

ЛЕСОВЕДЕНИЕ, ЛЕСОВОДСТВО, ЛЕСНЫЕ КУЛЬТУРЫ, АГРОЛЕСОМЕЛИОРАЦИЯ, ОЗЕЛЕНЕНИЕ,
ЛЕСНАЯ ПИРОЛОГИЯ И ТАКСАЦИЯ / FORESTRY, FORESTRY, FOREST CROPS, AGROFORESTRY,
LANDSCAPING, FOREST PYROLOGY AND TAXATION

DOI: <https://doi.org/10.60797/JAE.2025.55.2>

ЛЕСОПАТОЛОГИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ НАСАЖДЕНИЙ СОСНЫ СИБИРСКОЙ КЕДРОВОЙ В
ИРКУТСКОЙ ОБЛАСТИ

Научная статья

Рунова Е.М.^{1*}, Серков Д.В.²

¹ ORCID : 0000-0001-6178-4038;

² ORCID : 0009-0000-2729-6700;

¹ Братский государственный университет, Братск, Российская Федерация

² «Рослесозащита» – Центр защиты леса Иркутской области, Иркутск, Российская Федерация, Иркутск, Российская Федерация

* Корреспондирующий автор (runova0710[at]mail.ru)

Аннотация

В статье приведены результаты исследования лесопатологического состояния кедровых лесов Иркутской области. Заболевания сосны сибирской кедровой (*Pinus sibirica* Du Tour) бактериальной водянкой впервые были отмечены в 2012 году, однако, вплоть до настоящего времени не удалось установить наличие бактерии, вызывающей это заболевание в лесах Иркутской области. Усыхание лесных насаждений является большой проблемой и в условиях глобального изменения климата носит сложный комплексный характер взаимодействия абиотических и биотических факторов. Целью исследований, проводимых в 2023 году, являлось точное установление причин усыхания насаждений сосны кедровой сибирской с использованием методов молекулярно-генетической диагностики путем проведения ДНК анализов для мониторинга состояния лесных генетических ресурсов. Сбор биоматериалов сосны сибирской кедровой и пихты сибирской для подтверждения наличия возбудителя бактериальной водянки кедрового осуществлялся в Быстринской и Култукской дачах Слюдянского участкового лесничества Слюдянского лесничества, в Шаманской даче Шелеховского участкового лесничества Шелеховского лесничества и в Тойсуковском участковом лесничестве Усольского лесничества Иркутской области. С целью идентификации доминирующей бактериобиоты в образцах древесины пихты сибирской и сосны кедровой с признаками бактериозов было проведено секвенирование ПЦР продуктов, полученных с использованием спектра универсальных праймеров. В результате молекулярно-генетической идентификации секвенированных последовательностей в генетической базе данных NCBI определено 7 видов грибов, а также 9 видов бактерий, при этом бактерия *Erwinia* sp. выявлена только в личинке черного усача (вид близкий возбудителям бактериальной водянки и ожога *Erwinia* spp.). Таким образом, на пораженных деревьях сосны сибирской кедровой бактерии *Erwinia* sp., которая вызывает бактериальную водянку кедрового не обнаружено уже во второй серии генетических исследований образцов древесины сосны сибирской кедровой. В связи с этим необходим постоянный лесопатологический и генетический мониторинг данного заболевания во избежание его распространения на Байкальской природной территории, в том числе и на территории Иркутской области.

Ключевые слова: сосна сибирская кедровая (*Pinus sibirica* Du Tour), усыхание лесов, бактерия (*Erwinia nimirpressuralis* Carter.), ДНК, образцы, генетический анализ.

FOREST PATHOLOGY OF SIBERIAN CEDAR PINE PLANTATIONS IN IRKUTSK REGION

Research article

Runova Y.M.^{1*}, Serkov D.V.²

¹ ORCID : 0000-0001-6178-4038;

² ORCID : 0009-0000-2729-6700;

¹ Bratsk State University, Bratsk, Russian Federation

² "Roslesozashchita" – Forest Protection Center of the Irkutsk region, Irkutsk, Russian Federation

* Corresponding author (runova0710[at]mail.ru)

Abstract

The article presents the results of a study of the forest pathology of the cedar forests of the Irkutsk region. Diseases of the Siberian cedar pine (*Pinus sibirica* Du Tour) with bacterial dropsy were first noted in 2012, however, until now it has not been possible to establish the presence of the bacterium causing this disease in the forests of the Irkutsk region. The desiccation of forest stands is a big problem and in the context of global climate change has a complex character of the interaction of abiotic and biotic factors. The purpose of the research conducted in 2023 was to accurately determine the causes of drying out of Siberian cedar pine plantations using molecular genetic diagnostics methods by conducting DNA analyses to monitor the state of forest genetic resources. The collection of biomaterials of Siberian cedar pine and Siberian fir to confirm the presence of the causative agent of bacterial dropsy of cedar was carried out in the Bystrinsky and Kultuk dachas of the Slyudyansky district forestry of the Slyudyansky forestry, in the Shaman cottage of the Shelekhovsky district forestry of the Shelekhovsky forestry and in the Toysukovsky district forestry of the Usolsky forestry of the Irkutsk region. In order to identify the dominant microbiota in Siberian fir and cedar pine wood samples with signs of bacteriosis, PCR sequencing of products obtained using a spectrum of universal primers was performed. As a result of the molecular genetic identification of sequences, 7 species of

fungi and 9 species of bacteria were identified in the NCBI genetic database, with the bacterium *Erwinia* sp. it was detected only in the larva of the black barbel (a species close to the pathogens of bacterial dropsy and burn *Erwinia* spp.). Thus, on the affected Siberian cedar pine trees, the bacterium *Erwinia* sp., which causes bacterial dropsy of cedar, was not detected already in the second series of genetic studies of samples of Siberian cedar pine wood. In this regard, constant forest pathology and genetic monitoring of this disease is necessary in order to avoid its spread in the Baikal natural territory, including in the territory of the Irkutsk region

Keywords: Siberian cedar pine (*Pinus sibirica* Du Tour), desiccation of forests, bacterium (*Erwinia nimipressuralis* Carter.), DNA, samples, genetic analysis.

Введение

Впервые в Иркутской области заболевание сосны кедровой сибирской (*Pinus sibirica* Du Tour) бактериальной водянойкой было отмечено в 2012 году, когда были обнаружены очаги усыхания в кедровых насаждениях. Результаты государственного лесопатологического мониторинга показали, что в настоящий момент площадь кедровых лесов, поврежденных этим заболеванием в Иркутской области, составляет более 51 тыс. га, усохло из них более 5,7 тыс. га. Симптомами бактериальной водянки хвойных являются ослабление и усыхание деревьев, поперечные и продольные трещины в коре и активное смолотечение из них, наличие на поперечном срезе древесины ствола «мокрого ядра», а у сильно ослабленных и недавно усохших деревьев – характерного «темного водослоя». Установлено, что основной причиной заболеваний является поражение бактерией (*Erwinia nimipressuralis* Carter.) на фоне неблагоприятных абиотических факторов [1], [2], [3], [4], [5], [6], в том числе и малым количеством осадков [7], [8], [9], [10]. Таким образом, усыхание лесных насаждений является проблемой и носит сложный комплексный характер, который проявляется в первоначальном действии неблагоприятных абиотических факторов среды, инициирующих ослабление защитных механизмов растений, что способствует массовому размножению вредителей и развитию грибных [11], [12], [13] и бактериальных заболеваний [14], [15], [16].

Для точного установления причин усыхания насаждений сосны сибирской кедровой и решения их последствий исследования должны включать целый спектр методов. К ним относятся лесопатологические (мониторинг фитосанитарного состояния лесов), молекулярно-генетические (высокоточная диагностика болезней и вредителей) и биоинформационные (космический мониторинг состояния лесов, прогнозирование развития неблагоприятных сценариев с использованием нейронных сетей и др.). Однако проведенные исследования в Иркутской области не подтвердили наличия возбудителя водянойки – *Erwinia nimipressuralis* Carter.

Леса Байкальской природной территории выполняют важные экологические функции: водоохранную, водорегулирующую, противозероэрозийную, средообразующую, а также имеют большое народно-хозяйственное значение как совокупность биологических ресурсов: древесины, лесных пищевых и лекарственных растений, грибов, промысловых зверей, птиц и других. Все в совокупности указывает, насколько важную роль играют леса БПТ в сохранении озера Байкал. Учитывая сокращение площади лесов в результате промышленной эксплуатации, пожаров, экстремальных природно-климатических явлений, массового размножения насекомых вредителей и распространения болезней необходимо тщательное планирование для организации государственного лесопатологического мониторинга и мероприятий по защите леса. Крайне актуально для этого использование современных научных методов, в частности использование методов молекулярно-генетической диагностики путем проведения ДНК анализов для мониторинга состояния лесных генетических ресурсов [15], [17], [18].

В отечественной литературе бактериоз и его возбудитель были впервые описаны в 1963 г. А.Л. Щербин-Парфененко на 22 видах хвойных и лиственных пород, который и дал название болезни – бактериальная водянка [19]. Основными возбудителями бактериальной водянки являются бактерии родов *Erwinia* (Winslow et al. 1920) и *Pseudomonas* (Migula 1895), относящиеся к семейству энтеробактерий (Enterobacteriaceae). Представители данных родов являются аэробными и анаэробными гетеротрофами, представляющие собой грамотрицательные палочковидные подвижные бактерии [20]. К настоящему времени установлено, что все наиболее значимые на сегодня инфекционные болезни древесных растений – бактериозы, микозы, вирусозы, фитоплазмозы, нематодозы в своем развитии связаны с различными насекомыми, иногда клещами, грибами [6].

Актуальность молекулярно-генетического метода исследования заключается в точности видового определения фитопатогенов, что важно для организации лесопатологического мониторинга, определения сроков надзора за вредным организмом, применения средств защиты растений от него, прогнозирования распространения и оценки вредоносности.

Появление технологий ДНК-маркирования позволило выполнять идентификацию фитопатогенов на качественно новом уровне. Во-первых, для ДНК-анализа требуется небольшое количество исследуемого материала (несколько миллиграмм). Во-вторых, выбор универсальной пробы или специфических праймеров позволяют выявлять ДНК возбудителя в образце в любом ее количестве и стадии инфицирования.

Среди видов ДНК анализа, ПЦР-технологии (PCR) занимают ведущее место в анализе ДНК фитопатогенов. Важным этапом анализа является построение специфических праймеров (SCAR), позволяющих диагностировать определенный вид возбудителей инфекции. Однако в настоящее время для большинства видов патогенов абсолютно специфичные праймеры отсутствуют либо работают некорректно. Это связано с высоким уровнем наследственной изменчивости микроорганизмов, что приводит к ошибочным результатам – выявлению близкородственных видов в образцах. Увеличение разрешающей силы SCAR-диагностики может быть достигнуто дополнительным SSCP- или RFLP-анализами ампликонов [21], [22], [23]. Использование методов ПЦР в реальном времени (Real-Time PCR) показало их преимущество над классической ПЦР: быстрота выполнения (отсутствия этапа ПЦР-анализа – электрофорез, рестрикция и др.), автоматизация работ, отсутствие использования токсических веществ, низкая

вероятность загрязнения и высокая чувствительность реакции. Для видовой идентификации используется анализ кривых плавления ПЦР-продуктов (SYBRGreen) или применение специфических проб.

В настоящее время наиболее точным и информативным методом видовой идентификации является секвенирование. Данный тип анализа позволяет производить идентификацию на уровне штаммов. Объектами анализа являются гены рибосомальной РНК, фрагменты митохондриальной ДНК, внутренние транскрибируемые спейсеры рибосомальных генов (ITS). На основании секвенирования данных локусов изучены филогенетические взаимоотношения различных видов фитопатогенов [22], [23], [24], [25].

Цель работы: точное установление причин усыхания насаждений сосны кедровой сибирской с использованием методов молекулярно-генетической диагностики путем проведения ДНК анализов для мониторинга состояния лесных генетических ресурсов.

Методы и методы исследования

В Иркутской области сбор биоматериалов сосны сибирской кедровой и пихты сибирской для подтверждения наличия возбудителя бактериальной водянки кедрового шишки осуществлялся в Быстринской и Култукской дачах Слюдянского участкового лесничества Слюдянского лесничества, в Шаманской даче Шелеховского участкового лесничества Шелеховского лесничества и в Тойсуковском участковом лесничестве Усольского лесничества.

Объектами исследования являлись:

1. Хвойные виды лесных древесных растений в насаждениях Байкальской природной территории: сосна кедровая сибирская и пихта сибирская, произрастающие в Иркутской области на территории 3 лесничеств: Слюдянского, Шелеховского и Усольского. В качестве экспериментального материала отбирались хвоя и фрагменты древесины (керы). Для дальнейшей транспортировки в отдел мониторинга состояния лесных генетических ресурсов ЦЗЛ Республики Бурятия часть образцов древесины фиксировались в 70% этиловом спирте, другая часть доставлялась в бумажных конвертах.

2. Насекомые-вредители как переносчики грибных и бактериальных заболеваний в лесных насаждениях Байкальской природной территории – 7 образцов: шестизубчатый короед, короед вершинный, смолевка сосновая, древесинник полосатый, личинка черного соснового усача и две неопределенные личинки.

При сборе образцов вначале внимательно осматривалось состояние насаждения на выявление характера и признаков поражения, а именно: раны ствола или ветвей, поперечное и (или) продольное растрескивание коры, наличие потеков смолы, экссудата, суховершинности, изменения окраски ассимилирующего аппарата, наличие масляно-кислого или иного запаха. Все выявленные объекты сбора образцов обязательно документировались путем фотографиярования. При этом делали снимки общего вида пораженного очага и один или несколько детальных снимков дерева (деревьев) с признаками поражения и указанием к фото соответствующего номера образца.

Для фитопатологического анализа, проводимого генетическими методами, нельзя отбирать давно погибшие или сильно поврежденные участки растений. В таких образцах уже практически нет ДНК патогенных организмов. Для выяснения причины повреждения или гибели насаждений с помощью ДНК-анализа брались образцы на границе живой и поврежденной частей растения. Для проведения генетического анализа патогенов проводился сбор биологического материала – образцов хвои (листьев), древесины (керы, взятые буравом Пресслера на высоте 1,3-1,5 м), экссудата (высохших инфицированных бактериями потеков) и стволовых вредителей потенциальных переносчиков возбудителей болезней (при их наличии).

В полевых условиях ДНК не может быть получена из свежего образца и образец должен быть сначала помещен на хранение и транспортирован в специализированную лабораторию. Обследованы на наличие возбудителей бактериозов насаждения сосны сибирской кедровой и пихты сибирской. Всего исследовано 506 образцов биоматериала, отобранные с ослабленных деревьев с характерными признаками поражения бактериозом: бурая древесина, растрескивание коры, вздутия вокруг продольных трещин, высохшие подтеки экссудата.

В Иркутской области сбор биоматериалов осуществлялся в Быстринской и Култукской дачах Слюдянского участкового лесничества Слюдянского лесничества, в Шаманской даче Шелеховского участкового лесничества Шелеховского лесничества и в Тойсуковском участковом лесничестве Усольского лесничества. Места сбора образцов для оценки санитарного и лесопатологического состояния лесных генетических ресурсов в очагах бактериальных заболеваний на БПТ за 2023 год представлены в таблице 1.

Таблица 1 - Информация о собранных образцах для проведения генетических исследований

DOI: <https://doi.org/10.60797/JAE.2025.55.2.1>

№	Лесничеств о	Участковое лесничеств о	Урочище/ Дача	Квартал	Количество образцов	Кол-во точек сбора
1	Слюдянско е	Слюдянско е	Култукская	3, 4, 5, 6, 7, 8, 11, 22	140	16
2	Слюдянско е	Слюдянско е	Быстринск ая	99, 123, 134	130	13
3	Слюдянско е	Слюдянско е	Слюдянско е	10, 13, 14, 15, 17, 26	140+6*	12
4	Шелеховск ое	Шелеховск ое	Мотское	173, 174, 176	40	4

№	Лесничество	Участковое лесничество	Урочище/ Дача	Квартал	Количество образцов	Кол-во точек сбора
5	Шелеховское	Шелеховское	Шаманская	179, 180, 212	30	3
6	Усольское	Тойсуковское	-	228, 233	20	2
	Итого				506	50

Примечание: * – количество образцов насекомых-вредителей как переносчиков бактериальных заболеваний в лесных насаждениях

Основные результаты и их обсуждение

Все сведения о местах сбора образцов с указанием координат сведены в таблицу 2.

Таблица 2 - Сведения о местах отбора образцов биоматериала для проведения молекулярно-фитопатологического анализа

DOI: <https://doi.org/10.60797/JAE.2025.55.2.2>

Порода	Лесничество	Участковое лесничество	№ квартала	№ выдела	Координаты		Кол-во образцов ДНК (шт.)
					С.Ш.	В.Д.	
Сосна сибирская кедровая	Шелеховское	Шелеховское	174	2	51.8464	103.75932	10
Сосна сибирская кедровая	Слюдянское	Слюдянское	11	50	51.77174	103.71302	10
Сосна сибирская кедровая	Слюдянское	Слюдянское	22	3	51,76479	103,62819	5
Пихта сибирская	Слюдянское	Слюдянское	26	4	51,57900	103,55358	1
Сосна сибирская кедровая	Слюдянское	Слюдянское	26	17	51,57335	103,56441	10
Сосна сибирская кедровая	Шелеховское	Шелеховское	179	11	51,93636	103,46575	3
Сосна сибирская кедровая	Усольское	Тойсуковское	228	1	51,94133	103,4432	6
Сосна сибирская кедровая	Усольское	Тойсуковское	233	15	51,89934	103,36905	3

С целью видовой идентификации выявленного спектра грибов было проведено секвенирование полученных ампликонов на генетическом анализаторе 3500 Applied Biosystems. В результате молекулярно-генетической идентификации секвенированных последовательностей в генетической базе данных NCBI определено 7 видов грибов (таблица 3).

Таблица 3 - Видовой состав микобиоты хвойных древесных растений Байкальской природной территории на территории Иркутской области

DOI: <https://doi.org/10.60797/JAE.2025.55.2.3>

Порода (вид)	Выявленная микрофлора (род, вид)	Выявленное заболевание	
Сосна кедровая сибирская	<i>Rhytismataceae sp</i>	Пятнистость	
	<i>Nakazawaea holstii</i> (насекомое)	-	
	<i>Penicillium citreonigrum</i>	-	
	<i>Nakazawaea sp.</i>	-	
	Виды, не имеющие морфологического описания (1 шт.)	-	
Пихта сибирская	<i>Nakazawaea sp</i>	-	
	<i>Sydowia polyspora</i>	Склерофомоз	

Из грибных патогенов, выявленных при исследовании следует отметить следующие:

1. *Rhytismataceae* – семейство грибов, входящее в порядок Rhytismales. Представители семейства – паразиты и сапротрофы на листьях и коре растений. Многие виды вызывают пятнистость и преждевременное опадание листьев, иногда – «ведьмины метлы».

2. *Nakazawaea* – род дрожжей отряда сахаромцетных. Родство этого таксона с другими таксонами отряда не является полностью неизвестным.

3. *Penicillium citreonigrum* (ранее – пеницилл цитрусово-зелёный) – вид несовершенных грибов, относящийся к роду пеницилл (*Penicillium*).

4. *Sydowia polyspora* (Bref. & Tavel) E. Müll. – возбудитель склероморфоза

С целью идентификации доминирующей бактериобиоты в образцах древесины пихты сибирской и сосны кедровой с признаками бактериозов было проведено секвенирование ПЦР продуктов, полученных с использованием спектра универсальных праймеров. Идентификация секвенированных последовательностей осуществлялась в генетической базе данных NCBI (Национальный центр биотехнологической информации, США) с использованием сервиса BLAST. Перечень доминирующих видов, включая виды, идентифицированных с использованием видоспецифических праймеров, представлены в таблице 4.

Таблица 4 - Доминирующий видовой состав бактериобиоты сосны кедровой и пихты сибирской на территории лесничеств Иркутской области

DOI: <https://doi.org/10.60797/JAE.2025.55.2.4>

Лесничество	Порода	Патоген	Вызываемое заболевание
Слюдянское	Сосна сибирская кедровая	<i>Erwinia sp.</i> в личинке черного усача (вид близкий возбудителям бактериальной водянки и ожога <i>Erwinia spp.</i>)	Бактериальная водянка; Бактериальный ожог
		<i>Xanthomonas sp.</i>	Сосудистый бактериоз
		<i>Acidovorax sp.</i>	Бактериальная пятнистость
		<i>Ralstonia sp.</i>	Ассоциирован с гнилью древесины
		<i>Sodalis glossinidius</i>	Деструктор древесины
		<i>Burkholderia multivorans</i>	Эндофит
		<i>Burkholderia sp.</i> strain PSB3	Эндофит

Лесничество	Порода	Патоген	Вызываемое заболевание
		Uncultured soil bacterium (виды близкие широкому спектру не описанных почвенных бактерий, идентифицированных только генетически)	
Шелеховское		<i>Burkholderia sp.</i> strain PSB3	Эндофит
		<i>Ralstonia sp.</i>	Ассоциирован с гнилью древесины
		<i>Sphingomonas sp.</i>	Почвенная бактерия, но может быть и эндофитом
Усольское		<i>Burkholderia sp.</i> strain PSB3	Эндофит
		<i>Ralstonia sp.</i>	Ассоциирован с гнилью древесины

Значение насекомых в распространении многих бактериальных болезней давно доказано. Высшие растения являются средой, где происходит контакт различных организмов, и в процессе эволюции между ними возникают определенные взаимоотношения. Взаимоотношения между фитопатогенными бактериями и насекомыми определяют степень участия последних в распространении бактериозов в природе [26].

Бактерии могут распространяться, находясь внутри тела насекомого или на его поверхности. Однако у многих насекомых, питающихся растительными тканями, фитопатогенные бактерии попадают в кишечник, но не у всех в кишечном тракте могут размножиться возбудители болезней. Жуки *Chactocnema pulicaria* являются постоянными носителями *Pantoea stewarti*. Некоторые виды бактерий заражают яйца насекомых еще в кладках, затем проникают внутрь, выходящие из кладок личинки первого возраста уже обсеменены фитопатогенными бактериями. В данном случае насекомые являются не только переносчиками, но и резерваторами патогенных для растений бактерий. По мнению В.И. Полтева и др. [27], насекомые служат дополнительной средой обитания фитопатогенных бактерий. С одной стороны, находящиеся в кишечном тракте насекомых патогенные для растений бактерии способствуют перевариванию растительной пищи, снабжая дополнительными витаминами и аминокислотами, с другой – бактерии могут служить средством воздействия насекомых на растительные ткани.

В процессе обследования лесных насаждений и отборе образцов с симптомами поражения проводили сбор встречающихся насекомых, особенно на пораженных растениях. Для исследования были отобраны насекомые отряда *Coleoptera*, а также личинки жуков-короедов.



Рисунок 1 - Энтомологические объекты исследования
DOI: <https://doi.org/10.60797/JAE.2025.55.2.5>

В Слюдянском лесничестве Иркутской области были обнаружены короед шестизубый (*Ips sexdentatus* Voern.), смолевка сосновая (*Pissodes pini* Linnaeus), древесинник хвойный полосатый (*Trypodendron lineatum* Oliv.), личинка черного соснового усача (*Monochamus galloprovincialis* Ol.) и еще две личинки, определить которых не удалось. Из перечисленных видов к опасным вредителям относится только короед шестизубый. Однако и он является вредителем деревьев, метаболические процессы которых необратимо нарушены. Короеды-древесинники и смолевка сосновая, являясь хозяйственно неопасными видами ксилофагов, способны заселять ослабленные деревья, утратившие жизнеспособность, и не заселяют деревья без предварительного их ослабления другими факторами.

Из всех насекомых и личинок была выделена ДНК. В результате молекулярно-генетической идентификации секвенированных последовательностей в генетической базе данных NCBI определено 4 вида бактерий и видов грибов (таблица 5).

Таблица 5 - Видовой состав грибной и бактериальной микрофлоры насекомых

DOI: <https://doi.org/10.60797/JAE.2025.55.2.6>

Насекомое	Грибная микрофлора	Бактериальная микрофлора
Короед вершинный	<i>Fungal sp.</i>	<i>Burkholderia sp.</i>
Короед шестизубый	<i>Nakazawaea holstii</i>	сходство не обнаружено
Смолевка сосновая	-	<i>Pseudomonas cichorii</i>
Древесинник хвойный полосатый	<i>Nakazawaea sp.</i>	<i>Rahnella inusitata</i>
Личинка черного соснового усача	-	<i>Erwinia amylovora</i>
Личинка 1	<i>Penicillium citreonigrum</i>	<i>Sodalis glossinidius</i>
Личинка 2	-	<i>Rahnella inusitata</i>

Выделенная из смолевки бактерия *Pseudomonas cichorii* (Swingle) Stapp относится к грамотрицательным бактериям, населяющим почву. Он имеет широкий спектр хозяев и из-за своей высокой патогенности может оказывать значительное экономическое влияние на урожайность различных сельскохозяйственных культур, включая салат и пшеницу. Бактерии рода *Burkholderia spp.* являются внеклеточными симбионтами насекомых и существенно улучшают рост насекомого хозяина [28].

Rahnella inusitata способны к образованию аутоиндукторов – специальных молекул, обеспечивающих коммуникацию между различными видами бактерий и регулирующих экспрессию генов вирулентности у многих

патогенов. Обнаружение данной бактерии в *Trypodendron lineatum* и личинке может свидетельствовать о возможности взаимодействия представителей кишечной микробиоты с другими патогенами.

Фитопатогенная бактерия *Erwinia sp.*, обнаруженная в личинке усача, свидетельствует о распространении этих бактерий насекомыми-переносчиками и может передаваться с его яйцами. Дополнительно было установлено наличие неклассифицированных членов *Fungi* и гриба рода *Penicillium*, который широко встречается в природе.

Заключение

С целью видовой идентификации выявленного спектра грибов было проведено секвенирование полученных ампликонов на генетическом анализаторе 3500 Applied Biosystems. В результате молекулярно-генетической идентификации секвенированных последовательностей в генетической базе данных NCBI определено 7 видов грибов, а также 9 видов бактерий, при этом бактерия *Erwinia sp.* выявлена только в личинке черного усача (вид близкий возбудителям бактериальной водянки и ожога *Erwinia spp.*).

Выделенная из личинки черного соснового усача бактерия *Erwinia sp.* свидетельствует о переносе этих бактерий насекомыми. Следует отметить, что бактериальная водянка – хроническое и неизлечимое заболевание у взрослых деревьев, очаги которого могут активизироваться и затухать ежегодно или с перерывом в несколько лет, при этом течение болезни продолжается десятилетиями. А непосредственно на образцах древесины бактерия *Erwinia sp.* не выявлена. Таким образом, на пораженных деревьях сосны сибирской кедровой бактерии *Erwinia sp.*, которая вызывает бактериальную водянку кедрового дерева не обнаружено уже во второй серии генетических исследований образцов древесины сосны сибирской кедровой. Первая серия испытаний проводилась в 2016 году на базе лицензированной лаборатории лесных генетических исследований Красноярского филиала «Рослесозащиты» и, частично, в лаборатории «Рослесозащиты» в Пушкино. Из этого следует, что ранее сделанный вывод о причинах массового усыхания кедровых лесов, в результате бактериоза вызываемого (*Erwinia nimipressuralis* Carter.), является преждевременным.

В связи с этим необходимо продолжение серии генетических испытаний, увеличение количества образцов древесины и коры для получения более объективных и точных результатов исследований. Ранее сделанный вывод о причинах массового усыхания кедровых лесов в результате бактериоза, вызываемого (*Erwinia nimipressuralis* Carter.), признать преждевременным и скоропалительным?».

Конфликт интересов

Не указан.

Рецензия

Все статьи проходят рецензирование. Но рецензент или автор статьи предпочли не публиковать рецензию к этой статье в открытом доступе. Рецензия может быть предоставлена компетентным органам по запросу.

Conflict of Interest

None declared.

Review

All articles are peer-reviewed. But the reviewer or the author of the article chose not to publish a review of this article in the public domain. The review can be provided to the competent authorities upon request.

Список литературы / References

- Бубнова М.А. Характеристика очагов бактериальной водянки Слюдянского и Шелеховского лесничеств (Южное Прибайкалье) / М.А. Бубнова // Материалы МСНК "Студенческий научный форум 2024". — 2020. — № 3. — С. 8–10. — URL: <https://publish2020.scienceforum.ru/ru/article/view?id=115> (дата обращения: 29.07.2024).
- Балданова Л.П. Лесопатологическое состояние лесов Байкальской природной территории / Л. П. Балданова, А. Ю. Титов // Отходы и ресурсы. — 2023. — Т. 10. — № 3. DOI: 10.15862/04ECOR323.
- Никоноров С.М. Теоретико-методологические подходы к эколого-экономической оценке Байкальской территории / С.М. Никоноров, С.Н. Кириллов, С.В. Соловьева [и др.] // Менеджмент и бизнес-администрирование. — 2019. — № 3. — С. 40–56.
- Кархова С.А. Оценка лесопатологического состояния кедровых лесов Иркутской области / С.А. Кархова, Е.Б. Никитенко // Известия Байкальского государственного университета. — 2023. — Т. 33, № 2. — С. 380–393. DOI: 10.17150/2500-2759.2023.33(2).380-393.
- Воронин В.И. Бактериальная водянка хвойных в Байкальских лесах: причины возникновения и риск эпифитотий / В.И. Воронин // Сборник материалов годичного собрания Общества физиологов растений России Всероссийской научной конференции с международным участием и школы молодых ученых. — 2018. — С. 9–12.
- Черпаков В.В. Исследование патогенных свойств бактерий «мокрой древесины» / В.В. Черпаков // Актуальные проблемы лесного комплекса : сборник научных трудов. Вып. 41. — Брянск : БГИТА, 2015. — С. 158–163
- Русецкая Г.Д. Проблемы экологии и защиты леса в Иркутской области / Г.Д. Русецкая, Л.П. Балданова // Экология и промышленность России. — 2020. — Т. 24, № 4. — С. 42–45.
- Чжан С.А. Фитосанитарное состояние лесов Иркутской области / С.А. Чжан, О.А. Пузанова, Р.Н. Евдокимов // Успехи современного естествознания. — 2022. — № 2. — С. 34–39.
- Шилкина Е.А. Бактериальная водянка хвойных: рубить нельзя сохранить? / Е.А. Шилкина, В.В. Солдатов // Сибирский лесной журнал. — 2023. — № 1. — С. 7–9.
- Белова Н.А. Динамика состояния кедровых древостоев Байкальского заповедника и сопредельных территорий / Н.А. Белова, Т.И. Морозова // Материалы конференции «Мониторинг и биологические методы контроля вредителей и патогенов древесных растений: от теории к практике». — Москва ; Красноярск, 2016. — С. 27–28.
- Белова Н.А. Динамика лесопатологического состояния пихтовых древостоев Байкальского заповедника (1983–2015) / Н.А. Белова, Т.И. Морозова // Лесной вестник. — 2018. — Т. 22, № 2. — С. 5–15.

12. Воронин В.И. Бактериальное повреждение кедровых лесов Прибайкалья / В.И. Воронин, Т.И. Морозова, Д.Ю. Ставников [и др.] // Лесное хозяйство. — 2013. — № 3. — С. 39–41.
13. Воронин В.И. Бактериальная водянка хвойных в байкальских лесах: причины возникновения и риск эпифитотии / В.И. Воронин // Сборник материалов конференции «Механизмы устойчивости растений и микроорганизмов к неблагоприятным условиям среды». — Иркутск. — С. 9–12.
14. Мозолевская Е.Г. Роль болезней и вредителей в ослаблении и усыхании пихты в Байкальском заповеднике в середине 80-х годов / Е.Г. Мозолевская, Т.В. Галасьева, Э.С. Соколова // Лесной вестник. — 2003. — № 2. — С. 136–142.
15. Морозова Т.И. Бактериальная водянка хвойных в Байкальской Сибири / Т.И. Морозова, В.Г. Сурдина // Проблемы микологии и фитопатологии в XXI веке : материалы международной конференции. — Санкт-Петербург, 2013. — С. 189–192.
16. Ставников Д.Ю. Факторы деструкции темнохвойной тайги Хамар-Дабана (Южное Прибайкалье) : автореф. дис. ... канд. биол. наук / Д.Ю. Ставников. — Улан-Удэ, 2013. — 22 с.
17. Воронин В.И. Бактериальное повреждение кедровых лесов Прибайкалья / В.И. Воронин, Т.И. Морозова, Д.Ю. Ставников [и др.] // Лесное хозяйство. — 2013. — № 3. — С. 39–41.
18. Лебедев А.В. Патология деревьев ели при различной рекреационной нагрузке / А.В. Лебедев // Лесной журнал. — 1999. — № 2–3. — С. 52–57.
19. Селочник Н.Н. Факторы деградации лесных экосистем / Н.Н. Селочник // Лесоведение. — 2008. — № 5. — С. 52–60.
20. Щербин-Парфененко А.Л. Бактериальные заболевания лесных пород / А.Л. Щербин-Парфененко. — Москва, 1963. — 148 с.
21. Хоулт Дж. Определитель бактерий Берджи / Дж. Хоулт, Н. Криг, П. Снит. — Москва : Мир, 1997. — 800 с.
22. Hopper R.J. Characterization of damage and biotic factors associated with the decline of *Eucalyptus wandoo* in southwest Western Australia / R.J. Hopper, K. Sivasithamparam // Canadian Journal of Forest Research. — 2005. — Vol. 35, № 11. — P. 2589–2602.
23. Nuorteva P. The role of air pollution and climate change in development of forest insect outbreaks — guest editorial / P. Nuorteva // Acta Phytopathologica et Entomologica Hungarica. — 1997. — Vol. 32, № 1-2. — P. 127–128.
24. Rigling A.B. Waldfohrenbestande im Umbruch / A.B. Rigling, B. Forster, P. Wermelinger [et al.] // Wald und Holz. — 1999. — Vol. 80, № 13. — P. 8–12.
25. Vertui F. Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) die-back by unknown causes in the Aosta Valley, Italy / F. Vertui, F. Tagliaferro // Chemosphere. — 1998. — Vol. 36, № 4-5. — P. 1061–1065.
26. Woodward S. Causes of decline in United Kingdom broadleaved stands / S. Woodward // Possible Limitation of Decline Phenomena in Broadleaved Stands. — Warsaw, 2006. — P. 21–27.
27. Воронкевич И.В. Выживаемость фитопатогенных бактерий в природе / И.В. Воронкевич. — Москва : Наука, 1974. — 269 с.
28. Полтев В.И. Микрофлора насекомых / В.И. Полтев, И.Н. Гриценко, А.И. Егорова [и др.] ; под ред. В.И. Полтева. — Новосибирск : Наука. Сибирское отд-ние, 1969. — 271 с.
29. Черпаков В. Насекомые-ксилофаги — переносчики и симбионты патогенной микрофлоры древесных пород / В. Черпаков // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. — 2014. — Т. 207. — С. 71–83.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Bubnova M.A. Harakteristika ochagov bakterial'noj vodjanki Sljudjanskogo i Shelehovskogo lesnichestv (Juzhnoe Pribajkal'e) [Characteristics of bacterial dropsy foci of the Slyudyansky and Shelekhovsky forest districts (Southern Baikal region)] / M.A. Bubnova // Materialy MSNK "Studencheskij nauchnyj forum 2024" [Materials of the MSNC "Student Scientific Forum 2024"]. — 2020. — № 3. — P. 8–10. — URL: <https://publish2020.scienceforum.ru/ru/article/view?id=115> (accessed: 29.07.2024). [in Russian]
2. Baldanova L.P. Lesopatologicheskoe sostojanie lesov Bajkal'skoj prirodnoj territorii [Forest pathology of forests of the Baikal nature-new territory] / L.P. Baldanova, A.Y. Titov // Othody i resursy [Waste and resources]. — 2023. — Vol. 10. — № 3. DOI: 10.15862/04ECOR323. [in Russian]
3. Nikonorov S.M. Teoretiko-metodologicheskie podhody k jekologo-jekonomicheskoj ocenke Bajkal'skoj territorii [Theoretical and methodological approaches to the ecological and economic assessment of the Baikal territory] / S.M. Nikonorov, S.N. Kirillov, S.V. Solovyova [et al.] // Menedzhment i biznes-administrirovanie [Management and business administration]. — 2019. — № 3. — P. 40–56. [in Russian]
4. Karkhova S.A. Ocenka lesopatologicheskogo sostojanija kedrovyh lesov Irkutskoj oblasti [Assessment of the forest pathological condition of cedar forests of the Irkutsk region] / S.A. Karkhova, E.B. Nikitenko // Izvestija Bajkal'skogo gosudarstvennogo universiteta [Proceedings of the Baikal State University]. — 2023. — Vol. 33, № 2. — P. 380–393. DOI: 10.17150/2500-2759.2023.33(2).380-393. [in Russian]
5. Voronin V.I. Bakterial'naja vodjanka hvojnyh v Bajkal'skih lesah: prichiny vzniknovenija i risk jepifitotij [Bacterial dropsy of conifers in Baikal forests: causes and risk of epiphytotic] / V.I. Voronin // Sbornik materialov godichnogo sobranija Obshhestva fiziologov rastenij Rossii Vserossijskoj nauchnoj konferencii s mezhdunarodnym uchastiem i shkoly molodyh uchenyh [Collection of materials of the annual meeting of the Society of Plant Physiologists of Russia, the All-Russian Scientific Conference with international participation and the school of young scientists]. — 2018. — P. 9–12. [in Russian]
6. Cherpakov V.V. Issledovanie patogennyh svojstv bakterij «mokroj drevesiny» [Investigation of the Pathogenic Properties of "Wet Wood" Bacteria] / V.V. Cherpakov // Aktual'nye problemy lesnogo kompleksa [Current Problems of the Forest Complex] : Collection of Scientific Papers. Issue 41. — Bryansk : BGITA, 2015. — P. 158–163. [in Russian]

7. Rusetskaya G.D. Problemy jekologii i zashhity lesa v Irkutskoj oblasti [Problems of Ecology and Forest Protection in the Irkutsk Region] / G.D. Rusetskaya, L.P. Baldanova // Jekologija i promyshlennost' Rossii [Ecology and Industry of Russia]. — 2020. — Vol. 24, № 4. — P. 42–45. [in Russian]
8. Zhang S.A. Fitosanitarnoe sostojanie lesov Irkutskoj oblasti [Phytosanitary Condition of Forests in the Irkutsk Region] / S.A. Zhang, O.A. Puzanova, R.N. Evdokimov // Uspehi sovremennogo estestvoznanija [Advances in Current Natural Sciences]. — 2022. — № 2. — P. 34–39. [in Russian]
9. Shilkina E.A. Bakterial'naja vodjanka hvojnih: rubit' nel'zja sohranit'? [Bacterial Wetwood of Conifers: To Cut or Not to Cut?] / E.A. Shilkina, V.V. Soldatov // Sibirskij lesnoj zhurnal [Siberian Forest Journal]. — 2023. — No. 1. — P. 7–9. [in Russian]
10. Belova N.A. Dinamika sostojanija kedrovih drevostoev Bajkal'skogo zapovednika i sopredel'nyh territorij [Dynamics of the Condition of Cedar Stands in the Baikal Nature Reserve and Adjacent Territories] / N.A. Belova, T.I. Morozova // Materialy konferencii «Monitoring i biologicheskie metody kontrolja vreditel'ej i patogenov drevesnyh rastenij: ot teorii k praktike» [Proceedings of the Conference "Monitoring and Biological Methods of Controlling Pests and Pathogens of Woody Plants: From Theory to Practice"]. — Moscow ; Krasnoyarsk, 2016. — P. 27–28. [in Russian]
11. Belova N.A. Dinamika lesopatologicheskogo sostojanija pihtovyh drevostoev Bajkal'skogo zapovednika (1983–2015) [Dynamics of the Forest Pathological Condition of Fir Stands in the Baikal Nature Reserve (1983–2015)] / N.A. Belova, T.I. Morozova // Lesnoj vestnik [Forestry Bulletin]. — 2018. — Vol. 22, № 2. — P. 5–15. [in Russian]
12. Voronin V.I. Bakterial'noe povrezhdenie kedrovih lesov Pribajkal'ja [Bacterial Damage to Cedar Forests in the Baikal Region] / V.I. Voronin, T.I. Morozova, D.Yu. Stavnikov [et al.] // Lesnoe hozjajstvo [Forestry]. — 2013. — No. 3. — P. 39–41. [in Russian]
13. Voronin V.I. Bakterial'naja vodjanka hvojnih v bajkal'skih lesah: prichiny voznikovenija i risk jepifitotii [Bacterial Wetwood of Conifers in the Baikal Forests: Causes and Risk of Epiphytotic] / V.I. Voronin // Sbornik materialov konferencii «Mehanizmy ustojchivosti rastenij i mikroorganizmov k neblagoprijatnym uslovijam sredy» [Proceedings of the Conference "Mechanisms of Resistance of Plants and Microorganisms to Adverse Environmental Conditions"]. — Irkutsk, 1918. — P. 9–12. [in Russian]
14. Mozolevskaya E.G. Rol' boleznij i vreditel'ej v oslablenii i usyhanii pihty v Bajkal'skom zapovednike v seredine 80-h godov [The Role of Diseases and Pests in the Weakening and Drying of Fir in the Baikal Nature Reserve in the Mid-1980s] / E.G. Mozolevskaya, T.V. Galasyeva, E.S. Sokolova // Lesnoj vestnik [Forestry Bulletin]. — 2003. — № 2. — P. 136–142. [in Russian]
15. Morozova T.I. Bakterial'naja vodjanka hvojnih v Bajkal'skoj Sibiri [Bacterial Wetwood of Conifers in Baikal Siberia] / T.I. Morozova, V.G. Surdina // Problemy mikologii i fitopatologii v XXI veke [Problems of Mycology and Phytopathology in the 21st Century] : Proceedings of the International Conference. — St. Petersburg, 2013. — P. 189–192. [in Russian]
16. Stavnikov D.Yu. Faktory destrukcii temnohvojnoj tajgi Hamar-Dabana (Juzhnoe Pribajkal'e) [Factors of Destruction of Dark Coniferous Taiga in Khamar-Daban (Southern Baikal Region)] : Abstract of the Dissertation ... Candidate of Biological Sciences / D.Yu. Stavnikov. — Ulan-Ude, 2013. — 22 p. [in Russian]
17. Voronin V.I. Bakterial'noe povrezhdenie kedrovih lesov Pribajkal'ja [Bacterial Damage to Cedar Forests in the Baikal Region] / V.I. Voronin, T.I. Morozova, D.Yu. Stavnikov [et al.] // Lesnoe hozjajstvo [Forestry]. — 2013. — № 3. — P. 39–41. [in Russian]
18. Lebedev A.V. Patologija derev'ev eli pri razlichnoj rekreacionnoj nagruzke [Pathology of Spruce Trees Under Different Recreational Loads] / A.V. Lebedev // Lesnoj zhurnal [Forestry Journal]. — 1999. — № 2–3. — P. 52–57. [in Russian]
19. Selochnik N.N. Faktory degradacii lesnyh jekosistem [Factors of Degradation of Forest Ecosystems] / N.N. Selochnik // Lesovedenie [Russian Journal of Forest Science]. — 2008. — № 5. — P. 52–60. [in Russian]
20. Shcherbin-Parfenenko A.L. Bakterial'nye zabojevanija lesnyh porod [Bacterial Diseases of Forest Species] / A.L. Shcherbin-Parfenenko. — Moscow, 1963. — 148 p. [in Russian]
21. Holt J. Opredelitel' bakterij Berdzhii [Bergey's Manual of Determinative Bacteriology] / J. Holt, N. Krieg, P. Sneath ; trans. from English. — Moscow : Mir, 1997. — 800 p. [in Russian]
22. Hopper R.J. Characterization of damage and biotic factors associated with the decline of Eucalyptus wandoo in southwest Western Australia / R.J. Hopper, K. Sivasithamparan // Canadian Journal of Forest Research. — 2005. — Vol. 35, № 11. — P. 2589–2602.
23. Nuorteva P. The role of air pollution and climate change in development of forest insect outbreaks — guest editorial / P. Nuorteva // Acta Phytopathologica et Entomologica Hungarica. — 1997. — Vol. 32, № 1-2. — P. 127–128.
24. Rigling A.B. Waldfohrenbestande im Umbruch / A.B. Rigling, B. Forster, P. Wermelinger [et al.] // Wald und Holz. — 1999. — Vol. 80, № 13. — P. 8–12.
25. Vertui F. Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) die-back by unknown causes in the Aosta Valley, Italy / F. Vertui, F. Tagliaferro // Chemosphere. — 1998. — Vol. 36, № 4-5. — P. 1061–1065.
26. Woodward S. Causes of decline in United Kingdom broadleaved stands / S. Woodward // Possible Limitation of Decline Phenomena in Broadleaved Stands. — Warsaw, 2006. — P. 21–27.
27. Voronkevich I.V. Vyzhivaemost' fitopatogennyh bakterij v prirode [Survival of Phytopathogenic Bacteria in Nature] / I.V. Voronkevich. — Moscow : Nauka, 1974. — 269 p. [in Russian]
28. Poltev V.I. Mikroflora nasekomyh [Microflora of Insects] / V.I. Poltev, I.N. Gritsenko, A.I. Egorova [et al.] ; ed. by V.I. Poltev. — Novosibirsk : Nauka. Siberian Branch, 1969. — 271 p. [in Russian]
29. Cherpakov V. Nasekomye-ksilofagi — perenoschiki i simbionty patogennoj mikroflory drevesnyh porod [Xylophagous Insects as Carriers and Symbionts of Pathogenic Microflora of Tree Species] / V. Cherpakov // Izvestija Sankt-

Peterburgskoj lesotehničeskoj akademii [Proceedings of the Saint Petersburg Forestry Academy]. — 2014. — Vol. 207. — P. 71–83. [in Russian]