



XX Совещание по почвенной зоологии и экологии
г. Екатеринбург, 14-18 сентября 2026 г.



Муравьи *Lasius niger* как индикаторы сукцессионных изменений на залежных землях и их взаимодействие с мицелиальными сообществами

Алексеева Полина Андреевна,
Иванова Анна Евгеньевна,
Закалюкина Юлия Владимировна

Факультет почвоведения
Московского государственного
университета имени М.В. Ломоносова

2026 год



Актуальность

Из научной литературы известно об ассоциациях почвообитающих микроскопических грибов и актиномицетов с муравьями, которые считаются типично почвенными животными. В результате гнёздостроительной деятельности муравьев происходит изменение структуры травяного покрова в местах обитания, оказывается влияние на химические (за счет накопления и перераспределения органического вещества) и физические (аэрированность, температура) свойства почвы, создается особый микрорельеф (Котова А.А. и др., 2013).

Актиномицеты и грибы могут проявлять антибиотическую активность. Так, в симбиозе с насекомыми, мицелиальные организмы, продуцируя антибиотики, защищают хозяина или его пищевые ресурсы от энтомопатогенных микроорганизмов. Подобные взаимоотношения представляют интерес для расширения знаний о биотических связях между организмами, а также для поиска перспективных метаболитов



Цели и задачи исследования

Целью настоящей работы является анализ особенностей таксономического, функционального разнообразия и антагонистического потенциала мицелиальных организмов (микроскопических грибов и актиномицетов), ассоциированных с муравьями *Lasius niger* и их гнездовым материалом, в сравнении с окружающей почвой.



Объекты исследования и место отбора проб



Новгородская область



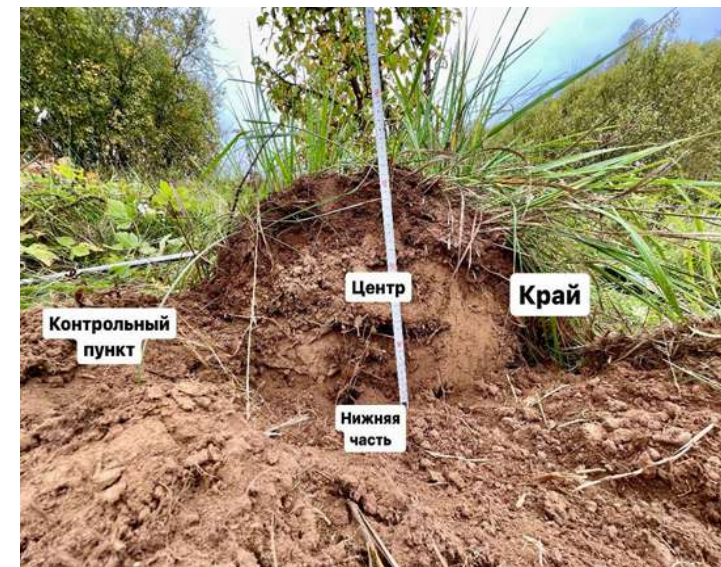
0 50 100 km

Ключевой участок



Точки отбора образцов

0 0,2 0,5 km



Методы исследования

1. Оценка динамики продуктивности земель, наземного покрова и влияния метеорологических условий на ключевом участке с использованием разновременных космических снимков спутника MODIS.
2. Микробиологический посев муравьев и почвенного материала на твердые питательные среды (Методы..., 1991): микромицеты - среды: Чапека и хитиновый агар; актиномицеты - минеральный агар Гаузе 1 и органический агар 79.
3. Оценка антибиотической активности выделенных актиномицетов и микромицетов по отношению к тест-организмам методом агаровых блоков.
4. Оценка чувствительности микромицетов к антимикотическим препаратам диск-диффузионным методом.
5. Оценка взаимного антагонизма методом диффузии в агар между штаммами актиномицетов и микромицетов, проявившими антибиотическую активность.



I. Оценка динамики продуктивности земель, наземного покрова и влияния метеорологических условий на ключевом участке, содержащем точки отбора проб



Новгородская область



0 50 100 km

Ключевой участок

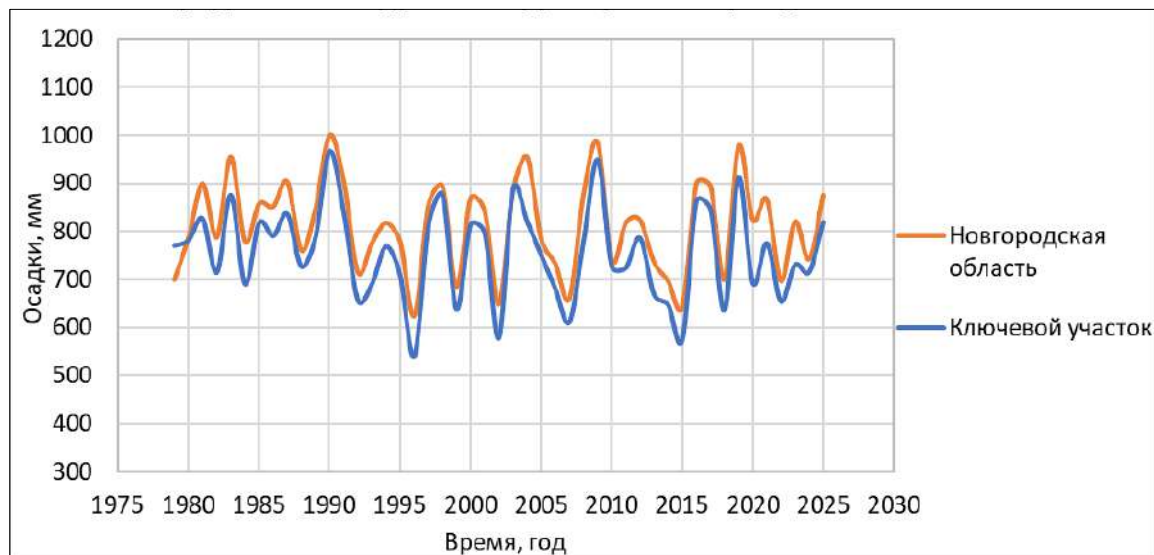


 Точки отбора образцов

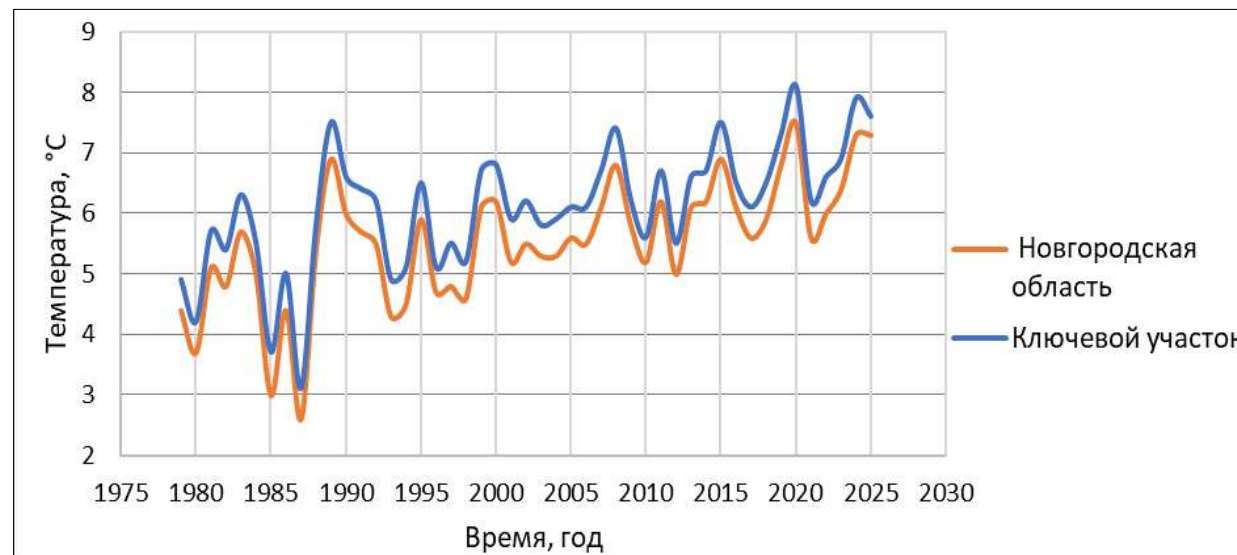
0 0,2 0,5 km

Расположение выбранного ключевого участка
относительно административных границ **Новгородской
области.**

Динамика гидротермических условий



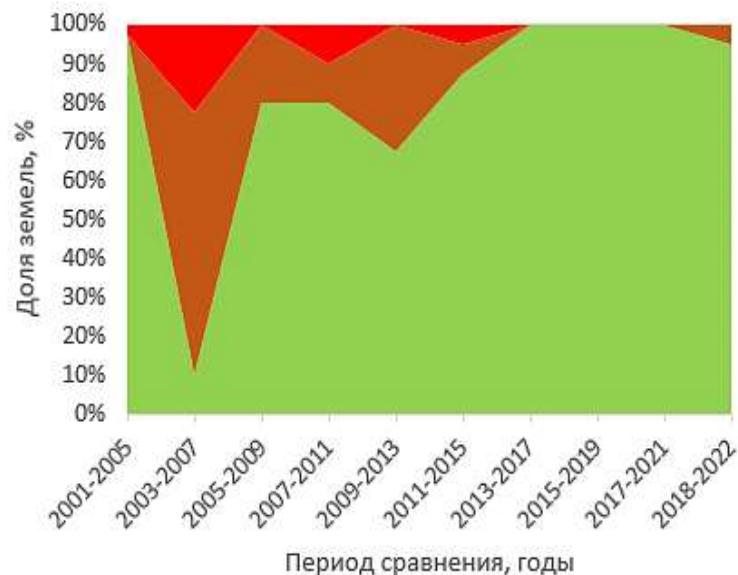
Среднегодовые осадки в пределах исследуемых территорий за период с **1979** по **2025** г.



Среднегодовая температура в пределах исследуемых территорий за период с **1979** по **2025** г.

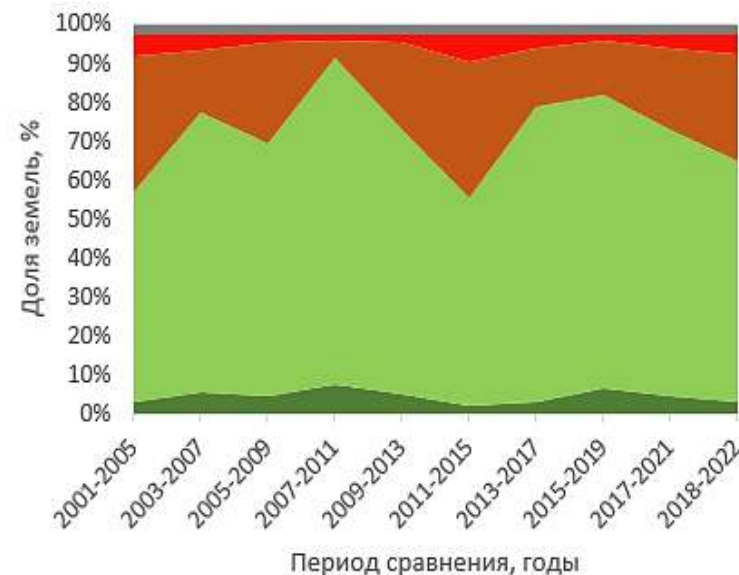
Динамика продуктивности земель ключевого участка и всей территории Новгородской области за 2000-2022 гг.

Ключевой участок



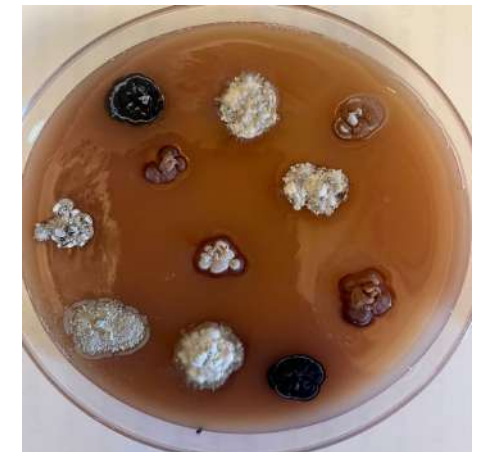
- Нет данных
- Первые признаки снижения продуктивности
- Стабильное состояние без угрозы риска

Новгородская область

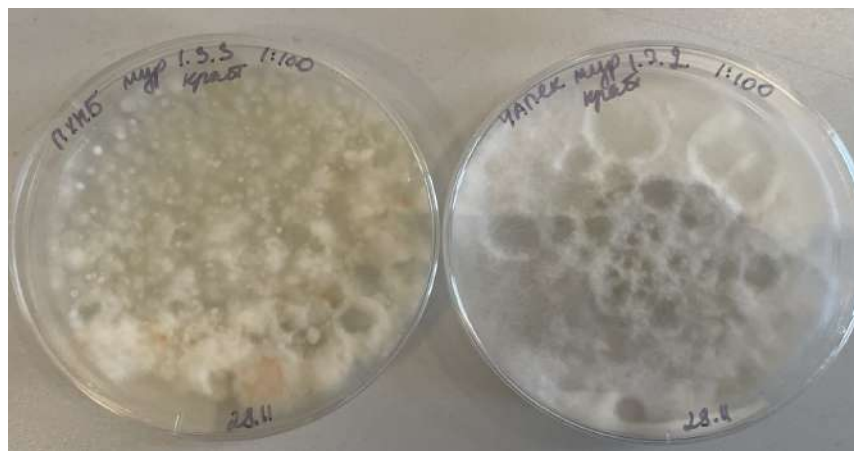


- Снижение продуктивности
- Стабильное состояние под угрозой риска
- Повышение продуктивности

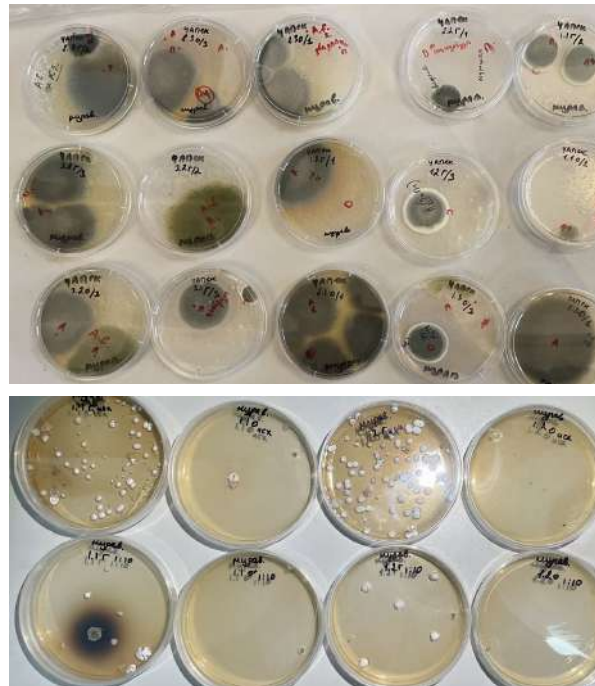
II. Микробиологический посев муравьев и почвенного материала



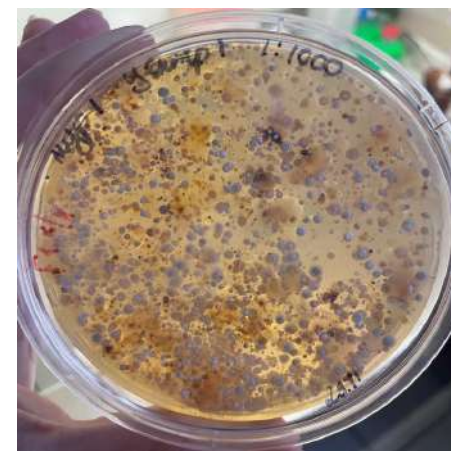
Колонии микромицетов из
материала муравейника:
сверху и снизу слева с
ингибитором роста грибов ПНХБ
для возможности подсчета
численности колоний, снизу
справа – на среде Чапека без



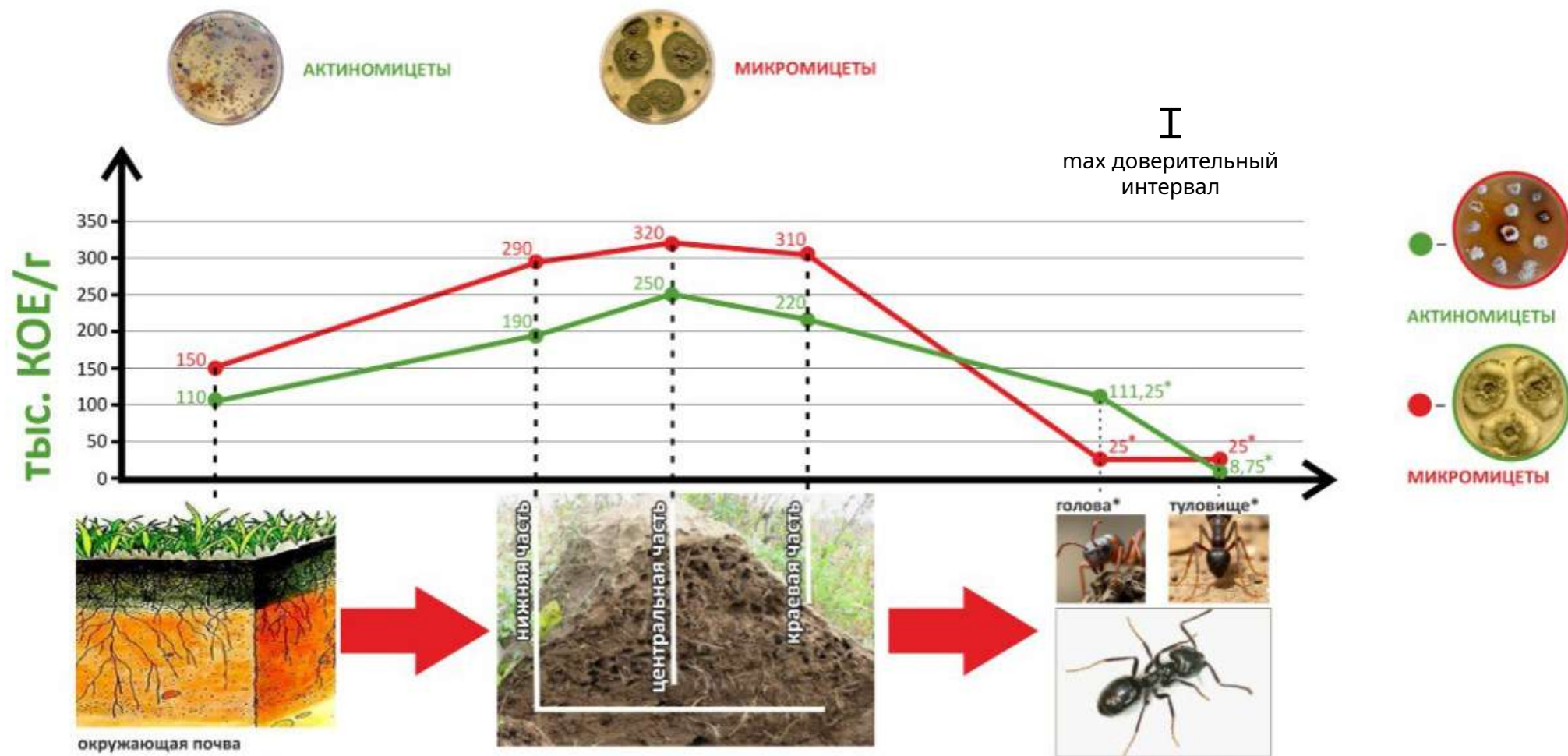
Колонии микромицетов (1)
и актиномицетов (2) из муравьёв



Колонии актиномицетов из
материала муравейника
(центральная часть (1)
разведение 1:1000 и краевая
часть (2) разведение 1:10000
и контрольной почвы (3)



ЧИСЛЕННОСТЬ МИЦЕЛИАЛЬНЫХ МИКРООРГАНИЗМОВ



I
тах доверительный
интервал

* численность КОЕ представлена в расчёте на 1 гр муравья

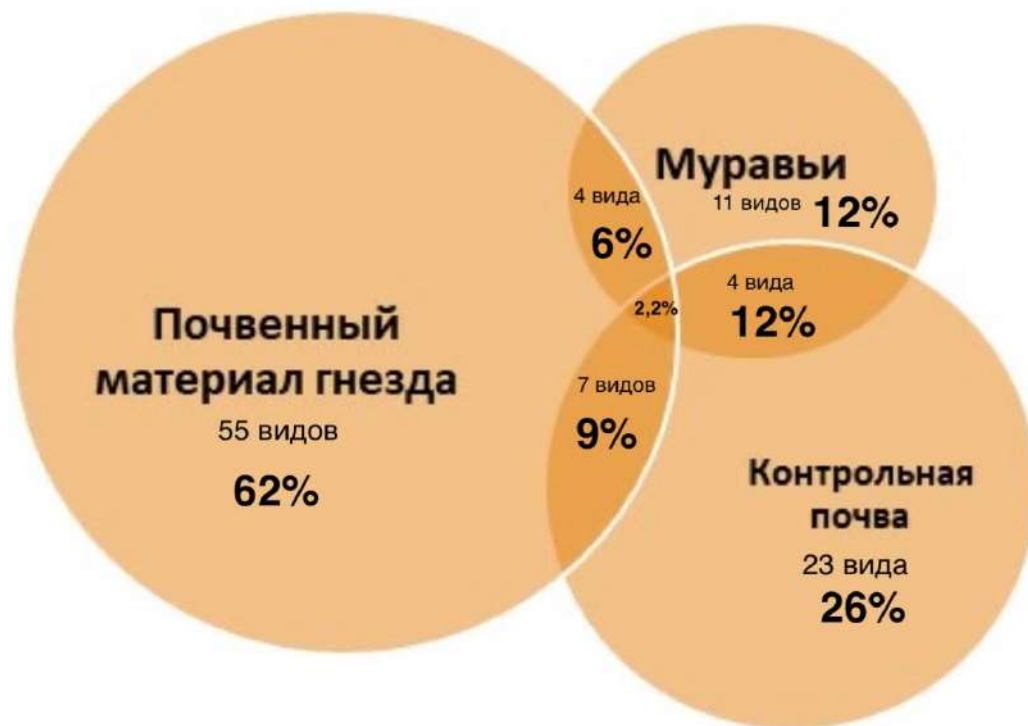
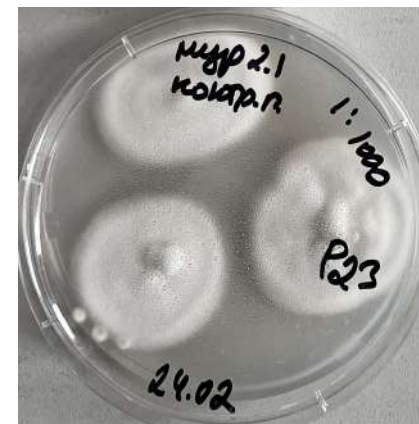


Диаграмма Венна

*проценты указаны в долях от общего числа видов

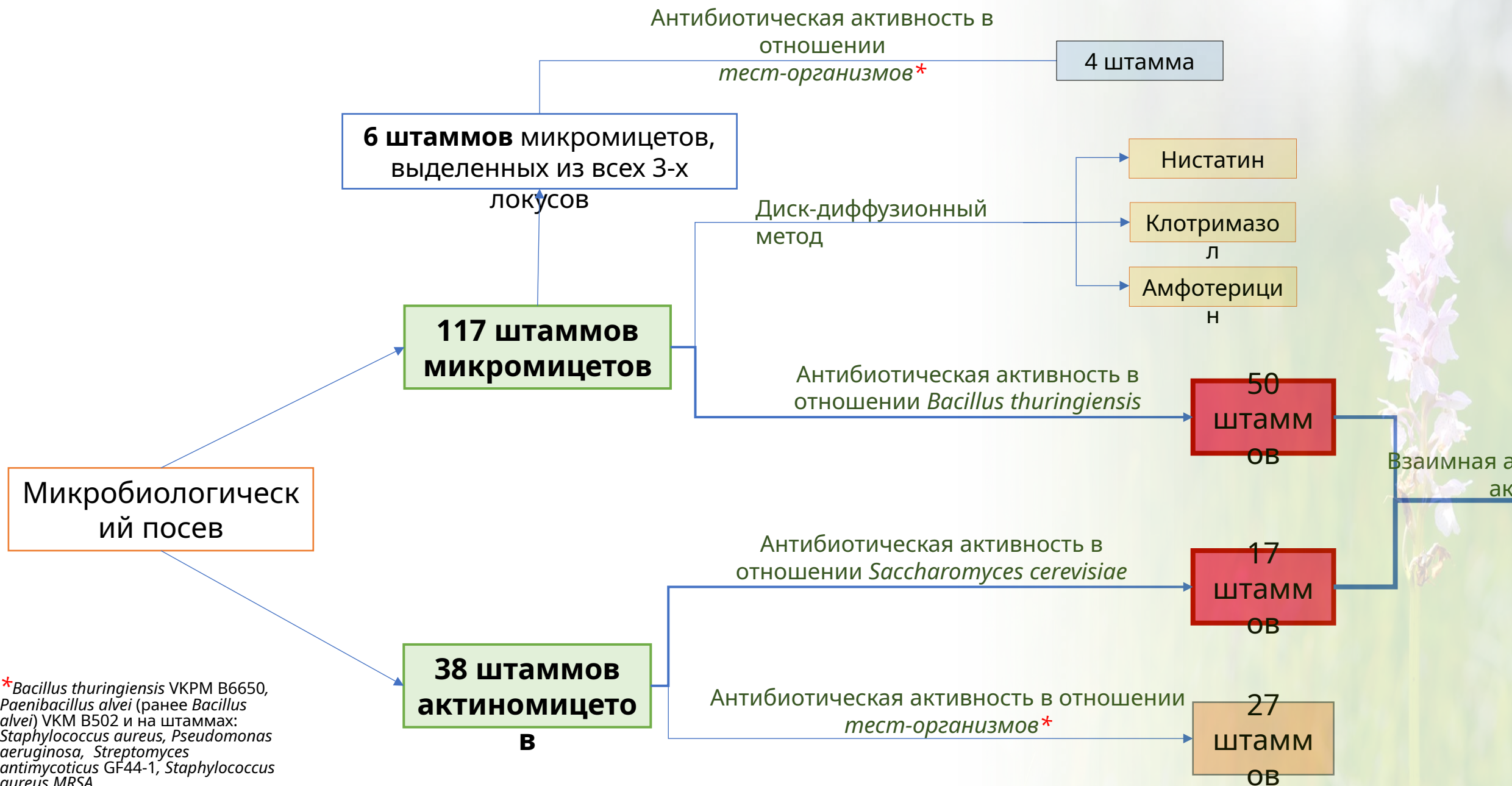
Наибольшее сходство в видовом соотношении наблюдается между контрольной почвой и материалом гнезда. При этом сходство выделенных микромицетов из муравьев, материалов их гнезд и контрольной почвы составляет 2,2% от всех выделенных штаммов микромицетов.



Penicillium camponotum



***Penicillium brasilianum* (1),
Pen. onobense (2), *Pen. skrjabinii* (3)**



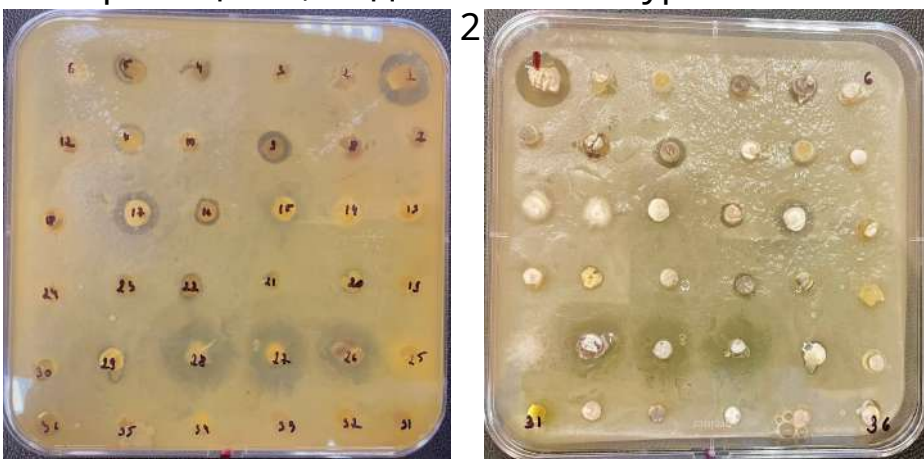
**Bacillus thuringiensis* VKPM B6650, *Paenibacillus alvei* (ранее *Bacillus alvei*) VKM B502 и на штаммах: *Staphylococcus aureus*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Streptomyces antimycoticus* GF44-1, *Staphylococcus aureus* MRSA, на грамотрицательных бактериях: *Escherichia coli* dtolC, *E.coli* lptD, а также на дрожжевых грибах: *Saccharomyces cerevisiae*.

Оценка антибиотической активности микромицетов и актиномицетов

Тесты на антибиотическую активность, штаммы актиномицетов, выделенные из муравьев.



Тесты на антибиотическую активность, штаммы микромицетов, выделенные из муравейника 1 и 2



- Для выявления антагонистов и изучения их антибиотической активности применяли метод агаровых блоков.
- Оценку антибиотической активности проводили со всеми выделенными штаммами:
117 штаммов микромицетов и **38** штаммов актиномицетов.
- Спектр антибактериального действия микроорганизмов изучали с использованием в качестве тест-культур: штаммы грамположительных бактерий – на видах *Bacillus*:
 1. *Bacillus thuringiensis* VKPM B6650,
 2. *Paenibacillus alvei* (ранее *Bacillus alvei*) VKM B502и на штаммах:
 1. *Staphylococcus aureus*,
 2. *Pseudomonas aeruginosa*,
 3. *Streptomyces antimycoticus* GF44-1,
 4. *Staphylococcus aureus* MRSA,на грамотрицательных бактериях:
 1. *Escherichia coli* dtolC,
 2. *E.coli* lptD,а также на дрожжевых грибах:
 1. *Saccharomyces cerevisiae*.

Оценка антибиотической активности микромицетов и актиномицетов

Градации ширины зоны подавления тест-организма для изучения антибиотической активности микромицетов

Зона задержки роста микроорганизма	
-(неактивные)	< 1 мм
++ (слабоактивные)	1-10 мм
+++ (умеренно активные)	10-25 мм
++++ (высокоактивный)	больше 25 мм

Градации ширины зоны подавления тест-организма для изучения антибиотической активности актиномицетов

Зона задержки роста микроорганизма	
+ (слабоактивные)	1-3 мм
++ (умеренно активные)	4-6 мм
+++ (умеренно активные)	7-9 мм
++++ (высокоактивные)	больше 10 мм

Интерпретацию значений ширины зоны подавления тест-организма для изучения антибиотической активности микромицетов и актиномицетов проводили согласно документу CLSI M100-S24 (M02-A11)

Доля штаммов мицелиальных микроорганизмов с разной антагонистической активностью в отношении тест-организмов из разных локаций местообитания муравьев

Микровицеты

Антагонистическая активность	Муравей	Почвенный материал гнезд	Окружающая почва
Высокая	0%	0%	0%
Умеренная	28%	29%	13%
Слабая	36%	18%	13%
Нет активности	36%	53%	74%
Число выделенных штаммов, в шт.	14	72	31

•**Неактивные:** *Penicillium subrubescens*, *P. radiatolobatum*, *P. camponotum*, *P. oxalicum*, *P. aurantiogriseum*, *P. miczynskii*, *P. glabrum*, *P. yezoense*, *Pen. sp. Sect. Divaricata*, *Clonostachys rosea*, *Mucor moelleri* (= *Zygorrhynchus moelleri*), *Absidia glauca*, *Gliomastix sp.*, несколько штаммов *Penicillium sp.*, *Fusarium sp.*, *Clonostachys sp.*, *Trichoderma sp.*, *Mortierella sp.*, *Geomyces sp.*

Актиномицеты

Антагонистическая активность	Муравей	Почвенный материал гнезд	Окружающая почва
Высокая	5,5%	0%	9%
Умеренная	67%	44%	82%
Слабая	44%	33%	56%
Нет активности	27,5%	44%	11%
Число выделенных штаммов, в шт.	18	9	11

Умеренная активность: *Penicillium expansum*, *P. scabrosum*, *P. clavigerum*, *P. polonicum*, *P. crustosum*, *Pen. sp. №П4*, *Pen. sp. №P32* (ser. *Rolfsiorum*), *Trichoderma hamatum*, *Trichoderma sp. №P6*, *Fusarium commune*, *F. oxysporum*, *F. sporotrichioides*, *Purpureocillium lilacinum*

Слабая: *Talaromyces kabodanensis*, *Penicillium canescens*, *P. brasilianum*, *P. skrjabinii*, *P. onobense*, *P. rubens*, *Trichoderma hamatum*, *Fusicolla aquaeductum*, и несколько штаммов *Penicillium sp.*

•**Высокая активность:** *Streptomyces platensis*, а также КП 1.2, КП 1.7,

•**Умеренная или слабая:** PA-12, Ant 1.1.1, Ant 1.1.5, Ant 1.2.1, Ant 1.2.2, *Streptomyces hygroscopicus*, *Streptomyces harbinensis*, Ant 2.3.1, Ant 2.3.2, Ant 3.1. и *Streptomyces seoulensis*, а также КП 1.2, КП 1.3, КП 1.7, КП 1.8, КП 1.9, КП 1.10, КП 1.12, КП 1.14, Н 2.1, Н 2.2, Н 2.5, Н 2.8, Н 2.11, КП 2.14

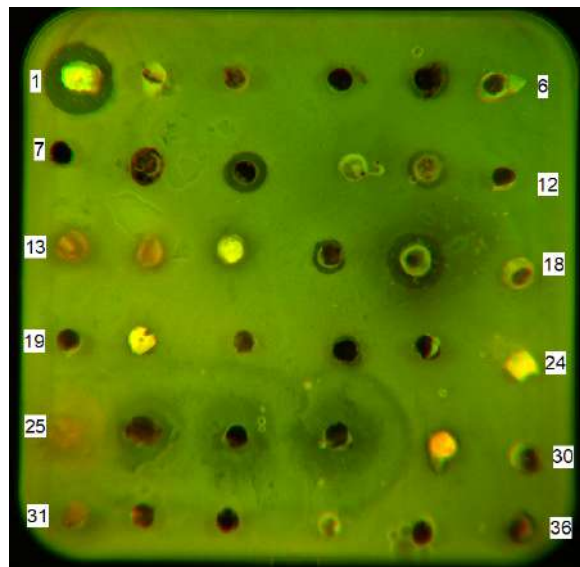
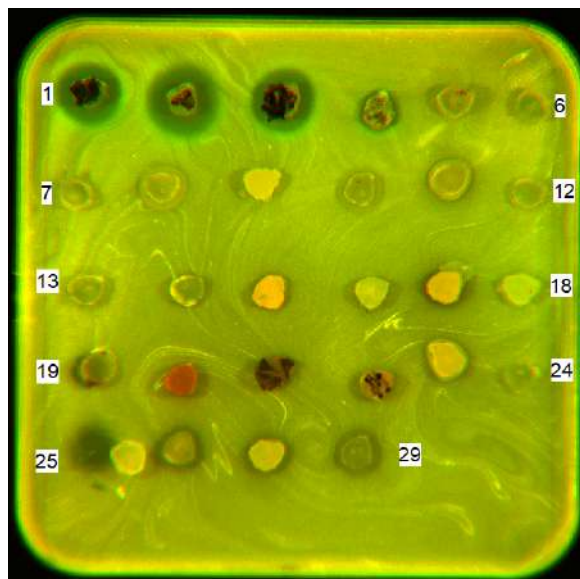
•**Неактивные:** *Streptomyces anthocyanicus*, Ant 1.1.2, Ant 1.1.3, Ant 1.1.7, Ant 1.2.4, Ant 3.2.7, а также Ц 1.16, Ц 1.17, Ц 1.19, Н 2.9, КП 2.17.

Результаты антибиотического потенциала микромицетов, выделенных из муравьев.

Используемые тест-культуры: *Bacillus thuringiensis*

Из муравьев			Чапек <i>Bacillus thuringiensis</i>	
№	Штамм	Место изоляции	Радиус зоны подавления, мм	Градация
1	<i>Penicillium expansum</i>	туловище и конечности	6	+++
2		голова (штамм выделен на среде с хитином)	3	+++
3	<i>Talaromyces kabodanensis</i>	туловище и конечности	1	++
4	<i>Penicillium glabrum</i>	голова	0.5	++
5	<i>Penicillium camponotum</i>	голова	-	-
6	<i>Penicillium olsonii</i>	туловище и конечности	0.5	++
7	<i>Penicillium trzebinskii</i>	голова	1	++
8	<i>Penicillium subrubescens</i>	голова	-	-
9	<i>Penicillium scabrosum</i>	голова	3.5	+++
10	<i>Aspergillus flavus</i>	голова	-	-
11		туловище и конечности (штамм выделен на среде с хитином)	2	++
12		туловище и конечности	-	-
13	<i>Aspergillus fumigatus</i>	голова (штамм выделен на среде с хитином)	4	+++
14	<i>Ulocladium sp.</i>	туловище и конечности (штамм выделен на среде с хитином)	-	-

Сравнение антагонистической активности штаммов микромицетов, выделенных из муравьев и материала их гнезд



№	Штамм	Чапек	
		<i>Bacillus thuringiensis</i> , <i>Staphylococcus aureus</i> , <i>Staphylococcus aureus</i> MRSA, <i>Paenibacillus alvei</i> (ранее <i>Bacillus alvei</i>), <i>Escherichia coli</i> dtolC	
		Из муравья	Из материала гнезда и контрольной почвы
1	<i>Penicillium expansum</i>	+++ (умеренно-активный)	+++ (умеренно-активный)
2	<i>Talaromyces kabodanensis</i>	++ (слабоактивный) или +++ (умеренно-активный)	++ (слабоактивный)
3	<i>Penicillium glabrum</i>	++ (слабоактивный)	-(неактивный)
4	<i>Penicillium camponotum</i>	-(неактивный)	-(неактивный)
5	<i>Penicillium subrubescens</i>	-(неактивный)	-(неактивный)
6	<i>Penicillium scabrosum</i>	+++ (умеренно-активный)	++ (слабоактивный) или +++ (умеренно-активный)

Штаммы, отобранные для оценки взаимной антагонистической активности

Штаммы микромицетов:

- (1) *Penicillium expansum*, (2) *Penicillium*
onobense,
(3) *Penicillium crustosum*, (4) *Talaromyces*
kendrickii,
(5) *Penicillium clavigerum*, (6) *Trichoderma*
hamatum.



- Для изучения антибиотической активности исходно выделено: **117** штаммов микромицетов и **38** актиномицетов.
- Из них показана антагонистическая активность к тест-культурам бактерий у **50 (43%) штаммов микромицетов и 27 (71%) штаммов актиномицетов.**
- Среди отобранных активных актиномицетов выявлена антибиотическая активность к дрожжам *Saccharomyces cerevisiae*.



Оценка взаимной антагонистической активности микромицетов и актиномицетов

Тесты на антагонистическую активность, штаммы **микромицетов** по отношению к почвенному штамму актиномицета Н 2.2.

Третий день после постановки эксперимента:

(1) вид сверху, (2) вид снизу (оборотная сторона чашки).

1.



2.



Тесты на антагонистическую активность, штаммы **актиномицетов** по отношению к микромицету

Talaromyces kabodanensis.

Второй день после постановки эксперимента: (3)
вид сверху, (4) вид снизу (оборотная сторона чашки).

3.



4.

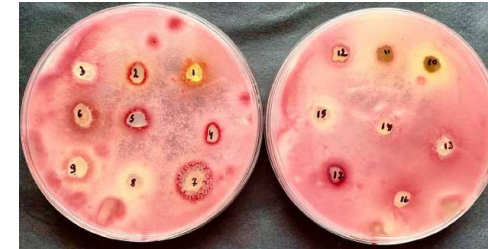


Оценка взаимной антагонистической активности микромицетов и актиномицетов

Приуроченность* к исходному месту изоляции штаммов микромицетов и актиномицетов с выявленной

Мицелиальные микроорганизмы	антибактериальная активность			
	Всего штаммов	Муравей	Почвенный материал гнезд	Окружающая почва
микромицеты	50	9 (18%)	33 (66%)	8 (16%)
актиномицеты	17	7 (42%)	5 (29%)	5 (29%)

* Число видов (доля от общего числа, в %)



- Скрининг тестируемых штаммов **актиномицетов в отношении микромицетов** позволяет отметить наиболее перспективные штаммы актинобактерий: **PA-12, Ant 1.1.1, *Streptomyces platensis*, *Streptomyces hygroscopicus***, выделенные из муравьев, а также **КП 1.3, КП 1.7, КП 1.14, КП 2.14 и Н 2.2**, выделенные из почвенного материала
- Скрининг тестируемых штаммов **микромицетов в отношении актиномицетов** позволяет отметить наиболее перспективные штаммы видов микромицетов: ***Aspergillus flavus*, *Aspergillus fumigatus*, *Fusarium commune*, *Fusarium oxysporum*, *Penicillium expansum*, *Penicillium rubens* и *Trichoderma hamatum***, как наиболее сильные ингибиторы развития актиномицетов.

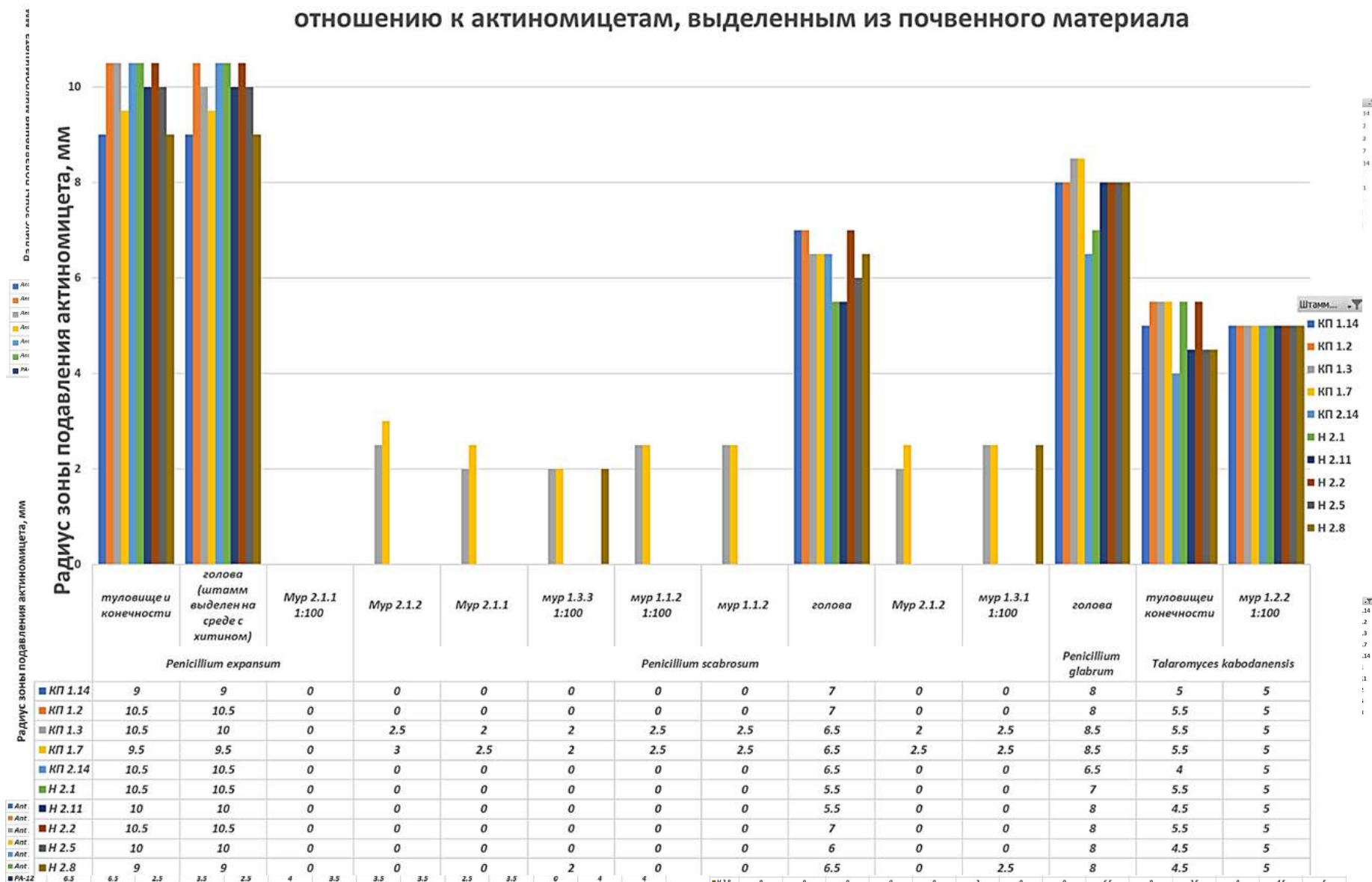


В гнездах муравьев *L.niger* обнаружены виды ***Penicillium brasilianum*, *Penicillium crustosum*, *Penicillium onobense*, *Penicillium polonicum*, *Penicillium skrjabinii***, характеризующиеся нейтрализмом в отношении всех исследуемых актиномицетов.

Штаммы актиномицетов, выделенные из муравьев, по отношению к микромицетам, выделенным из материала гнёзд и окружающей почвы

Штаммы актиномицетов, выделенные из почвенного материала, по отношению к микромицетам, выделенным из материала гнёзд и окружающей почвы

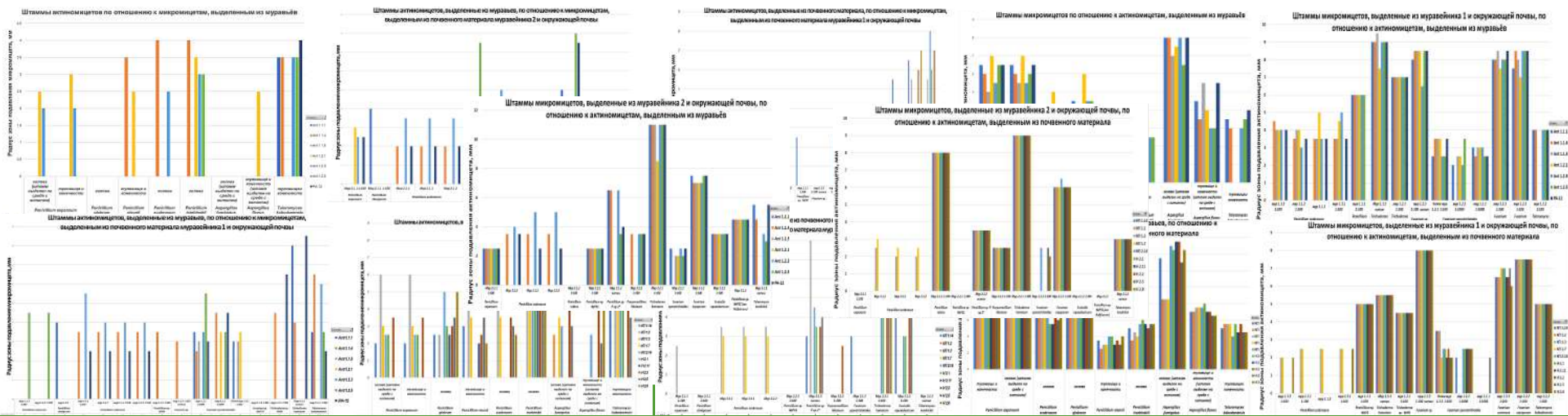
Штаммы микромицетов, выделенные из материала гнёзд и окружающей почвы, по отношению к актиномицетам, выделенным из почвенного материала



Выраженность взаимного антагонизма

		микробиоты			
		Актиномицеты / микробиоты	Штаммы из муравьев	Штаммы из материала гнезд и окружающей почвы	<i>Penicillium brasilianum</i> , <i>P. crustosum</i> , <i>P. onobense</i> , <i>P. polonicum</i> , <i>P. skrjabinii</i>
актиномицет	Штаммы из муравьев				
	Штаммы из материала гнезд и окружающей почвы				

-  - **слабая** выраженность антагонизма при исследовании антиактиномицетной активности
-  - **сильная** выраженность антагонизма при исследовании антиактиномицетной активности
-  - **слабая** выраженность антагонизма при исследовании фунгистатической активности
-  - **сильная** выраженность антагонизма при исследовании фунгистатической активности
-  - **отсутствие** взаимодействия



Большинство штаммов размещено в коллекции кафедры биологии почв **КБП Ф:** *Penicillium expansum*, *Penicillium olsonii*, *Penicillium scabrosum*, *Penicillium camponotum*, *Penicillium subrubescens*, *Penicillium skrjabinii*, *Penicillium brasilianum*, *Penicillium onobense*, *Penicillium rubens*, *Penicillium trzebinskii*, *Penicillium polonicum*, *Penicillium yezoense*, *Penicillium radiatolobatum*, *Penicillium* sp. №P32 (ser. *Rolfsiorum*), *Talaromyces kabodanensis*, *Talaromyces kendrickii*, *Trichoderma hamatum*, *Fusarium sporotrichioides*, *Fusarium commune*, *Fusarium oxysporum*, *Fusicolla aquaeductuum*, *Metapochonia rubescens* и др.



Штаммы видов *Penicillium scabrosum*, *Penicillium camponotum*, *Penicillium subrubescens*, *Penicillium brasilianum*, *Penicillium skrjabinii*, *Penicillium onobense* депонированы во Всероссийскую коллекцию микроорганизмов (**ВКМ**) института биохимии и физиологии микроорганизмов им. Г.К. Скрыбина – обособленного подразделения Федерального государственного бюджетного учреждения науки «Федерального исследовательского центра «Пущинский научный центр биологических исследований РАН»».



Выводы



1. Муравьи *L.niger* являются особенным местообитанием мицелиальных организмов: на одну рабочую особь приходится, в среднем, 100 КОЕ микромицетов и 35-445 КОЕ актиномицетов, что в пересчёте на 1 г живых особей составляет 25 тыс.КОЕ/г и 8,7-111 тыс.КОЕ/г, соответственно. Установлено повышенное на порядок содержание КОЕ актиномицетов в головном отделе муравьев по сравнению с остальной частью туловища, для микромицетов различий не выявлено.

2. Численность микромицетов и актиномицетов в материале гнезд *L.niger* в среднем в 2 раза выше, чем в окружающей почве. Выделенные актиномицеты представлены родом *Streptomyces*. Видовой состав микромицетов существенно различается в телах муравьев, материале гнезд и окружающей почве: число общих видов во всех трёх локусах составляет всего 2,2%. Видовое разнообразие микромицетов в материале гнезд в 2 и 5 раза выше, чем в окружающей почве и телах муравьёв.

3. Наибольшая антагонистическая активность против энтомопатогенной бактерии *Bacillus thuringiensis* выявлена у мицелиальных микроорганизмов, выделенных из тел самих муравьев: среди них доля активных штаммов составляет 50-70%. Доля активных

штаммов из материала муравейников составляет 30-50% из



Выводы

4. Анализ чувствительности выделенных микромицетов к антимикотикам широкого спектра действия не показал значительных различий между штаммами из разных местообитаний: выявлена чувствительность к нистатину (80 мкг) у 19% штаммов, у 5% к клотримазолу (40 мкг), установлена устойчивость всех штаммов к амфотерицину В (10 мкг).
5. Оценка взаимного антагонизма штаммов мицелиальных организмов, изолированных из одинаковых локусов («муравей-муравей» или «почва-почва»), демонстрирует сравнительно низкую антагонистическую активность по отношению друг к другу. Однако эти же штаммы проявляют активный антагонизм по отношению к штаммам из других локусов («муравей-почва»).
6. Только в материале гнезд муравьев *L.niger* выявлено присутствие видов микромицетов (*Penicillium brasilianum*, *P. crustosum*, *P. onobense*, *P. polonicum*, *P. skrjabinii*), которые проявили нейтрализм при взаимодействии со всеми исследованными актиномицетами.



Спасибо за внимание!

