

Научная статья

УДК 630\*232.318+631.8

DOI: 10.37482/0536-1036-2023-2-73-87

## Комплексное применение биостимуляторов при выращивании семян ели (*Picea obovata* L.)

А.А. Агеев<sup>1,2</sup>, канд. с.-х. наук, доц.; Researcher ID: [AAF-9306-2021](https://orcid.org/0000-0001-9440-7167),

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9440-7167>

Ю.В. Салцевич<sup>1,2</sup>, инж.-исследователь, аспирант;

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8804-0060>

Л.В. Буряк<sup>1,2</sup>, д-р с.-х. наук, доц.; Researcher ID: [AAH-8087-2019](https://orcid.org/0000-0001-7475-2959),

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7475-2959>

<sup>1</sup>Центр лесной пирологии, развития технологий охраны лесных экосистем, защиты и воспроизводства лесов (филиал ВНИИЛМ), ул. Крупской, д. 42, г. Красноярск, Россия, 660062; ageevaa@firescience.ru, salcevichyv@firescience.ru, buryaklv@firescience.ru

<sup>2</sup>Сибирский государственный университет науки и технологий им. академика М.Ф. Решетнёва, просп. им. газеты «Красноярский рабочий», д. 31, г. Красноярск, Россия, 660037

Поступила в редакцию 18.03.21 / Одобрена после рецензирования 15.06.21 / Принята к печати 20.06.21

**Аннотация.** Представлены результат 5-летнего эксперимента по выращиванию посадочного материала ели сибирской с применением различных комплексов биостимуляторов и опыт использования полученного посадочного материала в искусственном лесовосстановлении. Биостимуляторы для проведения опыта подбирались исходя из анализа исследований других авторов. Выбор способа обработки семян и сеянцев ели сибирской и концентрация препаратов устанавливались согласно «Государственному каталогу пестицидов и агрохимикатов», а также рекомендациям от производителей биостимуляторов. Выявлено эффективное влияние биопрепаратов «Феровит» (0,1 %) и «Цитовит» (0,01 %) для предпосевной обработки семян ели сибирской и препаратов «Эпин-экстра» и «Гетероауксин» с концентрацией растворов 0,002 % для корневой обработки сеянцев. Установлено, что определенное последовательное применение биостимуляторов роста на разных этапах выращивания сеянцев способствует более интенсивному протеканию биохимических процессов внутри растения (увеличение хлорофилла *a*, *b* и каротиноидов), корреляция с высотой и фитомассой надземной части при этом положительная. Применение комплекса стимуляторов в сочетании «Феровит»–«Гетероауксин» и «Цитовит»–«Эпин-экстра»–«Гетероауксин» позволило получить в 3-летний срок посадочный материал, отвечающий не только минимальным требованиям к высоте и диаметру стволика, но и положительно отличающийся другими качественными показателями, такими как соотношение надземной/подземной частей растения, одревесненность стволика. По истечении срока выращивания сеянцев посадочный материал ели сибирской, культивируемый по разработанной технологии, при соблюдении всех требований и нормативов был использован для создания опытного участка лесных культур. За основу создания лесных культур приняты стандартные рекомендации, а также технические характеристики машин и агрегатов лесничества, где происходила посадка сеянцев ели сибирской. По результатам инвентаризационных работ на конец первого года посадочный материал обеспечил высокий процент приживаемости в культурах – 98,7 %.

© Агеев А.А., Салцевич Ю.В., Буряк Л.В., 2023

Статья опубликована в открытом доступе и распространяется на условиях лицензии CC BY 4.0

**Ключевые слова:** ель сибирская, семена ели, сеянцы ели, саженцы ели, искусственное лесовосстановление, биостимуляторы, прирост, биомасса, хлорофилл, каротиноиды

**Для цитирования:** Агеев А.А., Салцевич Ю.В., Буряк Л.В. Комплексное применение биостимуляторов при выращивании сеянцев ели (*Picea obovata* L.) // Изв. вузов. Лесн. журн. 2023. № 2. С. 73–87. <https://doi.org/10.37482/0536-1036-2023-2-73-87>

Original article

## Integrated Application of Biostimulants in Cultivation of Siberian Spruce Seedlings (*Picea obovata* L.)

**Aleksandr A. Ageev**<sup>1,2</sup>, Candidate of Agriculture, Assoc. Prof.; Researcher ID: [AAF-9306-2021](https://orcid.org/0000-0001-9440-7167), ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9440-7167>

**Yuliya V. Saltsevich**<sup>1,2</sup>, Research Engineer, Postgraduate Student; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8804-0060>

**Ludmila V. Buryak**<sup>1,2</sup>, Doctor of Agriculture, Assoc. Prof.; Researcher ID: [AAH-8087-2019](https://orcid.org/0000-0001-7475-2959), ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7475-2959>

<sup>1</sup>Branch of All-Russian Research Institute for Silviculture and Mechanization of Forestry “Center of the Forest Pyrology”, ul. Krupskoy, 42, Krasnoyarsk, 660062, Russian Federation; [ageevaa@firescience.ru](mailto:ageevaa@firescience.ru), [salcevichyv@firescience.ru](mailto:salcevichyv@firescience.ru), [buryaklv@firescience.ru](mailto:buryaklv@firescience.ru)

<sup>2</sup>Reshetnev Siberian State University of Science and Technology, prosp. im. gazety “Krasnoyarskiy rabochiy”, 31, Krasnoyarsk, 660123, Russian Federation

Received on March 18, 2021 / Approved after reviewing on June 15, 2021 / Accepted on June 20, 2021

**Abstract.** The article presents the results of a 5-year experiment on the cultivation of Siberian spruce seedlings combined with integrated use of biostimulants. Additionally, it describes an experience in application of the acquired planting material to artificial reforestation. The analysis of scientific publications was used for type selection of the chemical substances. The treatment for the seeds and the seedlings of Siberian spruce and the concentration of the growth promoters were chosen according to the “State Catalog of Pesticides and Agrochemicals Permitted for Use on the Territory of the Russian Federation”. For this purpose, the recommendations from manufacturers were also taken into concern. It is revealed that Ferovit (0.1 %) and Cytovite (0.01 %) are effective as pre-sowing treatment of the Siberian spruce seeds. Epin-Extra and Heteroauxin with concentrations of 0.002 % give a positive effect on the root development of the seedlings. The experiments showed that a certain sequential use of biostimulants at different stages of the seedling’s cultivation contributes to more intensive biochemical processes inside the plants (an increase in chlorophyll a, b, and carotenoids) with a positive correlation between height and phytomas in aerial parts. The combinations of the biostimulants, such as Ferovit–Heteroauxin and Cytovite–Epin-Extra–Heteroauxin, have improved the plant material within three years. The seedlings satisfied the requirements for the trunk’s height and diameter. They also demonstrated higher quality parameters, such as the proportion between aerial part and root system of the plants, as well as woodiness of the trunks. At the end of the nursery period, the planting material of Siberian spruce, cultivated according to the developed technology with all the requirements and regulations, was used to create a trial plot of forest. The reforestation of the Siberian spruce seedlings was made based on the standard recommendations and technical characteristics for the forestry equipment. The inventory inspection at the end of the first year demonstrated 98.7 % capacity for survival of the experimental trees.



**Keywords:** Siberian spruce, seeds, seedlings, reforestation, biostimulants, growth rate, biomass, chlorophyll, carotenoids

**For citation:** Ageev A.A., Saltsevich Yu.V., Buryak L.V. Integrated Application of Biostimulants in Cultivation of Siberian Spruce Seedlings (*Picea obovata* L). *Lesnoy Zhurnal* = Russian Forestry Journal, 2023, no. 2, pp. 73–87. (In Russ.). <https://doi.org/10.37482/0536-1036-2023-2-73-87>

### Введение

В длинной цепочке процесса искусственного лесовосстановления наиболее экономически затратной частью является выращивание посадочного материала. На протяжении всего срока выращивания необходимо обеспечить высокий уровень агротехники, что требует затрат значительных технических, трудовых и финансовых ресурсов. Правилами лесовосстановления установлены минимальные требования к качеству посадочного материала по высоте надземной части, диаметру стволика и сроку выращивания (приказ Минприроды России от 14 авг. 2019 г. № 546 «О внесении изменения в Правила лесовосстановления, состав проекта лесовосстановления, порядок разработки проекта лесовосстановления и внесения в него изменений»).

Срок выращивания семян для лесокультурных целей зависит от биологических особенностей растений, природно-климатических условий, а также от технологического уровня их выращивания. Так, для семян ели сибирской установлен минимальный срок выращивания 3–4 года.

За несколько лет семена должны достигнуть определенных параметров – не менее 12 см по высоте надземной части и не менее 2 мм по диаметру стволика у корневой шейки. Кроме этих характеристик для оценки качества посадочного материала используют еще ряд важных признаков: соотношение надземной и подземной частей растения, одревесненность стволика, развитие вегетативных частей и т. д. Если семена будут отвечать всем необходимым качественным показателям, то применение такого посадочного материала при лесовосстановительных работах даст значительный хозяйственный эффект: лучшую приживаемость и высокую адаптивную способность семян к новым условиям – что в последующем отразится на индивидуальной динамике роста растения, а затем и насаждения в целом.

Поиск путей, за счет которых можно существенно ускорить получение качественного посадочного материала, крайне важная задача для производства и лесной науки. Современная агротехника выращивания посадочного материала вышла за пределы стандартного набора механических приемов и включает в себя использование новейших биологических методов и средств. В том числе широкое применение получили биостимуляторы роста. Их использование не ново и до настоящего времени здесь уже предложены различные способы. Но при этом незавершенным остается поиск оптимальных по своему эффекту средств для каждого конкретного случая: подбор препаратов для целевого вида растения, нахождение оптимальной концентрации стимуляторов роста с учетом фазы развития растений (семян).

Для оценки эффективности действия биостимуляторов на семена чаще всего используется метод оценки нескольких параметров (высоты и диаметра) у сформировавшихся растений. Но фиксация этих параметров не дает

понимания как общего внешнего эффекта, так и внутреннего эффекта на уровне биохимических и физиологических процессов, происходящих в растительном организме. Полноценно характеризовать влияние биостимуляторов на морфологические признаки растения можно через изучение биохимии и физиологии внутренних процессов в растительном организме – по первичному отклику на фактор.

Цель исследования – оценка особенностей формирования сеянцев ели сибирской под влиянием комплексного применения биостимуляторов в различные фазы развития растений, а также успешности применения такого посадочного материала при искусственном лесовосстановлении.

#### *Объекты и методы исследования*

Семена ели сибирской заготовлены в 2015 г. и, согласно приказу Федерального агентства лесного хозяйства от 08.10.2015 г. № 353 «Об установлении лесосеменного районирования», соответствуют району работ. Для проведения эксперимента использованы семена 1-го класса качества.

Первый этап работы заключался в оценке развития проростков из семян, обработанных растворами стимуляторов роста: «Феровит» концентрацией 0,1 %, «Цитовит» – 0,01 %, «Циркон» – 0,02 % – при экспозиции семян в растворах в течение 3 ч. Определение всхожести, энергии прорастания и развития проростков под воздействием стимуляторов проводили в контролируемых лабораторных условиях при относительно стабильном температурном режиме –  $24 \pm 2$  °С – в соответствии с методикой ГОСТ 13056.6–97. В качестве контроля были взяты семена, замоченные в дистиллированной воде при том же температурном режиме с экспозицией 24 ч. Проращивание осуществляли в чашках Петри на смоченных дистиллированной водой кружках фильтровальной бумаги с раскладкой на них по 100 семян, в 4 повторностях каждого варианта. В процессе проращивания фильтровальные кружки смачивали водой. Учет проросших семян и фиксацию развития проростков проводили ежедневно в одно и то же время суток в течение 15 дн.

Вторым этапом работы стало выращивание сеянцев в открытом грунте в течение 4 лет с 2016 по 2020 г. на базе Учебно-опытного лесхоза Сибирского государственного университета науки и технологий им. М.Ф. Решетнёва (г. Красноярск). Предпосевную подготовку семян осуществляли с применением названных биостимуляторов. Посев проводили по строкам, поперек насыпных гряд, чередуя по 15 строчек каждого варианта обработки стимуляторами и водой в контроле (рис. 1). Так как почвы дерново-карбонатные среднесуглинистые свежие, принята глубина заделки семян 1 см при норме расхода 1 г/пог. м. За основу взяли стандартную агротехнику выращивания сеянцев ели сибирской, включающую ежегодные мероприятия по весеннему мульчированию посевов, временной установке щитов, регулярному поливу, прополке сорняков по мере их появления и 2-кратному рыхлению между строк [3]. После появления всходов проводили их корневую обработку препаратами «Эпин-экстра» и «Гетероауксин» с концентрацией раствора каждого стимулятора 0,002 %. На 2-й год выполняли повторную весеннюю корневую обработку сеянцев биопрепаратом «Гетероауксин» концентрацией 0,002 %.

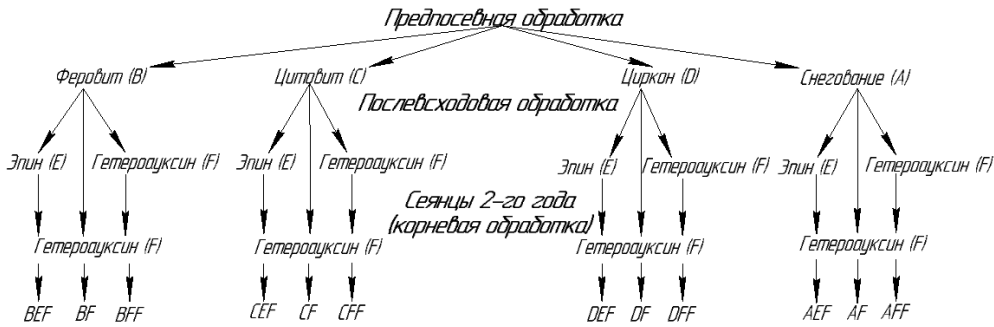


Рис. 1. Схема применения стимуляторов (буквенные обозначения, приведенные на рисунке, используются далее в тексте, на всех рисунках и в таблицах)

Fig. 1. Application scheme for biostimulants (the letters in the figure are used further in the text, the figures, and the tables)

Учетные работы по фиксации роста надземной части растений в посевах осуществляли систематически в каждом варианте опыта на 3 рандомизированных отрезках длиной по 30 см.

Абсолютную скорость роста (АСР) надземной части находили по формуле

$$АСР = \frac{L_2 - L_1}{t_2 - t_1},$$

где  $L_1, L_2$  – высота надземной части сеянца в момент времени замера  $t_1, t_2$  соответственно.

Для проведения измерений корневой системы и биомассы частей растений на протяжении 3 лет по завершении вегетационного периода выкапывали отрезок строки каждого варианта комом, содержащим не менее 30 сеянцев. Затем под проточной водой вымывали частички почвы и распутывали сплетения корней. Отделение надземной части растения от подземной выполняли по линии корневой шейки.

Морфометрические измерения вегетативных частей осуществляли от места разреза до верхней части апикальной меристемы центрального побега и до калиптры основного корня. Для определения сухой массы побегов и корней вегетативные части растений высушивали при температуре 80 °С [16, 18]. Измерение массы надземной части проводили для каждого сеянца, корневую массу устанавливали как среднеарифметическое значение для каждого варианта.

С целью выявления влияния комплекса биопрепаратов на фотосинтетический аппарат у 2-летних сеянцев было изучено спектрофотометрическим методом содержание в хвое хлорофилла  $a$ , хлорофилла  $b$  и каротиноидов [5]. Измерение оптической плотности проводили на спектрофотометре (ПЭ-5400УФ, Санкт-Петербург, Россия, ООО «Экротим») в соответствии с методикой А.А. Шлыка [11]. Опыт выполняли в 3 повторностях. В контрольную кюветку наливали 3 мл чистого спирта, в другие – по 3 мл спирта и по 0,4 мл раствора вытяжки. Оптическую плотность растворов измеряли при разных длинах волн: для хлорофилла  $a$  – при 662 нм, для хлорофилла  $b$  – при 645 нм, для каротиноидов – при 440,5 нм.

Концентрации пигментов, мг/л, в листьях определяли по формулам:

$$\begin{aligned} C_a &= 9,784D_{662} - 0,990D_{645}; \\ C_b &= 21,426D_{645} - 4,650D_{662}; \\ C_{\text{кар}} &= 4,695D_{440,5} - 0,268(C_a + C_b), \end{aligned}$$

где  $C_a$  и  $C_b$  – концентрация хлорофилла  $a$  и  $b$  соответственно, мг/л;  $D_{662}$ ,  $D_{645}$ ,  $D_{440,5}$  – оптическая плотность спиртового раствора при соответствующих длинах волн (662, 645 и 440,5 нм).

Содержание пигментов в листьях, мг/г сырого веса,

$$X = \frac{CV}{1000M},$$

где  $C$  – концентрация пигмента, мг/1000 мл;  $V$  – объем исходной вытяжки, мл;  $M$  – масса навески, г.

Для оценки достоверности различий между выборками и выявления зависимости между биометрическими и морфометрическими показателями семян в тех случаях, когда выборки подчиняются нормальному распределению, использовали однофакторный дисперсионный анализ (ANOVA). Если выборки не подчинялись нормальному распределению – метод непараметрической статистики (критерий Краскела–Уоллиса). Для корреляционного исследования переменных применяли коэффициент ранговой корреляции  $r$  Спирмена. Расчеты проводили в программе Statistica.

Выращенный посадочный материал был использован при создании опытного участка лесных культур весной 2020 г. в низкогорной части Алтае-Саянского горно-таежного лесного района по стандартным рекомендациям А.И. Новосельцевой и Н.А. Смирновой [6] чистыми рядами по всем опытным вариантам с расстоянием между рядами 3 м и шагом посадки 0,7 м. Площадь опытного участка – 2,5 га. Инвентаризацию посадок проводили в соответствии с приказом Минприроды России от 14 авг. 2019 г. № 546 «О внесении изменения в Правила лесовосстановления, состав проекта лесовосстановления, порядок разработки проекта лесовосстановления и внесения в него изменений».

При выборе биостимуляторов предполагалось, что вследствие последовательного применения нескольких препаратов можно не только стимулировать рост растения, но и снизить влияние стрессовых факторов и тем самым, возможно, достигнуть эффекта синергизма 2 препаратов, ускорив процесс выхода семян из покоя и вступление всходов в фазу интенсивного роста. Необходимость этого обусловлена тем, что всходы и молодые растения ели сибирской чувствительны к поздним весенним заморозкам, из-за чего посев осуществляют только после установления положительного суточного температурного режима воздуха. По причине заморозков у семян отмечается повреждение апикальной меристемы центрального побега, это ведет к приостановке роста и впоследствии может развиваться многовершинность. Из-за частых поздневесенних заморозков в ряде лесных районов Сибири период вегетационного оптимума роста ели сибирской часто оказывается недостаточен для полноценного сезонного развития, что обуславливает потерю прироста и, соответственно, увеличение срока выращивания посадочного материала.

В качестве стимуляторов при прорастании семян чаще всего используют препараты на основе растительных гормонов [15, 17] или их синтезированные аналоги (гибберелловые кислоты, цитокинины), а также фенольные соединения

[7, 10], витамины [12], микроэлементы [13, 14] и т. д. Сочетание стимуляторов роста [4, 17] и их применение в определенную фазу развития растения [9, 19, 20] играют крайне важную роль. Также необходимо избежать антагонизма препаратов, и, как следствие, возможного обратного эффекта от их использования. По этой причине при выборе исключали препараты одной группы происхождения.

Для исследования брали препараты, которые по своему назначению должны обеспечить высокую всхожесть и увеличить устойчивость появившихся всходов к резким перепадам суточных температур воздуха. После анализа литературных источников были выбраны следующие препараты для обработки семян: «Циркон», негормональный препарат на основе гидроксикоричных кислот [1], «Цитовит» и «Феровит», в основе которых хелатные микроудобрения [2, 8]. Для послевсходовой обработки с целью повышения устойчивости к резким колебаниям суточных температур в начале лета и стимулирования ростовых процессов применяли синтезированный брассиностероид «Эпин-экстра», а для стимулирования роста подземной и надземной частей растений – синтетический ауксин на основе индолилуксусной кислоты (ИУК). На 2-й год выращивания был использован также «Гетероауксин».

#### Результаты исследования и их обсуждение

*Проращивание семян.* Проращивание семян в контролируемых условиях не выявило существенных расхождений во всхожести и энергии прорастания между вариантами опыта (рис. 2). В 9-дневный период всхожесть всех заложенных на проращивание семян достигла 100 %, с наибольшей долей проросших на 4–5-е сутки. Можно предположить, что такие высокие показатели проращивания указывают на свежесть семян, их правильную обработку и хранение.

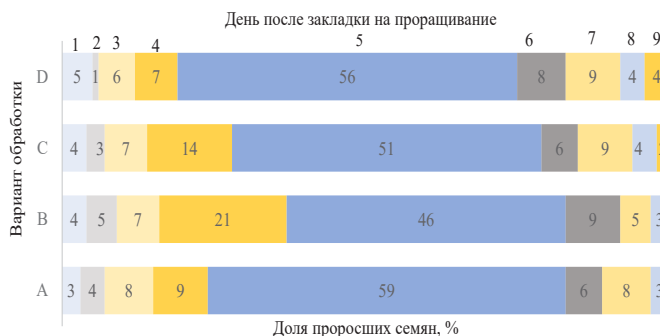


Рис. 2. Проращивание семян в контролируемых условиях

Fig. 2. Seed germination rate under controlled environment (A – water; B – Ferovite; C – Cytovite; D – Zircon)

В последующие 2 недели проведены наблюдения за развитием зародыша и формированием проростка (рис. 3). Этот период разделен на 2 фазы: I – растяжение покоящихся клеток зародышевой оси за счет поглощения воды (6–7-е сутки); II – начало клеточного деления, общее возрастание метаболизма семян. Во II фазу развития начинают проявляться различия между вариантами подготовки семян. Семена, обработанные препаратами «Феровит» и «Цитовит»,

на 14-й день сформировали хорошо развитые проростки, значительно отличающиеся от контроля ( $p < 0,05$ ). Вариант, обработанный препаратом «Циркон», имел обратный эффект: произошло ингибирование ростовых процессов в зародыше, что, вероятнее всего, связано с высокой концентрацией примененного раствора, вызвавшего снижение синтеза ауксинов.

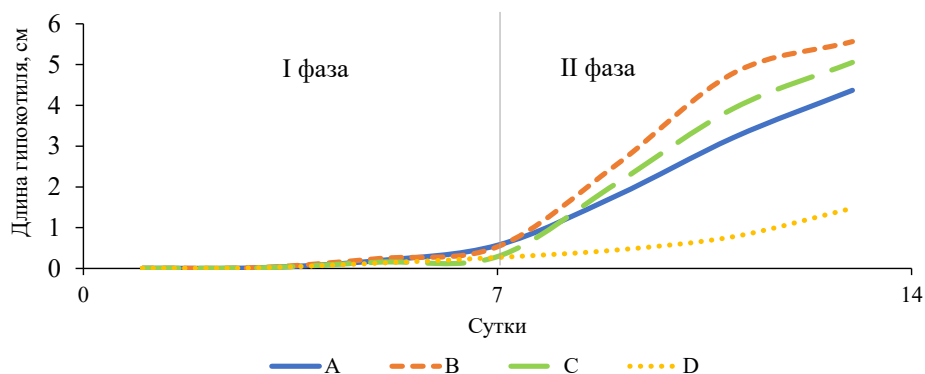


Рис. 3. Кинетика ростовых процессов зародыша и проростка

Fig. 3. Kinetics of growth processes of sprouts and seedling (A – water; B – Ferovite; C – Cytovite; D – Zircon)

*Выращивание посадочного материала.* Лучший результат по энергии прорастания показали семена, обработанные препаратами «Феровит» и «Цитовит». Первые всходы в этих вариантах опыта наблюдались через 14 дней после посева, еще через 4 дня появление всходов приобрело массовый характер. В вариантах с водой и «Цирконом» запаздывание массовых всходов составило 2 и 4 дня соответственно. Окончание формирования гипокотильной части и вытягивание семядолей закончились через 14 дней после появления всходов. Далее в течение 20 дн., до конца июля, у всходов всех опытных вариантов наблюдался несущественный прирост в высоту, что в большей степени связано с этапами внутренней трансформации плюмулы и подготовки к росту эпикотилия. Второй период линейного роста у однолетних сеянцев пришелся на конец июля – середину августа. В последующие годы динамика сезонного роста центрального побега также характеризовалась двумя всплесками активности ростовых процессов: 1-й приходится на середину июня, а 2-й, более мощный, – на 2-ю половину июля – начало августа. Данная закономерность прослеживалась во всех опытных вариантах. На рис. 4 показаны 4 варианта опыта.

Содержание хлорофилла и каротиноидов оценивали по всем опытным вариантам выращивания у 4-летних сеянцев ели. Хвоя от сеянцев, выращенных с применением препарата «Феровит» (вариант BF), по содержанию хлорофилла и каротиноидов значительно отличается от хвои сеянцев, выращенных с применением других препаратов ( $p < 0,05$ ). «Феровит» содержит железо в хелатной форме – важный микроэлемент для процесса фотосинтеза. В эпикотильной стадии развития при переходе к автотрофной форме питания включаются процессы фотоморфогенеза и в первых настоящих хвоинках начинает активно синтезироваться хлорофилл. В условиях открытой местности питомника происходит значительный приток солнечной энергии к сеянцам, что при высоком содержании хлорофилла в хвое способствует ускорению метаболизма растения, тем самым определяя интенсивность ростовых процессов.



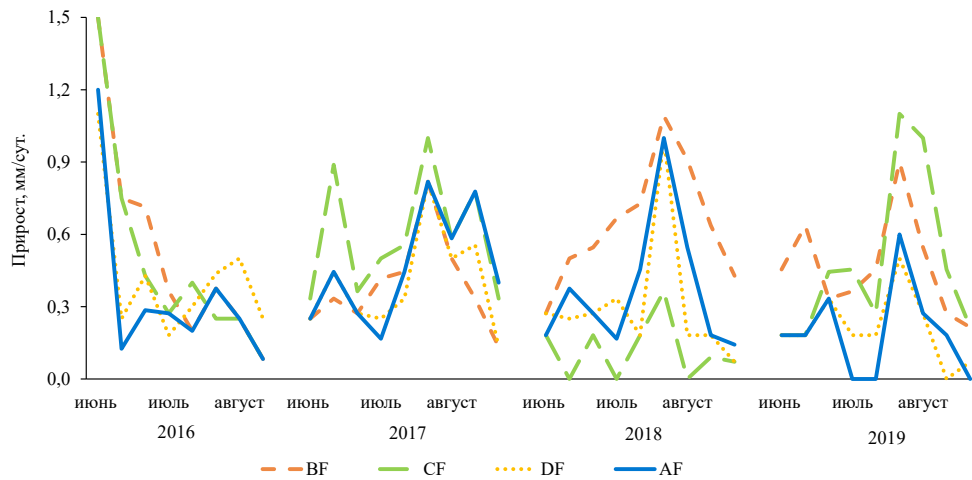


Рис. 4. Сезонный ритм роста осевого побега

Fig. 4. Seasonal growth rate of axial shoot

Хвоя сеянцев, семена которых были обработаны препаратом «Феровит», отличается по цвету от остальных вариантов более насыщенным оттенком зеленого. Каротиноиды выполняют в растении важную антиоксидатную роль, предохраняя хлорофилл от преждевременного разрушения (см. таблицу). Наблюдается значимая положительная зависимость между содержанием пигментов в хвое и морфометрическими показателями сеянцев в вариантах применения препарата «Феровит» ( $r = 0,59$  при  $p < 0,05$ ). Хвоя, взятая от сеянцев, выращенных из семян, подготовленных к посадке замачиванием в воде с последующей внекорневой обработкой «Гетероауксином» (AF), также отличается высокими показателями пигментного состава.

В литературе указывается, что достаточное количество света ограничивает рост растения в высоту, давая возможность всем вегетативным органам развиваться пропорционально. В наших исследованиях у сеянцев с высоким содержанием пигментов в хвое (варианты BF и BEF) наблюдается активное накопление надземной части фитомассы, при этом разница с корневой биомассой может быть значительна – в 3–4 раза (рис. 5).

Сеянцы, выращенные с применением препарата «Феровит», во всех вариантах дали наивысший результат по росту надземной части. Но также стоит обратить внимание на получившийся результат у сеянцев, выращенных с применением комбинации «Цитовит»–«Эпин-экстра»–«Гетероауксин» (вариант CEF). В этом варианте опыта по результатам 3-го года выращивания наблюдаются пропорционально развитые надземная и корневая части растений – соотношение 1:1 (рис. 6).

Однако не во всех случаях комплексное применение стимуляторов дает хороший результат. Примером здесь могут служить опытные варианты, показанные на рис. 6 по правую сторону от контрольного А. Возможно, что в тканях апикальной меристемы молодых растений концентрация ауксинов и так высокая, а внесение гормональных препаратов приводит к излишнему накоплению этих соединений или блокированию их синтеза, что в свою очередь со временем дает ингибирующий эффект.

## Морфо- и биометрические показатели семян ели

## Morphological and biometric indicators of the Siberian spruce seedlings

Вариант	Высота стволика		Длина корня		Масса, г		Хлорофилл <i>a</i>		Хлорофилл <i>b</i>		Каротиноиды	
	2019; ±Std.Dev, см	результат рангового дис- персионного анализа, сумма рангов	2018; ±Std.Dev, см	результат рангового дис- персионного анализа, сумма рангов	над- земной части	корня	±Std.Dev, мг/г	результат рангового дис- персионного анализа, сумма рангов	±Std.Dev, мг/г	результат рангового дис- персионного анализа, сумма рангов	±Std.Dev, мг/г	результат рангового дис- персионного анализа, сумма рангов
A	14,7±0,5	1785	9,9±0,5	3434	6,06	2,53	2,26±0,07	73	1,23±0,06	92	0,92±0,03	69
AEF	15,9±0,8	2572	10,8±0,7	3982	7,18	4,12	1,20±0,03	33	0,54±0,02	33	0,53±0,01	42
AF	15,6±0,9	1337	8,8±1,8	1547	8,47	2,61	2,25±0,04	74	0,97±0,01	60	0,98±0,02	78
AFF	15,6±0,5	2641	11,0±1,9	2520	7,02	2,97	2,56±0,03	96	1,05±0,01	69	1,12±0,01	87
BEF	17,5±0,6	4130	11,1±1,2	1241	3,84	1,55	3,99±0,01	105	1,82±0,01	114	1,99±0,00	105
BF	20,6±1,4	4997	11,4±1,9	4025	11,5	3,55	4,60±0,02	114	1,68±0,01	105	2,20±0,01	114
BFF	17,8±0,6	4224	10,7±1,9	3470	7,54	2,27	1,40±0,02	42	0,60±0,01	42	0,71±0,01	51
CEF	17,7±0,8	4125	11,3±2,3	4269	8,52	5,77	1,70±0,01	60	0,75±0,00	51	0,80±0,00	60
CF	16,4±0,9	3167	9,3±1,3	2569	4,63	2,29	1,53±0,02	51	1,22±0,00	91	0,47±0,01	24
CFE	14,1±1,2	1406	10,1±1,6	2300	4,55	2,13	2,49±0,01	87	1,09±0,00	78	1,19±0,00	96
DEF	15,1±1,5	2079	9,2±0,8	1519	6,22	1,89	1,12±0,02	24	0,50±0,01	24	0,51±0,01	33
DF	13,2±0,9	769	8,9±1,1	2215	5,00	1,54	0,41±0,01	6	0,17±0,00	6	0,21±0,00	6
DFF	13,0±0,9	694	11,5±1,1	836	3,41	1,27	0,78±0,02	15	0,34±0,01	15	0,35±0,01	15

Примечание: Результаты рангового дисперсионного анализа для всех показателей достоверны на уровне  $p < 0,05$ .

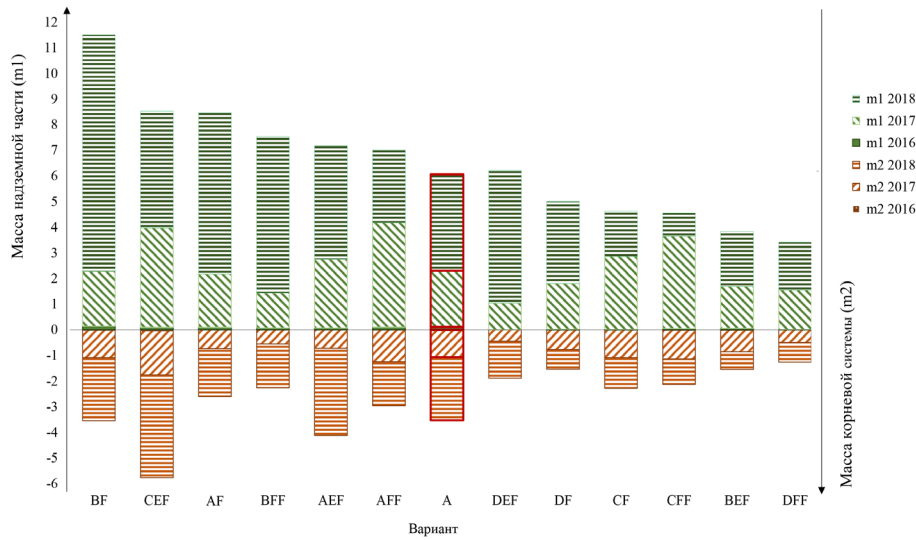


Рис. 5. Ежегодный прирост фитомассы подземной и надземной частей 3-летних сеянцев ели сибирской, г сухого вещества

Fig. 5. Annual phytomass growth of aerial part and root system of 3-year-old Siberian spruce seedlings, in g of a.d.m

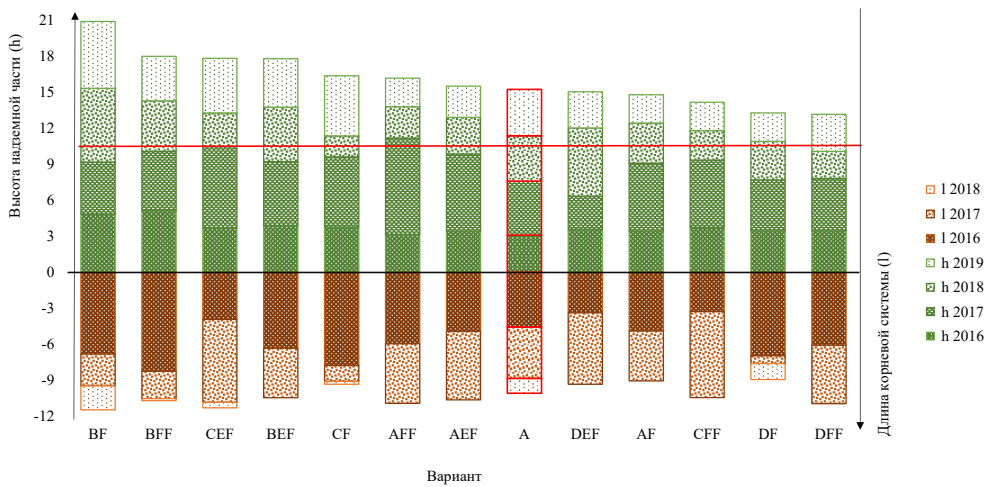


Рис. 6. Динамика ежегодного линейного прироста 3-летних сеянцев ели сибирской, см (горизонтальная красная линия – минимальные требования к высоте посадочного материала)

Fig. 6. Dynamics of annual linear growth of 3-year-old Siberian spruce seedlings, in cm (the horizontal red line shows minimum required height of the planting material)

*Создание лесных культур.* Выращенный посадочный материал был использован при создании лесных культур. Осенью в год закладки проведена инвентаризация посадок. Приживаемость посадочного материала составила 98,7 %. Большинство высаженных сеянцев успешно адаптировались к новым условиям и дали прирост в первый год выращивания (рис. 7).

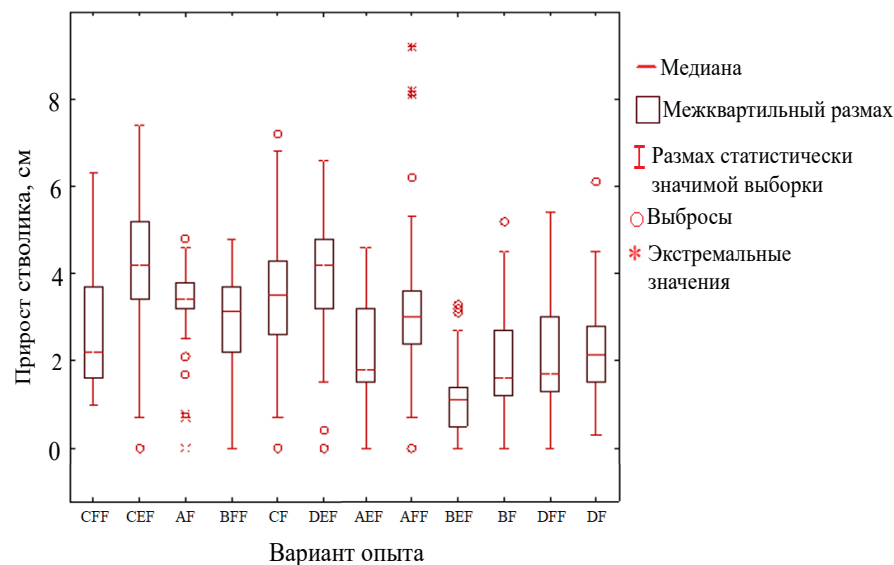


Рис. 7. Текущий прирост опытных лесных культур

Fig. 7. Current growth of the investigational forest crops

Наиболее высоким медианным текущим линейным приростом обладают варианты CEF (4,2 см), DEF (4,0 см), где 50 % измеренных приростов находятся в пределах от 3 до 5 см. Наименьший прирост сформировали сеянцы варианта BEF (медианное значение  $\approx 1$  см). Результаты 1-го года не позволяют формулировать объективные выводы об успешном применении посадочного материала, выращенного с использованием биостимуляторов. В дальнейшем планируются ежегодные наблюдения за ростом и состоянием опытных посадок, а также за изменениями биохимических процессов, протекающих в растениях.

#### Заключение

Проведенное исследование показало, что выбор стимуляторов роста, их доза и сроки применения в различные фенофазы развития семян должны подбираться с учетом биологических особенностей вида растения.

Эффект от использования стимуляторов «Феровит» (0,1 %) и «Цитовит» (0,01 %) для предпосевной обработки семян ели сибирской проявляется на стадии формирования проростка, не оказывая значимого влияния на всхожесть и энергию прорастания семян. В хвое сеянцев ели сибирской, выращенных из семян, обработанных препаратом «Феровит» в концентрации 0,1 %, наблюдается высокое содержание хлорофиллов и каротиноидов, участвующих в процессе фотосинтеза, что положительно коррелирует с высотой и фитомассой надземной части.

Применение комплекса стимуляторов в сочетании «Феровит»–«Гетероауксин» и «Цитовит»–«Эпин-экстра»–«Гетероауксин» позволило получить на третий год посадочный материал, отвечающий не только минимальным требованиям к высоте и диаметру стволика, но и положительно отличающийся другими качественными показателями, такими как соотношение надземной/подземной частей растения, одревесненность стволика.

Варианты обработок «Циркон»–«Гетероауксин» и «Циркон»–«Гетероауксин»–«Гетероауксин» не показали значимых результатов, наоборот – произошло ингибирование ростовых процессов у сеянцев, что, скорее всего, связано с высокой концентрацией препарата «Циркон» (0,02 %).

Изучение биохимии растительного организма позволит обоснованно применять биостимуляторы с учетом фазы роста растений и будет способствовать разработке качественно новых технологий выращивания посадочного материала в различных природно-климатических условиях. Посадочный материал ели сибирской, полученный по разработанной технологии, при соблюдении всех требований и нормативов по созданию лесных культур обеспечил высокий процент приживаемости – 98,7 %.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. Байрамбеков Ш.Б., Мохамед С.М., Абакумова А.С. Влияние обработки регулятором роста «Циркон» на урожайность различных культур // *Естеств. науки*. 2009. № 4(29). С. 43–48.

Bayrambekov Sh.B., Mokhamed S.M., Abakumova A.S. Influence of Application Growth Regulator “Zircon” on Productivity of Various Cultures. *Estestvennyye nauki = Natural Sciences*, 2009, no. 4(29), pp. 43–48. (In Russ.).

2. Будыкина Н.П., Алексеева Т.Ф., Хилков Н.И. Эффективность фиторегулятора эпин экстра и микроэлементного препарата «Цитовит» в защищенном грунте // *Агротехн. вестн.* 2010. № 2. С. 27–29.

Budykina N.P., Alekseyeva T.F., Khilkov N.I. Effectiveness of the Phyto regulator Epin Extra and the Micronutrient Agent Citovit in Greenhouse Environment. *Agrokhimicheskiy vestnik = Agrochemical Herald*, 2010, no. 2, pp. 27–29. (In Russ.).

3. Журнова Д.Ф. Применение биостимуляторов для повышения качества зеленой массы листового салата // *Вестн. КрасГАУ*. 2014. № 4. С. 166–170.

Zhirnova D.F. The Bio-Stimulator Application for Improving the Quality of Lettuce Green Mass. *Vestnik of Krasnoyarsk State Agrarian University*, 2014, no. 4, pp. 166–170. (In Russ.).

4. Кабанова С.А., Данченко А.М., Данченко М.А. Влияние стимуляторов на всхожесть семян и рост сеянцев сосны обыкновенной в Северном Казахстане // *Успехи соврем. естествознания*. 2016. № 8. С. 88–92.

Kabanova S.A., Danchenko A.M., Danchenko M.A. The Effect of Growth Stimulators on the Quantitative Characteristics of Planting Material of *Pinus sylvestris* in the North-Kazakhstan Region. *Uspekhi sovremennogo estestvoznaniya*, 2016, no. 8, pp. 88–92. (In Russ.).

5. Кахнович Л.В. Фотосинтез: метод. рекомендации к лаб. занятиям, задания для самостоят. работы и контроля знаний студентов. Минск: БелГУ, 2003. 88 с.

Kakhnovich L.V. *Photosynthesis: Methodological Recommendations for Laboratory Classes, Tasks for Independent Work and Control of Students' Knowledge*. Minsk, Belgorod State National Research University Publ., 2003. 88 p. (In Russ.).

6. Новосельцева А.И., Смирнов Н.А. Справочник по лесным питомникам. М.: Лесн. пром-сть, 1983. 280 с.

Novoseltseva A.I., Smirnov N.A. *Handbook of Forest Nurseries*. Moscow, Lesnaya promyshlennost' Publ., 1983. 280 p. (In Russ.).

7. Прусакова Л.Д., Кефели В.И., Белопухов С.Л., Вакуленко В.В., Кузнецова С.А. Роль фенольных соединений в растениях // *Агрохимия*. 2008. № 7. С. 86–96.

Prusakova L.D., Kefeli V.I., Belopukhov S.L., Vakulenko V.V., Kuznetsova S.A. The Role of Phenolic Compounds in Plants. *Agrokhiimiya*, 2008, no 7, pp. 86–96. (In Russ.).

8. Пушкина Г.П., Маланкина Е.Л., Тхаганов Р.Р., Морозов А.И. Эффективность применения регуляторов роста и микроудобрений на эфирномасличных культурах // Достижения науки и техники АПК. 2010. № 7. С. 17–19.

Pushkina G.P., Malankina E.L., Tkhananov R.R., Morozov A.I. Effectiveness of Growth Regulators and Microfertilizers Application on Essential-Oil Crops. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK = Achievements of Science and Technology of the Agro-Industrial Complex*, 2010, no. 7, pp. 17–19. (In Russ.).

9. Скозарева И.А., Чернодубов А.И. Эффективность применения стимуляторов роста при выращивании сеянцев сосны обыкновенной // Лесотехн. журн. 2019. Т. 9, № 3(35). С. 87–95.

Skozareva I.A., Chernodubov A.I. The Effectiveness of the Use of Growth Stimulants in the Cultivation of Seedlings of Scots Pine. *Lesotekhnicheskii zhurnal = Forestry Engineering Journal*, 2019, vol. 9., no. 3(35), pp. 87–95. (In Russ.). <https://doi.org/10.34220/issn.2222-7962/2019.3/8>

10. Упадышев М.Т. Ускоренное размножение плодовых и ягодных культур стеблевыми черенками с использованием циркона // Современное садоводство. 2010. № 1(1). С. 49–52.

Upadyshev M.T. The Accelerated Propagation of Fruit and Berry Cultures by Stem Cuttings with Zircon Use. *Sovremennoye sadovodstvo = Contemporary Horticulture*, 2010, no. 1(1), pp. 49–52. (In Russ.).

11. Шлык А.А. Определение хлорофиллов и каротиноидов в экстрактах зеленых листьев // Биохимические методы в физиологии растений / отв. ред. О.А. Павлинова, М.: Наука, 1971. С. 154–170.

Shlyk A.A. *Biochemical Methods in Plant Physiology*. Ed. by O.A. Pavlinova. Moscow, Nauka Publ., 1971. pp. 154–170. (In Russ.).

12. Fitzpatrick T.B., Chapman L.M. The Importance of Thiamine (Vitamin B1) in Plant Health: From Crop Yield to Biofortification. *Journal of Biological Chemistry*, 2020, vol. 295, no. 34, pp. 12002–12013. <https://doi.org/10.1074/jbc.REV120.010918>

13. Ghatas Y., Ali M., Elsadek M., Mohamed Y. Enhancing Growth, Productivity and Artemisinin Content of *Artemisia annua* L. Plant Using Seaweed Extract and Micronutrients. *Industrial Crops and Products*, 2021, vol. 161, no. 113202, pp. 113–202. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2020.113202>

14. He H., Dong Z., Peng Q., Wang X., Fan C., Zhang X. Impacts of Coal Fly Ash on Plant Growth and Accumulation of Essential Nutrients and Trace Elements by Alfalfa (*Medicago sativa*) Grown in a Loessial Soil. *Journal of Environmental Management*, 2017, vol. 197, pp. 428–439. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2017.04.028>

15. Khan S., Basra S.M.A., Nawaz M., Hussain I., Foidl N. Combined Application of Moringa Leaf Extract and Chemical Growth-Promoters Enhances the Plant Growth and Productivity of Wheat Crop (*Triticum aestivum* L.). *Suid-Afrikaanse Tydskrif Vir Plantkunde = South African Journal of Botany*, 2020, vol. 129, pp. 74–81. <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2019.01.007>

16. Medeiros C.D., Scoffoni C., John G.P., Bartlett M.K., Inman-Narahari F., Ostertag R., Cordell S., Giardina C., Sack L. An Extensive Suite of Functional Traits Distinguishes Hawaiian Wet and Dry Forests and Enables Prediction of Species Vital Rates. *Functional Ecology*, 2019, vol. 33, no. 4, pp. 712–734. <https://doi.org/10.1111/1365-2435.13229>

17. Mitra D., Rad K.V., Chaudhary P., Ruparelia J., Boutaj H., Mohapatra P.D., Panneerselvam P. Involvement of Strigolactone Hormone in Root Development, Influence, and Interaction with Mycorrhizal Fungi in Plant: Mini-Review. *Current Research in Microbial Sciences*, 2021, vol. 2, no. 100026, p. 100026. <https://doi.org/10.1016/j.crmicr.2021.100026>

18. Nurafifah F., Luqman Chuah A., Puteri Farah Wahida M.A. Drying of *Plectranthus amboinicus* (Lour) Spreng Leaves by Using Oven Dryer. *Engineering in Agriculture Environment and Food*, 2018, vol. 11, no. 4, pp. 239–244. <https://doi.org/10.1016/j.eaef.2018.08.002>

19. Olaetxea M., De Hita D., Garcia C.A., Fuentes M., Baigorri R., Mora V., Garnica M., Urrutia O., Erro J., Zamarreño A.M., Berbara R.L., Garcia-Mina J.M. Hypothetical Framework Integrating the Main Mechanisms Involved in the Promoting Action of Rhizospheric Humic Substances on Plant Root- and Shoot-Growth. *Applied Soil Ecology: A Section of Agriculture, Ecosystems and Environment*, 2018, vol. 123, pp. 521–537. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2017.06.007>

20. Shi W., Grossnickle S.C., Li G., Su S., Liu Y. Fertilization and Irrigation Regimes Influence on Seedling Attributes and Field Performance of *Pinus tabulaeformis* Carr. *Forestry*, England, London, 2019, vol. 92, no. 1, pp. 97–107. <https://doi.org/10.1093/forestry/cpy035>

**Конфликт интересов:** Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов  
**Conflict of interest:** The authors declare that there is no conflict of interest