

МРНТИ 68.47.15

DOI: 10.71130/3079-6245-2026-8-3-70-77

## ЭФФЕКТИВНОСТЬ ИНТЕРПОЛИМЕРНЫХ КОМПЛЕКСОВ ПРИ ВЫРАЩИВАНИИ СЕЯНЦЕВ СОСНЫ ОБЫКНОВЕННОЙ ТРЕТЬЕЙ РОТАЦИИ

С.Б. Рахметов\*<sup>1</sup>, Ю.А. Рахметова<sup>2</sup>

<sup>1</sup>РГУ «Государственный лесной природный резерват «Семей орманы»», Комитет лесного хозяйства и животного мира, Министерство экологии и природных ресурсов Республики Казахстан, Казахстан, г. Семей

<sup>2</sup>НАО «Кокшетауский университет им. Ш. Уалиханова», Казахстан, г. Кокшетау

\*e-mail: eco\_semey@mail.ru

Сокращения и обозначения: ФАР – фотосинтетически активная радиация; Na-КМЦ – натрий-карбоксиметилцеллюлоза.

**Аннотация.** Актуальность исследования обусловлена необходимостью увеличения объёмов качественного посадочного материала сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) для лесовосстановления в ленточных борах Прииртышья. Целью работы являлась оценка возможности получения стандартных сеянцев с закрытой корневой системой при проведении третьей ротации с использованием биостимуляторов и интерполимерных комплексов на основе хитозана и натрий-карбоксиметилцеллюлозы. Исследования проводили с 2021 года на базе Комплекса лесного питомника и лесосеменной станции Канонерского филиала РГУ «ГЛПР «Семей орманы». Оценивали посевные качества семян, сроки появления всходов, высоту сеянцев, развитие корневой системы и выход стандартного посадочного материала. Лабораторная всхожесть семян составила 95 %. В первой ротации массовые всходы при использовании интерполимерных комплексов появлялись на 4–5-е сутки против 7-х суток в контроле; средняя высота сеянцев составляла 8,7–10,6 см, а доля стандартного материала достигала 83 %. Во второй ротации средняя высота достигала 9,4 см, выход товарного материала — до 70 %. В третьей ротации высота сеянцев не превышала 3 см, стандартный посадочный материал получен не был, а корневой ком не сформировался. Полученные результаты указывают на существенное влияние условий выращивания на эффективность биополимерных препаратов. Практическая ценность работы заключается в обосновании необходимости оптимизации сроков третьей ротации и микроклимата теплиц. Для окончательной количественной оценки причин неудачи третьей ротации необходимы дополнительные инструментальные данные о температуре, освещённости, влажности и водно-воздушном режиме субстрата.

**Ключевые слова:** *Pinus sylvestris* L., закрытая корневая система, третья ротация, интерполимерный комплекс, лесной питомник.

## ТИІМДІ ТАМЫР ЖҮЙЕСІ ЖАБЫҚ КӘДІМГІ ҚАРАҒАЙ КӨШЕТТЕРІН ҮШІНШІ РОТАЦИЯДА ӨСІРУ КЕЗІНДЕ ИНТЕРПОЛИМЕРЛІК КЕШЕНДЕРДІ ҚОЛДАНУ ТИІМДІЛІГІ

**Андапта.** Зерттеудің өзектілігі Ертіс маңы таспалы қарағайлы ормандарын қалпына келтіру үшін кәдімгі қарағайдың (*Pinus sylvestris* L.) сапалы отырғызу материалын өндіру көлемін арттыру қажеттілігімен байланысты. Жұмыстың мақсаты хитозан мен натрий карбоксиметилцеллюлозасы негізіндегі биостимуляторлар мен интерполимерлік кешендерді пайдалана отырып, тамыр жүйесі жабық көшеттерді үшінші ротацияда стандартты сапаға дейін өсіру мүмкіндігін бағалау болды. Зерттеулер 2021 жылдан бастап «Семей орманы» мемлекеттік орман табиғи резерваты Канонер филиалының орман питомнигі және орман тұқым станциясы кешенінде жүргізілді. Тұқымдардың себу сапасы, өскіндердің пайда болу мерзімі, көшеттердің биіктігі, тамыр жүйесінің дамуы және стандартты отырғызу материалының шығымы бағаланды. Тұқымдардың зертханалық өнгіштігі 95 % болды. Бірінші ротацияда интерполимерлік кешендерді қолданғанда жаппай өскіндер 4–5 тәулікте, бақылауда 7 тәулікте пайда болды; көшеттердің орташа биіктігі 8,7–10,6 см, стандартты материалдың үлесі 83 %-ға дейін жетті. Екінші ротацияда орташа биіктік 9,4 см-ге, тауарлық материалдың шығымы 70 %-ға дейін жетті. Үшінші ротацияда көшеттердің биіктігі 3 см-ден аспады, стандартты отырғызу материалы алынбады және тамыр түйіршігі қалыптаспаған. Нәтижелер биополимерлік препараттардың тиімділігі өсіру жағдайларына айтарлықтай тәуелді екенін көрсетті. Практикалық маңызы үшінші ротация мерзімдерін және жылыжай микроклиматын ынталандыру қажеттілігін негіздеуде. Үшінші ротацияның сәтсіздік себептерін түпкілікті сандық бағалау үшін температура, жарықтану, ылғалдылық және субстраттың су-ауа режимі бойынша қосымша аспаптық деректер қажет.

**Түйін сөздер:** *Pinus sylvestris* L., жабық тамыр жүйесі, үшінші ротация, интерполимерлік кешен, орман питомнигі.

## EFFICIENCY OF INTERPOLYMER COMPLEXES IN GROWING SCOTS PINE SEEDLINGS DURING THE THIRD ROTATION

**Abstract.** The study addresses the need to increase the production of high-quality Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) planting stock for forest restoration in the Irtysh ribbon pine forests. The aim was to assess whether standard containerized seedlings could be produced during a third growing rotation using biostimulants and interpolymer complexes based on chitosan and sodium carboxymethylcellulose. The study has been conducted since 2021 at the Forest Nursery and Forest Seed Station Complex of the Kanonersky branch of the State Forest Natural Reserve «Semey Ormany». Seed quality, emergence timing, seedling height, root development and the yield of standard planting stock were assessed. Laboratory germination reached 95%. During the first rotation, mass emergence occurred on days 4–5 in the interpolymer treatments compared with day 7 in the control; mean seedling height was 8.7–10.6 cm and the proportion of standard planting stock reached 83%. During the second rotation, mean height reached 9.4 cm and the yield of marketable planting stock was up to 70%. During the third rotation, seedling height did not exceed 3 cm, no standard planting stock was obtained, and the root plug failed to form. The results indicate that the effectiveness of biopolymer treatments depends substantially on nursery growing conditions. The practical significance of the study is related to optimizing the timing of the third rotation and greenhouse microclimate. Definitive quantitative attribution of the third-rotation failure to specific environmental factors requires additional instrumental measurements of temperature, light, substrate moisture and water–air conditions.

**Key words:** *Pinus sylvestris* L., containerized seedlings, third rotation, interpolymer complex, forest nursery.

### Введение

Ленточные боры Прииртышья относятся к уникальным лесным экосистемам Казахстана и имеют важное природоохранное и экологическое значение. Их сохранение и восстановление требуют стабильного производства качественного посадочного материала, в том числе сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.). Для лесных питомников важны не только генетические характеристики исходного материала, но и условия, в которых выращиваются сеянцы: температура, фотопериод, освещённость и режим увлажнения способны существенно влиять на рост и фенологическое развитие растений [1–3].

В Канонерском филиале РГУ «ГЛПР «Семей орманы» функционирует комплекс лесного питомника и лесосеменной станции, оснащённый оборудованием для выращивания до 3,6 млн сеянцев с закрытой корневой системой в год. Стандартная технология предусматривает две ротации в течение одного вегетационного периода. Увеличение потребности в посадочном материале обуславливает интерес к возможности организации третьей ротации.

Одним из направлений интенсификации выращивания посадочного материала является применение биополимеров и интерполимерных комплексов. Хитозан рассматривается как биостимулятор и средство повышения устойчивости растений; однако его действие на древесные растения может зависеть от концентрации, условий применения и стадии развития. Для сосны обыкновенной показано как положительное влияние отдельных препаратов хитозана на рост, так и вариабельность эффекта в зависимости от условий выращивания [4, 5].

Для интерполимерного комплекса хитозана и натрий-карбоксиметилцеллюлозы также показано положительное влияние на водоудерживающие свойства почвы и отдельные показатели прорастания и роста сосны обыкновенной [6]. Вместе с тем современные исследования контейнерного выращивания подчёркивают необходимость учитывать совокупное влияние среды питомника, а не только действие стимуляторов [2, 7]. Для сосны обыкновенной фотопериод и температурный режим связаны с ритмом роста и прекращением вегетации [3].

Таким образом, научная проблема настоящей работы заключается в оценке пределов эффективности биополимерных препаратов при попытке получить стандартный посадочный материал в третьей ротации в условиях ограниченного вегетационного периода. Объектом исследования являлись семена и сеянцы сосны обыкновенной с закрытой корневой системой. Цель исследования — оценить эффективность применения интерполимерных комплексов и

биостимуляторов при выращивании семян третьей ротации и определить факторы, ограничивающие получение стандартного посадочного материала. Рабочая гипотеза состояла в том, что применение биополимерных препаратов способно улучшить рост семян, но их эффект ограничен при неблагоприятном температурно-световом режиме.

## 2. Материалы и методы исследования

Исследования проводили с 2021 года на базе Комплекса лесного питомника и лесосеменной станции Канонерского филиала РГУ «ГЛПР «Семей орманы». Объектом исследования являлись семена и сеянцы сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.), используемые для производства посадочного материала с закрытой корневой системой.

Перед посевом проводили лабораторную оценку посевных качеств семян в соответствии с требованиями действующих государственных стандартов. Для профилактики грибных заболеваний семена обрабатывали раствором перманганата калия, после чего проводили предпосевную обработку биологически активными препаратами и интерполимерными комплексами.

Интерполимерные комплексы готовили на основе хитозана и натрий-карбоксиметилцеллюлозы, а также альгината натрия и геллана. Полимерные растворы готовили в концентрации 0,01 моль/л с последующим перемешиванием в течение 24 ч. В производственных условиях семена высевали вручную в кассеты с торфяным субстратом. После посева кассеты размещали в теплице.

В ходе наблюдений оценивали сроки появления массовых всходов, рост сеянцев, формирование корневой системы и выход стандартного посадочного материала. Для характеристики роста использовали высоту сеянцев; дополнительно оценивали формирование корневого кома и соответствие полученного материала требованиям к стандартному посадочному материалу.

Для повышения воспроизводимости исследования при последующих опытах рекомендуется фиксировать и включать в протокол: число семян и растений в каждом варианте, число повторностей, состав и концентрацию каждого препарата, сроки начала и окончания каждой ротации, температуру воздуха и субстрата, продолжительность естественного светового дня, интенсивность ФАР, влажность субстрата и параметры полива. В исходных материалах эти количественные параметры представлены не полностью, поэтому они не вводятся в настоящую редакцию как новые экспериментальные данные.

Полученные данные анализировали с использованием общепринятых методов биометрического анализа. В связи с отсутствием в исходной рукописи сведений о размере выборки, повторности и конкретном статистическом критерии статистическую значимость различий в настоящей редакции не заявляют. Для окончательной журнальной версии рекомендуется дополнить раздел точным описанием статистического анализа.



Рисунок 1 – Исследование семян сосны обыкновенной в лабораторных условиях

### 3. Результаты и обсуждение

#### 3.1. Результаты исследования

Лабораторная оценка показала высокое качество исследуемых семян: лабораторная всхожесть составила 95 %, что соответствовало первому классу качества. Таким образом, исходное качество семенного материала не являлось очевидным ограничивающим фактором получения всходов.

В первой ротации массовые всходы при использовании интерполимерных комплексов появлялись на 4–5-е сутки, тогда как в контрольном варианте — на 7-е сутки. Средняя высота сеянцев составляла 8,7–10,6 см против 6,4 см в контроле. Доля стандартного посадочного материала достигала 83 %.

Во второй ротации также отмечалось положительное влияние отдельных вариантов обработки. Средняя высота сеянцев достигала 9,4 см, а выход товарного посадочного материала — до 70 %.

Третья ротация характеризовалась резким снижением темпов роста. Несмотря на применение различных стимуляторов роста и органоминеральных препаратов, высота сеянцев не превышала 3 см, стандартный посадочный материал получен не был. Корневая система развивалась недостаточно, а торфяной ком не сформировался, вследствие чего выращенный материал был признан нестандартным.

Полученные данные показывают, что положительный эффект отдельных вариантов обработки, выявленный в первой и второй ротациях, не сохранялся при переходе к третьей ротации. Поэтому эффективность интерполимерных комплексов следует рассматривать не как самостоятельный фактор, а как компонент технологии, результат которого зависит от условий выращивания.



Рисунок 2 – Подготовка и обработка семян перед посевом

### 3.2. Обсуждение результатов

Полученные результаты согласуются с современными представлениями о высокой зависимости роста лесных культур от условий питомника. Исследование питомниковых условий для сосны обыкновенной показало, что температура и фотопериод способны существенно влиять на рост и фенологические признаки уже на ранних стадиях развития [2]. Для сосны обыкновенной ранее также установлено взаимодействие фотопериода и накопленного температурного времени с прекращением роста сеянцев [3]. Поэтому снижение продолжительности светового дня и температуры в конце вегетационного периода может рассматриваться как вероятный фактор ограничения третьей ротации.

Вместе с тем имеющиеся в настоящем исследовании данные не позволяют количественно разделить вклад каждого из этих факторов. В рукописи отсутствуют инструментальные измерения температуры воздуха и субстрата, интенсивности ФАР и фактической продолжительности светового периода в период третьей ротации. Поэтому вывод следует формулировать как вероятное объяснение наблюдаемого эффекта, а не как экспериментально доказанную единственную причину.

Результаты по хитозану также соответствуют данным литературы о вариабельности действия этого биополимера на древесные растения. В условиях лесного питомника применение хитозана у сосны обыкновенной сопровождалось улучшением ряда ростовых показателей, однако эффект зависел от способа применения [4]. Более позднее исследование также показало, что влияние хитозана на сосну может существенно меняться в зависимости от условий эксперимента и стадии выращивания [5]. Это подтверждает необходимость оценивать действие препарата в комплексе с технологическими параметрами питомника.

Для комплекса хитозан–натрий-карбоксиметилцеллюлоза опубликованы данные о повышении влагоудерживающей способности почвы и улучшении ряда показателей прорастания и роста сосны обыкновенной [6]. Эти результаты поддерживают перспективность использования интерполимерных комплексов, но одновременно показывают, что механизм их действия может быть связан с изменением водного режима субстрата. В настоящем исследовании фактическая влажность и водно-воздушные характеристики торфяного субстрата не измерялись, поэтому утверждение о развитии гипоксии как установленной причине слабого корнеобразования следует считать гипотезой, требующей проверки.

Особый интерес представляет современная практика многоротационного выращивания контейнерных сеянцев сосны. Исследование второй ротации показало, что применение стимуляторов роста может улучшать отдельные показатели, однако многоротационная технология должна учитывать продолжительность вегетационного периода и готовность посадочного материала к дальнейшему использованию [7]. Полученные в настоящей работе результаты третьей ротации дополняют эти наблюдения, указывая на необходимость более строгого контроля условий выращивания при сокращённом времени на формирование стандартного сеянца.

Таким образом, основной практический вывод заключается не в отказе от интерполимерных комплексов, а в необходимости сочетать их применение с управлением микроклиматом. Перспективными технологическими мерами являются дополнительное освещение и поддержание оптимального температурного режима в теплице, а также мониторинг влажности и аэрации субстрата. Для подтверждения эффективности такой модернизации необходимо проведение контролируемого опыта с вариантами различного светового и температурного режима.



Рисунок 3 – Посев семян сосны обыкновенной в кассеты с торфяным субстратом

### **Заключение, выводы**

Проведённое исследование показало высокое исходное качество семян сосны обыкновенной: лабораторная всхожесть составила 95 %. В первой и второй ротациях отдельные варианты применения интерполимерных комплексов и биостимуляторов сопровождались более быстрым появлением всходов, увеличением высоты сеянцев и повышением выхода стандартного или товарного посадочного материала.

В третьей ротации положительный эффект обработок оказался недостаточным для формирования стандартных сеянцев. Высота растений не превышала 3 см, корневая система развивалась слабо, а торфяной ком не сформировался. Полученные результаты свидетельствуют о том, что применение биополимерных препаратов само по себе не компенсирует неблагоприятные условия выращивания.

Наиболее вероятными ограничивающими факторами третьей ротации являются сокращение продолжительности естественного освещения и снижение температурного режима в конце вегетационного периода. Однако из-за отсутствия инструментальных измерений этих параметров в исходной серии наблюдений их вклад не может быть количественно установлен.

Для практического внедрения третьей ротации рекомендуется модернизация тепличного комплекса с контролируемым досвечиванием и дополнительным обогревом, а также мониторинг влажности и водно-воздушного режима субстрата. Перспективным направлением дальнейших исследований является сравнительное испытание вариантов с различными режимами освещения и температуры при одновременной оптимизации схем применения интерполимерных комплексов.

Полученные результаты могут быть использованы при совершенствовании технологий выращивания посадочного материала хвойных пород в лесных питомниках Казахстана и других регионов с резко континентальным климатом.

### Благодарности

Авторы благодарят сотрудников Комплекса лесного питомника и лесосеменной станции Канонерского филиала РГУ «ГЛПР «Семей орманы» за содействие в проведении производственных наблюдений

### Список литературы

1. Zhumadina S., Chlachula J., Zhaglovskaya-Faurat A., Czerniawska J., Satybaldieva G., Nurbayeva N., Mapitov N., Myrzagaliyeva A., Boribay E. Environmental dynamics of the ribbon-like pine forests in the parklands of North Kazakhstan. *Forests*. 2022. Vol. 13. No. 1. Art. 2. DOI: 10.3390/f13010002.
2. Perry A., Beaton J.K., Stockan J.A., Iason G.R., Cottrell J.E., Cavers S. Tree nursery environments and their effect on early trait variation. *Forestry: An International Journal of Forest Research*. 2025. Vol. 99. No. 4. Art. Cpaf011. DOI: 10.1093/forestry/cpaf011.
3. Partanen J., Beuker E. Effects of photoperiod and thermal time on the growth rhythm of *Pinus sylvestris* seedlings. *Scandinavian Journal of Forest Research*. 1999. Vol. 14. No. 6. P. 487–497. DOI: 10.1080/02827589908540813.
4. Aleksandrowicz-Trzcińska M., Bogusiewicz A., Szkop M., Drozdowski S. Effect of chitosan on disease control and growth of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) in a forest nursery. *Forests*. 2015. Vol. 6. No. 9. P. 3165–3176. DOI: 10.3390/f6093165.
5. Chitosan exhibits variable effects on pine (*Pinus sylvestris* L.) and alder (*Alnus glutinosa* L.) growth and secondary metabolism. *iForest – Biogeosciences and Forestry*. 2024. Vol. 17. No. 4. P. 236–244. DOI: 10.3832/for4404-017.
6. Berikbol N., Klivenko A., Markin V., Orazzhanova L., Yelemessova G., Kassymova Z. Development of interpolyelectrolyte complex based on chitosan and carboxymethylcellulose for stabilizing sandy soil and stimulating vegetation of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.). *Polymers*. 2024. Vol. 16. No. 16. Art. 2373. DOI: 10.3390/polym16162373.
7. Копосова Е.А., Чернобровкина Н.П., Нелаева К.Г., Робонен Е.В., Егорова А.В. Стимуляторы роста для контейнерных семян *Pinus sylvestris* L. второй ротации. *Известия высших учебных заведений. Лесной журнал*. 2026. № 2. С. 88–100. DOI: 10.37482/0536-1036-2026-2-88-100.
8. Maji P.K. Eco-friendly chitosan carboxymethyl cellulose composite for enhanced delivery of nitrogen, phosphorus, and potassium in sustainable agricultural systems. *ACS Materials Letters*. 2026. Vol. 8. No. 7. P. 1855–1863. DOI: 10.1021/acsmaterialslett.6c00100.

### References

1. Zhumadina S., Chlachula J., Zhaglovskaya-Faurat A., Czerniawska J., Satybaldieva G., Nurbayeva N., Mapitov N., Myrzagaliyeva A., Boribay E. (2022) Environmental dynamics of the ribbon-like pine forests in the parklands of North Kazakhstan. *Forests*, vol. 13, no. 1, art. 2. DOI: 10.3390/f13010002.
2. Perry A., Beaton J.K., Stockan J.A., Iason G.R., Cottrell J.E., Cavers S. (2025) Tree nursery environments and their effect on early trait variation. *Forestry: An International Journal of Forest Research*, vol. 99, no. 4, art. Cpaf011. DOI: 10.1093/forestry/cpaf011.
3. Partanen J., Beuker E. (1999) Effects of photoperiod and thermal time on the growth rhythm of *Pinus sylvestris* seedlings. *Scandinavian Journal of Forest Research*, vol. 14, no. 6, pp. 487–497. DOI: 10.1080/02827589908540813.
4. Aleksandrowicz-Trzcińska M., Bogusiewicz A., Szkop M., Drozdowski S. (2015) Effect of chitosan on disease control and growth of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) in a forest nursery. *Forests*, vol. 6, no. 9, pp. 3165–3176. DOI: 10.3390/f6093165.
5. (2024) Chitosan exhibits variable effects on pine (*Pinus sylvestris* L.) and alder (*Alnus glutinosa* L.) growth and secondary metabolism. *iForest – Biogeosciences and Forestry*, vol. 17, no. 4, pp. 236–244. DOI: 10.3832/for4404-017.

6. Berikbol N., Klivenko A., Markin V., Orazzhanova L., Yelemessova G., Kassymova Z. (2024) Development of interpolyelectrolyte complex based on chitosan and carboxymethylcellulose for stabilizing sandy soil and stimulating vegetation of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.). *Polymers*, vol. 16, no. 16, art. 2373. DOI: 10.3390/polym16162373.
7. Kuposova E.A., Chernobrovkina N.P., Nelaeva K.G., Robonen E.V., Egorova A.V. (2026) Growth stimulants for containerized *Pinus sylvestris* L. seedlings of the second rotation. *Lesnoy Zhurnal*, no. 2, pp. 88–100. DOI: 10.37482/0536-1036-2026-2-88-100.
8. Maji P.K. (2026) Eco-friendly chitosan carboxymethyl cellulose composite for enhanced delivery of nitrogen, phosphorus, and potassium in sustainable agricultural systems. *ACS Materials Letters*, vol. 8, no. 7, pp. 1855–1863. DOI: 10.1021/acsmaterialslett.6c00100.