



УДК 631.811.944:631.53.011-582.475.4 [631.543.3]

*Г. Н. Фадькин, Д. В. Виноградов, А. В. Щур*

**ВЛИЯНИЕ НАНОКРИСТАЛЛИЧЕСКОГО ПОРОШКА ЖЕЛЕЗА НА ВЫХОД ПОСАДОЧНОГО МАТЕРИАЛА СОСНЫ ОБЫКНОВЕННОЙ, ПРИГОДНОГО ДЛЯ МЕХАНИЗИРОВАННОЙ ПОСАДКИ**

UDC631.811.944:631.53.011-582.475.4 [631.543.3]

*G. N. Fadkin, D. V. Vinogradov, A. V. Shchur*

**EFFECT OF IRON NANOCRYSTALLINE POWDER ON THE YIELD OF SCOTS PINE PLANTING MATERIAL SUITABLE FOR MECHANIZED PLANTING**

**Аннотация**

В статье описаны исследования обработки семян сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris*) нанопорошком железа для получения посадочного материала, пригодного для механизированной посадки. В качестве гипотезы выдвинута замена использования препаратов, содержащих микроэлементы и стимуляторы роста, на нанопорошок железа. Выявлено, что в вариантах с применением нанопорошка железа формируется более компактная корневая система, не снижающая линейный рост надземной части.

**Ключевые слова:**

нанопорошок железа, лесные ресурсы, сосна обыкновенная, посадочный материал, корневая система, микроэлементы, стимуляторы роста.

**Abstract**

The paper describes the studies of Scots pine seeds treatment (*Pinus sylvestris*) with iron nanopowder to obtain planting material suitable for mechanized planting. A hypothesis was made to replace preparations containing microelements and growth stimulants by iron nanopowder iron. It was found that specimens treated with iron nanopowder formed a more compact root system which did not reduce linear growth of the aerial part of a plant.

**Key words:**

iron nanopowder, forest resources, Scots pine, planting material, root system, microelements, growth promoting factors.

**Введение**

Лесной сектор играет важную роль в экономике страны и имеет

большое значение для социально-экономического развития более чем 40 субъектов Российской Федерации. В

целом доля лесного сектора в экономике РФ составляет около 4 %.

Потребление лесных ресурсов превышает производственные силы природы, поэтому остро встает проблема совершенствования ведения лесного хозяйства, обеспечения непрерывного и рационального использования и воспроизводства лесов. В этих условиях создание высокопродуктивных лесных культур с механизированной посадкой сеянцев и саженцев является важным направлением лесовосстановления. Для решения данной задачи необходимо постоянное совершенствование технологии выращивания посадочного материала с учетом конкретных почвенно-климатических условий. В современных условиях в целях улучшения посевных качеств семян и усиления энергии прорастания используют различные способы выведения их биологической системы из состояния покоя.

### **Основная часть**

Одной из актуальных задач лесного хозяйства в настоящее время является повышение посевных качеств семян хозяйственно-ценных хвойных пород [2]. Это вызвано, во-первых, периодичностью семяношения многих из них, особенно таких как сосна, в том числе обыкновенная, во-вторых, снижением в процессе хранения посевных качеств: энергии прорастания, всхожести.

Результативность искусственных лесов во многом зависит от жизнеспособности биологической системы семян в период их посева в грунт, и это недостаточно учитывается при выращивании посадочного материала. Подтверждением этому в определенной степени являются завышенные нормы высева. Так, в соответствии с действующими нормами при выращивании сеянцев сосны обыкновенной на 1 п. м посевной строчки высевают 270...450 семян, а плановый выход се-

янцев составит 2200 тыс. шт./га [3].

Для повышения биологической активности семян в этот период применяют различные способы подготовки их к посеву. Так, в настоящее время обнаружено и изучено в той или иной степени более 5 тыс. соединений химического, микробиологического и растительного происхождения, обладающих регуляторным действием. Из них в мировой практике используется около 1 %. Вышли на стадию практического применения препараты третьего поколения, гектарные дозы которых исчисляются миллиграммами. В последнее время используются экологически чистые биопрепараты на основе молочно-кислых бактерий и полезных микроорганизмов, обеспечивающих активацию прорастания семян в грунте [7].

Теоретические и экспериментальные поисковые исследования, проведенные А. Р. Родиным и Е. А. Калашниковой [4], позволяют считать, что перспективным способом подготовки семян хвойных пород является предпосевная обработка их путем использования нанотехнологий.

Активизация жизнеспособности биологической системы семян, повышение грунтовой всхожести и усиление роста проростка достигается обработкой семенного материала наноразмерными частицами металлов [11]. Эти частицы имеют размер от 18 до 50 нм, что позволяет им легко проникать через поры и распределяться внутри семени. Активные компоненты нанопорошков составляют металлы (железо, медь, марганец, цинк и магний) в ультрадисперсном состоянии [5]. Эти препараты обладают уникальными свойствами: они экологически безопасны, экономически выгодны и способствуют более эффективному повышению продуктивности растений [1, 6]. Кроме того, обработка семян наночастицами металлов обеспечивает формирование из семян высококачест-

венного посадочного материала с его дальнейшим сохранением [9].

Таким образом, актуальность выполненных исследований, направленных на обоснование технологии обработки семян сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris*) нанопорошком железа, определяется современными проблемами искусственного лесовосстановления как в отношении успешного восстановления лесов, так и в отношении механизации лесокультурных работ.

Цель работы заключалась в исследовании обработки семян сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris*) нанопорошком железа для получения посадочного материала, пригодного для механизированной посадки. В качестве гипотезы выдвинута замена использования препаратов, содержащих микроэлементы и стимуляторы роста, на нанопорошок железа.

Семена, выходя из состояния покоя, должны поглотить некоторое количество воды для того, чтобы у них возобновились физиологические процессы, связанные с прорастанием. Абсолютное количество воды, необходимое для начала прорастания, относительно невелико, как правило, оно не превышает 2...3-кратного веса семян. Растущий проросток нуждается в большом количестве воды, и эта потребность возрастает с усилением транспирации. В связи с этим в лабораторном опыте изучалось действие нанопорошков железа на лабораторную всхожесть и энергию прорастания семян сосны обыкновенной в сравнении с регуляторами роста. Замачивание семян проводилось в водных растворах комнатной температуры.

Прорастание семян и укрепление проростков в естественных условиях в значительной мере зависят от физических свойств почвы, температуры, доступности воды и минеральных веществ. Почва является хорошей средой для посева семян благодаря высокой

способности к фильтрации воды, хорошей аэрации и тесному контакту между частицами почвы и семенами. Другими словами, полевые исследования могут как подтвердить первоначально выдвинутую гипотезу, так и ее опровергнуть. Для этого были проведены полевые опыты на базе временного лесного питомника, расположенного в Мурманском участковом лесничестве (Рязанская обл.). Почва опытного участка дерново-подзолистая супесчаная, рельеф выровненный. Площадь делянки 2,4 м<sup>2</sup>, повторность 4-кратная. Расположение делянок рендомизированное.

Схема опытов.

1. Контроль (замачивание семян в дистиллированной воде).
2. Нанокристаллический порошок Fe – 0,001-процентный раствор.
3. Нанокристаллический порошок Fe – 0,01-процентный раствор.
4. Нанокристаллический порошок Fe – 0,1-процентный раствор.
5. Агат-25К – 0,015-процентный раствор (согласно рекомендациям производителя).
6. Циркон, Р – 0,01-процентный раствор (согласно рекомендациям производителя).

В опыте использовались семена второго класса.

Суспензию нанопорошков получали согласно ТУ 931800-001-42720760-96 методом диспергирования навески порошка в дистиллированной воде в ультразвуковой ванне модели ПСБ-5735-05 в течение 3...5 мин (ультразвуковая обработка в водной среде). Семена перед высевом замачивали в водной суспензией ультрадисперсных металлов размером частиц 20...30 нм. На контроле, где стимуляторы роста и ультрадисперсное железо не применялись, семена замачивались в дистиллированной воде. После намачивания семена подсушивались до состояния сыпучести.

В процессе проведения лабораторных исследований получены сле-

дующие результаты. Энергия прорастания контрольного варианта составила  $(44,6 \pm 2,1)$  %. Замачивание семян в растворе нанопорошка железа с концентрацией 0,001 % несколько снизило этот показатель до  $(44,0 \pm 2,8)$  %. Увеличение концентрации нанопорошка железа до 0,01 % способствовало повышению энергии прорастания до  $(50,9 \pm 2,2)$  %. Дальнейшее повышение концентрации нанопорошка заметно снизило данный показатель. Использование стимуляторов роста (Агат-25К и Циркон, Р) не превысило лучший показатель со внесением нанопорошков железа.

Лабораторная всхожесть (табл. 1) контрольного варианта составила  $(63,8 \pm 2,3)$  %. Замачивание семян в растворе нанопорошка железа с концентрацией 0,001 % несколько повысило этот

показатель, и всхожесть составила  $(64,8 \pm 4,4)$  %. Увеличение концентрации нанопорошка железа до 0,01 % способствовало повышению лабораторной всхожести до  $(69,1 \pm 3,3)$  %. Дальнейшее повышение концентрации нанопорошка заметно снизило данный показатель. Использование стимуляторов роста (Агат-25К и Циркон, Р) не превысило лучший показатель со внесением нанопорошка железа.

Результаты эксперимента, приведенные в табл. 1, показывают, что наилучшим условием, необходимым для повышения лабораторной всхожести семян сосны обыкновенной 2-го класса качества, является применение нанопорошка железа с концентрацией 0,01 % (существенность различия по отношению к контролю  $t_{факт} = 10,26 > t_{табл} = 1,96$  соответственно при  $P = 0,05$ ).

Табл. 1. Влияние нанопорошка железа на лабораторную всхожесть семян сосны обыкновенной

Вариант опыта	Среднеарифметическое значение всхожести, %	Процент к контролю	Коэффициент вариации, %	Точность опыта, %
Контроль	$(63,8 \pm 2,3)$	–	6,8	2,8
Нанопорошок Fe – 0,001-процентный раствор	$(64,8 \pm 4,4)$	102	7,0	4,1
Нанопорошок Fe – 0,01-процентный раствор	$(69,1 \pm 3,3)$	108	7,1	3,9
Нанопорошок Fe – 0,1-процентный раствор	$(61,8 \pm 3,0)$	97	5,1	2,9
Агат-25К	$(66,1 \pm 2,9)$	104	5,8	3,4
Циркон, Р	$(64,4 \pm 3,2)$	101	6,9	4,0

Для сосны обыкновенной предпосевная подготовка семян с использованием нанопорошка железа (концентрация нанопорошка железа 0,001 %) хотя и не изменяет класс, но все же явно улучшает посевные качества: энергию прорастания на 14 %, всхожесть – на 8 %. Одновременно с этим длина корешков проростков семян, обработанных водным раствором нанопорошка

железа, (концентрация нанопорошка железа 0,001 %) значительно больше контрольных – на 36 % (существенность различия по отношению к контролю  $t_{факт} = 9,42 > t_{табл} = 1,98$  соответственно при  $P = 0,05$ ).

Грунтовая всхожесть (табл. 2) контрольного варианта составила  $(54,2 \pm 2,6)$  %. Замачивание семян в растворе нанопорошка железа с концентра-

цией 0,001 % несколько повысило этот показатель, и всхожесть составила ( $56,1 \pm 3,7$ ) %. Увеличение концентрации нанопорошка железа до 0,01 % спо-

собствовало повышению энергии прорастания до ( $57,9 \pm 4,6$ ) %. Дальнейшее повышение концентрации нанопорошка снизило данный показатель.

Табл. 2. Влияние нанопорошка железа на грунтовую всхожесть семян сосны обыкновенной

Вариант опыта	Среднеарифметическое значение всхожести, %	Процент к контролю	Коэффициент вариации, %	Точность опыта, %
Контроль	( $54,2 \pm 2,6$ )	–	6,8	2,8
Нанопорошок Fe – 0,001-процентный раствор	( $56,1 \pm 3,7$ )	104	7,0	4,1
Нанопорошок Fe – 0,01-процентный раствор	( $57,9 \pm 4,6$ )	107	7,1	3,9
Нанопорошок Fe – 0,1-процентный раствор	( $53,5 \pm 3,9$ )	99	5,1	2,9
Агат-25К	( $57,2 \pm 3,9$ )	106	5,8	3,4
Циркон, P	( $55,7 \pm 3,2$ )	103	6,9	4,0

Использование стимуляторов роста (Агат-25К и Циркон, P) не превысило лучший показатель со внесением нанопорошков железа, однако применение Агат-25К максимально приблизило значение грунтовой всхожести к наилучшему варианту (нанопорошок Fe с концентрацией 0,01 %). Дружное и быстрое прорастание семян – необходимое условие получения качественного посадочного материала, т. к. при этом уменьшается угроза повреждения семян насекомыми, грибами или неблагоприятными условиями, а также поедания их птицами или грызунами. Из окружающих факторов, контролирующих прорастание семян, очень важными являются вода, температура, свет, кислород и различные химические вещества [8].

Результаты эксперимента, приведенные в табл. 2, показывают, что наилучшим условием, необходимым для повышения грунтовой всхожести семян сосны обыкновенной 2-го класса качества, является применение нанопорошка железа с концентрацией 0,01 % (существенность различия по отношению к контролю  $t_{факт} = 11,43 > t_{табл} = 2,00$  соответственно при  $P = 0,05$ ). В ка-

честве предварительных выводов можно отметить аналогичность результатов лабораторных и полевых исследований.

### Заключение

Развивающийся проросток – это сложная система с участками синтеза углеводов, которые в онтогенезе сеянца перемещаются от семядолей к первичной, а затем ко вторичной хвое. Существует тесная зависимость роста позднее развивающейся хвои от способности к синтезу необходимых для роста веществ ранее появившихся листовых зачатков, т. е. развитие первичной хвои зависит от вклада семядолей, а развитие вторичной хвои, в свою очередь, – от вклада, внесенного первичной хвоей. Молодой проросток на стадии семядолей функционирует с максимальной потребностью в питательных веществах для роста, поэтому он очень чувствителен к действию факторов среды. В начале онтогенеза окружающие условия, в частности обеспеченность водой и концентрацией растворенных в ней веществ, сильно влияют на заложение всех органов, кроме ранее сформированных зачатков первич-

ной хвои, и на рост всей первичной хвои, включая и сформированные ранее [10]. Так, длина надземной части (табл. 3) контрольного варианта составила  $(40,4 \pm 3,3)$  мм. Замачивание семян в растворе нанопорошка железа с концентрацией 0,001 % повысило этот показатель, и всхожесть составила  $(45,7 \pm 2,7)$  мм (113 % к контролю). Увеличение концентрации нанопорошка

железа до 0,01 % способствовало росту надземной части до  $(47,8 \pm 1,1)$  мм (118 % к контролю). Дальнейшее повышение концентрации нанопорошка снизило данный показатель. Использование стимуляторов роста (Агат-25К и Циркон, Р) не превысило лучший показатель со внесением нанопорошков железа.

Табл. 3. Влияние нанопорошка железа на биометрические параметры сеянцев сосны обыкновенной

Вариант опыта	Длина надземной части				Длина главного корня			
	Среднеарифметическое значение, мм	Процент к контролю	Коэффициент вариации, %	Точность опыта, %	Среднеарифметическое значение, мм	Процент к контролю	Коэффициент вариации, %	Точность опыта, %
Контроль	$(40,4 \pm 3,3)$	–	14,1	5,3	$(202,5 \pm 6,7)$	–	20,3	7,1
Нанопорошок Fe – 0,001-процентный раствор	$(45,7 \pm 2,7)$	113	15,5	6,2	$(161,4 \pm 2,3)$	80	16,9	6,4
Нанопорошок Fe – 0,01-процентный раствор	$(47,8 \pm 1,1)$	118	15,7	6,1	$(173,5 \pm 5,2)$	86	18,3	6,5
Нанопорошок Fe – 0,1-процентный раствор	$(45,2 \pm 0,7)$	112	15,4	5,2	$(152,0 \pm 4,7)$	75	23,5	7,2
Агат-25К	$(46,2 \pm 1,7)$	114	14,7	5,7	$(196,9 \pm 4,1)$	97	22,1	6,9
Циркон, Р	$(47,0 \pm 0,9)$	116	15,6	6,2	$(206,7 \pm 8,7)$	102	18,4	6,7

Длина главного корня (см. табл. 3) контрольного варианта составила  $(202,5 \pm 6,7)$  мм. Применение нанопорошка Fe всех исследуемых вариантов снизило данный показатель. Снижение роста главного корня объясняется более высокой концентрацией воды, молекулы которой притягиваются ионами железа, и, как следствие, повышением концентрации водорастворимых форм питательных веществ. Использование стимуляторов роста (Агат-25К и Циркон, Р) увеличило длину главного корня до уровня контроля.

Результаты эксперимента, приве-

денные в табл. 3, показывают, что в вариантах с применением нанопорошка железа формируется более компактная корневая система, не снижающая линейный рост надземной части. Компактная форма корневой системы соответствует требованиям, предъявляемым к посадочному материалу сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris*) и не ухудшает свойств посадочного материала.

Таким образом, лабораторный и полевой опыты показали высокую отзывчивость сосны обыкновенной на применение нанопорошка железа.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Виноградов, Д. В.** Использование ультрадисперсных металлов в сельскохозяйственном производстве / Д. В. Виноградов, Л. В. Потапова // Международный технико-экономический журнал. – 2009. – № 3. – С. 37–39.
2. **Гродницкая, И. Д.** Влияние химических и биологических методов обработки на прорастание семян хвойных в питомниках / И. Д. Гродницкая // Хвойные бореальной зоны. – 2006. – № 1. – С. 137–144.
3. Интенсификация выращивания лесопосадочного материала / Под ред. А. Р. Родина. – М. : Агропромиздат, 1989. – 78 с.
4. **Калашникова, Е. А.** Теоретические и практические аспекты применения нанотехнологий при подготовке семян к посеву / Е. А. Калашникова, А. Р. Родин // Вестн. МГУЛ–Лесной вестник. – 2012. – № 7. – С. 65–66.
5. **Райкова, А. П.** Исследование влияния ультрадисперсных порошков металлов, полученных различными способами, на рост и развитие растений / А. П. Райкова, Л. А. Паничкин, Н. Н. Райкова // Нанотехнологии и информационные технологии XXI века. – 2006. – С. 69–72.
6. Рекомендации по использованию ультрадисперсных порошков металлов (УДПМ) в сельскохозяйственном производстве / Г. И. Чурилов [и др.] ; под общ. ред. С. Д. Полищук. – Рязань : РГАТУ, 2010. – 51 с.
7. **Родин, А. Р.** Использование высокоэффективных фиторегуляторов роста при выращивании посадочного материала / А. Р. Родин, Н. Я. Попова, Н. М. Стукушин // Вестн. МГУЛ–Лесной вестник. – 2000. – № 6. – С. 189–190.
8. **Трапезников, В. К.** Локальное питание растений / В. К. Трапезников, И. И. Иванов, Н. Г. Тальвинская. – Уфа : Гилем, 1999. – 260 с.
9. **Фадькин, Г. Н.** Изучение влияния нанокристаллических порошков металлов на рост и развитие сеянцев сосны обыкновенной / Г. Н. Фадькин // Юбилейный сб. науч. тр. студентов, аспирантов и преподавателей агроэкол. фак., посвящ. 110-летию со дня рождения проф. И. С. Травина. – 2010. – С. 158–161.
10. **Фирсов, Г. А.** Хвойные растения / Г. А. Фирсов. – М. : АСТ ; СПб. : Сова, 2005. – 95 с.
11. **Фолманис, Г. Э.** Активация прорастания семян ультрадисперсными порошками железа / Г. Э. Фолманис // Достижения науки и техники АПК. – 2001. – № 9. – С. 74–78.

*Статья сдана в редакцию 21 января 2015 года*

**Геннадий Николаевич Фадькин**, канд. с.-х. наук, доц., Рязанский государственный агротехнологический университет им. П. А. Костычева. E-mail: g-fadkin@mail.ru.

**Дмитрий Валериевич Виноградов**, д-р биол. наук, проф., Рязанский государственный агротехнологический университет им. П. А. Костычева. E-mail: vdv-rz@rambler.ru.

**Александр Васильевич Щур**, канд. с.-х. наук, доц., Белорусско-Российский университет. E-mail: shchur@yandex.ru.

**Gennady Nikolayevich Fadkin**, PhD (Agriculture), Associate Prof., Ryazan State Agrotechnological University named after P. A. Kostychev. E-mail: g-fadkin@mail.ru.

**Dmitry Valeryevich Vinogradov**, DSc (Biology), Prof., Ryazan State Agrotechnological University named after P. A. Kostychev. E-mail: vdv-rz@rambler.ru.

**Aleksandr Vasilyevich Shchur**, PhD (Agriculture), Associate Prof., Belarusian-Russian University. E-mail: shchur@yandex.ru.