

Вестник Бурятской государственной сельскохозяйственной академии имени В.П. Филиппова. 2026. № 1(82). С. 29–38.

Buryat Agrarian Journal. 2026;1(82):29–38.

Научная статья

УДК 634.723

DOI: 10.34655/bgsha.2026.82.1.004

Использование растворов наночастиц при размножении смородины черной одревесневшими черенками в условиях Красноярской лесостепи

Наталья Александровна Мистратова

Красноярский государственный аграрный университет, Красноярск, Россия

mistratova@mail.ru

Аннотация. Целью исследования является оценка влияния растворов наночастиц на ризогенез одревесневших черенков, биометрические параметры и качество саженцев смородины черной в условиях Красноярской лесостепи. Экспериментальная часть работы выполнена в 2021-2023 гг. на землепользовании ООО «Садовый центр Аграрного университета». В 2021 и 2022 гг. проводили высадку одревесневших черенков в открытый грунт, в 2022 и 2023 гг. осуществляли учет биометрических показателей и качество саженцев. Объекты исследований – одревесневшие черенки смородины черной сорта Софья. Варианты опыта включали: 1) контроль (замачивание черенков в воде); 2) биогенный ферригидрит (Feh); 3) биогенный ферригидрит, допированный Al (Feh_Al); 4) биогенный ферригидрит, допированный Si (Feh_Si). Черенки перед высадкой замачивали в растворах наночастиц. Экспозиция обработки черенкового материала – 12 часов, схема посадки – 30x30 см. После окоренения черенков проводили некорневую 4-кратную обработку аналогичными растворами наночастиц при помощи аэрозольного опрыскивателя с периодичностью 1 раз в 2 недели. При использовании биогенного ферригидрита, допированного (Feh_Si) отмечен наибольший процент окоренения – 81,6. Достоверное увеличение площади листовой пластинки к концу вегетационного периода зафиксировано на варианте с использованием биогенного ферригидрита в «чистом виде» (Feh) – 97,2 см², что превысило контрольный вариант в 1,7 раз. Лучшие показатели биометрических параметров саженцев наблюдались на вариантах с использованием растворов наночастиц в различных модификациях – средняя длина побегов 43,6 см (Feh_Al), средняя длина одного корня 1-го порядка ветвления 14,3 и 14,6 см на вариантах Feh_Si и Feh соответственно. Использование биогенного ферригидрита в «чистом» виде способствовало наибольшему выходу стандартного посадочного материала: 1-й сорт – 33,3 %, 2-й сорт – 6,7 %. При вегетативном способе размножения (одревесневшие черенки) смородины черной сорта Софья целесообразно проводить обработку раствором наночастиц биогенного ферригидрита в «чистом» виде, что позволяет повысить регенерационную способность черенкового материала, а также получить наибольший выход саженцев товарных сортов.

Ключевые слова: смородина черная, черенкование, окоренение, биометрические параметры, наночастицы биогенного ферригидрита, Красноярская лесостепь.

Original article

Usage of nanoparticle solutions for the propagation of black currant by hardwood cuttings in the Krasnoyarsk forest-steppe zone

Natalya A. Mistratova

Krasnoyarsk State Agrarian University, Krasnoyarsk, Russia

mistratova@mail.ru

Abstract. The aim of the study is to evaluate the effect of nanoparticle solutions on the rhizogenesis of hardwood cuttings, biometric parameters and the quality of black currant seedlings under the conditions of the Krasnoyarsk forest-steppe. The experimental part of the work was carried out in 2021-2023 on the land of the OOO Garden Center of the Agrarian University (a limited liability company under the laws of Russian Federation). In 2021 and 2022, hardwood cuttings were planted in the open ground, in 2022 and 2023 biometric parameters and the quality of seedlings were recorded. The objects of research were hardwood cuttings of the Sofia black currant variety. The experimental options included: 1) control (soaking hardwood cuttings in water); 2) biogenic ferrihydrite (Feh); 3) biogenic ferrihydrite doped with Al (Feh_Al); 4) biogenic ferrihydrite doped with Si (Feh_Si). Cuttings were soaked in nanoparticle solutions before planting. The cuttings were treated for 12 hours at a planting pattern of 30 x 30 cm. After rooting, the cuttings were treated foliary four times with similar nanoparticle solutions using an aerosol sprayer one time every two weeks. The highest rooting percentage of 81.6 was observed with the biogenic ferrihydrite doped with Si (Feh_Si). A significant increase of leaf blade area by the end of the growing season was recorded in the variant using pure biogenic ferrihydrite (Feh) – 97.2 cm², which exceeded the control variant by 1.7 times. The best biometric parameters of seedlings were observed in variants using nanoparticle solutions in various modifications: average shoot length of 43.6 cm (Feh_Al), average length of one first-order root of 14.3 and 14.6 cm for the Feh_Si and Feh variants, respectively. The use of biogenic ferrihydrite in its “pure” form contributed to the highest yield of standard planting material: 1st grade - 33.3%, 2nd grade - 6.7%. During vegetative propagation (hardwood cuttings) of the black currant of Sofia variety, it is advisable to treat cuttings with a solution of biogenic ferrihydrite nanoparticle in its “pure” form, which improves the regenerative capacity of the cuttings, as well as obtains the highest yield of seedlings of commercial varieties.

Keywords: black currant, propagation by cuttings, rooting, biometric parameters, biogenic ferrihydrite nanoparticles, Krasnoyarsk forest-steppe.

Введение. Среди ягодных кустарников, произрастающих в Сибирском федеральном округе, к самой распространенной культуре можно отнести смородину черную (*Ribes nigrum* L.) [1]. Она характеризуется высокой зимостойкостью, урожайностью, содержанием в ягодах большого количества биологически активных веществ [2, 3]. На территории Красноярского края наблюдается дефицит посадочного материала смородины черной местного производства, что является одним из сдерживающих факторов для расширения посадок под этой культурой. Одревесневшее черенкование – распространенный вегетативный способ размножения смородины, используемый в промышленном питомниководстве. Использо-

зование данного способа позволяет механизировать большинство технологических процессов и является экономически окупаемым.

В современном мире наблюдается активное использование и внедрение наночастиц наноматериалов в различных сферах деятельности: строительство, фармацевтика, медицина, косметическое производство и др. [4, 5]. Применение наночастиц также наблюдается в сельскохозяйственной отрасли, в том числе в растениеводстве, в основном, их используют как стимуляторы роста растений [6-11]. При этом есть исследования [12], в которых отражен негативный эффект наночастиц, в частности их токсичность при поглощении растениями, но авторы указы-

вают, что наночастицы оказывают положительное влияние, когда просто присутствуют в окружающей среде.

Известно, что смородина черная отличается широким диапазоном регенерационной способности черенков, что в первую очередь связано с сортовыми особенностями культуры, а также созданными в период окоренения экологическими условиями. Поэтому подбор стимуляторов корнеобразования является актуальным и необходимым направлением исследований.

Цель работы – оценить влияние растворов наночастиц биогенного ферригидрита на ризогенез одревесневших черенков, биометрические параметры и качество саженцев смородины черной в условиях лесостепной зоны Красноярского края.

Объекты и методы исследований. Эксперимент проводился в 2021-2023 гг. на территории ООО «Садовый центр Аграрного университета», в лесостепной зоне садоводства Красноярского края. Исследования осуществлялись в течение двух лет: в 2021 и 2022 гг. высаживали одревесневшие черенки в открытый грунт и на второй год проведения опыта, в 2022 и 2023 гг., определяли биометрические параметры саженцев и качество посадочного материала. Одревесневшие черенки перед посадкой замачивали в растворах наночастиц биогенного ферригидрита (1 мл на 1 л воды) в трех модификациях: биогенный ферригидрит (Feh), биогенный ферригидрит, допированный Al (Feh_Al), биогенный ферригидрит, допированный Si (Feh_Si) (табл. 1).

Таблица 1 – Схема полевого опыта

Вариант опыта	
замачивание черенков	некорневая обработка листьев
Контроль (замачивание в воде)	Опрыскивание водой
Биогенный ферригидрит (Feh)	Опрыскивание Feh
Биогенный ферригидрит, допированный Al (Feh_Al)	Опрыскивание Feh_Al
Биогенный ферригидрит, допированный Si (Feh_Si)	Опрыскивание Feh_Si

Экспозиция обработки черенкового материала – 12 часов. Черенки высаживали в открытый грунт в третьей декаде апреля 2021 и 2022 гг., схема посадки – 30x30 см. В годы посадки и развития окоренившихся черенков (2021 и 2022) проводили некорневую обработку растворами наночастиц при помощи аэрозольного опрыскивателя с периодичностью 1 раз в 2 недели (4 раза за вегетационный период). Обработку растворами осуществляли в ранние утренние часы. Доращивание саженцев проходило на месте окоренения черенков. Повторность опыта трехкратная, размещение делянок систематическое. Объект исследования – сорт смородины черной сибирского экотипа Софья, включен в Государственный реестр

селекционных достижений, допущенных к использованию в Средневолжском (7), Западно-Сибирском (10), Восточно-Сибирском регионах. Характеризуется средним сроком созревания, урожайностью, высокой зимостойкостью, устойчивостью к мучнистой росе. Учет окоренения и биометрические исследования проводили по общепринятым методикам М.Т. Тарасенко [13] и В.Ф. Моисейченко [14]. Ассимиляционную поверхность измеряли в динамике в год высадки черенков, используя программу Image J. Растения смородины выращивались два года на месте окоренения черенков. Учет биометрических параметров посадочного материала и качества саженцев проводили на второй год. Товарность саженцев определяли в соот-

ветствии с ГОСТ Р 59653-2021¹. Для 2-летних саженцев смородины черной с открытой корневой системой число корней для первого товарного сорта должно быть не менее 4 шт, для второго – не менее 3 шт, длина корневой системы не менее 20 см для первого и не менее 15 см для второго сортов; число побегов для первого сорта – не менее 2-3 шт., для второго – не менее 2 шт. Математическая

обработка результатов исследований выполнена с использованием компьютерной SNEDECOR.

Среднесуточная температура за вегетационные периоды 2021, 2022 и 2023 гг. (май-сентябрь) при средней многолетней 13,5 °С составили 15,4°С, 14,6°С и 15,6°С соответственно, т.е. были выше нормы на 1,1 – 2,1 °С (табл. 2 и 3).

Таблица 2 – Среднесуточная температура воздуха (°С) в годы исследований (АМС Красноярское опытное поле)

Год	Месяц	Среднесуточная температура воздуха (°С)					
		декада			средне месячная температура	среднемного- летняя тем- пература	отклонения от среднемного- голетней тем- пературы
		1	2	3			
2021	май	9,8	9,9	10,5	10,1	9,1	+1,0
	июнь	15,1	16,3	15,2	15,5	15,6	-0,1
	июль	19,5	20,1	19,3	19,6	18,4	+1,2
	август	19,0	17,3	16,1	17,5	15,3	+2,2
	сентябрь	9,8	10,3	4,2	14,4	9,0	+5,4
	среднее				15,4	13,5	+1,9
2022	май	8,2	17,8	16,1	14,0	9,1	+4,9
	июнь	10,3	19,9	20,3	16,8	15,6	+1,2
	июль	18,1	16,3	18,3	17,6	18,4	-0,8
	август	17,2	14,6	13,0	14,9	15,3	-0,4
	сентябрь	12,7	8,8	7,0	9,5	9,0	+0,5
	среднее				14,6	13,5	+1,1
2023	май	9,0	7,3	12,3	9,5	9,1	+0,4
	июнь	23,0	16,0	16,6	18,5	15,6	+2,9
	июль	19,8	19,9	20,7	20,1	18,4	+1,7
	август	20,2	16,1	18,8	18,6	15,3	+3,3
	сентябрь	13,8	12,1	9,0	11,6	9,0	+2,6
	среднее				15,6	13,5	+2,1

Основное количество осадков выпадает в летний период (июнь - август), когда идет интенсивный рост растений во время наибольшей потребности культуры в воде. Распределение осадков по годам неравномерное. В 2021 году наблюдалось превышение количества осадков, с мая по сентябрь выпало на 39,4 мм выше

нормы (336,4 мм), в 2022 году наблюдался дефицит влаги, осадков выпало меньше на 63,7 мм (233,3 мм) относительно среднемноголетних показателей (297,0), в 2023 г. также наблюдался недостаток увлажненности (- 79,0 мм) по всем месяцам вегетационного периода.

¹ ГОСТ Р 59653-2021 Материал посадочный плодовых и ягодных культур. Технические условия.
URL: <https://39.fsvps.gov.ru/wp-content/uploads/sites/16/2023/02/%D0%93%D0%9E%D0%A1%D0%A2-%D0%A0-59653-2021.pdf>

Таблица 3 – Количество и распределение осадков (мм) в годы исследований (АМС Красноярское опытное поле)

Год	Месяц	Количество осадков (мм)					
		декада			сумма осадков за месяц	среднемноголетняя сумма осадков	отклонения от среднемноголетней суммы осадков
		1	2	3			
2021	май	5,0	28,0	9,0	42,0	48,0	-6,0
	июнь	22,1	3,9	76,5	102,5	59,0	+43,5
	июль	23,3	31,7	14,4	69,4	81,0	-11,6
	август	30,0	43,5	20,0	93,5	68,0	+25,5
	сентябрь	0,7	19,8	8,5	29,0	41,0	-12,0
	сумма осадков за вегетационный период				336,4	297,0	+39,4
2022	май	0,8	6,8	12,1	19,7	48,0	-28,3
	июнь	25,2	15,9	21,1	62,2	59,0	+3,2
	июль	24,6	20,5	10,2	55,3	70,0	-14,7
	август	4,4	5,2	21,9	31,5	76,0	-44,5
	сентябрь	26,9	7,5	30,2	64,6	55,0	+9,6
	сумма осадков за вегетационный период				233,3	297,0	-63,7
2023	май	8,8	3,5	28,1	40,4	48,0	-7,6
	июнь	4,2	12,7	27,2	44,1	59,0	-14,9
	июль	8,1	38,5	12,4	59,0	70,0	-11,0
	август	6,2	30,7	4,1	41,0	76,0	-35,0
	сентябрь	18,9	11,1	3,5	33,5	55,0	-21,5
	сумма осадков за вегетационный период				218,0	297,0	-79,0

Таким образом, при повышенных температурах воздуха во все годы проведения исследований, в 2022 и 2023 гг., зафиксирован дефицит увлажненности, что отрицательно отразилось на развитии окорененных черенков.

Результаты исследований и их обсуждение. Успешность окоренения черенков садовых растений зависит не только от создания комфортной среды в системе «грунт-растение-гидротермический режим», но также от использования стимулятором корнеобразования. Регенерационная способность одревесневших черенков смородины черной отражена на рисунке 1.

Максимальная ризогенная активность черенков в среднем за годы исследова-

ний отмечена на варианте с ферригидритом, допированным кремнием, она составила 81,6 %, полученный результат был выше контроля на 9,4 %, что подтверждено статистически ($HC P_{05} = 8,2$). При использовании биогенного ферригидрита в «чистом» виде (Feh) процент окоренения также был выше (80,8 %) в сравнении с контрольным вариантом (72,2 %) и вариантом с использованием биогенного ферригидрита, допированного Al (71,6 %). Результаты исследований В.Л. Бопп [9] подтверждают полученные данные, автор указывает, что наиболее результативными стимуляторами корнеобразования в опыте с зелеными черенками облепихи были комплексы ИУК с биогенным фер-

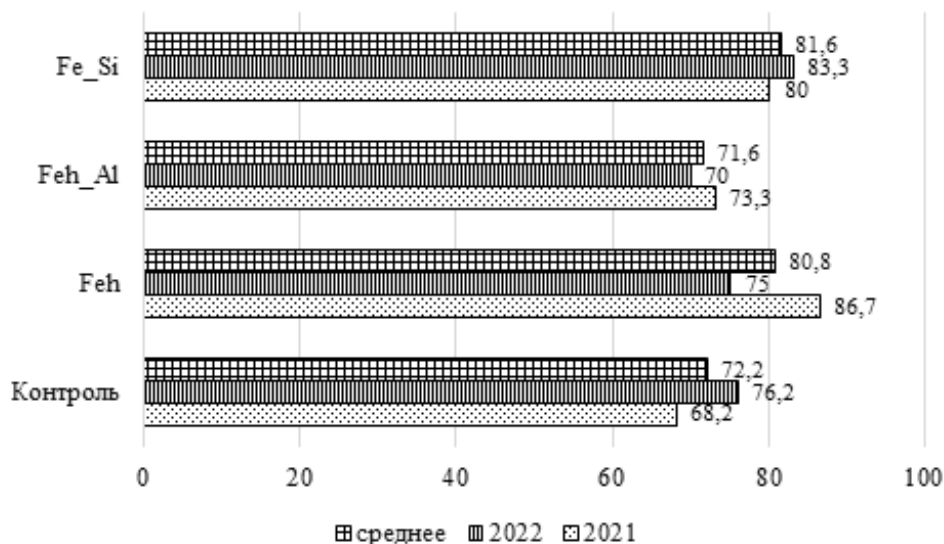


Рисунок 1. Влияние растворов наночастиц биогенного ферригидрита на окоренение одревесневших черенков смородины черной, %, среднее за 2021-2022 гг., НСР₀₅=8,2

ригидритом, допированным кремнием.

Формирование элементов продуктивности в питомнике определяется во многом площадью листа. Площадь листового аппарата хотя и является генетически закрепленным признаком, однако колебание данных величин возможно в опреде-

ленных пределах и зависит от различных факторов. Пищевой режим оказывает немаловажную роль на данный показатель, способствует повышению размеров листовых пластин саженцев, что, в конечном итоге, предопределяет более высокий потенциал саженцев [15] (рис. 2).

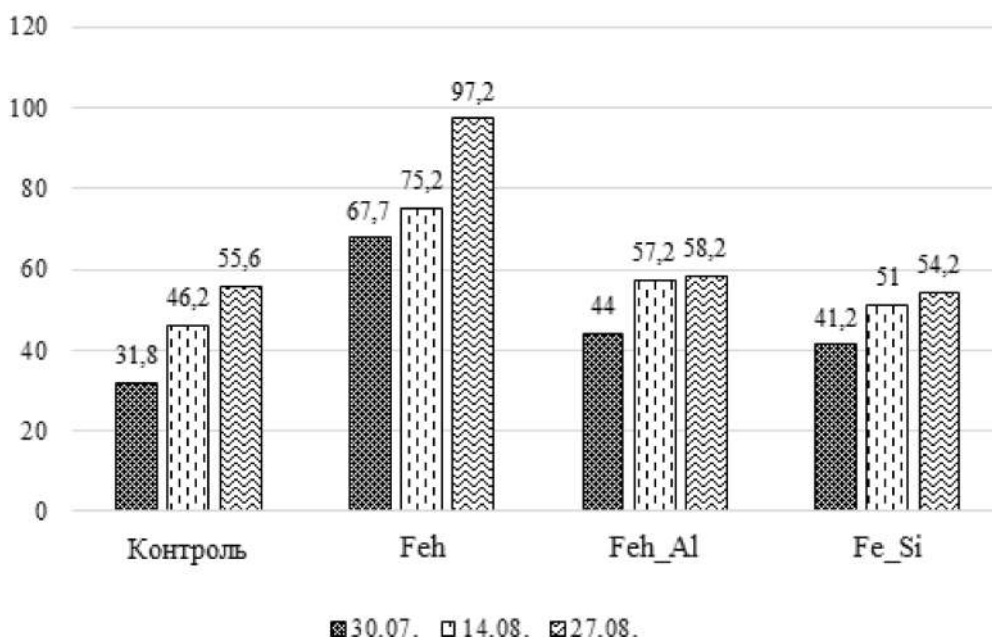


Рисунок 2. Динамика увеличения площади листовой пластинки смородины черной по вариантам опыта, см², среднее за 2021-2022 гг., НСР₀₅=9,1

При использовании растворов наночастиц во всех модификациях в первый срок учета изучаемого показателя наблюдалось увеличение площади листьев относительно контроля в 1,3 (Feh_Si), 1,4

(Feh_Al) и 2,1 (Feh) раза. Затем, во второй срок учета, наблюдался некоторый спад в развитии площади ассимиляционной поверхности по вариантам опыта. У растений смородины на варианте с об-

работкой растворами наночастиц «чистого» ферригидрита (Feh) отмечена наибольшая площадь листовой пластинки к концу периода вегетации – 97,2 см², что превышает контрольный вариант на 41,6 см², или в 1,7 раз. Существенность превышения показателя на данном варианте опыта доказана статистически при 5 %-ном уровне значимости ($HCP_{05}=9,1$).

Использование растворов наночастиц в трех модификациях не оказало существенного влияния на количество побегов саженцев смородины черной на второй год доращивания (табл. 4). Обра-

ботка наночастицами биогенного ферригидрита, допированного Al, оказала положительное действие на среднюю длину побега – 43,6 см, что в 1,7 раз больше, чем на контроле (25,3 см), и подтверждено статистически ($HCP_{05}=17,8$). Показатели среднего количества корней 1-го порядка ветвления на всех вариантах опыта не имеют математического подтверждения. При использовании Feh и Feh_Si отмечено достоверное превышение ($HCP_{05}=2,6$) средней длины корней 1-го порядка ветвления 14,6 и 14,3 см, соответственно в сравнении с контролем (11,4 см).

Таблица 4 – Биометрические параметры саженцев смородины черной, среднее за 2022-2023 гг.

Вариант	Количество побегов, шт.	Средняя длина побега, см	Количество корней 1-го порядка ветвления, шт.	Средняя длина одного корня 1-го порядка ветвления, см
Контроль	1,5	25,3	9,8	11,4
Feh	1,4	33,4	9,0	14,6
Feh Al	1,5	43,6	10,6	12,6
Fe Si	1,3	32,8	9,0	14,3
HCP_{05}	$F_{\phi} < F_{\tau}$	17,8	$F_{\phi} < F_{\tau}$	2,6

Полученные данные корреспондируются с результатами исследований О. А. Богословской, И.П. Ольховской и др. [7]. Авторы утверждают, что введение в питательную среду наночастиц железа приводило к улучшению морфометрических показателей перца, активность корня перца сорта LJ-king при выращивании на питательной среде МС с наночастицами железа в концентрации 0,06 и 0,3 мг/л увеличивается на 59 и 58 % соответственно. В.Л. Бопп [10] в своих исследованиях также отмечает, что все модификации стимуляторов корнеобразования с добавлением наночастиц биогенного ферригидрита оказали достоверное влияние на увеличение суммарной длины побегов и зоны окоренения на черенках вишни степной, при этом композиция ИУК + Feh_Al по эффективности влияния на морфометрические параметры окорененных черенков уступает другим экспериментальным стимуляторам.

Наибольшее количество стандартных

саженцев получено при использовании биогенного ферригидрита в «чистом» виде (Feh) – 40,0 % (33,3 % – 1 сорт, 6,7% – 2 сорт), что выше относительно контроля на 10,0 % (рис. 3). На варианте с обработкой базальной части черенкового материала и экзогенным опрыскиванием формирующихся саженцев раствором Feh_Si получено 31,1 % посадочного материала товарных сортов, при этом выход нестандартных саженцев составил 68,9 %, что всего на 1,1 % отличается от контрольного варианта. Данные, полученные при добавлении к биогенному ферригидриту Al, не показали стимулирующего эффекта на прирост фитомассы саженцев.

Таким образом, на вариантах с использованием биогенного ферригидрита, допированного кремнием и алюминием, зафиксирован самый высокий показатель выхода нестандартных саженцев, которые требуют дополнительного времени и затрат на доращивание, что отразится на

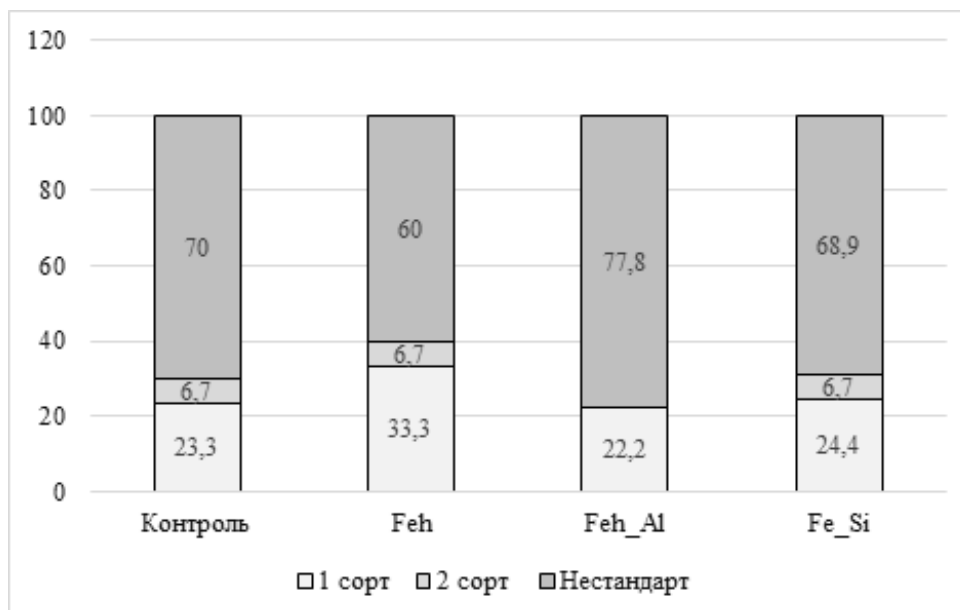


Рисунок 3. Влияние обработок растворами наночастиц на выход стандартных саженцев смородины черной, %, среднее за 2022-2023 гг.

себестоимости посадочного материала.

Выводы: 1. При использовании биогенного ферригидрита в модификации Feh_Si зафиксирована лучшая регенерационная способность черенков, процент окоренения составил 81,6 %.

2. Наибольшая площадь ассимиляционной поверхности к концу вегетационного периода наблюдалась на варианте с использованием Feh и составила 97,2 см², что превышает контрольный вариант на 41,6 см², или в 1,7 раза. Лучшие показатели биометрических параметров саженцев отмечены на вариантах с использованием растворов наночастиц в различных модификациях: средняя длина побе-

гов 43,6 см (Feh_Al), средняя длина одного корня 1-го порядка ветвления – 14,3 и 14,6 см на вариантах Feh_Si и Feh соответственно.

3. Применение биогенного ферригидрита в «чистом» виде (Feh) способствовало наибольшему выходу стандартных саженцев (40,0 %), соответствующих 1-му (33,3 %) и 2-му (6,7 %) товарных сортов.

4. При размножении смородины черной сорта Софья одревесневшими черенками целесообразно использовать наночастицы биогенного ферригидрита в «чистом» виде, что позволяет повысить ризогенез черенков и выход качественного посадочного материала.

Список источников

1. Мистратова Н.А., Коротченко И.С., Самарокова А.В. Структурно-функциональные изменения листьев саженцев смородины чёрной при использовании растворов наночастиц // Садоводство и виноградарство. 2023. № 3. С. 37-44. DOI: 10.31676/0235-2591-2023-3-37-44. EDN: XVSBGO

2. Гусева Н.К., Васильева Н.А. Оценка перспективных гибридов смородины черной бурятской селекции по основным биологическим и хозяйственным показателям // Вестник Бурятской государственной сельскохозяйственной академии им. В.Р. Филиппова. 2024. № 4 (77). С. 14-20. DOI: 10.34655/bgsha.2024.77.4.002. EDN: LVTSJY

3. Клинов А.С., Марковская А.Н., Залесов С.В. Размножение смородины черной (*Ribes nigrum* L.) зелеными черенками в условиях Среднего Урала // Леса России и хозяйство в них. 2024. № 4 (91). С. 80-93. DOI: 10.51318/FRET.2024.91.4.009. EDN: HQEUWO

4. Суворов И.К. Проникновение наночастиц металлов в клетки растений // Исследовательский потенциал молодых ученых: взгляд в будущее: Сб. мат-лов. XXI Региональной научно-практической конференции магистрантов, аспирантов и молодых ученых, Тула, 05–28 февраля 2025 года. Тула: Тульский государственный педагогический университет им. Л.Н. Толстого, 2025. С. 167-172. EDN: GCUXOP

5. Биологически активные препараты на основе наноразмерных частиц металлов в сельскохозяйственном производстве / С.Д. Полищук, А.А. Назарова, И.А. Степанова, М.В. Куцкир, М.В. Чурилов

// Нанотехника. №1 (37). 2014. С. 72-81.

6. Нанобиопрепараты в технологии возделывания сои сорта / А.А. Назарова, С.Д. Полищук, Д.Г. Чурилов и др. // *Зерновое хозяйство России*. 2017. № 4 (52). С. 10-14. EDN: ZEVUJP

7. Богословская О.А., Ольховская И.П., Глущенко Н.Н. Исследование влияния наночастиц железа, введенных в питательную среду Мурасиге-Скуга, на развитие растений // *Перспективы лекарственного растениеводства: сб. мат-лов Международной научной конференции, посвященной 100-летию со дня рождения профессора Алексея Ивановича Шретера*, Москва, 01–02 ноября 2018 года. Москва: ФГБНУ “Всероссийский научно-исследовательский институт лекарственных и ароматических растений”, 2018. С. 290-295. EDN: MEKXXE

8. Вершинина И.А. Экологическая оценка действия наночастиц Zn, Cu и SiO₂ в системе почва-живые организмы: дис... канд. биол. наук, 2024. 174 с. EDN: FGLXRN

9. Бопп В.Л., Гуревич Ю.Л. Применение наночастиц биогенного ферригидрита и ИУК в процессе размножения облепихи крушиновидной методом зеленого черенкования // *Достижения науки и техники АПК*. 2025. Т. 39, № 7. С. 24-28. DOI: 10.53859/02352451_2025_39_7_24. EDN: VZJXKW

10. Бопп В.Л. Наночастицы биогенного ферригидрита в технологии зеленого черенкования вишни степной // *Аграрный научный журнал*. 2025. № 1. С. 17-23. DOI: 10.28983/asj.y2025i1pp17-23. EDN: EMUDCN

11. Курлович Т.В., Филипеня В.Л., Азизбекян С.Г. Влияние некорневых обработок микроудобрением «Наноплант-S. Сера» на продуктивность голубики (*Vaccinium corymbosum* L.) // *Вестник Белорусской государственной сельскохозяйственной академии*. 2025. № 3. С. 29-33. EDN: PGVSS

12. Ryabinina Z.N., Bastaeva G.T., Lyavdanskaya O.A., Lebedev S.V., Kalyakina R.G., Ryabuhina M.V. Radial growth of artificial forest stands under the aerotechnogenic impact of the Orenburg gas chemical complex // *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2020. V. 579 (1). P. 012115.

13. Тарасенко М.Т. Зеленое черенкование садовых и лесных культур. М.: Изд-во МСХА, 1991. 272 с.

14. Моисейченко В.Ф. Методика опытного дела в плодоводстве и овощеводстве. Киев: «Выща школа», 1998. 141 с.

15. Гурьянова Ю.В., Рязанова В.В. Формирование площади листьев и содержание хлорофилла в листьях при минеральном питании // *Вестник Мичуринского ГАУ*. 2012. № 4. С. 30-31.

References

1. Mistratova N.A., Korotchenko I.S., Samarokova A.V. Structural and functional changes in the leaves of black currant seedlings using nanoparticle solutions. *Horticulture and viticulture*. 2023;3:37-44 (In Russ.). DOI: 10.31676/0235-2591-2023-3-37-44

2. Guseva N.K., Vasileva N.A. Evaluation of promising black currant hybrids of Buryat selection based on the main biological and economic indicators. *Buryat Agrarian Journal*. 2024;4(77):14-20 (In Russ.). DOI: 10.34655/bgsha.2024.77.4.002

3. Klinov A.S., Markovskaya A.N., Zalesov S.V. Propagation of black currant (*Ribes nigrum* L.) by green cuttings in the conditions of the Middle Urals. *Forests of Russia and economy in them* 2024;4(91):80-93 (In Russ.). DOI: 10.51318/FRET.2024.91.4.009

4. Suvorov I.K. Penetration of metal nanoparticles into plant cells. *Research potential of young scientists: a look into the future*: Collection of materials of the XXI Reg. Sci. and Pract. Conf. of master's students, postgraduated and young scientists, Tula, February 5–28, 2025. Tula. 2025:167-172 (In Russ.)

5. Polishchuk S.D., Nazarova A.A., Stepanova I.A., Kutsir M.V., Churilov M.V. Biologically active preparations based on nanosized metal particles in agricultural production. *Nanotechnics*. 2014;1(37):72-81 (In Russ.)

6. Nazarova A.A., Polishchuk S.D., Churilov D.G. et al. Nanobiopreparations in the technology of soybean cultivation. *Grain farming of Russia*. 2017;4(52):10-14 (In Russ.)

7. Bogoslovskaya O.A., Ol'khovskaya I.P. A study of the effect of iron nanoparticles introduced into the Murashige-Skoog nutrient medium on plant development. *Prospects of medicinal plant science: collection of materials Int. Sci. Conf. dedicated to the 100th anniversary of the birth of Professor Alexey I. Shreter*, Moscow, November 1–2, 2018. Moscow. 2018:290-295 (In Russ.)

8. Verшинina I. A. Ecological assessment of the effect of Zn, Cu and SiO₂ nanoparticles in the soil-living organisms system. Candidate's dissertation. 2024. 174 p. (In Russ.)

9. Bopp V.L., Gurevich Yu.L. The use of nanoparticles of biogenic ferrihydrite and IAA in the process of propagation of sea buckthorn by green cuttings. *Achievements of science and technology in the agro-industrial complex*. 2025;39(70): 24-28 (In Russ.). DOI: 10.53859/02352451_2025_39_7_24

10. Bopp V.L. Nanoparticles of biogenic ferrihydrite in the technology of green cuttings of steppe cherry. *Agrarian Scientific Journal*. 2025;1:17-23 (In Russ.). DOI: 10.28983/asj.y2025i1pp17-23

11. Kurlovich T.V., Filipenyia V.L., Azizbekyan S.G. The influence of foliar treatment with the microfertilizer “Nanoplant-S. Sulfur” on the productivity of blueberries (*Vaccinium corymbosum* L.). *Bulletin of the Belarusian*

State Agricultural Academy. 2025;3:29-33 (In Russ.)

12. Ryabinina Z.N., Bastayeva G.T., Lyavdanskaya O.A., Lebedev S.V., Kalyakina R.G., Ryabukhina M.V. Radial growth of artificial forest plantations under the aerotechnogenic impact of the Orenburg gas-chemical complex. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2020;579(1):012115 (In Russ.)

13. Tarasenko M.T. Green cuttings of garden and forest crops. Moscow: Moscow Agricultural Academy Publ. House, 1991. 272 p. (In Russ.)

14. Moiseychenko V.F. Experimental Methodology in Fruit and Vegetable Growing. Kyiv: Vyshcha Shkola, 1998. 141 p. (In Russ.)

15. Guryanova Yu.V., Ryazanova V.V. Formation of leaf area and chlorophyll content in leaves with mineral nutrition. *Bulletin of Michurinsk State Agrarian University*. 2012;4:30-31 (In Russ.)

Информация об авторе

Наталья Александровна Мистратова – кандидат сельскохозяйственных наук, доцент, Красноярский государственный аграрный университет, mistratova@mail.ru.

Information about the author

Natalya A. Mistratova – Candidate of Science (Agriculture), Associate Professor, Krasnoyarsk State Agrarian University, mistratova@mail.ru.

Статья поступила в редакцию 28.12.2025; одобрена после рецензирования 17.01.2026; принята к публикации 20.01.2026.

The article was submitted 28.12.2025; approved after reviewing 17.01.2026; accepted for publication 20.01.2026.