81,7	68,9	67,0	–
НСР факторов: А – 3,0; В – 3,5						
Второй товарный сорт						
ИУК	15,6	12,2	14,4	24,4	23,3	18,0
ИУК + Feh	15,6	8,9	15,6	21,1	24,4	17,1
ИУК + Feh_Al	15,6	12,2	13,3	25,5	22,2	17,8
ИУК + Feh_Co	4,4	0	4,4	21,1	23,3	10,7
ИУК + Feh_Si	10,0	4,5	8,9	22,2	25,6	14,2
ИУК + Feh_Mo	14,4	3,3	15,6	18,9	22,2	14,9
ИУК + Feh_Mn	14,4	5,6	12,2	20,0	13,3	13,1
Среднее по фактору А	12,9	6,2	12,1	21,9	22,0	–
НСР факторов: А – 2,2; В – 2,6						
Нестандартная продукция						
ИУК	11,1	2,2	10,0	14,5	17,8	11,1
ИУК + Feh	6,7	1,1	4,5	12,2	8,9	6,7
ИУК + Feh_Al	11,1	2,2	10,0	10,0	13,3	9,3
ИУК + Feh_Co	4,5	0,0	3,3	3,3	4,4	3,1
ИУК + Feh_Si	4,4	0,0	4,4	5,6	7,8	4,5
ИУК + Feh_Mo	7,8	0,0	3,3	8,9	10,0	6,0
ИУК + Feh_Mn	4,4	0,0	7,8	10,0	14,5	7,3
Среднее по фактору А	7,1	0,8	6,2	9,2	11,0	–
НСР факторов: А – 2,5; В – 2,9						

Доля саженцев второго товарного сорта облепихи по годам наблюдений имеет обратно пропорциональную зависимость от выхода посадочного материала первого товарного сорта. При минимальном количестве саженцев первого сорта в 2023 г. (67,0 %) получено наибольшее количество растений, соответствующих второму сорту (22,0 %), и, наоборот, при максимальном выходе саженцев первого товарного сорта в 2020 г. (92,5 %) доля саженцев второго сорта была наименьшей (6,2 %). Формирование саженцев второго товарного сорта на 37,6 % зависело от условий вегетации, на 20,3 % – от стимуляторов корнеобразования, применяемых при

окоренении черенкового материала; также значительное влияние (32,3 %) оказали неизученные факторы.

В среднем за время проведения исследований в контроле 88,9 % выращенных растений облепихи сорта Алей соответствовали требованиям стандарта. Полученные результаты коррелируются с данными [14], где отмечено, что на варианте с обработкой черенкового материала облепихи стимулятором индоллил-3-масляной кислотой товарность саженцев составила у сортов Августина и Эссель – по 85,6 %, у сорта Огниво – 92,2 %. Ранжирование общей

товарности саженцев по вариантам опыта по убывающему тренду сложилось следующим образом: ИУК + Feh_Co (96,9 %) > ИУК + Feh_Si (95,5 %) > ИУК + Feh_Mo (94,0 %) > ИУК + Feh (93,3 %) > ИУК + Feh_Mn (92,7 %) > ИУК + Feh_Al (90,7 %) > ИУК (88,9 %). Применение

композиций ИУК + Feh, ИУК + Feh_Co, ИУК + Feh_Si, ИУК + Feh_Mo, ИУК + Feh_Mn статистически значимо способствовало снижению доли нестандартной продукции по сравнению с контролем.

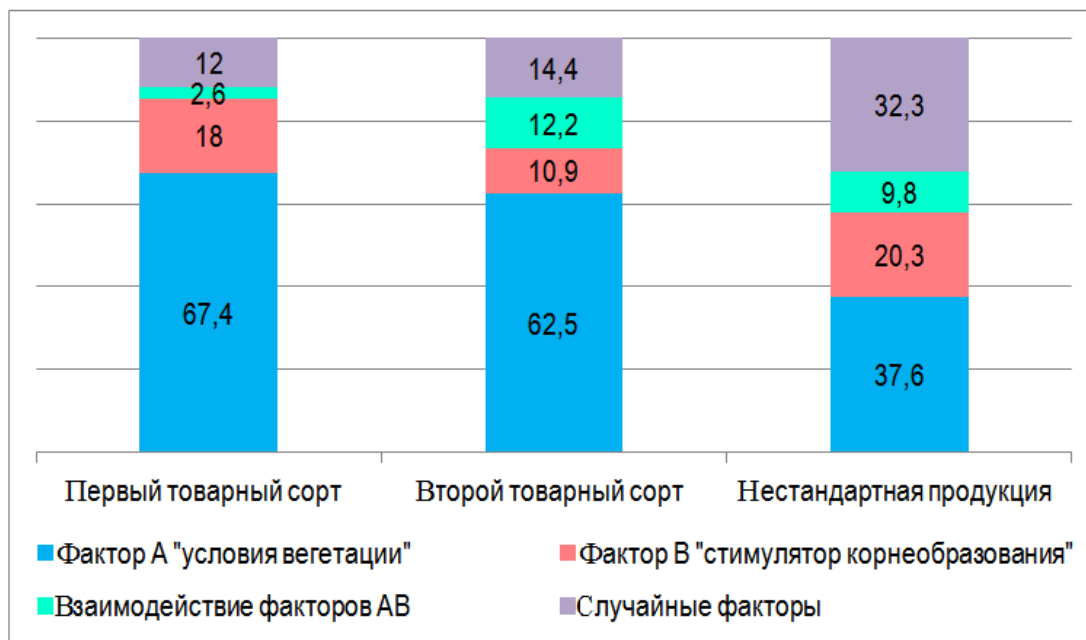


Рис. 1. Вклад факторов в формирование товарности саженцев облепихи (2019–2023 гг.), %
Contribution of factors to the formation of marketability of sea buckthorn seedlings, % (2019–2023)

Отметим, что в материалах работы [8], в которой приводится оценка влияния обработки зеленых черенков смородины черной сорта Со-кровище ИУК и смесью ИУК с добавлением наночастиц биогенного ферригидрита в чистом виде, допированного алюминием и кобальтом, на качество посадочного материала в условиях вегетации 2018 г., показано, что все варианты с наноматериалом способствовали повышению выхода стандартной продукции по сравнению с контролем; 100 % товарность достигнута в варианте ИУК + Fe. Различия в эффективности тех или иных вариантов версий стимуляторов корнеобразования на качество продукции питомниководства вызваны, вероятно, видовой специфичностью культур.

Матрица парных коэффициентов корреляции морфометрических показателей корневой системы окорененных черенков облепихи и товарности саженцев показывает, что между переменными «зона окоренения черенков» и «количество корней 1-го порядка ветвления» установлена положительная слабая корреляцион-

ная связь ($r = 0,336$) (табл. 3). Сила взаимосвязи между переменными «зона окоренения черенков» и «суммарная длина корней 1-го порядка ветвления», а также между переменными «зона окоренения черенков» и «товарность саженцев» соответственно положительная и отрицательная очень слабая, близкая к нулю. Данные результаты подчеркивают, что от размеров зоны окоренения черенкового материала в слабой степени зависит количество образованных придаточных корней и практически не зависят их суммарная длина и товарность саженцев. Отмечена высокая положительная корреляция между переменными «количество корней 1-го порядка ветвления» и «суммарная длина корней 1-го порядка ветвления» ($r = 0,879$) и между переменными «количество корней 1-го порядка ветвления» и «товарность саженцев» ($r = 0,823$). Среди изучаемых показателей наиболее тесная, очень высокая положительная взаимосвязь обнаружена между показателями «суммарная длина корней 1-го порядка ветвления» и «товарность саженцев» ($r = 0,971$).

Коэффициент детерминации (R^2) иллюстрирует, что 67 % вариативности товарности саженцев облепихи сорта Алей вызвано влиянием фактора «количество корней 1-го порядка ветвления» (рис. 2). Прогнозируемая модель регрессионной связи между суммарной длиной корней 1-го порядка ветвления и товарностью

посадочного материала демонстрирует преимущество влияния признака размеров поглотительной поверхности окорененного черенка на формирование качества саженцев перед другими морфометрическими признаками корневой системы черенков ($R^2 = 0,9367$) (рис. 3).

Таблица 3

Матрица парных коэффициентов корреляции морфометрических показателей корневой системы окорененных черенков облепихи и товарности саженцев
Matrix of paired correlation coefficients of morphometric parameters of the root system of rooted sea buckthorn cuttings and marketability of seedlings

Показатель	Зона окоренения черенков	Количество корней 1-го порядка ветвления окорененных черенков	Суммарная длина корней 1-го порядка ветвления окорененных черенков	Товарность саженцев
Зона окоренения черенков	1			
Количество корней 1-го порядка ветвления окорененных черенков	0,336	1		
Суммарная длина корней 1-го порядка ветвления окорененных черенков	0,036	0,879	1	
Товарность саженцев	-0,025	0,823	0,971	1

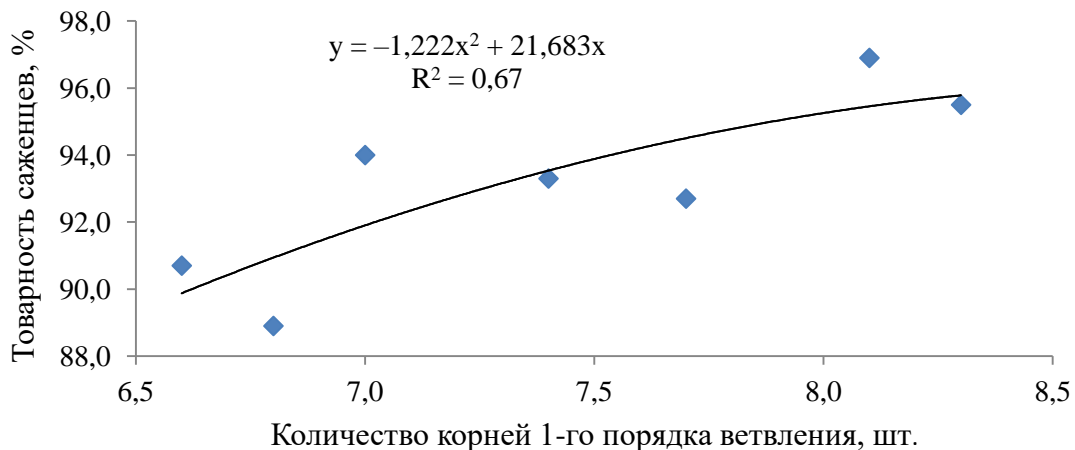


Рис. 2. Регрессионная связь между количеством корней 1-го порядка ветвления на окорененном черенке и товарностью саженцев облепихи сорта Алей
 Regression relationship between the number of first-order roots on a rooted cutting and the marketability of sea buckthorn seedlings of the Alei variety

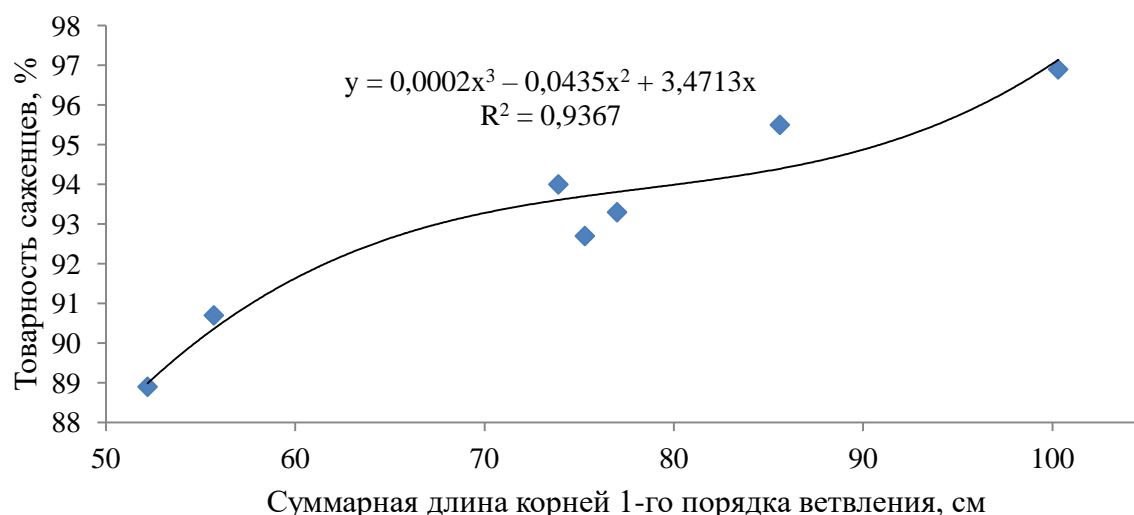


Рис.3. Регрессионная связь между суммарной длиной корней 1-го порядка ветвления на окоренном черенке и товарностью саженцев облепихи сорта Алеи
Regression relationship between the total length of the roots of the 1st order of branching on a rooted cutting and the marketability of sea buckthorn seedlings of the Alei variety

Заключение. Впервые в питомниководстве облепихи крушиновидной определено влияние растворов фитогормона ИУК и наночастиц биогенного ферригидрата различных модификаций, применяемых при обработке зеленых черенков, на формирование товарных качеств саженцев облепихи. Проведенные многолетние исследования показали высокую положительную корреляцию между товарностью посадочного материала и количеством корней 1-го порядка ветвления на окоренных черенках ($r = 0,823$) и очень тесную положительную взаимосвязь с суммарной длиной корней 1-го порядка ветвления ($r = 0,971$). Таким образом, чем выше параметры развития корневой системы окоренных черенков облепихи, тем большее количество

выращенных растений соответствует требованиям стандарта. Среди изученных композиций стимуляторов корнеобразования статистически значимое положительное влияние на выход товарной продукции оказали следующие композиции, расположенные по убывающему тренду: ИУК + Feh_Co, ИУК + Feh_Si, ИУК + Feh_Mo, ИУК + Feh, Feh_Mn. Соответственно, для повышения результативности питомниководства при размножении облепихи зелеными черенками в качестве стимуляторов корнеобразования целесообразно использовать растворы ИУК с добавлением наночастиц биогенного ферригидрата, допированного кобальтом, и растворы ИУК с добавлением наночастиц биогенного ферригидрата, допированного кремнием.

Список источников

1. Махаева Л.А., Селезнева Г.К. Использование порошка облепихи в мучных кондитерских изделиях // Вестник КрасГАУ. 2017. № 6. С. 79–85. EDN: YTNVQL.
2. Верховых Е.А., Блинникова О.М., Ильинский А.С. Биохимическая оценка различных сортов облепихи как ценнейшего источника биологически активных веществ // Технологии пищевой и перерабатывающей промышленности АПК – продукты здорового питания. 2024. № 1. С. 30–36. DOI: 10.24412/2311-6447-2024-1-30-35. EDN: RCXCQH.
3. Земцова А.Я., Зубарев Ю.А., Гунин А.В. Витамины группы в плодовой мякоти различных экотипов облепихи (*Hippophae rhamnoides* L.) в условиях лесостепи Алтайского края // Химия растительного сырья. 2024. № 1. С. 170–176. DOI: 10.14258/jcprm.20240112096. EDN: RNVOPX.
4. Корчагин И.Е., Котова В.С., Марковская А.Н., и др. Использование облепихи крушиновидной (*Hippophae rhamnoides* L.) при рекультивации нарушенных земель // Леса России и хозяйство в них. 2022. № 4. С. 30–38. DOI: 10.51318/FRET.2022.73.80.004. EDN: LDRNQN.

5. Жумадылов А.Т., Уметалиева Н.К., Ырыскул Ж.К., и др. Хозяйственно ценные формы облепихи крушиновидной для использования при озеленении прибрежной зоны озера Иссык-Куль // Исследование живой природы Кыргызстана. 2025. № 1. С. 16–21. EDN: XELMSG.
6. Зубарев Ю.А., Гунин А.В., Воробьева А.В. Сортоспецифичность корнеобразования у зеленых черенков облепихи алтайской селекции в производственном опыте // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Агрономия и животноводство. 2022. Т. 17, № 2. С. 131–145. DOI: 10.22363/2312-797X-2022-17-2-131-145. EDN: LHIEEK.
7. Бопп В.Л., Гуревич Ю.Л., Мистратова Н.А., и др. Влияние ауксинов и наночастиц биогенного ферригидрита на окоренение и корнеобразование зеленых черенков вишни степной // Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии. 2018. № 5. С. 72–76. EDN: XRSNGP.
8. Мистратова Н.А., Гуревич Ю.Л., Теремова М.И., и др. Опыт использования наночастиц гидроксида железа при размножении *Ribes nigrum* L. зелеными черенками // Вестник КрасГАУ. 2019. № 11. С. 16–23. DOI: 10.36718/1819-4036-2019-11-16-23. EDN: EDBUHZ.
9. Бопп В.Л. Обзор современных решений повышения ризогенеза зеленых черенков *Ribes nigrum* L. // Вестник КрасГАУ. 2021. № 4. С. 51–59. DOI: 10.36718/1819-4036-2021-4-51-59. EDN: CPMQYD.
10. Сучкова С.А., Астафурова Т.П. Морфологические изменения в черенках смородины черной под влиянием наночастиц оксида цинка // Новые и нетрадиционные растения и перспективы их использования. 2017. № S13. С. 312–314. EDN: YPSPWP.
11. Grossnickle S., Ivetić V. Root system development and field establishment: effect of seedling quality // *New Forests*. 2022. Vol. 53. P. 1021–1067. DOI: 10.1007/s11056-022-09916-y. EDN: EMGOWD.
12. Sisay T., Alemu A., Mariam Y. Quality of tree seedlings across different nursery ownerships in Central Gondar Zone, Ethiopia // *Journal of Horticulture and Forestry*. 2020. Vol. 12. P. 84–93. DOI: 10.5897/jhf2019.0599. EDN: FOKHPK.
13. Bantis F., Koukounaras A. The use of high-quality watermelon seedlings is prerequisite to limit the transplanting shock and achieve yield earliness // *Horticulturae*. 2023. № 9. 943–956. DOI: 10.3390/horticulturae9080943. EDN: WRLXZD.
14. Косачев И.А., Зубарев Ю.А., Воробьева А.В. Оценка влияния биоудобрения naturagro Ecogrow на качество саженцев облепихи крушиновой в условиях Алтайского края. В сб.: XIX Международная научно-практическая конференция «Аграрная наука – сельскому хозяйству», Барнаул, 8–9 февраля 2024 года. Барнаул: Алтайский государственный аграрный университет, 2024. С. 200–202. EDN: OUYJIC.

References

1. Makhaeva LA, Selezneva GK. Use of sea buckthorn powder in flour confectionery products. *Bulletin of KSAU*. 2017;6:79-85. (In Russ.). EDN: YTNVQL.
2. Verkhovyykh EA, Blinnikova OM, Ilyinsky AS. Biochemical assessment of different varieties of sea buckthorn as the most valuable source of biologically active substances. *Technologies of Food and Processing Industries of Agro-industrial Complex – Healthy Food*. 2024;1:30-36. (In Russ.). DOI: 10.24412/2311-6447-2024-1-30-35 EDN: RCXCQH.
3. Zemtsova AY, Zubarev YuA, Gunin AV. Vitamin B of fruit pulp of different seabuckthorn (*Hippophae rhamnoides* L.) ecotypes in forest-steppe conditions of altai territory. *Khimiya rastitel'nogo syr'ya*. 2024;1:170-176. 2024;1:170-176. (In Russ.). DOI: 10.14258/jcprm.20240112096. EDN: RNVOPX.
4. Korchagin IE, Kotova VS, Markovskaya AN, et al. Use of sea buckthorn (*Hippophae rhamnoides* L.) in the reclamation of disturbed lands. *Forests of Russia and economy in them*. 2022;4:30-38. (In Russ.). DOI: 10.51318/FRET.2022.73.80.004. EDN: LDRNQN.
5. Zhumadylov AT, Umetalieva NK, Yryskul ZhK., et al. Economically valuable forms of sea buckthorn for use in greening the coastal zone of lake Issykkul. *Kyrgyzstan live nature research*. 2025;1:16-21. (In Russ.). DOI: 10.51318/FRET.2022.73.80.004. EDN: LDRNQN.
6. Zubarev YuA, Gunin AV, Vorobyova AV. Rooting green cuttings of Altai seabuckthorn cultivars in industrialscale experiment. *RUDN journal of agronomy and animal industries*. 2022;17(2):131-145. (In Russ.). DOI 10.22363/2312-797X-2022-17-2-131-145. EDN: LHIEEK.

7. Bopp VL, Gurevich YuL, Mistratova NA, et al. Influence of auxins and nanoparticles of biogenic ferrihydrite on overcome and korneborodation of green cherenks cherry steppe. *Bulletin of the Kursk State Agricultural Academy*. 2018;5:72-76. (In Russ.). EDN: XRSNGP.
8. Mistratova NA, Gurevich YuL, Teremova MI, et al. The experience of using iron hydroxide nanoparticles while reproducing ribes nigrum l. by green shanks. *Bulletin of KSAU*. 2019;11:16-23. (In Russ.). DOI: 10.36718/1819-4036-2019-11-16-23. EDN: EDBUHZ.
9. Bopp VL. Review of modern solutions for increasing rhizogenesis of green cuttings of *Ribes nigrum* L. *Bulletin of KSAU*. 2021;4:51-59. (In Russ.). DOI: 10.36718/1819-4036-2021-4-51-59. EDN: CPMQYD.
10. Suchkova SA, Astafurova TP. Morphological changes in black currant cuttings under the influence of zinc oxide nanoparticles. *New and unconventional plants and prospects for their use*. 2017;13:312-314. (In Russ.). EDN: YPSPWP.
11. Grossnickle S, Ivetić V. Root system development and field establishment: effect of seedling quality. *New Forests*. 2022;53:1021-1067. DOI: 10.1007/s11056-022-09916-y. EDN: EMGOWD.
12. Sisay T, Alemu A, Mariam Y. Quality of tree seedlings across different nursery ownerships in Central Gondar Zone, Ethiopia. *Journal of Horticulture and Forestry*. 2020;12:84-93. DOI: 10.5897/jhf2019.0599. EDN: FOKHPK.
13. Bantis F, Koukounaras A. The use of high-quality watermelon seedlings is prerequisite to limit the transplanting shock and achieve yield earlines. *Horticulturae*. 2023;9:943-956. DOI: 10.3390/horticulturae9080943. EDN: WRLXZD.
14. Kosachev IA, Zubarev YuA., Vorobyova AV. Evaluation of the effect of naturagro ecogrow bio-fertilizer on the quality of sea-buckthorn seedlings in the Altai Region. In: XIX Mezhdunarodnaya nauchno-prakticheskaya konferenciya «Agrarnaya nauka – sel'skomu hozyajstvu»; 8–9 Feb 2024; Barnaul: Altai State Agricultural University , 2024. P. 200-202. (In Russ.). EDN: OUYJIC.

Статья принята к публикации 26.03.2026 / The article accepted for publication 26.03.2026.

Информация об авторах:

Валентина Леонидовна Бопп, доцент кафедры растениеводства, селекции и семеноводства, кандидат биологических наук, доцент

Information about the authors:

Valentina Leonidovna Bopp, Associate Professor, Department of Plant Growing, Breeding, and Seed Production, Candidate of Biological Sciences, Associate Professor

