

DOI: 10.7868/S3034574X26030069
УДК 632.9:579.64

Оригинальная статья

ЭНДОФИТНЫЕ БАКТЕРИИ ЕЛИ *PICEA JEZOENSIS* И ИХ АНТАГОНИЗМ ПРОТИВ ПАТОГЕНОВ РАСТЕНИЙ

А.А. Днепровская^{1,2}, А.А. Ананьев¹, Н.Н. Нитяговский¹,
Н.С. Примак¹, К.В. Киселев¹, О.А. Алейнова^{1,*}

¹Федеральный научный центр биоразнообразия наземной биоты Восточной Азии, ДВО РАН,
Владивосток, Российская Федерация

²Дальневосточный федеральный университет, Передовая инженерная школа, Владивосток, Российская Федерация

*E-mail: aleynova@biosoil.ru

Аннотация. Установлена структура и состав сообщества культивируемых эндофитных бактерий ели *Picea jezoensis* (Siebold & Zucc.) Carrière и проанализирована антагонистическая активность этих эндофитных бактерий против распространенных патогенов растений. Микробиом ели *P. jezoensis* представлен 4 таксонами уровня класса: Alphaproteobacteria, Actinobacteria, Gammaproteobacteria и Bacilli. Обнаружены представители родов *Bacillus*, *Pseudomonas* и *Erwinia*, обладающие антагонистической активностью против сразу двух распространенных и опасных для сельского хозяйства фитопатогенных грибов *Pyricularia oryzae* и *Fusarium* sp. Штаммы, проявившие антагонистическую активность, обладали протеолитической активностью, а штамм R7PjV2-12, показавший высокий индекс антагонизма, был способен синтезировать хитиназу. Результаты этого исследования могут стать основой для разработки новых, экологически безопасных способов борьбы с фитопатогенами и повышения устойчивости растений к болезням для дальнейшего использования в лесном и сельском хозяйстве.

Ключевые слова: ель аянская, противогрибковые биопрепараты, фитопатогены

Финансирование. Работа выполнена при поддержке Российского научного фонда (проект №22-74-10001-П, <https://rscf.ru/project/22-74-10001-П/>).

Конфликт интересов. Авторы данной работы заявляют, что у них отсутствует конфликт интересов.

Вклад авторов. Все авторы внесли существенный вклад в разработку концепции, проведение исследования и подготовку статьи.

Благодарности. Доступ к сайтам издательств научных статей для проведения анализа данных был предоставлен Министерством науки и высшего образования Российской Федерации (тематический номер 124012200181-4).

Ссылка для цитирования: Днепровская А.А., Ананьев А.А., Нитяговский Н.Н., Примак Н.С., Киселев К.В., Алейнова О.А. Эндофитные бактерии ели *Picea jezoensis* и их антагонизм против патогенов растений. *Прикладная биохимия и микробиология / Applied biochemistry and microbiology*. 2026. Т. 62. № 3. С. 415–427. <https://doi.org/10.7868/S3034574X26030069>

© А. А. Днепровская, А. А. Ананьев, Н. Н. Нитяговский, Н. С. Примак, К. В. Киселев, О. А. Алейнова, 2026

*Дополнительные материалы доступны в электронном виде по DOI статьи: <https://doi.org/10.7868/S3034574X26030069>

Сокращения: КО — ортологи KEGG; ЦТАБ — гексадецилтриметиламмония бромид; BLAST — Basic Local Alignment Search Tool; YEM — минимальный агар с добавлением дрожжевого экстракта; СМС — минимальный агар с добавлением карбоксиметилцеллюлозы.

ENDOPHYTIC BACTERIA OF SPRUCE *PICEA JEZOENSIS* AND THEIR ANTAGONISM AGAINST PLANT PATHOGENS

A.A. Dneprovskaya^{1,2}, A.A. Ananov¹, N.N. Nityagovsky¹, N.S. Primak¹,
K.V. Kiselev¹, O.A. Aleynova^{1,*}

¹*Federal Scientific Center of the Biodiversity, Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences,
Laboratory of Biotechnology, Vladivostok, Russian Federation*

²*Far Eastern Federal University, Advanced Engineering School, Vladivostok, Russian Federation*

*E-mail: aleynova@biosoil.ru

Abstract. The structure and composition the community of cultivated endophytic spruce bacteria *Picea jezoensis* (Siebold & Zucc.) Carrière was established and the antagonistic activity of the main endophytic spruce bacteria *P. jezoensis* against common plant pathogens was analyzed. The microbiome of *P. jezoensis* spruce is represented by 4 class-level taxa: Alphaproteobacteria, Actinobacteria, Gammaproteobacteria, and Bacilli. Bacterial representatives of the genus *Bacillus*, *Pseudomonas*, and *Erwinia* have been found to have antagonistic activity against two widespread and dangerous phytopathogenic fungi *Pyricularia oryzae* and *Fusarium* sp. The strains that showed antagonistic activity had proteolytic activity, and the R7PjV2-12 strain, which showed a high antagonism index, was able to produce chitinase. The results of this study can become the basis for the development of new, environmentally friendly ways to control phytopathogens and increase plant resistance to diseases, which can be used in forestry and agriculture.

Keywords: Yezo spruce, antifungal biologics, phytopathogens

Funding. The research was supported by a grant from the Russian Science Foundation (grant number 22–74–10001–П, <https://rscf.ru/en/project/22-74-10001-П/>). **Ethics declarations.** The manuscript has been seen and approved by all authors, and has not been submitted to anywhere else for consideration.

Conflict of interests. The authors declare that they have no conflict of interest.

Authors contribution. All the authors have made significant contributions to the development, research, and preparation of this article.

Acknowledgements. Access to the article publisher sites for data analysis was provided by the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation (theme number 124012200181–4).

For Citation: Dneprovskaya A.A., Ananov A.A., Nityagovsky N.N., Primak N.S., Kiselev K.V., Aleynova O.A. Endophytic bacteria of spruce *Picea jezoensis* and their antagonism against plant pathogens. *Prikladnaya biokhimiya i mikrobiologiya / Applied biochemistry and microbiology*. 2026;62(3): 415–427. (In Russ.) <https://doi.org/10.7868/S3034574X26030069>

ВВЕДЕНИЕ

В современном сельском хозяйстве особое значение приобретает поиск экологически безопасных и эффективных методов защиты растений от патогенных микроорганизмов [8]. Использование традиционных химических средств, несмотря на их высокую эффективность, сопровождается негативными последствиями для окружающей среды, здоровья человека и устойчивости агросистем [23]. В связи с этим актуальным становится развитие биологических методов защиты растений [11], одним из которых является использование эндофитов — микроорганизмов, распределяющихся в тканях растений на протяжении всего жизненного цикла, участвующих в их росте и развитии и играющих важную роль в формировании здоровья растений [22].

Эндофиты хвойных деревьев являются перспективным объектом для исследования, так как хвойные леса занимают значительные площади ввиду высокой степени устойчивости к различным стрессам и имеют большое значение для экологии и экономики. Ранее было показано, что эндофиты елей *Picea rubens* и *Picea mariana*, произрастающих в Акадианском лесу (США, Канада), выделяют вещества, которые обладают фунгицидными свойствами [28, 16]. Некоторые еловые эндофиты могут стимулировать рост растений и подавлять развитие патогенных микроорганизмов. Ранее было установлено, что основными эндофитными бактериями семян сосны обыкновенной *Pinus sylvestris* L. и ели гибридной *Picea abies* (L.) Karst × *Picea obovata* Ledeb являются представители рода *Bacillus* [1]. Некоторые из изученных штаммов подавляли рост фитопатогенных грибов *Fusarium graminearum* и *Fusarium sporotrichioides*, являющихся возбудителями корневой гнили и фузариозов злаковых, и стимулировали рост редиса [1]. Штаммы бактерий, стимулирующие рост растений, были выделены из сосны скрученной, произрастающей в западной части Северной Америки. Эти штаммы бактерий значительно увеличили длину и биомассу своего естественного хозяина (сосны скрученной), а также чужеродного хозяина (гибридной белой ели) в ходе 540-дневного эксперимента в теплице [21].

Ель аянская *Picea jezoensis* (Siebold et Zucc.) Carrière, произрастающая на Дальнем Востоке России (Магадан, Камчатка, Курильские острова, остров Сахалин, Приморский и Хабаровский край), является интересным хозяином эндофитных микроорганизмов, так как кора *P. jezoensis* — богатый источник ценных вторичных метаболитов — стильбенов (в основном *транс*-изорапонтина) [25]. Кроме того, стемель и кора *P. jezoensis* содержат фенольные соединения, такие как тритерпеноиды сerratанового типа, которые оказывают значительное противоопухолевое действие на канцеро-

генез кожи мышей [26, 27, 30]. Ранее с помощью метагеномного анализа были проанализированы эндофитные сообщества бактерий в здоровой хвое, ветвях и свежей древесине *P. jezoensis* из Приморского края [19]. Наиболее распространенными классами бактерий были Alphaproteobacteria, Gammaproteobacteria и Actinobacteria. Функциональный анализ ортологов KEGG (КО) в эндофитном бактериальном сообществе с использованием PICRUSt2 и онтологии PLaBAsе PGPT показал, что 59,5 % из 8653 КО были связаны со свойствами, способствующими росту растений. Также в категории «нейтрализующий биотический стресс» микробиом *P. jezoensis* показал повышенное относительное содержание копий КОs [19].

Целью настоящей работы стало изучение состава культивируемых эндофитных бактерий ели *P. jezoensis* и их антагонистической активности по отношению к распространенным патогенам растений.

МЕТОДИКА

Растительный материал. Для выделения культивируемых эндофитных бактерий *P. jezoensis* были собраны образцы хвои, веток и свежемолотой древесной стружки взрослых деревьев ели (15–20 лет). Образцы ели доставляли в лабораторию в стерильных пакетах в течение 1–2 дней.

Материалы были получены из четырех деревьев: два из них произрастали в лесу недалеко от села Ивановка (Приморский край, Россия, Pj-1 и Pj-2; координаты: долгота 43.8715338387169 и широта 132.79473502372) и два других — в лесу острова Сахалин (Россия, Pj-3 и Pj-4; координаты: 47.057867, 142.13047 и 46.858812, 143.107846).

Образцы были собраны в феврале, июле и сентябре 2023 года. По данным сервиса «Яндекс Погода», средняя температура и осадки в Ивановке составили: -8 °C и 24 мм в феврале, 25 °C и 100 мм в июле и 19 °C и 50 мм в сентябре 2023 года (<https://yandex.ru/weather/ivanovka-primorsky-krai/month/september?via=cnav>). На острове Сахалин средняя температура и осадки составили: -6 °C и 57 мм в феврале, 18 °C и 99 мм в июле и 17 °C и 90 мм в сентябре 2023 года (<https://yandex.ru/weather/month/september?lat=46.9577713&lon=142.7295837&via=cnav>).

Выделение и определение культивируемых штаммов эндофитных бактерий *Picea jezoensis*. Образцы хвои и веток *P. jezoensis* промывали под проточной водой с мылом («Альтсепт М», Россия). В асептических условиях взвешивали 1,5 г каждого образца ели. Затем образцы, за исключением древесной стружки, промывали в 70%-ном спирте в течение 2 мин, 1 мин в 10%-ном растворе пероксида водорода и стерильной водой 5 раз. Для подтверждения эффективности процедуры стерилизации 100 мкл окончательного промывочного раствора воды

культивировали на агаризованных средах R2A (Panreac, Applichem, Германия) и PDA (Neogene, Великобритания), отсутствие видимого роста колоний гарантировало эффективность поверхностной стерилизации.

Поверхностно-стерилизованные ткани *P. jezoensis* гомогенизировали в стерильной ступке, 100 мкл полученного сока наносили на чашки Петри со средами R2A и PDA. При использовании древесной стружки 1,5 г стружки помещали в стерильную ступку и заливали 50 мл стерильной воды, далее перемешивали, отжимали полученную жидкость, по 100 мкл наносили на чашки Петри. Чашки инкубировали при температуре 22–23 °С в темноте в течение 2 сут. Бактериальные колонии были изолированы и пересажены на отдельные чашки Петри для дальнейшего исследования. Всего было успешно идентифицировано 305 штаммов эндофитных бактерий.

ДНК эндофитных бактерий ели была выделена с использованием метода гексадецилтриметиламмония бромида (ЦТАБ) с модификациями [10]. Продукты ПЦР размером около 1500 п.н. были получены для участка 16S рРНК с использованием специфических праймеров (8F, 5'AGA GTT TGA TCM TGG CTC AG и 1522R, 5'AAG GAG GTG ATC CAR CCG CA) [13].

ПЦР-продукты секвенировали на генетическом анализаторе ABI 3130 (Applied Biosystems, США) в соответствии с рекомендациями производителя [4]. Выравнивание последовательностей проводили с помощью программы Basic Local Alignment Search Tool (BLAST). Сходство последовательностей $\geq 99\%$ считалось достаточным для таксономической идентификации на уровне рода [6].

Анализ ферментативной активности штаммов эндофитных бактерий *Picea jezoensis*. Протеолитическую активность бактериальных эндофитов ели аянской оценивали на среде с молочным агаром (г/л): сухое молоко — 1,0, NaCl 5,0, пептона — 1,0, казеина — 4,0, агар-агара — 15,0, pH 7,0. Бактерии инкубировали при температуре 25 °С в течение 7 сут. Чистая зона гало указывала на протеолитическую активность бактерий.

Хитинолитическую активность эндофитных бактерий *P. jezoensis* оценивали на минимальном агаре с добавлением дрожжевого экстракта (YEM) и коллоидного хитина — 10 г/л (г/л: пептон — 5, дрожжевой экстракт — 5, KH_2PO_4 — 1,0, $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ — 0,1, агар-агар — 15, pH 8,0–9,0). Коллоидный хитин получали по методике, описанной ранее [12]. Бактерии инкубировали при температуре 25 °С в течение 7 сут. Чистая зона гало указывала на хитинолитическую активность бактерий.

Целлюлолитический анализ в отношении эндофитных бактерий ели проводили путем инокуляции изолятов в минимальную среду MM следующего состава (г/л): (KH_2PO_4 — 0,4, CaCl_2 — 0,02,

NaCl — 0,02, $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ — 0,02, агар-агар — 15, pH 7,2, дополненную 2,5 г/л карбоксиметилцеллюлозы (СМС)). Чашки Петри инкубировали при температуре 25 °С в течение 7 сут. После инкубации чашки заливали раствором 1 мг/мл конго красный на 30 мин и промывали 1 М раствором NaCl. Чистая зона гало указывала на целлюлолитическую активность бактерий.

По результатам ферментативной активности бактериальных штаммов было присвоено пять уровней ферментативной активности, где «-» соответствовал отсутствию активности, «-+» — низкой активности, еле различимый ореол, «+-» — средняя, слабо видимый ореол, «+» — высокая активность, хорошо различимый ореол, «++» — очень высокая активность, ясно видимый широкий ореол [3, 24].

Анализ антагонистической способности эндофитных бактерий *in vitro*. Возбудитель гниения оболочки риса, *Pyricularia oryzae* штамм ВПЛ14, обладающий высокой патогенностью для дальневосточных сортов риса, был предоставлен сотрудниками ФГБНУ «ФНЦ агробиотехнологий Дальнего Востока им. А.К. Чайки». Патоген культивировали на средах PDA в течение 7 сут при 25 °С, затем выдерживали при 4 °С, ежемесячно проводя пересев для поддержания культуры.

Возбудитель корневой гнили *Fusarium* sp. был получен в ходе высевов эндофитов из *P. jezoensis* на агаризованных средах R2A. В ходе идентификации с помощью секвенирования ITS1 и ITS2 участков [3] была определена родовая принадлежность изолята и выдвинуто предположение о его патогенной природе, которая была подтверждена с помощью тестов *in vivo*. Патоген также культивировали на агаризованных средах R2A в течение 7 сут при 25 °С, а затем поддерживали при 4 °С, ежемесячно проводя пересев на свежие среды для поддержания культуры.

Скрининг бактериальных штаммов методом двойной культуры проводили на средах благоприятных для роста патогенных грибов, а именно PDA и R2A для *P. oryzae* и *Fusarium* sp. соответственно. Для каждого полученного штамма эндофитных бактерий проводился тест методом двойной культуры в отдельной чашке Петри. Бактериальные штаммы с помощью микробиологической петли наносили в виде линии, параллельной диаметру и удаленной от него на 1 см, затем стерильным сверлом диаметром 0,5 см вырезали блоки с мицелием патогена и помещали на расстоянии 2 см от кандидата-антагониста. Контролем служили культуры патогена, посеянные отдельно. Учет проводили на 7 сут культивирования при 25 °С. Индекс антагонистической активности считали по формуле: $(R1 - R2)/R1 \times 100$, где R1 — радиус распространения патогена в сторону, противоположную кандидату, а R2 — в сторону, направленную к кандидату [18]. Штаммы, обладающие индексом

антагонистической активности ниже 50 %, считали малоактивными, между 50–60 % — средне активными и выше 60 % — обладающими значительной активностью [5, 7, 15].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Состав и структура культивируемого бактериального эндофитного микробиома ели *Picea jezoensis*. На основе секвенирования участка 16S рРНК было выделено и идентифицировано 305 штаммов эндофитных бактерий, из них 127 штаммов были получены из ветвей, 126 из древесной стружки

и 52 из хвои. Установлено, что все штаммы принадлежали к 4 классам бактерий Bacilli (50 %), Gammaproteobacteria (44 %), Actinobacteria (4 %) и Alphaproteobacteria (2 %) и 24 таксонам уровня рода. Род *Bacillus* был доминирующим во всех образцах, и максимальное процентное соотношение его было представлено в хвое (85 %) (рис. 1). Вторым по представленности был род *Pseudomonas*, а в образцах стружки присутствовало большое содержание бактерий рода *Erwinia*. Наибольшее родовое разнообразие встречалось в ветвях — 16 родов бактерий, в стружке было обнаружено 11 родов, в хвое — 7 (рис. 1).

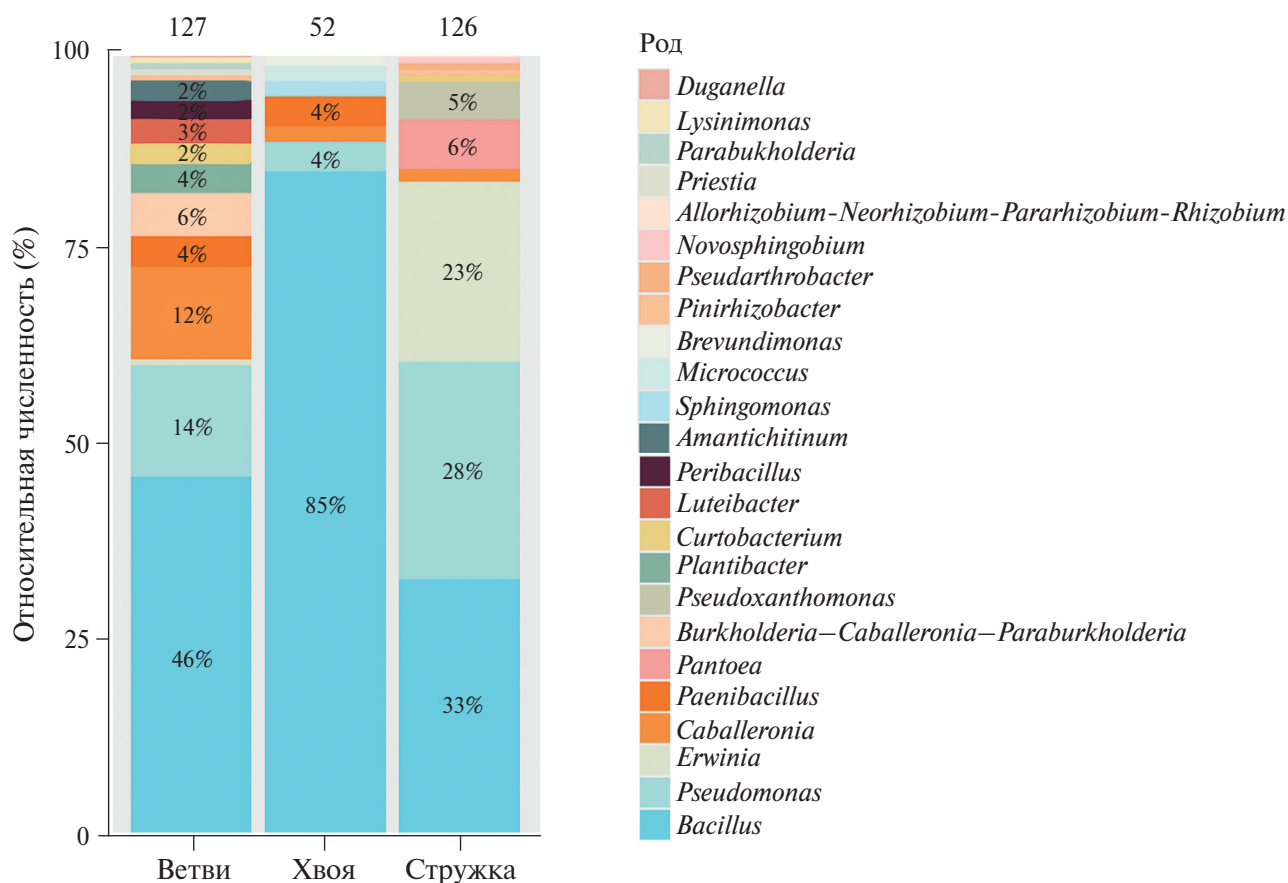


Рис. 1. Состав и структура родов эндофитных бактерий ветвей, хвои и стружки *P. jezoensis* на основе подхода, зависящего от культивирования отдельных штаммов. Количество определенных штаммов показано над колонками
Fig. 1. Composition and structure of endophytic bacterial genera in the branches, needles, and wood chips of *P. jezoensis* based on a cultivation-dependent approach for individual strains. The number of identified strains is indicated above the columns

Ранее использование геномного подхода показало, что доминирующими классами бактерий ели аянской были Alphaproteobacteria (34 %), Actinobacteria (21 %), Gammaproteobacteria (18 %), Bacteroidia (10 %) и Bacilli (7 %) [19], что сопоставимо с результатами микробиологического посева. Существенное увеличение (почти в 7 раз) числа обнаруженных родов бактерий в данных, полученных при помощи высокопроизводительного секвени-

рования по технологии Illumina MiSeq [19], по сравнению с традиционными микробиологическими посевами, подтверждает тот факт, что метагеномное секвенирование способно идентифицировать более обширный перечень микроорганизмов, в том числе и тех, которые сложно поддаются культивированию в лабораторных условиях. В то же время микробиологический посев обеспечивает возможность выделения живых микроорганизмов

и детального изучения их морфологических и биохимических особенностей для каждого отдельного штамма. Использование традиционного микробиологического посева подтвердило данные метагеномного анализа [19] и позволило перейти к следующему этапу работы — определению ферментативной и антагонистической активности к патогенам растений.

Определение ферментативной активности эндофитных бактерий ели *Picea jezoensis*. Были отобраны 104 штамма эндофитных бактерий ели аянской, представляющие наиболее широко распространенные рода в ее микробиоме. Эти штаммы были помещены в коллекцию для дальнейшего анализа.

Протеолитическую активность бактериальных штаммов оценивали по степени разложения казеина, которая соответствовала размеру зоны гало, и определяли визуально. По итогам скрининга 66 штаммов не обладали протеолитической активностью, 1 штамм обладал низкой, 8 — средней, 27 — высокой и 2 — очень высокой активностью (рис. 2, S1). Обладающие высокой протеолитической активностью штаммы относились к 7 родам: *Pinirhizobacter*, *Pseudomonas*, *Bacillus*, *Erwinia*, *Brevundimonas*, *Peribacillus* и *Falsibacillus*. Самая активная протеаза была у штаммов R7PjV2-12 (*Bacillus* sp.) и R24PjS1VB30 (*Pseudomonas* sp.).



Рис. 2. Диаграмма хитинолитической, целлюлозолитической и протеолитической активности бактериальных штаммов эндофитов ели: «-+» — низкая активность, «+-» — средняя активность (слабо видимый ореол), «+» — высокая, хорошо различимый ореол, «++» — очень высокая, ясно видимый обширный ореол. Количество изолятов указано над столбцами. (Всего проанализировано 104 штамма бактерий)

Fig. 2. Diagram of chitinolytic, cellulolytic, and proteolytic activity of bacterial endophyte strains from spruce: «-+» — low activity, «+-» — moderate activity (faintly visible halo), «+» — high activity (clearly visible halo), «++» — very high activity (large, well-defined halo). The number of isolates is indicated above the columns. (A total of 104 bacterial strains were analyzed.)

Способность бактерий расщеплять инородные белки не была высокоспецифичной и могла не свидетельствовать о наличии антагонистической активности против фитопатогенов, но, возможно, это являлось показателем иных механизмов

симбиоза. К примеру, некоторые протеазы могут участвовать в разложении поврежденных или мертвых клеток, способствуя очищению тканей и поддержанию здоровья растения [9].

Хитинолитическую активность определяли по размеру чистой зоны гало. По итогам скрининга лишь 14 штаммов — представители 9 родов (*Erwinia*, *Luteibacter*, *Curtobacterium*, *Lysinimonas*, *Priestia*, *Peribacillus*, *Novosphingobium*, *Bacillus* и *Pseudomonas*) обладали хитинолитической активностью (рис. 2, S2).

Хитинолитическая активность эндофитных бактерий является важным аспектом потенциала в биологической защите растений. Исследования показывают, что многие эндофитные бактерии, такие как представители родов *Bacillus*, *Pseudomonas* и *Streptomyces*, обладают выраженной хитинолитической активностью [2]. Эти микроорганизмы могут синтезировать хитиназы в ответ на присутствие патогенов, и, как следствие, в растении создается защитная среда, которая подавляет патогены. В результате происходит подавление роста патогенных грибов и снижение риска развития заболеваний. Также ферменты хитиназы могут участвовать в обменных процессах внутри растения и способствовать усвоению сложных углеводов (олигомеры N-ацетилглюкозамина и β -1,4-связанные полимеры глюкозамина) [29].

По итогам скрининга целлюлозолитической активности, 86 штаммов бактерий ели не обладали активностью, 5 обладали низкой, 7 — средней, 2 — высокой и 4 — очень высокой (R24PjS1nB5 *Bacillus* sp., P24PjS1VB3 *Pseudomonas* sp., R9V3№2B3 *Paenibacillus* sp., R24PjS1VB31 *Pseudomonas* sp.) (рис. 2, S3). Все использующие целлюлазу штаммы бактерий принадлежали к родам: *Paenibacillus*, *Lysinimonas*, *Pseudoxanthomonas*, *Bacillus*, *Pseudomonas* и *Erwinia*.

Целлюлолитическая активность эндофитных бактерий представляет собой важный механизм их взаимодействия с растениями и окружающей средой [22]. Способность бактерий разлагать целлюлозу обеспечивала им эффективное проникновение в клеточную стенку растений [14], а также позволяла им более эффективно потреблять питательные вещества, что снижало доступность ресурсов для патогенных микроорганизмов и тормозило их рост [17].

Таким образом, больше половины исследуемых штаммов бактерий ели (54,8 %) обладали хотя бы одним типом лиаз (рис. 2). Семь штаммов обладали сразу двумя ферментативными активностями (рис. S4). Также было обнаружено 3 штамма, обладающих всеми исследуемыми ферментами (рис. S4).

Анализ антагонистической способности эндофитных бактерий *in vitro*. Сто четыре штамма

эндофитных бактерий ели *P. jezoensis* были проанализированы на наличие антагонистической активности против возбудителя гниения оболочки риса *P. oryzae* штамм ВПЛ14 и возбудителя корневой гнили *Fusarium* sp.

По итогам скрининга антагонизм к *P. oryzae* проявили 35 изолятов, из них более половины обладало средней активностью (62 %), 10 штаммов обладало низкой активностью (29 %) (рис. 3в) и 3 — высокой (9 %) (рис. 3 г, д, е).

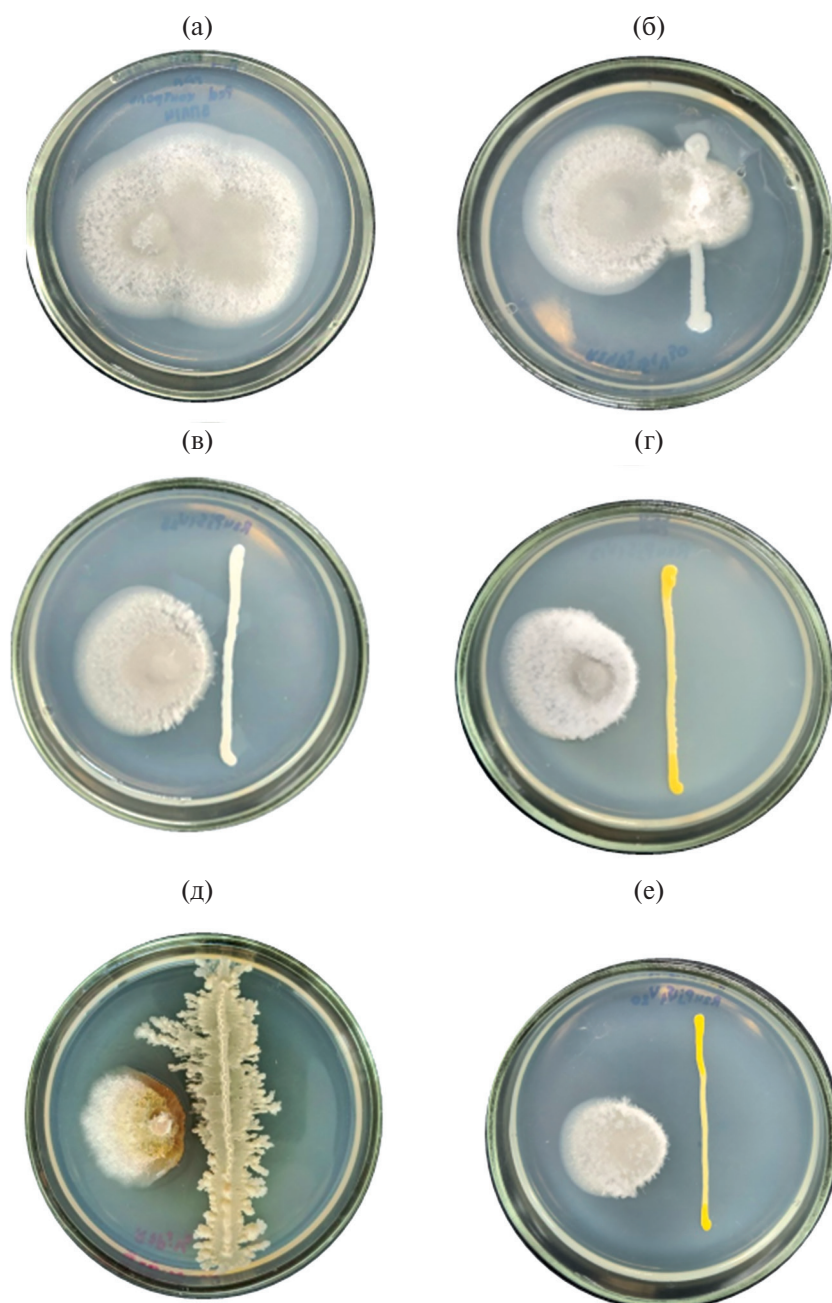


Рис. 3. Антагонизм эндофитных бактерий ели *P. jezoensis* против фитопатогенного гриба *Pyricularia oryzae*: контроль, *P. oryzae* без бактерий (а); отсутствие антагонизма (б); низкая активность (в); высокая активность (г, д, е): (г) штамм R24PjS1VB-12, *Pseudomonas* sp. (г), R7PjV2-12 *Bacillus* sp. (д), R24PjS1VB20 *Pseudomonas* sp. (е)

Fig. 3. Antagonism of endophytic bacteria from *P. jezoensis* spruce against the phytopathogenic fungus *Pyricularia oryzae*: Control: *P. oryzae* without bacteria (a); No antagonism (b); Low activity (b); High activity (г–e): Strain R24PjS1VB-12 (*Pseudomonas* sp.) (г), Strain R7PjV2-12 (*Bacillus* sp.) (д), Strain R24PjS1VB20 (*Pseudomonas* sp.) (е)

Наиболее перспективными штаммами были представители родов: *Pseudomonas* (штамм R24PjS1VB-12 и R24PjS1VB-20) и *Bacillus* (R7PjV2-12), так как значе-

ние среднего индекса антагонистической активности этих штаммов по результатам трех экспериментов было больше 60 % (табл. 1).

Таблица 1. Штаммы эндофитных бактерий с наибольшей антагонистической активностью против фитопатогенных грибов *Pyricularia oryzae* и *Fusarium* sp.

Table 1. Strains of endophytic bacteria with the highest antagonistic activity against the phytopathogenic fungi *Pyricularia oryzae* and *Fusarium* sp.

<i>Pyricularia oryzae</i>										
Штамм	I эксперимент			II эксперимент			III эксперимент			Среднее, % ± CO
	R1, мм	R2, мм	I, %	R1, мм	R2, мм	I, %	R1, мм	R2, мм	I, %	
R7PjV2-12	27,86	7,72	72,29	20,98	8,40	59,96	22,27	7,56	66,05	66,1 ± 6,2
R24PjS1VB12	26,47	8,23	68,91	16,22	7,56	53,39	17,50	7,13	59,26	60,5 ± 7,8
R24PjS1VB20	25,02	7,57	69,74	23,36	8,48	63,70	22,17	9,87	55,48	62,9 ± 7,2
<i>Fusarium</i> sp.										
R7PjV2-12	18,76	9,02	51,92	32,91	12,11	63,20	30,88	13,83	55,21	56,8 ± 5,8

Примечание: R1 — радиус распространения патогена в сторону, противоположную кандидату; R2 — в сторону, направленную к кандидату; I — индекс антагонистической активности, CO — стандартное отклонение

Note: R1 – Radius of pathogen spread in the direction opposite to the candidate; R2 – Radius of pathogen spread in the direction toward the candidate; I – Antagonistic activity index; SD – Standard deviation

По итогам тестирования антагонистической активности бактериальных штаммов ели по отношению к *Fusarium* sp. было обнаружено 10 изолятов, проявляющих антагонизм: R24PjS1VB1, R7PjV2-12 — *Bacillus* sp.; R24PjS1VB2, R24PjS1VB21, R24PjS1VB22, R24PjS1VB29 — *Pseudomonas* sp.; R24PjS1VB5, R24PjS1VB6, R24PjS1VB7, R24PjS1VB28 — *Erwinia* sp. (рис. S5). Девять из них обладали активностью, которая проявлялась в торможении роста мицелия *Fusarium* sp., при этом подсчет индекса антагонистической активности являлся невозможным (рис. 4 в). Один штамм — R7PjV2-12 (*Bacillus* sp.) проявлял антагонистическую активность с возможностью подсчета одноименного индекса (рис. 4 г), который при трех биологических повторах составил $56,8 \pm 5,8$ % (табл. 1).

Таким образом, обнаружены штаммы эндофитных бактерий ели аянской: *Bacillus* sp. штамм R7PjV2-12 и R24PjS1VB1, *Erwinia* sp. R24PjS1VB5 и R24PjS1VB6, *Pseudomonas* sp. R24PjS1VB22 и R24PjS1VB29, которые обладали антагонистической активностью против двух патогенов. Штаммы, проявившие антагонистическую активность, обладали также протеолитической активностью. Штамм R7PjV2-12 с высоким уровнем активности протеазы также продуцировал хитиназу и обладал более выраженной антагонистической актив-

ностью против сразу двух распространенных и опасных для сельского хозяйства фитопатогенов *Pyricularia oryzae* и *Fusarium* sp.

В дальнейшем планируется более детальное исследование молекулярно-генетических особенностей выделенных штаммов бактерий ели *P. jezoensis* и подтверждение полученных данных в экспериментах *in vivo*.

Определена структура и состав эндофитного сообщества культивируемых бактерий ели *P. jezoensis*. Обнаружены бактерии *Bacillus* sp. штамм R7PjV2-12 и R24PjS1VB1, *Erwinia* sp. R24PjS1VB5 и R24PjS1VB6, *Pseudomonas* sp. R24PjS1VB22 и R24PjS1VB29, обладающие антагонистической активностью против двух распространенных и опасных для сельского хозяйства фитопатогенов *Pyricularia oryzae* и *Fusarium* sp. Установлено, что штаммы, проявившие антагонистическую активность, обладали протеолитической активностью, а штамм R7PjV2-12 с более выраженной антагонистической активностью продуцировал ферменты, способные расщеплять хитин. Полученные результаты могут быть использованы при разработке новых биологических средства защиты растений на основе эндофитных бактерий ели.

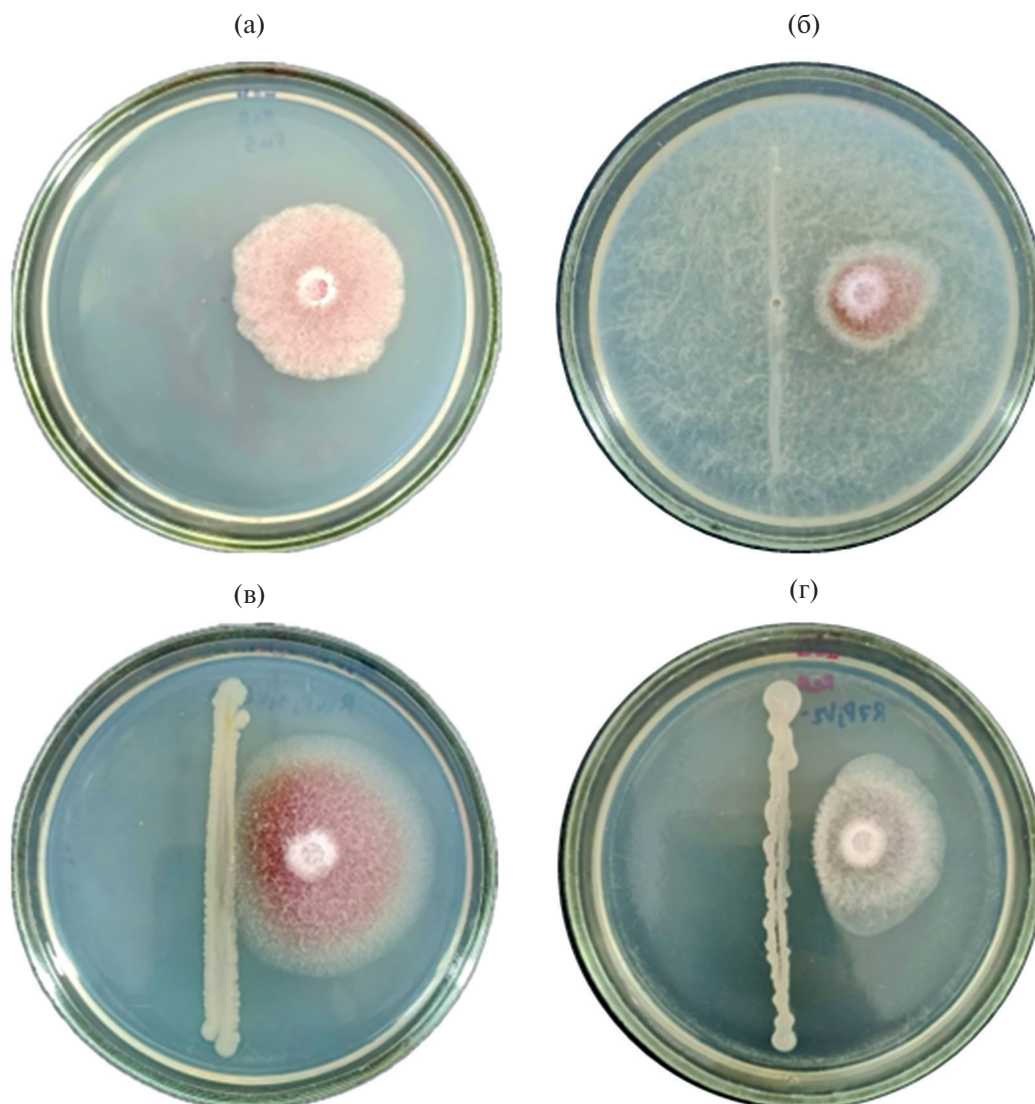


Рис. 4. Антагонизм эндофитных бактерий ели *Picea jezoensis* против фитопатогенного гриба *Fusarium* sp.: контроль, *Fusarium* sp. без бактерий (а); отсутствие антагонизма (б); антагонистическая активность без возможности подсчета (в); высокая антагонистическая активность (г)

Fig. 4. Antagonism of endophytic bacteria from *Picea jezoensis* against the phytopathogenic fungus *Fusarium* sp.: Control: *Fusarium* sp. without bacteria (a); No antagonism (б); Antagonistic activity (not quantifiable) (в); High antagonistic activity (г)

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Масленникова С.Н., Шургин А.И., Чеботарь В.К., Щербаков А.В., Канарский А.В. Ризосферные бактерии семян *Pinus sylvestris* L. и оценка их хозяйственно ценных качеств // Вестник Казанского технологического университета. 2012. Т. 15. № 16. С. 175–178.
2. Смирнов О.В., Гришечкина С.Д. Изучение действия биопрепаратов на основе *Bacillus thuringiensis* на фитопатогенные грибы // Вестник защиты растений. 2010. № 1. С. 27–35.
3. Aleynova O.A., Nityagovsky N.N., Suprun A.R., Ananov A.A., Dubrovina A.S., et al. The Diversity of Fungal Endophytes from Wild Grape *Vitis amurensis* Rupr. // Plants. 2022. V. 11. № 21. P. 2897. <https://doi.org/10.3390/plants11212897>
4. Aleynova O.A., Suprun A.R., Nityagovsky N.N., Dubrovina A.S., Kiselev K.V. The Influence of the Grapevine Bacterial and Fungal Endophytes on Biomass Accumulation and Stilbene Production by the *In Vitro* Cultivated Cells of *Vitis amurensis* Rupr. // Plants. 2021. V. 10. № 7. P. 1276. <https://doi.org/10.3390/plants10071276>

5. Ali S., Hameed S., Shahid M., Iqbal M., Lazarovits G., et al. Functional characterization of potential PGPR exhibiting broad-spectrum antifungal activity // Microbiol. Res. 2020. V. 232. P. 126389. <https://doi.org/10.1016/j.micres.2019.126389>
6. Altschul S.F., Gish W., Miller W., Myers E.W., Lipman D.J. Basic local alignment search tool // J. Mol. Biol. 1990. V. 215. № 3. P. 403–410. [https://doi.org/10.1016/S0022-2836\(05\)80360-2](https://doi.org/10.1016/S0022-2836(05)80360-2)
7. Das R., Saikia K., Sarma P.P. Thakur D. Evaluating the Potential of Bacillus Isolates for Chlorpyrifos Degradation and Their Role in Tea Growth Promotion and Suppression of Pathogens // Curr. Microbiol. 2024. V. 81. P. 332. <https://doi.org/10.1007/s00284-024-03859-7>
8. El-Saadony M.T., Saad A.M., Soliman S.M., Salem H.M., Ahmed A.I., et al. Plant growth-promoting microorganisms as biocontrol agents of plant diseases: Mechanisms, challenges and future perspectives // Front. Plant Sci. 2022. V. 13. P. 923880. <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.923880>
9. Figaj D., Ambroziak P., Przepiora T., Skorko-Glonek J. The Role of Proteases in the Virulence of Plant Pathogenic Bacteria // Int. J. Mol. Sci. 2019. V. 20. № 3. P. 672. <https://doi.org/10.3390/ijms20030672>
10. Kiselev K.V., Dubrovina A.S., Tyunin A.P. The methylation status of plant genomic DNA influences PCR efficiency // J. Plant Physiol. 2015. V. 175. P. 59–67. <https://doi.org/10.1016/j.jplph.2014.10.017>
11. Komarova O., Kozenko K., Zemlyanitsina S. Biological method of plant protection is one of the green economy development directions // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2021. V. 786. P. 012007. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/786/1/012007>
12. Koteshwara A. Simple Methods for the Preparation of Colloidal Chitin, Cell Free Supernatant and Estimation of Laminarinase // Bio-Protocol. 2021. V. 11. № 19. P. e4176. <https://doi.org/10.21769/BioProtoc.4176>
13. Lane D.J. Nucleic Acid Techniques in Bacterial Systematics // Nucleic Acid Techniques in Bacterial Systematics. 1991. P. 115–175.
14. Lakshmi A., Narasimha G. Production of cellulases by fungal cultures isolated from forest litter soil // Annals of Forest Research. 2012. V. 55. P. 85–92. <https://doi.org/10.15287/afr.2012.80>
15. Lee S.H., Jeon S.H., Park J.Y., Kim D.S., Kim J.A., et al. Isolation and Evaluation of the Antagonistic Activity of *Cnidium officinale* Rhizosphere Bacteria against Phytopathogenic fungi (*Fusarium solani*) // Microorganisms. 2023. V. 11. № 6. P. 1555. <https://doi.org/10.3390/microorganisms11061555>
16. McMullin D.R., Green B.D., Prince N.C., Tanney J.B., Miller J.D. Natural Products of *Picea* Endophytes from the Acadian Forest // J. Nat. Prod. 2017. V. 80. № 5. P. 1475–1483. <https://doi.org/10.1021/acs.jnatprod.6b01157>
17. Menendez E., Garcia-Fraile P., Rivas R. Biotechnological applications of bacterial cellulases // AIMS Bioengineering. 2015. V. 2. № 3. P. 163–182. <https://doi.org/10.3934/bioeng.2015.3.163>
18. Mirsam H., Suriani S., Kurniawati S., et al. *In vitro* inhibition mechanism of *Trichoderma asperellum* isolates from corn against *Rhizoctonia solani* causing banded leaf and sheath blight disease and its role in improving the growth of corn seedlings // Egyptian J. Biol. Pest Control. 2023. V. 33. P. 729. <https://doi.org/10.1186/s41938-023-00729-5>
19. Nityagovsky N.N., Anan'ev A.A., Suprun A.R., Dneprovskaya A.A., Kiselev K.V., et al. Endophytic Bacterial and Fungal Communities of Spruce *Picea jezoensis* in the Russian Far East // Plants. 2025. V. 14. № 16. P. 2534. <https://doi.org/10.3390/plants14162534>
20. Oo K., Win T., Khai A., Fu P. Isolation, Screening and Molecular Characterization of Multifunctional Plant Growth Promoting Rhizobacteria for a Sustainable Agriculture // Am. J. Plant Sci. 2020. V. 11. P. 773–792. <https://doi.org/10.4236/ajps.2020.116055>
21. Puri A., Padda K.P., Chanway C.P. Sustaining the growth of *Pinaceae* trees under nutrient-limited edaphic conditions via plant-beneficial bacteria // PLOS ONE. 2020. V. 15. № 11. P. e0238055. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0238055>
22. Rana K.L., Kour D., Kaur T., Devi R., Yadav A.N., et al. Endophytic microbes: biodiversity, plant growth-promoting mechanisms and potential applications for agricultural sustainability // Antonie van Leeuwenhoek. 2020. V. 113. P. 1075–1107. <https://doi.org/10.1007/s10482-020-01429-y>

23. Rani L., Thapa K., Kanojia N., Sharma N., Singh S., et al. An extensive review on the consequences of chemical pesticides on human health and environment // *J. Clean. Prod.* 2021. V. 283. P. 124657. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.124657>
24. Samayoa B.E., Shen F.T., Lai W.A., Chen W.C. Screening and Assessment of Potential Plant Growth-promoting Bacteria Associated with *Allium cepa* Linn. // *Microbes Environ.* 2020. V. 35. № 2. P. ME19147. <https://doi.org/10.1264/j sme2.ME19147>
25. Suprun A.R., Dubrovina A.S., Aleynova O.A. Kiselev K.V. The Bark of the Spruce *Picea jezoensis* Is a Rich Source of Stilbenes // *Metabolites.* 2021. V. 11. № 11. P. 714. <https://doi.org/10.3390/metabo11110714>
26. Tanaka R., Ishikawa Y., Minami T., et al. Two New Anti-Tumor Promoting Serratane-Type Triterpenoids from the Stem Bark of *Picea jezoensis* var. *jezoensis* // *Planta Medica.* 2004. V. 69. № 11. P. 1041–1047. <https://doi.org/10.1055/s-2003-45153>
27. Tanaka R., Minami T., Tokuda H., et al. Anti-initiating activity of 3 β -methoxy-13 α ,14 α -epoxyserratane-21 β -ol (PJJ-34) from the stem bark of *Picea jezoensis* Carr. var. *jezoensis* // *Chemistry & Biodiversity.* 2006. V. 3. № 7. P. 818–824. <https://doi.org/10.1002/cbdv.200690084>
28. Tanney J.B., McMullin D.R., Green B.D., et al. Production of antifungal and antiinsectan metabolites by the *Picea* endophyte *Diaporthe maritima* sp. nov // *Fungal Biology.* 2016. V. 120. № 11. P. 1448–1457. <https://doi.org/10.1016/j.funbio.2016.05.007>
29. Unuofin J.O., Odeniyi O.A., Majengbasan O.S., Igwaran A., Moloantoa K.M., et al. Chitinases: expanding the boundaries of knowledge beyond routinized chitin degradation // *Environ. Sci. Pollut. Res. Int.* 2024. V. 31. № 26. P. 38045–38060. <https://doi.org/10.1007/s11356-024-33728-6>
30. Wada S., Yasui Y., Tokuda H., et al. Anti-tumor-initiating effects of phenolic compounds isolated from the bark of *Picea jezoensis* var. *jezoensis* // *Bioorg. Med. Chem.* 2009. V. 17. № 16. P. 6414–6421. <https://doi.org/10.1016/j.bmc.2009.07.016>

RERERENCES

1. Maslennikova S.N., Shurgin A.I., Chebotar' V.K., et al. Rizosphernye bakterii sentsov *Pinus sylvestris* L. i otsenka ikh khozyaystvenno tsennyykh kachestv. *Vestnik Kazanskogo Tekhnologicheskogo Universiteta.* 2012. vol. 15. no. 16. pp. 175–178.
2. Smirnov O.V., Grishechkina S.D. Izucheniye deystviya biopreparatov na osnove *Bacillus thuringiensis* na fitopatogennyye griby. *Vestnik Zashchity Rastenii.* 2010. no. 1. pp. 27–35.
3. Aleynova O.A., Nityagovsky N.N., Suprun A.R., Ananov A.A., Dubrovina A.S. et al. The Diversity of Fungal Endophytes from Wild Grape *Vitis amurensis* Rupr. *Plants.* 2022. vol. 11. no. 21. pp. 2897. <https://doi.org/10.3390/plants11212897>
4. Aleynova O.A., Suprun A.R., Nityagovsky N.N., Dubrovina A.S., Kiselev K.V. The Influence of the Grapevine Bacterial and Fungal Endophytes on Biomass Accumulation and Stilbene Production by the *In Vitro* Cultivated Cells of *Vitis amurensis* Rupr. *Plants.* 2021. vol. 10. no. 7. pp. 1276. <https://doi.org/10.3390/plants10071276>
5. Ali S., Hameed S., Shahid M., Iqbal M., Lazarovits G., et al. Functional characterization of potential PGPR exhibiting broad-spectrum antifungal activity. *Microbiol. Res.* 2020. vol. 232. pp. 126389. <https://doi.org/10.1016/j.micres.2019.126389>
6. Altschul S.F., Gish W., Miller W., Myers E.W., Lipman D.J. Basic local alignment search tool. *J. Mol. Biol.* 1990. vol. 215. no. 3. pp. 403–410. [https://doi.org/10.1016/S0022-2836\(05\)80360-2](https://doi.org/10.1016/S0022-2836(05)80360-2)
7. Das R., Saikia K., Sarma P.P., Thakur D. Evaluating the Potential of *Bacillus* Isolates for Chlorpyrifos Degradation and Their Role in Tea Growth Promotion and Suppression of Pathogens. *Curr. Microbiol.* 2024. vol. 81. pp. 332. <https://doi.org/10.1007/s00284-024-03859-7>
8. El-Saadony M.T., Saad A.M., Soliman S.M., Salem H.M., Ahmed A.I. et al. Plant growth-promoting microorganisms as biocontrol agents of plant diseases: Mechanisms, challenges and future perspectives *Front. Plant Sci.* 2022. vol. 13. pp. 923880. <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.923880>
9. Figaj D., Ambroziak P., Przepiora T., Skorko-Glonek J. The Role of Proteases in the Virulence of Plant Pathogenic Bacteria. *Int. J. Mol. Sci.* 2019. vol. 20. no. 3. pp. 672. <https://doi.org/10.3390/ijms20030672>
10. Kiselev K.V., Dubrovina A.S., Tyunin A.P. The methylation status of plant genomic DNA influences PCR efficiency. *J. Plant Physiol.* 2015. vol. 175. pp. 59–67. <https://doi.org/10.1016/j.jplph.2014.10.017>

11. Komarova O., Kozenko K., Zemlyanitsina S. Biological method of plant protection is one of the green economy development directions. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2021. vol. 786. pp. 012007. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/786/1/012007>
12. Koteswara A. Simple Methods for the Preparation of Colloidal Chitin, Cell Free Supernatant and Estimation of Laminarinase. *Bio-Protocol*. 2021. vol. 11. no. 19. pp. e4176. <https://doi.org/10.21769/BioProtoc.4176>
13. Lane D.J. Nucleic Acid Techniques in Bacterial Systematics. *Nucleic Acid Techniques in Bacterial Systematics*. 1991. pp. 115–175.
14. Lakshmi A., Narasimha G. Production of cellulases by fungal cultures isolated from forest litter soil. *Annals of Forest Research*. 2012. vol. 55. pp. 85–92. <https://doi.org/10.15287/afr.2012.80>
15. Lee S.H., Jeon S.H., Park J.Y., Kim D.S., Kim J.A., et al. Isolation and Evaluation of the Antagonistic Activity of *Cnidium officinale* Rhizosphere Bacteria against Phytopathogenic fungi (*Fusarium solani*). *Microorganisms*. 2023. vol. 11. no. 6. pp. 1555. <https://doi.org/10.3390/microorganisms11061555>
16. McMullin D.R., Green B.D., Prince N.C., Tanney J.B., Miller J.D. Natural Products of *Picea* Endophytes from the Acadian Forest *J. Nat. Prod.* 2017. vol. 80. no. 5. pp. 1475–1483. <https://doi.org/10.1021/acs.jnatprod.6b01157>
17. Menendez E., Garcia-Fraile P., Rivas R. Biotechnological applications of bacterial cellulases. *AIMS Bioengineering*. 2015. vol. 2. no. 3. pp. 163–182. <https://doi.org/10.3934/bioeng.2015.3.163>
18. Mirsam H., Suriani S., Kurniawati S., et al. *In vitro* inhibition mechanism of *Trichoderma asperellum* isolates from corn against *Rhizoctonia solani* causing banded leaf and sheath blight disease and its role in improving the growth of corn seedlings. *Egyptian J. Biol. Pest Control*. 2023. vol. 33. pp. 729. <https://doi.org/10.1186/s41938-023-00729-5>
19. Nityagovsky N.N., Ananev A.A., Suprun A.R., Dneprovskaya A.A., Kiselev K.V., et al. Endophytic Bacterial and Fungal Communities of Spruce *Picea jezoensis* in the Russian Far East *Plants*. 2025. vol. 14. no. 16. pp. 2534. <https://doi.org/10.3390/plants14162534>
20. Oo K., Win T., Khai A., Fu P. Isolation, Screening and Molecular Characterization of Multifunctional Plant Growth Promoting *Rhizobacteria* for a Sustainable Agriculture. *Am. J. Plant Sci.* 2020. vol. 11. pp. 773–792. <https://doi.org/10.4236/ajps.2020.116055>
21. Puri A., Padda K.P., Chanway C.P. Sustaining the growth of *Pinaceae* trees under nutrient-limited edaphic conditions via plant-beneficial bacteria. *PLOS ONE*. 2020. vol. 15. no. 11. pp. e0238055. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0238055>
22. Rana K.L., Kour D., Kaur T., Devi R., Yadav A.N., et al. Endophytic microbes: biodiversity, plant growth-promoting mechanisms and potential applications for agricultural sustainability. *Antonie van Leeuwenhoek*. 2020. vol. 113. pp. 1075–1107. <https://doi.org/10.1007/s10482-020-01429-y>
23. Rani L., Thapa K., Kanojia N., Sharma N., Singh S., et al. An extensive review on the consequences of chemical pesticides on human health and environment. *J. Clean. Prod.* 2021. vol. 283. pp. 124657. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.124657>
24. Samayoa B.E., Shen F.T., Lai W.A., Chen WC. Screening and Assessment of Potential Plant Growth-promoting Bacteria Associated with *Allium cepa* Linn. *Microbes Environ.* 2020. vol. 35. no. 2. pp. ME19147. <https://doi.org/10.1264/jsme2.ME19147>
25. Suprun A.R., Dubrovina A.S., Aleynova O.A. Kiselev K.V. The Bark of the Spruce *Picea jezoensis* Is a Rich Source of Stilbenes. *Metabolites*. 2021. vol. 11. no. 11. pp. 714. <https://doi.org/10.3390/metabo11110714>
26. Tanaka R., Ishikawa Y., Minami T. et al. Two New Anti-Tumor Promoting Serratane-Type Triterpenoids from the Stem Bark of *Picea jezoensis* var. *jezoensis*. *Planta Medica*. 2004. vol. 69. no. 11. pp. 1041–1047. <https://doi.org/10.1055/s-2003-45153>
27. Tanaka R., Minami T., Tokuda H. et al. Anti-initiating activity of 3 β -methoxy-13 α ,14 α -epoxyserratane-21 β -ol (PJJ-34) from the stem bark of *Picea jezoensis* Carr. var. *jezoensis*. *Chemistry & Biodiversity*. 2006. vol. 3. no. 7. pp. 818–824. <https://doi.org/10.1002/cbdv.200690084>
28. Tanney J.B., McMullin D.R., Green B.D. et al. Production of antifungal and antiinsectan metabolites by the *Picea* endophyte *Diaporthe maritima* sp. nov. *Fungal Biology*. 2016. vol. 120. no. 11. pp. 1448–1457. <https://doi.org/10.1016/j.funbio.2016.05.007>
29. Unuofin J.O., Odeniyi O.A., Majengbasan O.S., Igwaran A., Moloantoka K.M., et al. Chitinases: expanding the boundaries of knowledge beyond routinized chitin degradation. *Environ. Sci. Pollut. Res. Int.* 2024. vol. 31. no. 26. pp. 38045–38060. <https://doi.org/10.1007/s11356-024-33728-6>
30. Wada S., Yasui Y., Tokuda H., et al. Anti-tumor-initiating effects of phenolic compounds isolated from the bark of *Picea jezoensis* var. *jezoensis*. *Bioorg. Med. Chem.* 2009. vol. 17. no. 16. pp. 6414–6421. <https://doi.org/10.1016/j.bmc.2009.07.016>

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Днепровская Алина Александровна — инженер-исследователь, Федеральный научный центр биоразнообразия наземной биоты Восточной Азии, ДВО РАН, Владивосток, Российская Федерация; магистр 1 года обучения, Дальневосточный федеральный университет, Передовая инженерная школа, Владивосток, Российская Федерация
E-mail: dneprovskayaalina@yandex.ru

Ананьев Алексей Александрович — младший научный сотрудник, Федеральный научный центр биоразнообразия наземной биоты Восточной Азии, ДВО РАН, Владивосток, Российская Федерация
E-mail: ananев.all@yandex.ru
<https://orcid.org/0000-0003-4671-3586>

Нитяговский Николай Николаевич — кандидат биологических наук, научный сотрудник, Федеральный научный центр биоразнообразия наземной биоты Восточной Азии, ДВО РАН, Владивосток, Российская Федерация
E-mail: niknit1996@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0001-5029-1975>

Примак Наталья Сергеевна — ведущий инженер, Федеральный научный центр биоразнообразия наземной биоты Восточной Азии, ДВО РАН, Владивосток, Российская Федерация
E-mail: natuciais@yandex.ru

Киселев Константин Вадимович — доктор биологических наук, ведущий научный сотрудник, Федеральный научный центр биоразнообразия наземной биоты Восточной Азии, ДВО РАН, Владивосток, Российская Федерация
E-mail: kiselev@biosoil.ru
<https://orcid.org/0000-0003-1025-6491>

Алейнова Ольга Артуровна — кандидат биологических наук, старший научный сотрудник, Федеральный научный центр биоразнообразия наземной биоты Восточной Азии, ДВО РАН, Владивосток, Российская Федерация
E-mail: aleynova@biosoil.ru
<https://orcid.org/0000-0002-2549-8568>

Поступила в редакцию 20.09.2025

После доработки 21.11.2025

Принята к публикации 06.02.2026

ABOUT THE AUTHORS

Dneprovskaya, Alina A. — Research Engineer, Federal Scientific Center of the Biodiversity, Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences, Vladivostok, Russian Federation; 1st-year Master's Student Far Eastern Federal University, Advanced Engineering School, Vladivostok, Russian Federation
E-mail: dneprovskayaalina@yandex.ru

Ananев, Aleksey A. — Junior Researcher, Federal Scientific Center of the Biodiversity, Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences, Vladivostok, Russian Federation
E-mail: ananев.all@yandex.ru
<https://orcid.org/0000-0003-4671-3586>

Nityagovsky, Nikolay N. — PhD in Biology, Researcher, Federal Scientific Center of the Biodiversity, Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences, Vladivostok, Russian Federation
E-mail: niknit1996@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0001-5029-1975>

Primak, Natalya S. — Lead Engineer, Federal Scientific Center of the Biodiversity, Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences, Vladivostok, Russian Federation
E-mail: natuciais@yandex.ru

Kiselev, Konstantin V. — Doctor of Biological Sciences, Leading Researcher, Federal Scientific Center of the Biodiversity, Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences, Vladivostok, Russian Federation
E-mail: kiselev@biosoil.ru
<https://orcid.org/0000-0003-1025-6491>

Aleynova, Olga A. — PhD in Biology, Senior Researcher, Federal Scientific Center of the Biodiversity, Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences, Vladivostok, Russian Federation
E-mail: aleynova@biosoil.ru
<https://orcid.org/0000-0002-2549-8568>

Received September 20, 2025

Revised November 21, 2025

Accepted February 06, 2026