

**«Научный (итоговый) отчет по Проекту
№ 2024-514-04_**

«Разработка микоризных препаратов для увеличения приживаемости древесных пород для биоремедиации и реализации климатических проектов»,

Кадровый состав Проекта:

№	Ф.И.О.	Статус ¹	Ученая степень ²	Дата рождения
1.	Филиппова Нина Владимировна	Руководитель	Кандидат биологических наук	27.03.1984
2.	Дудка Василий Андреевич	Основной исполнитель	Кандидат биологических наук	18.07.1994
3.	Рудыкина Елена Александровна	Основной исполнитель		01.07.1998
4.	Добрынина Алевтина Сергеевна	Основной исполнитель		14.01.1998
5.	Ишманов Тагир Флюрович	Основной исполнитель		14.12.2003
6.	Бульонкова Татьяна Михайловна	Исполнитель		24.04.1982
7.	Звягина Елена Анатольевна	Исполнитель	Кандидат биологических наук	24.01.1974

Научный приоритет, конкретные задачи и ключевые проблемы:

1.1. Заявленный в проекте план работы научного проекта на отчетный период³

Первый год реализации проекта: изучение видового состава и структуры микоризных сообществ, накопление коллекции штаммов.

1. Январь – Май (подготовительный этап). Анализ литературы и создание чеклиста: проведем анализ существующих научных данных, включая анализ и обобщение базы данных Фунгария ЮГУ, для составления исчерпывающего списка видов эктомикоризных грибов, характерных для древесных пород Тюменской области. Этот список послужит основой для последующих полевых исследований.

2. Июнь – Сентябрь (полевой период). Отбор проб и выделение штаммов микоризных грибов с различных участков, включая карбоновый полигон "Мухрино", "Кондинские озера", "Нумто", а также лесопосадки в г. Ханты-Мансийске. На тех же участках будет проведен сбор плодовых тел грибов для создания коллекции чистых культур. Особое внимание будет уделено отбору проб видов, демонстрирующих высокую степень микоризации и хорошую жизнеспособность (на основе анализа литературы).

3. Октябрь – Декабрь (лабораторный этап). Молекулярно-генетическая идентификация: корневые окончания деревьев будут обработаны по ранее отработанному в лаборатории протоколу для секвенирования тотальной ДНК грибов. Секвенирование будет проводиться путем аутсорсинга (Illumina MiSeq) или в лаборатории ЮГУ (Nanopore MinION). Будет продолжена работа с выделением штаммов чистых культур и отправкой их на хранение. Выделенные штаммы грибов будут идентифицированы с помощью современных молекулярно-генетических методов (секвенирование ITS области рРНК). Это позволит точно определить видовую принадлежность каждого штамма и создать обширную коллекцию чистых культур.

Второй год реализации проекта: продолжение отбора проб и анализов, проведенных в первый год, и апробация микоризного препарата в мезокосме.

1. Январь – Май (экспериментальный этап), апробация создания микоризного препарата. На основе отобранных высокоэффективных штаммов разработаем экспериментальный микоризный препарат. Будет оптимизирован состав препарата, определены оптимальные условия его хранения и применения.

2. Июнь – Сентябрь (полевой период). Продолжим отбор проб корневых окончаний с новых участков, чтобы охватить более широкий спектр лесных экосистем территории автономного округа. Особое внимание уделим лесам с различными типами почв и климатическими условиями. Расширим список изучаемых

¹ Руководитель, основной исполнитель, исполнитель.

² Ученая степень на дату подписания соглашения (без ученой степени, кандидат наук, доктор наук, зарубежная ученая степень).

³ Формируется в соответствии с заявкой на участие в конкурсе.

древесных пород, включив в него виды, имеющие важное хозяйственное значение или демонстрирующие высокую чувствительность к различным стрессовым факторам. Продолжим изоляцию и идентификацию чистых культур эктомикоризных грибов. Особое внимание уделим штаммам, демонстрирующим высокую эффективность в образовании микоризы и стимулировании роста растений в лабораторных условиях.

3. Октябрь – Декабрь (экспериментальный этап и завершение проекта). Проведем первые эксперименты по микоризации саженцев различных древесных пород с использованием разработанного препарата в контролируемых условиях мезокосма. Будем оценивать влияние микоризации на рост растений, развитие корневой системы, устойчивость к засухе и другим стрессовым факторам.

Планируемые командировки (экспедиции) по проекту:

отбор проб на карбоновом полигоне «Мухрино», природном парке «Кондинские озера» им. Л.Ф. Сташкевича и природном парке «Нумто». Оплата проезда и проживания во время полевых работ за счет финансирования ЮГУ в рамках реализации проекта по карбоновым полигонам.

1.2. Заявленные научные результаты на конец отчетного периода⁴

В течении **двух лет** будет проведено изучение состава и структуры сообществ эктомикоризы лесных экосистем и промышленных насаждений; создание коллекции чистых культур штаммов эктомикоризных видов; создание препарата на основе сообщества организмов для одного или нескольких деревьев-хозяев и апробация препарата в условиях мезокосма. Подробнее об основных ожидаемых результатах:

Описание видового состава и структуры сообществ грибов микоризных окончаний с помощью классического и молекулярно-генетического методов. Будет проведен детальный анализ видового состава эктомикоризных грибов, ассоциированных с различными древесными породами в различных экосистемах Тюменской области. Применение комбинированного подхода, включающего как классическое морфологическое описание плодовых тел и микоризных структур, так и высокопроизводительный молекулярно-генетический анализ (метабаркодинг региона ITS на секвенаторе Nanopore MinION), позволит получить наиболее полную и достоверную информацию о видовом составе и структуре микоризных сообществ.

Создание коллекции чистых культур. Будет сформирована коллекция чистых культур штаммов эктомикоризных грибов, изолированных из плодовых тел и/или корневых окончаний. Общее число штаммов за два года – не менее 200. Коллекция будет служить основой для дальнейших исследований и разработки микоризных препаратов.

Разработка микоризного препарата. На основе отобранных штаммов эктомикоризных грибов с высокими показателями роста и выживаемости будет разработан микоризный препарат(ы). Препарат будет содержать консорциум штаммов, способный эффективно колонизировать корневую систему различных древесных пород и улучшать их физиологические показатели. Для создания препарата будут использованы современные биотехнологические методы, позволяющие сохранить жизнеспособность спор и мицелия грибов на протяжении длительного времени.

1.3. Сведения о фактическом выполнении годового плана работы (фактически проделанная работа, до 10 стр.)

Введение

В отчетном периоде (2025 год) работы по проекту выполнялись в целом в соответствии с календарным планом, однако с тактической корректировкой последовательности и географического охвата задач. Это было обусловлено необходимостью первоочередного решения наиболее методологически сложных задач, ранее не апробированных коллективом, – выделения чистых культур эктомикоризных грибов и постановки экспериментов по микоризации. Фактически проделанная работа обеспечила создание прочного научного и методического фундамента для всех последующих этапов проекта.

1.3.1. Подготовительный и организационный этап (Январь – Май 2025 г.)

Теоретический анализ и планирование. Проведен всесторонний анализ современных отечественных и зарубежных литературных источников в области экологии микоризных грибов, методов их выделения в чистую культуру, культивирования и применения в биотехнологиях. Сформирована и систематизирована специализированная электронная библиотека, включающая более 120 научных публикаций и методических руководств (рис. 1). На основе проведенного анализа баз данных коллекций и региональных списков видов, составлен чек-лист видов эктомикоризных грибов, потенциально значимых для древесных пород Тюменской области

⁴ Формируется в соответствии с заявкой на участие в конкурсе.

(сосна, кедр, лиственница, береза), который использовался как ориентир в полевых исследованиях.

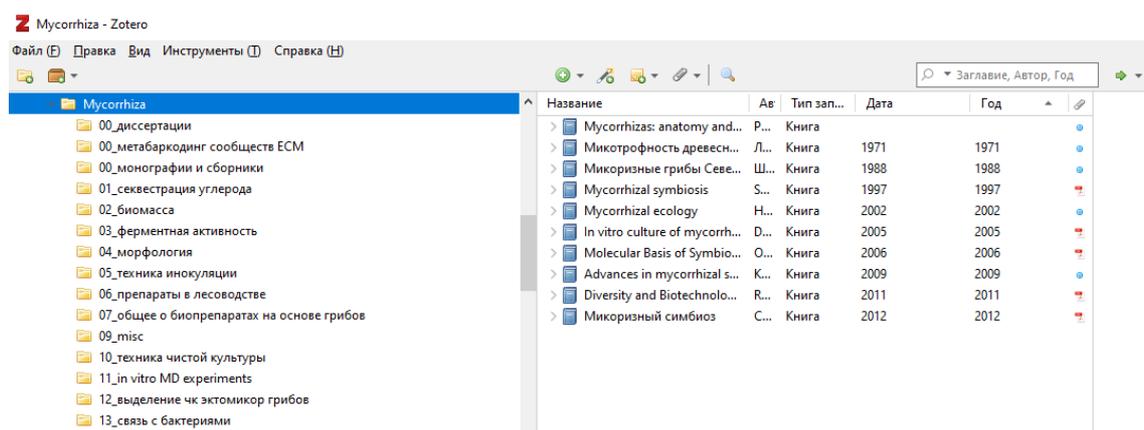


Рисунок 1. Скриншот личной электронной библиотеки, созданной по проекту (раздел Микориза и подразделы по соответствующим областям)

Материально-техническое и методическое оснащение. Была проведена закупка специализированного оборудования и реактивов, критически необходимых для работы с чистыми культурами грибов: питательные среды (агар, солод, др.), соли для приготовления буферных растворов, антибиотики для подавления контаминации, а также расходные материалы (чашки Петри, пробирки, пипетки и др.); реактивов и расходников для секвенирования по Сэнгеру и секвенирования на платформе Nanopore MinION.

Освоена технология самостоятельного приготовления и стерилизации питательных сред для микоризных грибов. Были успешно апробированы и используются в работе 5 типов сред, включая модифицированную питательную среду Мелина-Норкранса (MNN) в полной и половинной концентрации (MNN 1/2), среду Хагема, среду Фриза и другие (рис. 2), позволяющие эффективно выращивать широкий спектр видов эктомикоризных родов *Suillus*, *Laccaria*, *Hebeloma* и др. Для обеспечения воспроизводимости и контроля качества создана система электронного учета реактивов с присвоением штрихкодов и ведением базы данных, отслеживающей сроки годности и условия хранения (рис. 3).

Восемь сред из работы (Vuorinen et al., 2015) и других источников (ATCC, D. Perkins)

Компоненты (по умолчанию в гр)	Агаровая среда Хагема (модифицированная из Modess 1941) pH 4.5 с помощью HCl/NaOH	Агаровая среда Пахлевского (модифицированная из Pachlewski и Pachlewski 1974) pH 5 с помощью HCl/NaOH	Агаровая среда Готлиба (я, слегка модифицированная из Litchfield и Arthur 1983) pH 6.5 с помощью HCl/NaOH	Картофельно-декстрозная агаровая среда (Difco) pH 5.6 с помощью HCl/NaOH	Модифицированная агаровая среда Мелина-Норкранса (MMN; Marx 1969; Molina и Palmer 1982)	Агаровая среда MMN с пониженным содержанием сахара (1/2MMN) pH 4.5, 5.5, 6.1 с помощью HCl/NaOH	Среда Фриза (ATCC Medium: 2772)	Среда Vogelia Vogel 1956, 1964 (50 X матричный раствор)
Вода	1 л	1 л	1 л	1 л	1 л	1 л	1 л	755 мл
Агар	15	15	15	15	15	15	10	
D-Глюкоза	5	20	30	20 (дополнительно?)	2.5	1.25	6	
Солодовый экстракт	5				10	5		
NH ₄ Cl	0.5							
KH ₂ PO ₄ Калий фосфорнокислый однозамещенный	0.5	0.5	2.38		0.5	0.5	30 мг	250
MgSO ₄ ·7H ₂ O Сульфат магния, магний сернокислый, соль Эпсома	0.5	0.5	1		0.15	0.15	0.1	10
Fe EDTA Хелат железа ЭДТА	11.3 мг				20.16 мг	20.16 мг		
Мальтоза		5						
(NH ₄) ₂ tartrate Аммоний виннокислый, тартрат аммония		0.5					1	
Thiamine-HCl Тиамин гидрохлорид		1 мг			10 мг	10 мг		
Пептон			10					
NH ₄ NO ₃ Нитрат аммония, аммоний азотнокислый, аммиачная селитра			3					100
CuSO ₄ ·5H ₂ O Медь сернокислая пятиводная, сульфат меди			6.4 мг				1.25 мг	0.25

Рисунок 2. Фрагмент таблицы перечня состава различных сред для культивирования эктомикоризных грибов, используемых в лаборатории для экспериментов по созданию коллекции культур

ID	Класс	Место хранения 1	Место хранения 2	Место хранения 3	Наименование полное	Формула	Примечание
1	Химреактивы	109 к / 1 к	Шкаф 2	Полка 1	Микоризные препараты		Лама торф Микориз
2	Химреактивы	109 к / 1 к	Шкаф 2	Полка 1	Раствор для гидропоники		АГРОЛО: А, Б
3	Химреактивы	109 к / 1 к	Шкаф 2	Полка 2	Кальций хлористый	CaCl2 2H2O	
4	Химреактивы	109 к / 1 к	Шкаф 2	Полка 2	Калий гидроксид	KOH	
5	Химреактивы	109 к / 1 к	Шкаф 2	Полка 2	Натрий гидроксид	NaOH	
6	Химреактивы	109 к / 1 к	Шкаф 2	Полка 2	Фосфат калия	KH2PO4	
7	Химреактивы	109 к / 1 к	Шкаф 2	Полка 2	Кальциевая селитра	Ca(NO3)2 4H2O	
8	Химреактивы	109 к / 1 к	Шкаф 2	Полка 2	Медный купорос	CuSO4 5H2O	Медный купорос, су
9	Химреактивы	109 к / 1 к	Шкаф 2	Полка 2	Нитрат аммония	NH4NO3	Нитрат аммония, ам
10	Химреактивы	109 к / 1 к	Шкаф 2	Полка 2	Цитрат кальция	Ca3(C6H5)7)2	
11	Химреактивы	109 к / 1 к	Шкаф 2	Полка 2	Сульфат магния	MgSO4 7H2O	
12	Химреактивы	109 к / 1 к	Шкаф 2	Полка 2	Альгинат натрия	(C6H8O6)n	
13	Химреактивы	109 к / 1 к	Шкаф 2	Полка 2	Лимонная кислота хч	C6H8O7	

Рисунок 3. Фрагмент таблицы, созданной для организации системы хранения реактивов специализированных сред для культивирования грибов с автоматизированной системой печати штрихкодированных термо-этикеток

1.3.2. Полевые исследования и формирование коллекции штаммов (Июнь – Сентябрь 2025 г.)
 На подготовительном этапе работы была сделана корректировка стратегии полевых работ. Изначальный план предполагал широкомасштабный отбор проб на нескольких удаленных полигонах («Мухрино», «Кондинские озера», «Нумто»). Однако, для концентрации усилий на методологически сложной задаче выделения культур, полевой сезон 2025 года был сфокусирован на лесных и болотных экосистемах в окрестностях г. Ханты-Мансийска. Это позволило провести интенсивный и многократный отбор материала на ограниченной территории, детально отработав все этапы полевых и лабораторных работ.

Проведено 17 полевых выходов в различные типы леса (заболоченные сосновые, кедровые, смешанные) (рис. 4).



Рисунок 4. Скриншот карты (из базы данных коллекции культур) расположения полевых выходов в окрестностях г. Ханты-Мансийска для отбора проб и формирования коллекции штаммов

Собрано и документировано 679 образцов плодовых тел грибов. Интенсивность сбора составляла в среднем 40 образцов на один маршрут, с колебаниями от 10 до 70 в зависимости от погодных условий и урожайности.

Изучены макро- и микро-морфологические особенности анатомии микоризных корневых окончаний основных лесобразующих пород (рис. 4). Предприняты попытки выделения чистых культур из корневых окончаний деревьев. В начале лета (июнь) эксперименты оказались малоуспешными, что вероятно связано с низкой степенью микоризации корней в раннелетний период. Однако в сентябре выделение чистых культур из микоризных окончаний дало

положительный результат для трех штаммов болотных видов (*Suillus punctipes*, *Hebeloma incarnatulum*), что расширило спектр методов, потенциально доступных нам для создания коллекции штаммов эктомикоризных грибов.



Рисунок 5. Особенности морфологического строения эктомикоризных окончаний основных древесных пород: А – макроморфология, Б – вид нескольких типов микоризы кедра под лупой, В – сеть Гартика в микоризных окончаниях кедра.

Основной успех был достигнут при выделении культур из тканей плодовых тел. Отработан сквозной протокол, включающий: поверхностную стерилизацию ткани плодового тела, перенос фрагментов ткани шляпки или ножки на селективные питательные среды, инкубацию в термостатах при температуре +23...+25°C, и последующую многократную перечистку растущего мицелия для получения аксеничной культуры. Ход работ по выделению, перечистке и поддержанию каждого штамма записывался в таблицу мониторинга для последующей оценки общей эффективности выделения для каждого таксона и другой аналитики, необходимой для оптимизации методики работы (рис. 6). Всего в таблице за полевой сезон 2025 года создано около 680 записей (штаммов и их повторностей).

ID	ID	locality	Date of culture	originalScientificName	Media	Frb part	Container	11 VI	13 VI	19 VI	7 VII	14 VII	16 VII	21 VII	21 VII	28 VII	31 VII	04 VIII	06 VIII	08 VIII	11 VII	15 VIII	18 VII		
67	2	Dolina ruchiev	25.07.2025	Suillus grevillei	MMN	Ткань в шляпке	Petri 3									нет роста	нет роста								
68	1	Dolina ruchiev	25.07.2025	Amanita regalis	MMN	Ткань в шляпке	Petri 3									нет роста	нет роста			рост				нет роста	
68	2	Dolina ruchiev	25.07.2025	Amanita regalis	MMN	Ткань в шляпке	Petri 3									нет роста	контам уда							сл рост	
69	1	Dolina ruchiev	25.07.2025	Amanita muscaria	MMN	Ткань в шляпке	Petri 3									нет роста	контам уда							рост 2 мм	
69	2	Dolina ruchiev	25.07.2025	Amanita muscaria	MMN	Ткань в шляпке	Petri 3									нет роста	контам уда								
69	3	Dolina ruchiev	25.07.2025	Amanita muscaria	MMN	Ткань в шляпке	Petri 3									нет роста	пушение, пл								
69	4	Dolina ruchiev	25.07.2025	Amanita muscaria	MMN	Ткань в шляпке	Petri 3									нет роста	пушение, пл		рост в чп				рост 3 мм	3 мм	
70	1	Dolina ruchiev	25.07.2025	Amanita muscaria	MMN	Ткань в шляпке	Petri 3									нет роста	контам уда								
70	2	Dolina ruchiev	25.07.2025	Amanita muscaria	MMN	Ткань в шляпке	Petri 3									нет роста	пушение, пл		рост в чп					2 мм	
72	1	Dolina ruchiev	25.07.2025	Ganoderma lucidum	MMN	Ткань в шляпке	Petri 3									нет роста	контам уда								
72	2	Dolina ruchiev	25.07.2025	Ganoderma lucidum	MMN	Ткань в шляпке	Petri 3									контам уда								рост 2 мм	
72	3	Dolina ruchiev	25.07.2025	Ganoderma lucidum	MMN	Ткань в шляпке	Petri 3									нет роста	контам уда								
75	1	Dolina ruchiev	25.07.2025	Boletus edulis	MMN	Ткань в шляпке	Petri 3									нет роста	контам уда								
75	2	Dolina ruchiev	25.07.2025	Boletus edulis	MMN	Ткань в шляпке	Petri 3									нет роста	контам уда								
76	1	Dolina ruchiev	25.07.2025	Amanita muscaria	MMN	Ткань в шляпке	Petri 3									нет роста	контам уда								
76	2	Dolina ruchiev	25.07.2025	Amanita muscaria	MMN	Ткань в шляпке	Petri 3									нет роста	контам уда								
76	3	Dolina ruchiev	25.07.2025	Amanita muscaria	MMN	Ткань в шляпке	Petri 3									нет роста	контам уда								
77	1	Dolina ruchiev	25.07.2025	Suillus placidus	MMN	Ткань в шляпке	Petri 3									нет роста	контам уда								
77	2	Dolina ruchiev	25.07.2025	Suillus placidus	MMN	Ткань в шляпке	Petri 3									нет роста	контам уда								
78	1	Dolina ruchiev	25.07.2025	Suillus praetermissus	MMN	Ткань в шляпке	Petri 3									нет роста	пушение, пл		рост в чп				рост 7 мм	9 мм	пос
78	2	Dolina ruchiev	25.07.2025	Suillus praetermissus	MMN	Ткань в шляпке	Petri 3									слабое пуц.	пушение, пл		рост в чп				рост 7 мм	9 мм	
80	1	Shapsha villagi	28.07.2025	Suillus sibiricus	MMN	Ткань в шляпке	Petri 3									нет роста	нет роста			нет роста			нет роста	нет роста	
81	1	Shapsha villagi	28.07.2025	Russula media	MMN	Ткань в шляпке	Petri 3									нет роста	нет роста			нет роста			нет роста	нет роста	
82	1	Shapsha villagi	28.07.2025	Amanita muscaria	MMN	Ткань в шляпке	Petri 3									нет роста	нет роста			рост			рост 1 мм	2 мм	

Рисунок 6. Фрагмент таблицы мониторинга выделения, перечистки и поддержания штаммов во время полевых работ по созданию коллекции культур

1.3.3. Лабораторно-аналитическая обработка коллекции (Октябрь – Декабрь 2025 г.)

Морфологическое и молекулярно-генетическое описание коллекции.

Для каждого очищенного штамма в последующем проводилось фотографирование и описание морфологических характеристик мицелия (рис. 7).

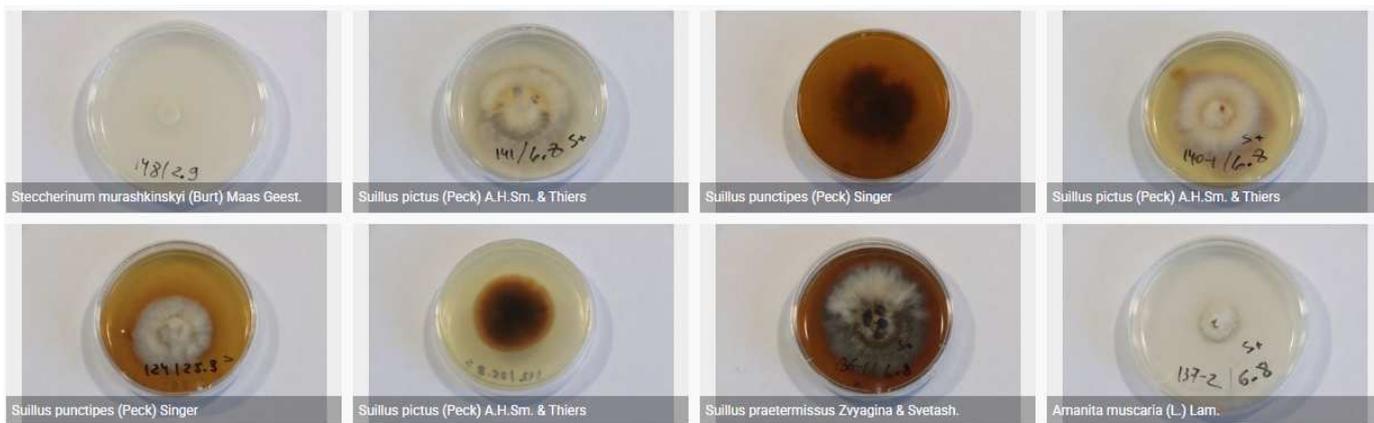


Рисунок 7. Пример внешнего вида колоний штаммов эктомикоризных грибов в коллекции YSU-C, выполненных после второго пересева на среде MNN 1/2

Выполнена оценка скорости линейного роста мицелия на стандартной среде. Выявлены значительные межвидовые и внутривидовые различия: от 0.1 мм/сутки у медленно растущих видов до 1.0 мм/сутки у быстрорастущих (например, некоторых представителей рода *Laccaria*).

Для точной видовой идентификации проведено секвенирование по Сэнгеру ITS-региона ядерной рибосомальной ДНК для всех целевых штаммов.

Количественные и качественные результаты коллекции.

По состоянию на 1 ноября 2025 года сформирована коллекция из 82 штаммов чистых культур эктомикоризных грибов.

Таксономический охват коллекции включает около 30 видов, относящихся к 7 родам: *Suillus*, *Amanita*, *Hebeloma*, *Laccaria* и др. Наиболее представлены штаммами виды: *Suillus placidus*, *S. praetermissus*, *S. sibiricus*, *S. phylopietus*, *Amanita muscaria*, *A. crocea*, *A. umbrinolutes*, *Hebeloma incarnatum*, *Laccaria laccata*, *L. bicolor*.

Установлена трофическая связь штаммов с растениями-хозяевами: для *Larix sibirica* – 3 вида грибов (10 штаммов), для *Pinus sylvestris* – 5 видов (11 штаммов), для *Pinus sibirica* – 5 видов (37 штаммов), грибы с широким кругом хозяев – 5 видов (19 штаммов). Для 4 видов (5 штаммов) растение-хозяин уточняется.

Создание и публикация базы данных.

На платформе существующей информационной системы ЮГУ создан специализированный модуль «YSU-C» для каталогизации коллекции живых культур (<http://specify.ugrasu.ru/>) (рис. 8).

Разработана и внедрена структура базы данных, включающая поля для исчерпывающей информации о штамме: данные о происхождении (дата, место сбора, хозяин), морфологические описания, параметры роста, результаты секвенирования (с привязкой исходного файла), фотографии колоний, а также данные экспериментов по микоризации и культивированию.

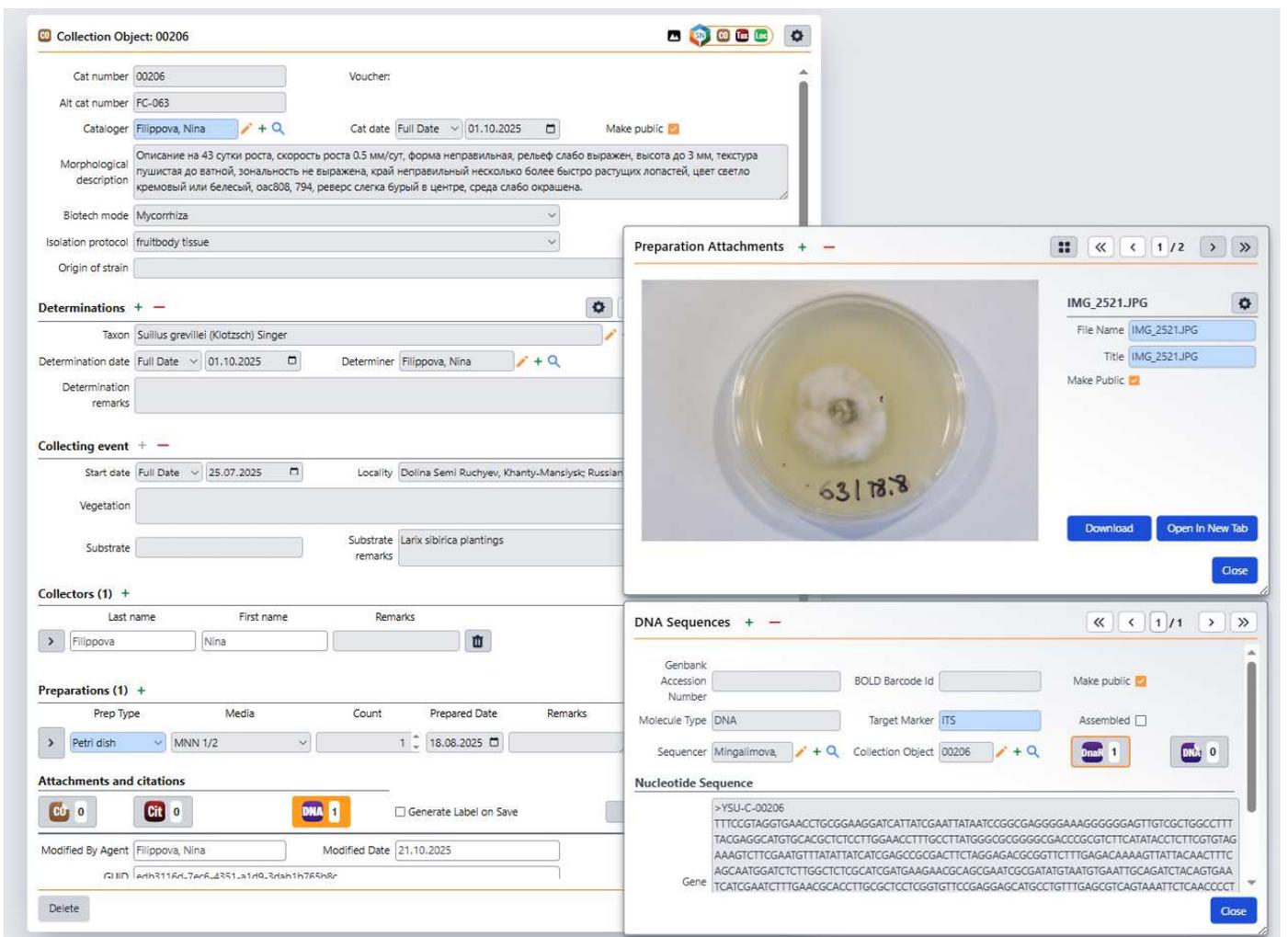


Рисунок 8. Скриншот карточки штамма эктомикоризного вида в информационной системе хранения коллекций ЮГУ Specify (в том числе, данные о происхождении штамма, морфологии, истории хранения и пересевов, прикрепленные изображения и полученный сиквенс)

Обеспечена интеграция с глобальными ресурсами: коллекция опубликована в виде открытого набора данных на портале GBIF (Global Biodiversity Information Facility), что делает ее доступной для мирового научного сообщества и потенциальных интересантов в штаммах (<https://doi.org/10.15468/2jgt8u>).

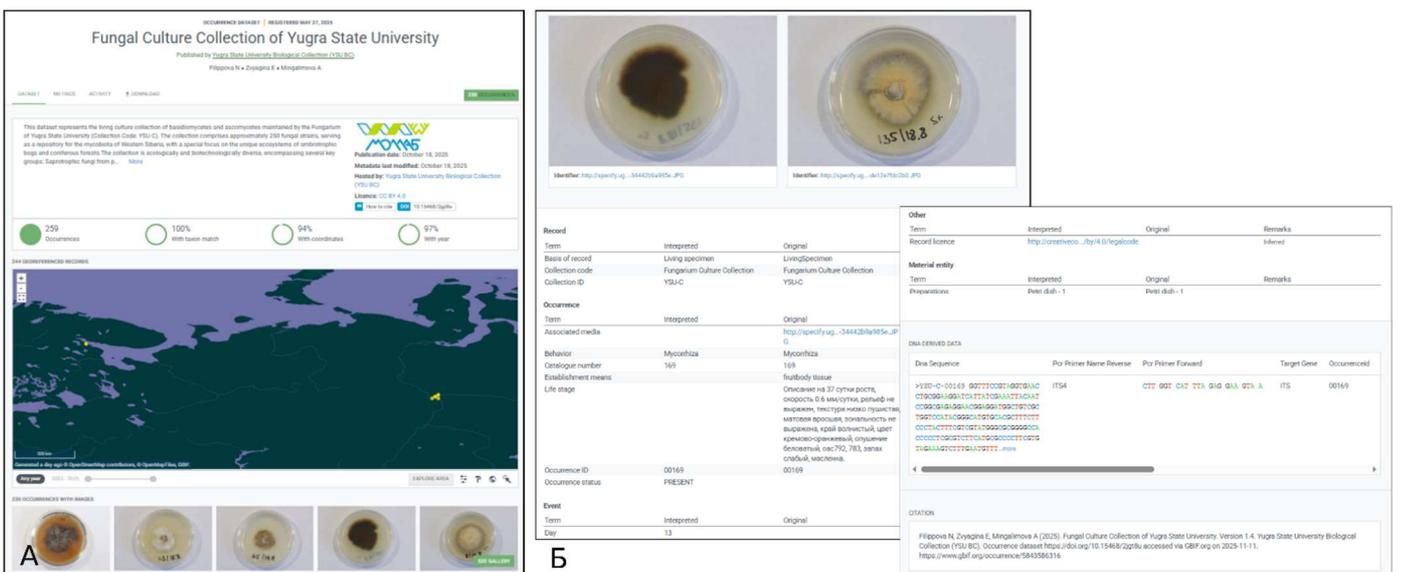


Рисунок 9. Скриншот страниц набора данных коллекции на портале Глобальной информационной системы о биоразнообразии (GBIF): А – главная страница, Б – карточка штамма

Организация системы длительного хранения.

Подобраны оптимальные типы пробирок и сред для хранения. Разработана и внедрена единая система нумерации штаммов. Начаты эксперименты по подбору условий для длительного криоконсервирования (на зерновом субстрате при -80°C). Запланирована отправка дубликатов штаммов в крупные российские коллекции (ВКМ, LE БИН РАН) для обеспечения сохранности и доступности научному сообществу и использованию в биотехнологиях.



Рисунок 10. Фотографии коллекции штаммов в стадии полевого пересева в чашках Петри на агаризованной среде (слева) и очищенной коллекции штаммов с уникальными номерами, подготовленной для длительного хранения (справа)

1.3.4. Разработка и постановка экспериментов по микоризации *in vitro*

Данное направление было инициировано досрочно, как только появились первые чистые культуры, что свидетельствует об опережающем выполнении задач.

Эксперименты по микоризации (ризотронные системы).

Освоены методики стерилизации, стратификации (с сохранением стерильности в течение 3 месяцев) и проращивания семян древесных пород (сосна кедровая сибирская, сосна обыкновенная, лиственница сибирская) (рис. 11). Для стерилизации использовались растворы гипохлорита натрия, спирта и перекиси водорода; стратификацию проходили в течении 3х месяцев в холодильнике при +5С, при этом семенам была обеспечена индивидуальная стерильность в пробирках эппендорф на голодном агаре (рис. 12). Прорастание семян после стратификации начиналось уже в холодильнике. Остается недостаточно изученной проблема высокого процента общей не всхожести семян (около 70% не всхожих семян сосны и лиственницы, 85% семян березы), что вероятно связано с источником и потенциальным несоблюдением условий заготовки (семена закуплены, а не собраны самостоятельно).

ID	Вид семян	Кол-во	Тип обработки	Тара и среда	Дата нача	15 VIII	18 VIII	20 VIII	21 VIII	23 VIII	25 VIII	27 VIII	2 IX	10 IX	29 IX	28 X	05 XI	
1	<i>Betula pendula</i>	150	дезинфекция 2% гипохлорит натрия 10 мин; дезинфекция спирт	пробирки гол агар (по 2-3 семечка в пробирке), в крышке	11.08.2025	нет прорастания, 3	проросла 1 шт	проросло 2 шт, 2	проросло 2 шт			3 конт удалена		2 проросло, 2 из	все удалены			
2	<i>Betula pendula</i>	90	дезинфекция 2% гипохлорит натрия 10 мин; дезинфекция спирт	пробирки гол агар (по 2-3 семечка в пробирке), в крышке	11.08.2025	нет прорастания	проросла 1 шт, 1	проросло 4 шт, 1	проросло 1 шт, 3			2 конт удалена			все удалены			
3	<i>Pinus sylvestris</i>	222	дезинфекция 5% гипохлорит натрия 10 мин; дезинфекция спирт	пробирки гол агар (по 2-3 семечка в пробирке), в крышке	11.08.2025	нет прорастания	проросла 1 шт					1 наклевывание			15 наклов	10 пророс	6 пророс	
4	<i>Larix sibirica</i>	192	дезинфекция 5% гипохлорит натрия 10 мин; дезинфекция спирт	пробирки гол агар (по 2-3 семечка в пробирке), в крышке	11.08.2025	нет прорастания	проросла 1 шт					1 наклевывание			15 пророс	12 проросконт, удал		
5	<i>Pinus sibirica</i>	48	дезинфекция 5% гипохлорит натрия 10 мин; дезинфекция спирт	пробирки гол агар (по 1 орешек), в крышке пробирок проделаны	11.08.2025	нет прорастания						3 наклевывание, 5 конт удалена	1 пророс	5 пророс	2 конт уда	14 контадыдущей		
6	<i>Betula pendula</i>	48	дезинфекция 2% гипохлорит натрия 10 мин; дезинфекция спирт	пробирки гол агар (по 2-3 семечка в пробирке), в крышке	11.08.2025			проросло 1 шт	проросло 3 шт, 1	проросло 2 шт, 1	проросла	5 конт удалена		11 конт у	все удалены			
7	<i>Pinus sylvestris</i>	72	дезинфекция 5% гипохлорит натрия 10 мин; дезинфекция спирт	пробирки гол агар (по 2-3 семечка в пробирке), в крышке	11.08.2025							2 наклевывание	1 пророс			2 пророс	см выше	
8	<i>Larix sibirica</i>	48	дезинфекция 5% гипохлорит натрия 10 мин; дезинфекция спирт	пробирки гол агар (по 2-3 семечка в пробирке), в крышке	11.08.2025							наклевывание			2 пророс	5 пророс	6 пророс	1 пророс

Рисунок 11. Фрагмент таблицы параметров обработки семян (стерилизации и стратификации) и мониторинга прорастания в течении 3х месяцев

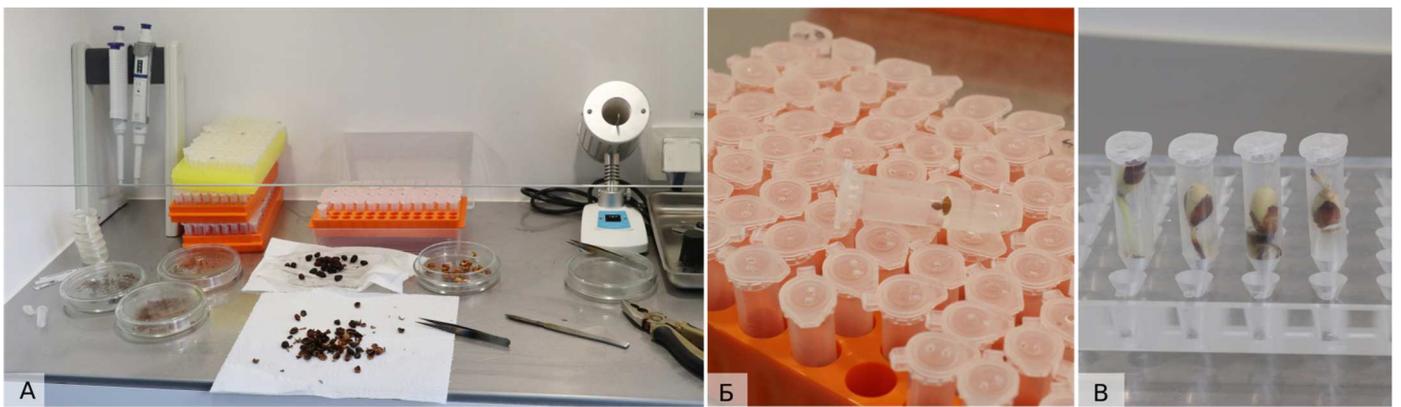


Рисунок 12. Фотографии протокола подготовки семян для создания экспериментальных систем по микоризации (ризотронов): А – общий вид рабочего места в процессе стерилизации, Б – система индивидуальной стерильности во время стратификации, В – пример проросших семян после 3х месячной стратификации

Методом последовательных экспериментов была подобрана оптимальная система культивирования сеянцев. Тестировались различные типы емкостей (чашки Петри, пробирки, флаконы) и субстраты (агаризованная среда, торф, вермикулит, перлит и их смеси). Наилучшие результаты по выживаемости сеянцев и удобству наблюдения за корневой системой показали фитильные стаканы объемом 0.5 л, заполненные стерильным субстратом «торф : вермикулит» в соотношении 2:1 с добавлением питательной среды.

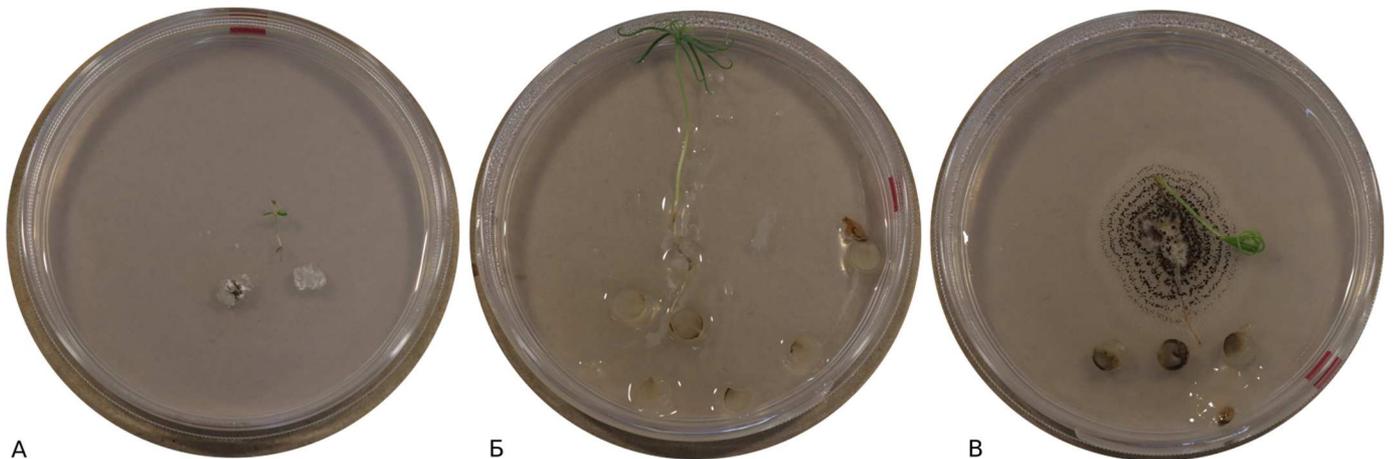


Рисунок 13. Пример ризотронов (систем для наблюдения микоризации хозяина штаммом) в чашках Петри: А – успешный вариант с *Amanita muscaria* + *Betula*, Б – успешный вначале (но позже сосна перерастает) с *Suillus luteus* и *P. sylvestris*, В – неуспешный вариант контаминации в ризотроне.

Постановка масштабного эксперимента:

Создана таблица для мониторинга параметров каждого ризотрона, в которой отражены параметры вариантов эксперимента и последовательный мониторинг систем в течении 2-3 месяцев (рис. 14).

ID	Тара	Номер штамма	Вид гриба	Дерево	Семена	Среда	25 IX	12 IX	15 IX	26 IX	03 X	29 X	VII X
17	ЧП 10	63	S grevillei			Среда для микоризации + целлофан							
18	ЧП 10	63	S grevillei			Среда для микоризации	Посев	Посев					
19	ЧП 10	89	A regalis	Betula		Среда для микоризации							
20	ЧП 10	89	A regalis	Betula		Среда для микоризации + целлофан							
21	ЧП 10	99	A muscaria	Betula		Среда для микоризации							
22	ЧП 10	99	A muscaria	Betula		Среда для микоризации + целлофан							
23	ЧП 10	68	A regalis	Betula		Среда для микоризации							Березу, ризотр
24	ЧП 10	68	A regalis	Betula		Среда для микоризации + целлофан							
25	ЧП 10	85	A muscaria	Betula		Среда для микоризации							
26	ЧП 10	85	A muscaria	Betula		Среда для микоризации + целлофан							
27	ЧП 10	134	A muscaria	Betula		Среда для микоризации							
28	ЧП 10	134	A muscaria	Betula		Среда для микоризации + целлофан							
29	ЧП 10	132	S variegatus	P sylvestris		Среда для микоризации + целлофан							
30	ЧП 10	63	S grevillei	L sibirica		Среда для микоризации + целлофан							
31	ЧП 10	63	S grevillei	L sibirica		Среда для микоризации + целлофан							
32	Стакан	YSU-C-00269	S luteus	P sylvestris	Семена ID 3.	Торф + вермикулит 4 мм (3 : 1) влажность							Посев прори
33	Стакан	YSU-C-00269	S luteus	P sylvestris	Семена ID 3.	Торф + вермикулит 4 мм (3 : 1) влажность							Посев прори
34	Стакан	YSU-C-00269	S luteus	P sylvestris	Семена ID 3.	Торф + вермикулит 4 мм (3 : 1) влажность							Посев прори
35	Стакан	YSU-C-00269	S luteus	P sylvestris	Семена ID 3.	Торф + вермикулит 4 мм (3 : 1) влажность							Посев прори
36	Стакан	YSU-C-00269	S luteus	P sylvestris	Семена ID 3.	Торф + вермикулит 4 мм (3 : 1) влажность							Посев прори
37	Стакан	YSU-C-00269	S luteus	P sylvestris	Семена ID 3.	Торф + вермикулит 4 мм (3 : 1) влажность							Посев прори
38	Стакан		контроль	P sylvestris	Семена ID 3.	Торф + вермикулит 4 мм (3 : 1) влажность							Посев прори
39	Стакан		контроль	P sylvestris	Семена ID 3.	Торф + вермикулит 4 мм (3 : 1) влажность							Посев прори
40	Стакан		контроль	P sylvestris	Семена ID 3.	Торф + вермикулит 4 мм (3 : 1) влажность							Посев прори
41	Стакан		контроль	P sylvestris	Семена ID 3.	Торф + вермикулит 4 мм (3 : 1) влажность							Посев прори
42	Стакан		контроль	P sylvestris	Семена ID 3.	Торф + вермикулит 4 мм (3 : 1) влажность							Посев прори
43	Стакан		контроль	P sylvestris	Семена ID 3.	Торф + вермикулит 4 мм (3 : 1) влажность							Посев прори
44	Стакан	YSU-C-00269	S luteus	P sylvestris	Семена ID 3.	Торф + вермикулит 4 мм (3 : 1) влажность							Посев прори
45	Стакан	YSU-C-00269	S luteus	P sylvestris	Семена ID 3.	Торф + вермикулит 4 мм (3 : 1) влажность							Посев прори
46	Стакан	YSU-C-00271	S grevillei	L sibirica	Семена ID 4.	Торф + вермикулит 4 мм (3 : 1) влажность							Посев прори
47	Стакан	YSU-C-00271	S grevillei	L sibirica	Семена ID 4.	Торф + вермикулит 4 мм (3 : 1) влажность							Посев прори
48	Стакан	YSU-C-00271	S grevillei	L sibirica	Семена ID 4.	Торф + вермикулит 4 мм (3 : 1) влажность							Посев прори
49	Стакан	YSU-C-00271	S grevillei	L sibirica	Семена ID 4.	Торф + вермикулит 4 мм (3 : 1) влажность							Посев прори

Рисунок 14. Фрагмент таблицы параметров экспериментов с ризотронными системами для микоризации семян выделенными штаммами

В лаборатории развернут специализированный стеллаж с системой фитоподсветки, обеспечивающий необходимый фотопериод для роста семян. Каждый вариант эксперимента (ризотрон) снабжен этикеткой с баркодом для оптимизации мониторинга. (рис. 15)

На данный момент в активной фазе находятся эксперименты с 75 ризотронами. К концу года планируется выйти на 150 вариантов, что обеспечит необходимую повторность для статистической достоверности. Первые партии, заложенные в сентябре, будут проанализированы в конце декабря 2025 – январе 2026 года. Основная масса экспериментов, заложенная в ноябре, будет оценена в январе-феврале 2026 года.



Рисунок 15. Пример ризотронов разного типа, используемые в экспериментах микоризации семян выделенными штаммами эктомикоризных грибов: А – в пробирках эппендорф (на примере семян томата), Б – в фитильных прозрачных стаканах со смесью перлит:вермикулит (сеянцы сосны), В – в фитильных темных стаканах со смесью торф:перлит (сеянцы сосны, кедр, лиственницы).

1.3.5. Эксперименты по массовому культивированию мицелия (задел для создания препарата)

Отработка методов размножения.

Первый эксперимент по наработке биомассы мицелия в жидких питательных средах на качалках-шейкерах завершился неудачно из-за высокой чувствительности многих микоризных видов к механическому стрессу и недостатку кислорода. В планах – повторение экспериментов с использованием аэрируемых колб, а также с подбором менее агрессивных условий.

Начаты эксперименты по выращиванию мицелия на твердых стерильных носителях (рис. 16). В качестве основы тестируются смеси торфа и вермикулита в разных соотношениях, с добавлением и без питательных добавок. Культивирование ведется в различной таре: пакеты для грибов объемом 1 и 5 л, банки объемом 0.5 л. В текущем эксперименте задействовано 30 повторностей,

планируется расширение до 50. Ведутся работы по подбору новых перспективных субстратов: на основе зерна, опилок хвойных пород, шишко-опилок, и др.

#	ID	Тара	Среда	Общий объем среды	Стерилизация	Вид	#	Штамм	Дата посева	Как посеян
1		Мицелиальный мешок S	Торф:вермикулит (3:1); торф влажность как в з	4 л	30 мин 120С 1.5 атм	S pictus	160		01.11.2025	12 агар-дисков, перемешивание всей массы т
2		Мицелиальный мешок S	Торф:вермикулит (2:1); торф влажность как в з	3 л	30 мин 120С 1.5 атм	S placidus	278		01.11.2025	12 агар-дисков, перемешивание всей массы т
3		Мицелиальный мешок S	Торф:вермикулит (3:1); торф влажность как в з	3 л	30 мин 120С 1.5 атм	S punctipes	183		01.11.2025	12 агар-дисков, перемешивание всей массы т
4		Банка 0.5 л с крышкой твист	Торф:вермикулит (2:1) (2 л торфа, 1 л вермику	0.4 л	30 мин 120С 1.5 атм	S placidus	199		06.11.2025	кусочки шпательем, перемешивание
5		Банка 0.5 л с крышкой твист	Торф:вермикулит (2:1) (2 л торфа, 1 л вермику	0.4 л	30 мин 120С 1.5 атм	S placidus	199		06.11.2025	кусочки шпательем, перемешивание
6		Банка 0.5 л с крышкой твист	Торф:вермикулит (2:1) (2 л торфа, 1 л вермику	0.4 л	30 мин 120С 1.5 атм	S placidus	199		06.11.2025	кусочки шпательем, перемешивание
7		Банка 0.5 л с крышкой твист	Торф:вермикулит (2:1) (2 л торфа, 1 л вермику	0.4 л	30 мин 120С 1.5 атм	S placidus	199		06.11.2025	кусочки шпательем, перемешивание
8		Банка 0.5 л с крышкой твист	Торф:вермикулит (2:1) (2 л торфа, 1 л вермику	0.4 л	30 мин 120С 1.5 атм	S placidus	199		06.11.2025	кусочки шпательем, перемешивание
9		Банка 0.5 л с крышкой твист	Торф:вермикулит (2:1) (2 л торфа, 1 л вермику	0.4 л	30 мин 120С 1.5 атм	S placidus	199		06.11.2025	кусочки шпательем, перемешивание
10		Банка 0.5 л с крышкой твист	Торф:вермикулит (2:1) (2 л торфа, 1 л вермику	0.4 л	30 мин 120С 1.5 атм	S placidus	277		06.11.2025	кусочки шпательем, на поверхность
11		Банка 0.5 л с крышкой твист	Торф:вермикулит (2:1) (2 л торфа, 1 л вермику	0.4 л	30 мин 120С 1.5 атм	S placidus	277		06.11.2025	кусочки шпательем, на поверхность
12		Банка 0.5 л с крышкой твист	Торф:вермикулит (2:1) (2 л торфа, 1 л вермику	0.4 л	30 мин 120С 1.5 атм	S placidus	277		06.11.2025	кусочки шпательем, на поверхность
13		Банка 0.5 л с крышкой твист	Торф:вермикулит (2:1) (2 л торфа, 1 л вермику	0.4 л	30 мин 120С 1.5 атм	S placidus	277		06.11.2025	кусочки шпательем, на поверхность
14		Банка 0.5 л с крышкой твист	Торф:вермикулит (2:1) (2 л торфа, 1 л вермику	0.4 л	30 мин 120С 1.5 атм	S placidus	277		06.11.2025	кусочки шпательем, на поверхность

Рисунок 16. Фрагмент таблицы для записи параметров и результатов экспериментов по наработке биомассы мицелия на различных носителях

1.3.6. Молекулярно-генетический анализ микоризных сообществ (метабаркодинг)

Несмотря на смещение акцентов, по данному направлению достигнуты результаты, частично на основе материалов, собранных до начала гранта.

Анализ существующих данных.

Завершена обработка и анализ данных метабаркодинга (технология Illumina MiSeq) сообщества грибов верховых болот, отобранных до начала проекта (25 проб корневых окончаний сосны и кедра, отобранные на карбоновом полигоне «Мухрино»). Результаты опубликованы в виде набора данных, а также представлены в научной статье, которая в настоящее время находится на стадии рецензирования. В статье, помимо прочего, проанализирована доля микоризных таксонов, их состав и структура в зависимости от растения-хозяина, влияние фенологического фактора и пространственная изменчивость сообщества.

Обработан и опубликован в GBIF второй массив данных – тотальное секвенирование (технология Nanopore MinION) сообществ грибов из различных типов хвойных лесов Ханты-Мансийска (отобранных на площадках постоянного мониторинга окр. стационара в пос. Шапша). Выделение и целенаправленный анализ микоризной составляющей из этого массива данных запланирован на 2026 год.

В результате проведенного анализа сообществ грибов корневых окончаний сосны и кедра в заболоченных местообитаниях описан их состав, отличия от сообществ других субстратов (торфа, опада, древесины), проанализированы значимые экологические факторы (влияние хозяина, сезона и географического положения) на состав сообщества микоризных окончаний (рис. 17). В ризосфере микоризных окончаний выявлено в среднем 68 таксона грибов (со стандартным отклонением 39 между пробами), при этом по экологическим группам преобладают сапротрофы (54%) и патогены (14%), в то время как собственно микоризные виды составляют 30%. Среди микоризных видов здесь преобладают рода *Cortinarius*, *Hebeloma* и *Suillus*.

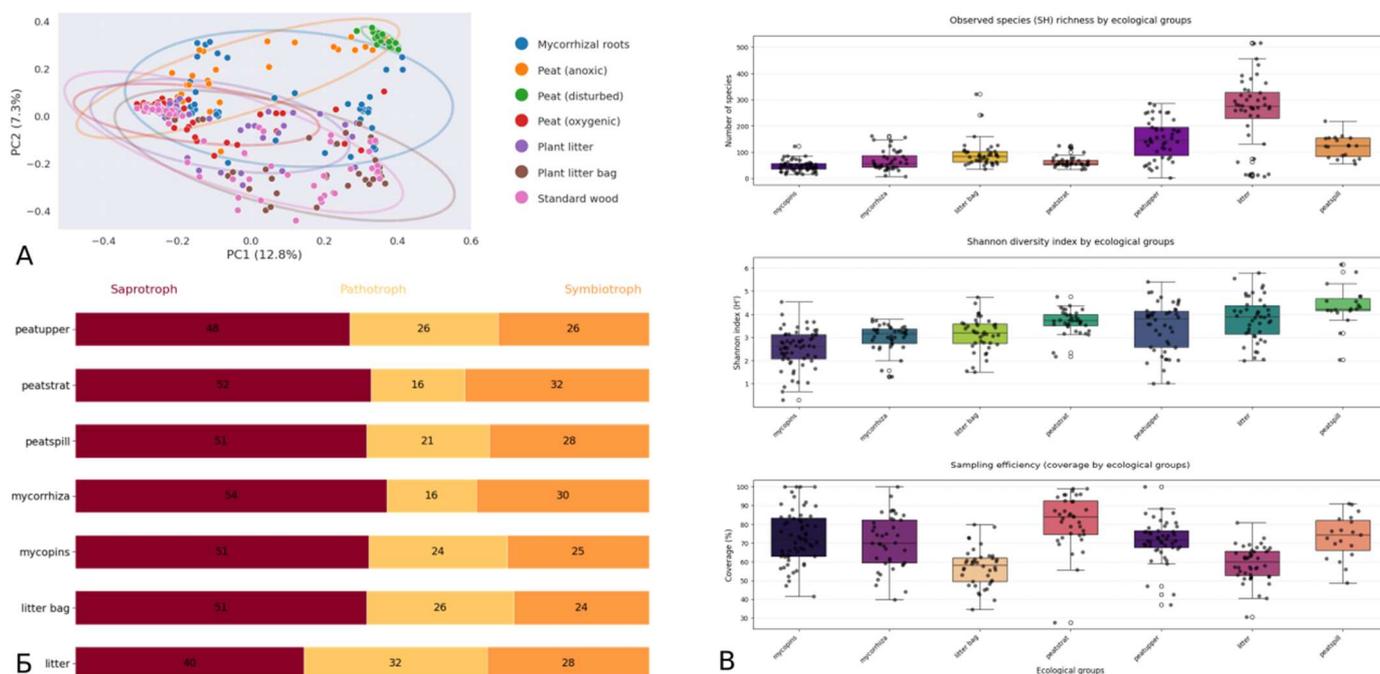


Рисунок 17. Результат анализа сообщества грибов микоризных окончаний сосны и кедра в заболоченных лесах (рямах), выполненный по секвенированию тотальной ДНК (метабаркодингу): А – ординация проб разных субстратов, в том числе микоризных корешков (голубой), Б – экологический анализ соотношения трех экогрупп грибов в разных субстратах, В – анализ разнообразия по основным субстратам, в том числе микоризных корешков (второй столбец).

Новые сборы и сотрудничество.

В сентябре 2025 г. в рамках акций «СохранимЛеса» и «Спасти и Сохранить» мы приняли участие в компенсационных лесопосадках в окр. г. Ханты-Мансийска, где было отобрано около 30 семян кедра (рис. 18). Проведено пилотное секвенирование фрагментов корней по Сэнгеру, которое подтвердило наличие микоризных грибов (*Suillus*, *Rhizopogon*). Полномасштабный метабаркодинг этих проб запланирован на конец 2025 года.

Заключен договор безвозмездного оказания услуг с ООО «Микобакс» (Томск). Получено 15 проб корневых окончаний с опытных площадок применения их микоризного препарата (питомник в Республике Карелия). Материал готовится к секвенированию, что откроет возможности для совместных публикаций.



Рисунок 18. Отбор проб микоризных окончаний кедра на компенсационных посадках в районе г. Ханты-Мансийска (посадка в рамках акции СохранимЛес): А – общий вид лесопосадки, Б – сеянцы изъятые на анализ микоризы, В – морфология микоризных окончаний

1.3.7. Пилотное исследование по оценке биомассы микоризных грибов в почве

Была апробирована методика «силикатных мешочков» (in-growth mesh bags), принятая в мировой практике. Весной было подготовлено и установлено на площадках отбора проб 40 мешочков (по 20 на лесную и болотную экосистемы) (рис. 19).

После 3-месячной инкубации мешочки были извлечены. Первичный микроскопический анализ подтвердил активное вращение грибного мицелия в прокаленный песок.

Однако последующий посев песчинок на агар выявил присутствие сапротрофных грибов, что ставит под вопрос специфичность метода для микоризных грибов в условиях наших экосистем. Для решения этой проблемы запланировано проведение метабаркодинга тотальной ДНК из содержимого мешочков, что позволит количественно оценить соотношение микоризных и сапротрофных компонентов и принять решение о целесообразности определения биомассы по методу эргостерола.

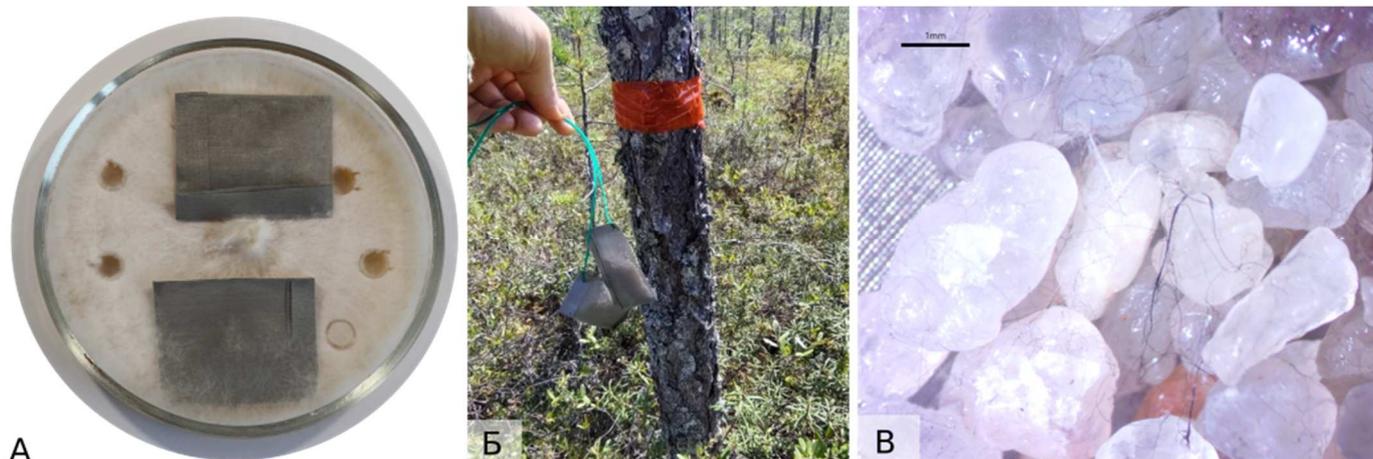


Рисунок 19. Использование силикатных мешочков как метода селективной оценки биомассы эктомикоризных грибов в почвах: А – пилотный эксперимент по колонизации мешочка *in vitro*, Б – начало инкубации в июне 2026 года, площадка в сосновом болоте, В – песок из мешочка после инкубации 3 месяцев, видны гифы мицелия между песчинками

1.4. Сведения о достигнутых конкретных научных результатах в отчетном году (до 5 стр.)

1. Создана первая в регионе специализированная коллекция чистых культур эктомикоризных грибов, обладающая значительным биотехнологическим потенциалом.

Ключевой количественный результат: получено и верифицировано 82 штамма чистых культур, что составляет 41% от планового показателя на два года (200 штаммов). Данный темп является высоким для стартового года, учитывая новизну методик для коллектива.

Качественная новизна: коллекция не просто создана, но и всесторонне охарактеризована (морфология, скорость роста, молекулярная идентификация). Задokumentированы особенности роста на разных средах и значительные внутривидовые различия в скорости роста (от 0.1 до 1.0 мм/сутки), что является первичным критерием для отбора перспективных штаммов для создания препаратов.

Научная значимость: коллекция представляет собой уникальный ресурс для фундаментальных и прикладных исследований экто-микоризы в Сибири. Ее создание восполняет существовавший пробел в инфраструктуре для развития микотехнологий в регионе.

2. Внедрена комплексная система управления коллекцией чистых культур, соответствующая международным стандартам.

Результат: разработана и внедрена цифровая платформа (YSU-C) для хранения паспортных данных штаммов, интегрированная с глобальной информационной системой GBIF.

Соответствие мировым стандартам: публикация данных в GBIF обеспечивает их доступность, обнаружимость и цитируемость для мирового научного сообщества, что полностью соответствует принципам открытой науки и правилу FAIR (Findable, Accessible, Interoperable, Reusable).

3. Разработана и апробирована стерильная ризотронная система для скрининга эффективности штаммов *in vitro*.

Методом последовательных экспериментов подобрана и внедрена система на основе фитильных стаканов, позволяющая в контролируемых условиях оценивать успешность микоризации разных пар «дерево-гриб».

Данная система является ключевым инструментом для выполнения задач второго года проекта по апробации микоризного препарата в мезокосме (доказательств эффективности препарата и оценки количественных параметров). Ее создание досрочно обеспечило технологический задел для будущих работ.

4. Получены новые фундаментальные данные о биоразнообразии эктомикоризных грибов в лесных экосистемах Ханты-Мансийского автономного округа.

Результат: обработаны и опубликованы два массива данных метабаркодинга, охватывающих сообщества эктомикоризных грибов верховых болот и хвойных лесов. Подготовлена к публикации научная статья.

Научная новизна: несмотря на сужение географического охвата в полевом сезоне, получены первые детальные данные о составе микоризных сообществ, ассоциированных с основными лесообразующими породами в окрестностях Ханты-Мансийска, выполненные с применением современных молекулярных методов.

1.5. Описание выполненных в отчетном году работ и полученных научных результатов для публикации на сайте Фонда научно-технологического развития Югры⁵
*на русском языке*⁶

В 2025 году научным коллективом Югорского государственного университета под руководством кандидата биологических наук Н.В. Филипповой были успешно выполнены работы в рамках первого года проекта по разработке инновационных микоризных препаратов.

 Основные достижения и результаты:

Создана уникальная коллекция штаммов микоризных грибов. Выделено и верифицировано 82 штамма чистых культур эктомикоризных грибов, ассоциированных с основными древесными породами региона (сосной сибирской, сосной обыкновенной, лиственницей сибирской, березой повислой). Коллекция представляет собой ценнейший ресурс для развития биотехнологий в Югре.

Внедрены современные молекулярно-генетические методы в изучение микоризных сообществ округа. Использование технологий секвенирования второго и третьего поколений (Nanopore MinION, Сэнгер) и метабаркодинга позволило идентифицировать виды грибов и проанализировать состав микоризных сообществ в лесных экосистемах округа.

Впервые отработана методика стерильного культивирования сеянцев и оценки эффективности микоризации в контролируемых условиях (ризотронные системы), что является ключевым этапом для скрининга эффективных штаммов.

Разработан специализированный модуль «YSU-C» в информационной системе биологической коллекции ЮГУ, обеспечивающий хранение и управление данными о коллекции штаммов. Данные опубликованы в открытом доступе на международном портале GBIF, что соответствует принципам открытой науки.

Начаты эксперименты по созданию препарата как рыночного продукта. Отработаны протоколы массового культивирования мицелия на различных твердых носителях (торф, вермикулит), что

⁵ С обязательным указанием, разработанных новых технологий, моделей, методов, подходов, публикаций в ведущих научных журналах, поданных заявках на получение результатов интеллектуальной деятельности, количестве участников конференций и школ

⁶ До 3 страниц текста, также указываются ссылки на информационные ресурсы в сети Интернет (url-адреса), посвященные проекту.

закладывает основу для разработки линейки будущих микоризных препаратов для разных условий и древесных культур.

Научные публикации и разработки

По результатам проекта опубликовано 4 статьи в рецензируемых научных журналах, индексируемых в международных базах данных (Web of Science, Scopus).

Зарегистрировано Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2025665188 «ArrheniaNGS» – уникальный биоинформатический пайплайн для обработки данных метабаркодинга грибных сообществ.

Опубликовано 3 набора данных в GBIF, обеспечивающих доступность и воспроизводимость результатов исследований для мирового научного сообщества.

Участие в научной жизни

Результаты проекта были представлены на 9 научных мероприятиях, включая всероссийские конференции с международным участием, региональные семинары, а также на акселераторе технологических стартапов в Югре.

Проведены 2 научных семинара и организована выставка для популяризации знаний о микоризе среди широкой аудитории.

Практическая значимость и перспективы

Разработка микоризных препаратов направлена на решение практических задач региона:

- Повышение эффективности лесовосстановления и приживаемости сеянцев в условиях Севера Западной Сибири.
- Реализация климатических проектов за счет увеличения углерод-депонирующего потенциала лесов.
- Развитие биотехнологического направления и создание нового конкурентоспособного продукта для лесного хозяйства.

Научный коллектив выражает благодарность Фонду научно-технологического развития Югры за поддержку и возможность реализации данного проекта.

Ссылки на информационные ресурсы:

Набор данных коллекции чистых культур на GBIF: <https://doi.org/10.15468/2jgt8u>

Новость о победе в конкурсе грантов на сайте ЮГУ: <https://www.ugrasu.ru/news/science/proekt-uchenyogo-yugu-vyigral-grant-fonda-nauchno-tekhnologicheskogo-razvitiya-yugry/>

Новость на портале карбоновых полигонов: <https://carbon-polygons.ru/news/uchenyie-yugu-razrabotayut-mikoriznyie-preparaty-dlya-klimaticheskix-proektov-po-lesovosstanovleniyu-v-usloviyax-severa-zapadnoj-sibiri>

Страница проекта на сайте Лаборатории микологии и микотехнологии Высшей экологической школы ЮГУ: <https://fungariumysu.org/mycorrhiza/>

Анонс экспозиции о проекте («Подземный союз – как грибы спасают леса и климат»): <https://sibmyco.org/museum/mycorrhiza/>

на английском языке

In 2025, the research team of Yugra State University, led by PhD in Biological Sciences Nina V. Filippova, successfully completed the first year of the project aimed at developing innovative mycorrhizal preparations.

✔ Key Achievements and Results:

A unique strain collection created. 82 living strains of pure cultures of ectomycorrhizal fungi associated with the main tree species of the region were isolated and verified. This collection is a valuable resource for the development of biotechnology in Yugra region.

Modern molecular genetic methods implemented for mycorrhizal research. The use of sequencing technologies (Nanopore MinION, Sanger sequencing) and metabarcoding enabled precise species identification and analysis of mycorrhizal communities in the region's forest ecosystems.

An experimental system developed and tested. A methodology for sterile cultivation of seedlings and evaluation of mycorrhiza formation under controlled conditions (rhizotron system) was developed for the first time, representing a key stage for screening effective strains.

A digital database created. A specialized module "YSU-C" was developed for storing and managing collection data. The data was published in open access on the international GBIF portal, aligning with the principles of open science.

Experiments for preparation development initiated. Protocols for mass cultivation of mycelium on various solid carriers (peat, vermiculite) were developed, laying the groundwork for formulating the future mycorrhizal preparation.

📄 Scientific publications:

Totally four articles were published in peer-reviewed scientific journals indexed in international databases (Web of Science, Scopus) as a result of the project.

Certificate of State Registration of Software No. 2025665188 for "ArrheniaNGS" – a unique bioinformatics pipeline for processing fungal community metabarcoding data.

Three datasets were published on GBIF, ensuring the accessibility and reproducibility of research results for the global scientific community.

🗣️ Participation in scientific community

The project results were presented at 9 scientific events, including all-Russian conferences with international participation, regional seminars, and an accelerator for tech startups in Yugra.

2 scientific workshops were held and an popular exhibition was organized to popularize knowledge about mycorrhiza among the general public.

🌱 Practical significance and prospects:

The development of mycorrhizal preparations aims to address practical challenges of the region:

1. Enhancing the efficiency of reforestation and seedling survival in the conditions of Western Siberia's North.
2. Contributing to climate projects by increasing the carbon sequestration potential of forests.
3. Developing the biotechnological sector and creating a new competitive product for the forestry industry.

The research team expresses its gratitude to the Foundation for Scientific and Technological Development of Yugra for its support and the opportunity to implement this project.

🔗 Links to Information Resources:

Pure culture collection dataset on GBIF: <https://doi.org/10.15468/2jgt8u>

News about the grant award on the YSU website: <https://www.ugrasu.ru/news/science/proekt-uchyenogo-yugu-vyigral-grant-fonda-nauchno-tekhnologicheskogo-razvitiya-yugry/>

News on the Carbon Polygons portal: <https://carbon-polygons.ru/news/uchenyie-yugu-razrabotayut-mikoriznyie-preparaty-dlya-klimaticheskix-proektov-po-lesovosstanovleniyu-v-usloviyax-severa-zapadnoj-sibiri>

The project page on the website of the Mycology and Mycotechnology Laboratory of the Higher School of Ecology at SUSU: <https://fungariumysu.org/mycorrhiza/>

Announcement of the project exhibition ("Underground Union – How Mushrooms Save Forests and the Climate"): <https://sibmyco.org/museum/mycorrhiza/>

1.6. Файл с дополнительными материалами (дополнительных графических материалов к отчету по проекту, файл размером до 3 Мб в формате pdf).

Презентация проекта Микорост: Биотехнологические решения для эффективного лесовосстановления и устойчивого лесоводства, подготовленная на выступление в финале Акселератора технологических стартапов в Югре (21 ноября 2025 года)

1.7. Перечень публикаций за год по результатам проекта⁷:

Статьи и тезисы с указанием финансовой поддержки от Фонда:

1. (статья WoS Q2) **Zvyagina EA**, Sazanova NA, 2025. *Suillus kovalenkoi* (Boletales, Agaricomycetes), a new *Larix*-associated species from North Asia // *Phytotaxa*, 702 (3), <https://doi.org/10.11646/phytotaxa.702.3.1>
2. (статья WoS Q3) **Zvyagina E. A.**, Rebriev Yu A., 2025. Updated data on the diversity and distribution of *Lycoperdon* s. l. in Russia, with the description of a new species, *Lycoperdon bulakhiae* // *Микология и фитопатология*, 59 (3), 10.31857/S0026364825030033
3. (статья WoS Q3) Shiryaeva O, **Filippova N**, 2025. New data on species list of the agarics and boletes (Basidiomycota) of Sverdlovsk Region (Russia) // *Novosti sistematiki nizshikh rastenii*, 59(2), <https://doi.org/10.31111/nsnr/2025.59.2.F31>
4. (статья WoS Q3) Volobuev S.V., Svetasheva T.Yu., Kalinina L.B., Kapitonov V.I., Rebriev Yu.A., Ezhov O.N., **Zvyagina E.A.**, Vlasenko V.A., Zmitrovich I.V., Voronina E.Yu., **Filippova N.V.**, Vaishlya O.B., Khimich Yu.R., Shakhova N.V., Vlasenko A.V., Enushchenko I.V., Bolshakov S.Yu., 2025. New species for regional mycobiotas of Russia. 10. Report 2025. // *Микология и фитопатология*, 59(6), 10.31857/S0026364825060019.
5. (тезисы) **Филиппова НВ, Звягина ЕА**, Мингалимова АИ, 2025. Баркодинг коллекции образцов и культур грибов на севере западной сибире: протоколы молекулярной работы, хранения и публикации данных // *Микробные симбиозы в природных и экспериментальных экосистемах. Материалы научных докладов Пятой всероссийской молодежной школы-конференции с международным участием. Оренбург, ИКВС УрО РАН, 2025*

Базы данных:

Filippova N, Zvyagina E, Ishmanov T, Rudykina E (2025). eDNA-based occurrence dataset on fungi from forest monitoring plots in Northwestern Siberia. Version 1.3. Yugra State University Biological Collection (YSU BC). Occurrence dataset <https://doi.org/10.15468/92bmz3> accessed via GBIF.org on 2025-11-12.

Filippova N, Zvyagina E, Ishmanov T, Rudykina E, Dobrynina A (2025). eDNA-based occurrence dataset on peatland fungal communities studied by metabarcoding in Northwestern Siberia. Version 1.18. Yugra State University Biological Collection (YSU BC). Occurrence dataset <https://doi.org/10.15468/s2pkfk> accessed via GBIF.org on 2025-11-12.

Filippova N, Zvyagina E, Mingalimova A (2025). Fungal Culture Collection of Yugra State University. Version 1.4. Yugra State University Biological Collection (YSU BC). Occurrence dataset <https://doi.org/10.15468/2jgt8u> accessed via GBIF.org on 2025-11-11.

1.8. Информация о заявке на результаты интеллектуальной деятельности, созданные при выполнении проекта:

⁷ Для каждой публикации необходимо указать на языке оригинала: автора/авторов, название публикации, название журнала, год публикации, том, номер, страницы, ссылку на информационные ресурсы в сети Интернет (url-адреса), квартал (1, 2, 3, 4) в соответствии базой данных <http://www.scimagojr.com>

Ишманов ТФ, Звягина ЕА, Филиппова НВ. Свидетельство о регистрации государственной программы для ЭВМ № 2025665188 «ArrheniaNGS – Пайплайн для обработки данных метабаркодинга грибов природных сообществ на платформе Illumina MiSeq». Правообладатель: ФГБОУ ВО «Югорский государственный университет»

1.8.1. Авторы результата интеллектуальной деятельности: Ишманов ТФ, Звягина ЕА, Филиппова НВ

1.8.2. Вид результата интеллектуальной деятельности; программы для ЭВМ

1.8.3. Название результата интеллектуальной деятельности: ArrheniaNGS – Пайплайн для обработки данных метабаркодинга грибов природных сообществ на платформе Illumina MiSeq

1.8.4. Дату заявки на регистрацию результата интеллектуальной деятельности: 30 мая 2025 года.

1.8.5. Реквизиты (номер заявки): № 2025664005

1.8.6. Перечень правообладателей: ФГБОУ ВО «Югорский государственный университет»

1.9. Информация о презентации достигнутых научных результатов на научных мероприятиях (конференциях, симпозиумах и пр.) (в том числе уровень мероприятия, форма представления – приглашенный доклад, устное выступление, стендовый доклад, ссылки на мероприятие в сети «Интернет»).

1. (акселератор технологических стартапов, устный доклад) **Филиппова НВ**, МИКОРОСТ: Биотехнологические решения для эффективного лесовосстановления и устойчивого лесоводства. Акселератор технологических стартапов в Югре: АУ «Технопарк высоких технологий». Демо-сессия (финал), 21 ноября 2025 года.
2. (всероссийская конференция с международным участием, устный доклад) **Филиппова НВ, Звягина ЕА**, Мингалимова АИ, Пятая всероссийская молодежная научная школа-конференция с международным участием "Микробные симбиозы в природных и экспериментальных экосистемах", 6-10 октября 2025. Оренбург: Баркодинг коллекции образцов и культур грибов на севере Западной Сибири: протоколы молекулярной работы, хранения и публикации данных
3. (всероссийская конференция с международным участием, устный доклад) **Филиппова НВ, Звягина ЕА**, VII Всероссийская конференция с международным участием "Безопасный Север - Чистая Арктика", СурГУ, Сургут, 11-12 декабря 2025 года, 12 декабря 2025. Сургут: Коллекция штаммов эктомикоризных грибов северных регионов для микоризации саженцев сосны и кедра
4. (всероссийская конференция с международным участием, устный доклад) **Звягина ЕА**, Всероссийская научная конференция с международным участием «Изучение и сохранение биоразнообразия Тульской области и других регионов России», посвященная 170-летию академика М.А. Мензбира, 6-8 ноября 2025. Тула: Ручное курирование NGS последовательностей метабаркодинга"
5. (всероссийская конференция, устный доклад) **Филиппова НВ, Звягина ЕА**, Современная микология в России: Мемориальная конференция по микологии, посвященная 25-летию Академии Микологии, 13-15 мая 2025. Москва: Анализ состава и структуры сообщества грибов верхового болота, выполненный на основе данных метабаркодинга
6. (окружное совещание, устный доклад) **Филиппова НВ**, Открытое окружное совещание «Особо охраняемые природные территории Югры», 22 мая 2025. Ханты-Мансийск: Результаты программы оцифровки и публикации онлайн данных коллекций, учетов и мониторинга от научных, образовательных и природоохранных организаций ХМАО-Югры
7. (региональный семинар, устный доклад) **Звягина ЕА**, Круглый стол «Биоразнообразии Югры и сопредельных территорий», 9 июня 2025 года, г. Сургут, Россия, 09.06.2025: Метод метабаркодинга в изучении разнообразия макромицетов. Опыт и перспективы применения
8. (региональный семинар, устный доклад) **Филиппова НВ**, Круглый стол «Биоразнообразии Югры и сопредельных территорий», 9 июня 2025 года, г. Сургут, Россия, 09.06.2024: Биологическая коллекция ЮГУ: система хранения образцов и данных (Югорский государственный университет) (устный доклад)
9. (региональный семинар, устный доклад) **Филиппова НВ**, Научно-методический семинар «Ботанические коллекции Югры», посвященный дню эколога 7 июня 2025 года, г. Сургут, 07.06.2024: Биологическая коллекция ЮГУ: система хранения образцов и данных (Югорский государственный университет)

1.10. Информация о проведенных мероприятиях по популяризации результатов научного проекта для широкой аудитории (уровень и формат мероприятия, форма представления – лекция, доклад, устное выступление, ссылки на мероприятие в сети «Интернет»).

1. Блог «Дневник Микоризы» в аккаунте Лаборатории Микологии и Микотехнологии ВКонтакте: <https://vk.com/molmollab>
2. Выставка: Подземный Союз: как грибы спасают леса и климат (открытие в рамках Фестиваля Грибов 5 сентября 2025 года, экспозиция расположена в фойе Югорского государственного университета до 31 декабря) <https://sibmyco.org/museum/mycorrhiza/>
3. Научный семинар: Методы выделения чистых культур эктомикоризных грибов (20 марта 2025 года, Югорский государственный университет) (<https://fungariumysu.org/moleculab/workhops/>)
4. Научный семинар: Стратегия развития коллекции культур YSU-F (23 октября 2025 года, Югорский государственный университет) (<https://fungariumysu.org/moleculab/workhops/>)
5. Страница на сайте Лаборатории Микологии и Микотехнологии: <https://fungariumysu.org/mycorrhiza/>
6. Технологический стартап: МИКОРОСТ: Биотехнологические решения для эффективного лесовосстановления и устойчивого лесоводства. Акселератор технологических стартапов в Югре: АУ «Технопарк высоких технологий». Демосессия (финал), 21 ноября 2025 года.

1.11. Информация о планируемых к внедрению и разработке медицинских технологий в рамках научного проекта для Ханты-Мансийского автономного округа-Югры.

1.12. Информация о созданных _____

1.13. Информация о созданных _____

1.14. Информация о проведенных научных конференциях и школах в области геномных и биомедицинских технологий для обучающихся и исследователей в возрасте до 39 лет⁸

1.15. Все результаты, информация о которых представлена в пунктах 1.7., 1.9., 1.10., имеют указание на получение финансовой поддержки от Фонда.

ДА

В случае отсутствия указания необходимо дать пояснения о причинах невыполнения данного обязательства (п.2.6.6 соглашения).

1.16. Информация (при наличии) о публикациях в СМИ, посвященных результатам проекта, с упоминанием Фонда:

1.16.1. Наименование СМИ, заголовков (название) и выходные данные публикации о проекте.

ГТРК Югория - новости ХМАО. Live: "Вести -интервью. Нина Филиппова" 15:41 27.07.2025г. https://vk.com/video-59526914_456261352

1.16.2. Ссылка на адрес в сети Интернет (при наличии). https://vk.com/video-59526914_456261352

⁸ Обязательно указываются ссылки на информационные ресурсы в сети Интернет (url-адреса).