

УДК 631.46

СРАВНИТЕЛЬНОЕ ИЗУЧЕНИЕ СТРУКТУРЫ АКТИНОМИЦЕТНЫХ КОМПЛЕКСОВ, СВЯЗАННЫХ С МУРАВЬЯМИ *LASIUS NIGER* И *FORMICA CUNICULARIA* И ИХ ГНЕЗДАМИ

Ю.В. Закалюкина, М.В. Голиченков, О.И. Бровкина, Т.С. Путятин

(кафедра биологической эволюции; e-mail: juline@mail.ru)

Впервые проведен сравнительный анализ численности и биоразнообразия актиномицетных комплексов, выделенных из живых муравьев *Lasius niger* и *Formica cunicularia*, а также из материала их гнезд. Численность актиномицетов, выявленных в гомогенизатах муравьев *L. niger*, близка к численности актиномицетов в их гнезде и на порядок выше таковой для *F. cunicularia*. Сообщества гнезд муравьев и фоновой почвы характеризуются высоким разнообразием, выравненностью, отсутствием выраженных доминант, наличием общих видов и отличаются численностью и набором видов. Биоразнообразие актиномицетов, связанных с живыми муравьями, существенно ниже, чем в их гнездах и окружающей почве, а набор актиномицетов специфичен для обоих видов муравьев.

Ключевые слова: актиномицеты, муравьи, биоразнообразие, *Lasius niger*, *Formica cunicularia*.

Муравьев относят к типичным “аллогенным экосистемным инженерам” — организмам, изменяющим в процессе жизнедеятельности свойства окружающей среды и создающим новые экологические ниши [1]. Известно, что почвообитающие муравьи оказывают существенное влияние на химические (за счет накопления и перераспределения органического вещества) и физические (аэрированность, температура) свойства почвы [2–5].

Муравьи *Lasius niger* (черный садовый муравей) и *Formica cunicularia* (прыткий степной муравей) широко распространены в средней полосе и на юге России [6, 7]. Меньше сведений об их почвообразующей роли, а также ассоциированных с ними микробных комплексах, в том числе актиномицетных.

Почвенные сапротрофные актиномицеты являются аэробами, нейтрофилами, температурными мезофилами, олиготрофами и умеренными ксерофилами [8]. В земляных гнездах муравьев (“муравейнике” в русскоязычной литературе принято называть вместе гнездо и его население) складываются условия, удовлетворяющие подобным требованиям [9–11]. В гнездах концентрация хитина выше, чем в интактной почве (благодаря высокой численности насекомых), а способность разлагать хитин весьма распространена среди актиномицетов [12]. Таким образом, земляные гнезда муравьев могут служить экологической нишей для актиномицетов.

Целью нашей работы является характеристика актиномицетных комплексов муравейников — локусов естественного обилия мицелиальных прокариот.

Материалы и методы

Объектами исследования были образцы верхнего горизонта постагродерново-подзолистой почвы [13],

расположенной на участке поля (Рязанская обл., Касимовский р-н, высокий берег р. Унжа), более 15 лет назад выведенного из сельскохозяйственного использования; образцы надземных частей муравьиных гнезд (“холмики”) и сами муравьи *L. niger* и *F. cunicularia*.

Структуру актиномицетных комплексов гнездового материала и контрольной почвы изучали методом посева проб материала на минеральный агар Гаузе 1 [14].

Для выделения “актинофлоры” мы использовали метод “смыва”: по одному живому муравью помещали в пластиковые пробирки (Eppendorf) с 0,75 мл стерильной дистиллированной воды и обрабатывали на мешалке Vortex в течение 1 мин. Из полученной суспензии проводили высеив на расширенный набор питательных сред: минеральный агар Гаузе, глюкозопептонный агар и среду с хитином [15].

Для выделения актиномицетов, ассоциированных непосредственно с муравьями, каждое “отмытое” насекомое перетиралось с 0,75 мл стерильной воды, из полученного гомогенизата проводили параллельный посев на те же среды.

Для ограничения роста мицелиальных грибов и грамотрицательных бактерий в расплавленные среды добавляли нистатин (10^3 Ед/мл) и налидиксовую кислоту (7 мкг/мл). Инкубацию посевов проводили в течение трех недель при 28°C.

Таким образом, была получена коллекция штаммов актиномицетов, в большинстве принадлежащих к роду *Streptomyces*; их первичная идентификация основывалась на изучении культуральных и морфологических признаков согласно определителю Гаузе [14].

Анализ структуры актиномицетных комплексов строился на оценке параметров видового разнообразия, для сравнительной характеристики производился расчет индексов и показателей биоразнообразия [16].

Результаты и обсуждение

В родовой структуре комплекса актиномицетов, выделенных из гнезд муравьев, доминировали представители рода *Streptomyces*, что характерно для почв лесной зоны. Кроме того, на минеральных средах в небольшом количестве были выделены представители рода *Micromonospora* (табл. 1—3), часто приуроченные к растительным субстратам. Они встречаются в почвенном ярусе лесных и луговых биомов (дернина, лесная подстилка, моховые разрастания, торфяные горизонты) гумидной зоны, составляя минорный компонент почвенного актиномицетного комплекса [17].

Изучаемые гнезда образованы на почве легкого гранулометрического состава, поэтому доля микромоноспор в них не превышает 10%. Некоторое увеличение численности микромоноспор наблюдается в холмике гнезда *F. cunicularia* (10^5 КОЕ/г) по сравнению с контрольной почвой ($4,7 \times 10^4$).

Общая численность актиномицетов в изучаемых гнездах отличается от таковой в фоновой (контрольной) почве (рис. 1). В гнездовом холмике *F. cunicularia* количество актиномицетов (КОЕ/г) вдвое превышает численность в фоновой почве, а у *L. niger* — выше на порядок. Увеличение численности актиномицетов в образцах гнезд происходит в основном за счет общих для всех рассматриваемых комплексов и наиболее многочисленных представителей рода *Streptomyces*.

В холмике *L. niger* увеличение численности обеспечивают виды *S. olivochromogenes*, *S. violascens*, *S. var-*

Таблица 2

Видовая структура комплекса актиномицетов гнезд *L. niger*

Штамм	Численность, $\times 10^3$ КОЕ/г	Частота встречаемости, %	Среднее обилие, %	Идентифицирован как
L ₅	200	100	15,9	<i>S. olivochromogenes</i>
L ₃	302	100	24,1	<i>S. violascens</i>
L ₂	262	100	20,9	<i>S. varsoviensis</i>
L ₁₀	64,4	67	5,1	<i>S. cinereoruber</i>
K ₁₁	4,4	33	0,4	<i>S. roseoflavus</i>
K ₁₇	11,1	67	0,9	<i>S. olivaceoviridis</i>
L ₁	31,1	67	2,5	<i>S. roseolilacinus</i>
Micr	8,9	67	0,7	<i>Micromonospora</i> sp.
L ₄	44,4	33	3,6	<i>S. resistomycificus</i>
L ₆	82,2	67	6,6	<i>S. pseudogriseolus</i>
L ₇	37,8	67	3,0	<i>S. sporoclivatus</i>
L ₉	66,7	67	5,3	<i>S. nashvillensis</i>
L' ₉	13,3	33	1,1	<i>S. carpaticus</i>
L ₁₁	26,7	67	2,1	<i>S. ambofaciens</i>
L ₁₆	37,8	67	3,0	<i>S. albus</i>
L ₁₇	4,4	33	0,4	<i>S. durhamensis</i>
Micr-1	55,6	33	4,4	<i>Micromonospora</i> sp.

Таблица 3

Видовая структура комплекса почвенных актиномицетов гнезд *F. cunicularia*

Штамм	Численность, $\times 10^3$ КОЕ/г	Частота встречаемости, %	Среднее обилие, %	Идентифицирован как
F ₂	42,2	100	8,6	<i>S. ovilaceus</i>
F ₈	33,3	100	6,8	<i>S. violascens</i>
F ₃	171	100	35	<i>S. varsoviensis</i>
F ₁	100	100	20,5	<i>S. cinereoruber</i>
F ₅	22,2	67	4,5	<i>S. noboritoensis</i>
F ₉	15,6	67	3,2	<i>S. olivaceoviridis</i>
F ₄	15,6	100	3,2	<i>S. hygroscopicus</i>
Micr	2,2	33	0,5	<i>Micromonospora</i> sp.
F ₆	33,3	100	6,8	<i>S. chromofuscus</i>
F ₇	6,7	33	1,4	<i>Streptomyces</i> sp.
F ₁₀	8,9	33	1,8	<i>S. globisporus</i>
F ₁₁	37,8	67	7,7	<i>S. violaceoruber</i>

Таблица 1

Видовая структура комплекса почвенных актиномицетов в контрольной почве

Штамм	Численность, $\times 10^3$ КОЕ/г	Частота встречаемости, %	Среднее обилие, %	Идентифицирован как
K ₁	57,8	100	24,3	<i>S. olivochromogenes</i>
K ₂	51,1	100	21,5	<i>S. violascens</i>
K ₉	15,6	100	6,54	<i>S. varsoviensis</i>
K ₁₆	6,7	33	2,8	<i>S. cinereoruber</i>
K ₁₁	2,2	33	0,9	<i>S. roseoflavus</i>
K ₁₇	15,6	67	6,5	<i>S. olivaceoviridis</i>
K ₂₁	11,1	33	4,7	<i>S. hygroscopicus</i>
Micr	4,4	67	1,9	<i>Micromonospora</i> sp.
K ₃	6,7	67	2,8	<i>S. albovinaceus</i>
K ₅	8,9	67	3,7	<i>S. canus</i>
K ₆	13,3	67	5,6	<i>S. endus</i>
K ₇	4,4	67	1,9	<i>S. variabilis</i>
K ₈	6,7	67	2,8	<i>Streptomyces</i> sp.
K ₁₄	17,8	67	7,5	<i>Streptomyces</i> sp.
X	15,6	100	6,5	<i>Streptomyces</i> sp.

soviensis, *S. cinereoruber* (табл. 1, 2). Самый многочисленный вид, условно идентифицированный нами как *S. violascens* (он обладал рядом отличий от типовых видов, описанных в [14]), присутствовал во всех образцах. В гнезде *L. niger* его численность достигала аб-

солютного максимума (3×10^5 КОЕ/г), что на порядок больше, чем в гнездовом материале *F. cunicularia* (3×10^4 КОЕ/г) и контрольной почве (5×10^4 КОЕ/г). Вид *S. olivochromogenes* в фоновой почве насчитывал $5,78 \times 10^4$ КОЕ/г, а в холмике *L. niger* — до 2×10^5 КОЕ/г (табл. 1—3).

В гнездовом материале *F. cunicularia* возрастание численности происходит за счет видов *S. varsoviensis*, *S. cinereoruber* (табл. 2—4). Представителей вида *S. varsoviensis* в муравейнике *F. cunicularia* на порядок больше ($1,7 \times 10^5$ КОЕ/г), чем в фоновой почве ($1,5 \times 10^4$ КОЕ/г) и в холмике *L. niger* ($2,6 \times 10^4$ КОЕ/г). Численность *S. cinereoruber* в гнезде притких степных муравьев составляет 10^5 КОЕ/г, что на два порядка больше, чем в контрольной почве ($6,7 \times 10^3$ КОЕ/г), и на порядок выше, чем в гнездовом материале черных садовых муравьев ($6,4 \times 10^4$ КОЕ/г).

Таблица 4

**Критерии значимости видов
в комплексе почвенных актиномицетов**

Частота встречаемости, %	Степень типичности	Относительное обилие (p_i), %	Степень доминирования
по [22]		по [23]	
≥ 60	типичный	≥ 36	доминантный
30—60	частый	16—36	субдоминантный
< 30	редкий	< 16	минорный

Дополнительный вклад в увеличение численности актиномицетов в гнездах муравьев вносят также виды, не встречающиеся в контрольной почве (табл. 1—3).

Таким образом, в образцах гнездового материала численность актиномицетов выше, чем в фоновой почве, что особенно характерно для жилища *L. niger*. Можно предположить, что именно деятельность черных садовых муравьев ведет к росту численности стрептомицетов в почве.

Изучаемые объекты характеризуются схожей шириной видового спектра актиномицетов: 15 фенотипов было выделено нами из образцов фоновой почвы, несколько больше — из гнездового материала *L. niger*, и у *F. cunicularia* — 12 фенотипически отличных штаммов.

Для определения значимости вида в сообществе применяют критерии частоты встречаемости и относительного обилия (табл. 4). **Частота встречаемости** описывает равномерность или неравномерность распределения вида в комплексе. Она рассчитывается как процентное отношение числа образцов, где встречается вид, к общему числу исследованных образцов. **Относительное обилие** — доля, занимаемая видом в комплексе рассматриваемого объекта.

Сравнение актиномицетных комплексов изучаемых объектов показало отсутствие явных доминант — видов, чья доля в сообществе превышает 36%. Груп-

пировка субдоминантных (16—36%) и типичных видов составляет почти половину. Именно эти виды являются общими, благодаря им численность стрептомицетов в муравьиных гнездах достоверно больше, чем в контрольной почве.

Часть комплекса, представленная минорными видами, специфична для каждого из изученных местообитаний. Она включает как частые, так и редкие виды, чье относительное обилие не превышает 16% (табл. 4).

Таким образом, в стрептомицетных комплексах гнезд *L. niger* и *F. cunicularia* примерно половину по численности составляют виды, унаследованные от “родительской” почвы, а другая половина сформирована специфическим набором видов.

При оценке разнообразия внутри местообитания [18] необходимо знать число видов на определенной площади и то, насколько равномерно распределены виды по их обилию в сообществе. Для оценки параметров **разнообразия** комплексов актиномицетов, выделенных из контрольной почвы и гнезд *L. niger* и *F. cunicularia*, рассчитывали индексы доминирования (D), разнообразия (H), выровненности (E) и сходства (S), известные из общей экологии [19] и представляющие математическое выражение зависимости между числом видов и их значимостью [20].

Величины индекса Шеннона (H) для актиномицетных комплексов всех исследованных объектов близки и позволяют охарактеризовать разнообразие как достаточно высокое (табл. 5). Обычно значения H лежат в пределах от 1,5 до 3,5: чем больше индекс Шеннона, тем выше видовое разнообразие сообщества [16]. Большее значение рассчитано для контрольной почвы, меньшее — для гнезд *F. cunicularia*.

Таблица 5

Значения индексов доминирования (D), разнообразия (H), выровненности (E) и сходства (S) для комплексов актиномицетов, выделенных из контрольной почвы и гнезд *L. niger* и *F. cunicularia*

Показатель	Контрольная почва (I)	Гнездо <i>Lasius niger</i> (II)	Гнездо <i>Formica cunicularia</i> (III)
H	2,95	2,80	2,70
E	0,86	0,83	0,85
D	0,13	0,14	0,19
S	I—II	II—III	I—III
	0,48	0,38	0,37

Индекс выровненности E (индекс Пилоу) характеризует равномерность распределения обилия по таксонам, его значение максимально при равном обилии всех видов. Из исследованных сообществ наибольшее значение E отмечено для фоновой почвы (0,86).

Таким образом, значения индексов H и E для всех исследованных актиномицетных комплексов близки и показывают высокое биоразнообразие и выравнен-

ность, что характеризует их как зрелые и стабильные. Максимальные величины отмечены для фоновой почвы (табл. 5).

Наименьшее значение индекса доминирования Симпсона (D) отмечено для контрольной почвы, а наибольшее — для гнезд *Formica* (с увеличением D разнообразие уменьшается). Данный показатель является весьма чувствительным индикатором доминирования одного или нескольких видов и слабо зависит от видового богатства [16]. В актиномицетном комплексе *Formica* присутствует вид с высоким обилием (35%) — *S. varsoviensis* (табл. 5).

Для оценки степени сходства или различия комплексов актиномицетов, выделенных из гнездового материала и фоновой почвы (■ **-разнообразие** или разнообразия между местообитаниями) был использован коэффициент сходства Сьёренсена (S). Значение данного показателя соответствует спектру вероятностей от абсолютного несходства до полного совпадения видовой структуры рассматриваемых сообществ. Коэффициент S , рассчитанный для контрольной почвы и гнездового материала *Lasius*, составляет 0,48, т.е. сходств и различий примерно поровну. В парах “контроль—*Formica*” и “*Formica*—*Lasius*” S практически одинаков: 0,37 и 0,38, т.е. комплекс актиномицетов из гнезда *Formica* одинаково далек и от контрольной почвы, и от комплекса из гнезда *Lasius*. β -разнообразие можно характеризовать как высокое.

Итак, структуры актиномицетных комплексов гнездового материала *L. niger* и *F. cunicularia* схожи с фоновой почвой по разнообразию и выравненности, но заметно отличаются численностью и набором видов.

Влияние муравьев на разнообразие актиномицетов прежде всего опосредованно как результат изменения почвенных свойств в ходе строительства и устройства гнезда. В литературе же известны примеры яркого мутуалистического взаимодействия между муравьями и актиномицетами, включая симбиоз между муравьями-листорезами из трибы *Attini* и обитающими на поверхности их тел актиномицетами рода *Pseudonocardia*. Эти актиномицеты обладают специфической антибиотической активностью в отношении микромицета *Escovopsis* sp., который паразитирует в грибных садах, культивируемых муравьями. Муравьи в свою очередь предоставляют актиномицетам уникальную экологическую нишу, обеспечивают их распространение и снабжают питательными веществами [21].

У менее специализированных муравьев подобный мутуализм может существовать в виде поверхностно ассоциированной или внутренней “актинофлоры”, которая способна, например, предохранять муравьев от энтомопатогенов. Поэтому на следующем этапе изучали комплекс прокариот, непосредственно связанных с муравьями *L. niger* и *F. cunicularia*. Оценивались численность и видовое разнообразие актиномицетных комплексов, выявляемых в посевах смывов

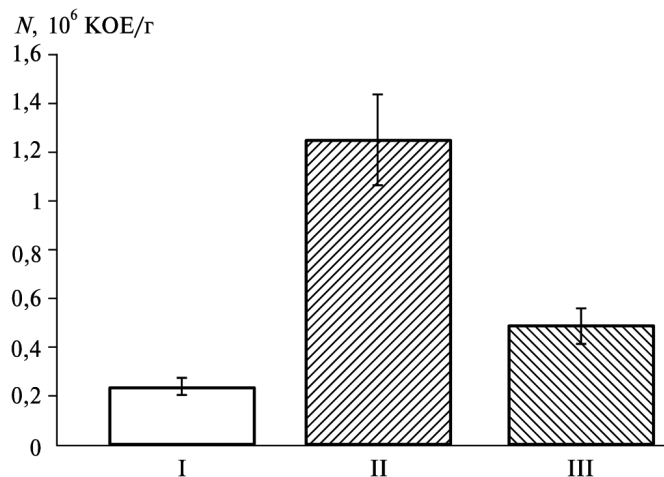


Рис. 1. Общая численность актиномицетных комплексов в гнездовых холмиках *L. niger* (II) и *F. cunicularia* (III) и контрольной почве (I): N — число колониеобразующих единиц актиномицетов в грамме субстрата. Планки погрешностей соответствуют величине относительной ошибки

и суспензий из отмытых муравьев *L. niger* и *F. cunicularia*. Мы предполагаем, что в смыв попадают организмы, непрочно связанные с поверхностью муравья либо случайные, с прилипшими частичками почвы, в то время как в гомогенизате присутствуют актиномицеты, адгезированные на покровах, и/или возможные эндосимбионты.

В посевах из гомогенизатов *L. niger* численность актиномицетов составляет $2,6 \times 10^6$ КОЕ/г особь, а в гнездовом холмике *L. niger* — $1,26 \times 10^6$ КОЕ/г почвы. В суспензии *Formica* численность актиномицетов $6,2 \times 10^5$ КОЕ/г особь, в гнезде — $4,9 \times 10^5$ КОЕ/г почвы. Поскольку вес муравьев составляет несколько мг, при пересчете в граммы получается, что численность актиномицетов в самих муравьях (сотни КОЕ/г) и их гнездах практически одинакова (рис. 1, 2). В смывах обоих видов муравьев численность оценивается в 4×10^5 КОЕ/г особь, что сопоставимо с контрольной почвой — $2,3 \times 10^5$ КОЕ/г почвы.

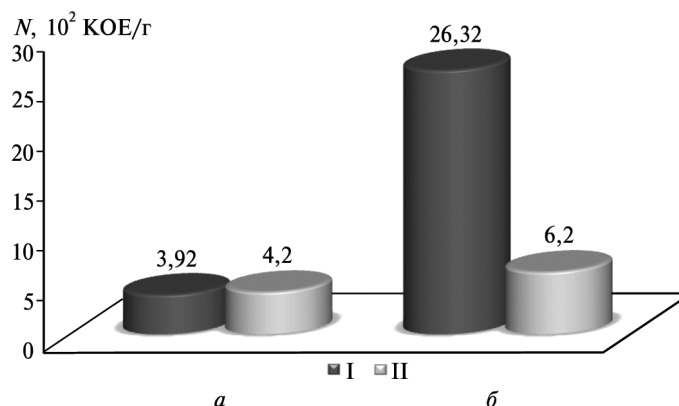


Рис. 2. Средняя численность актиномицетов, ассоциированных с муравьями *L. niger* (I) и *F. cunicularia* (II): а — смыв, б — гомогенизат. N — число колониеобразующих единиц актиномицетов, выделенных из одного муравья

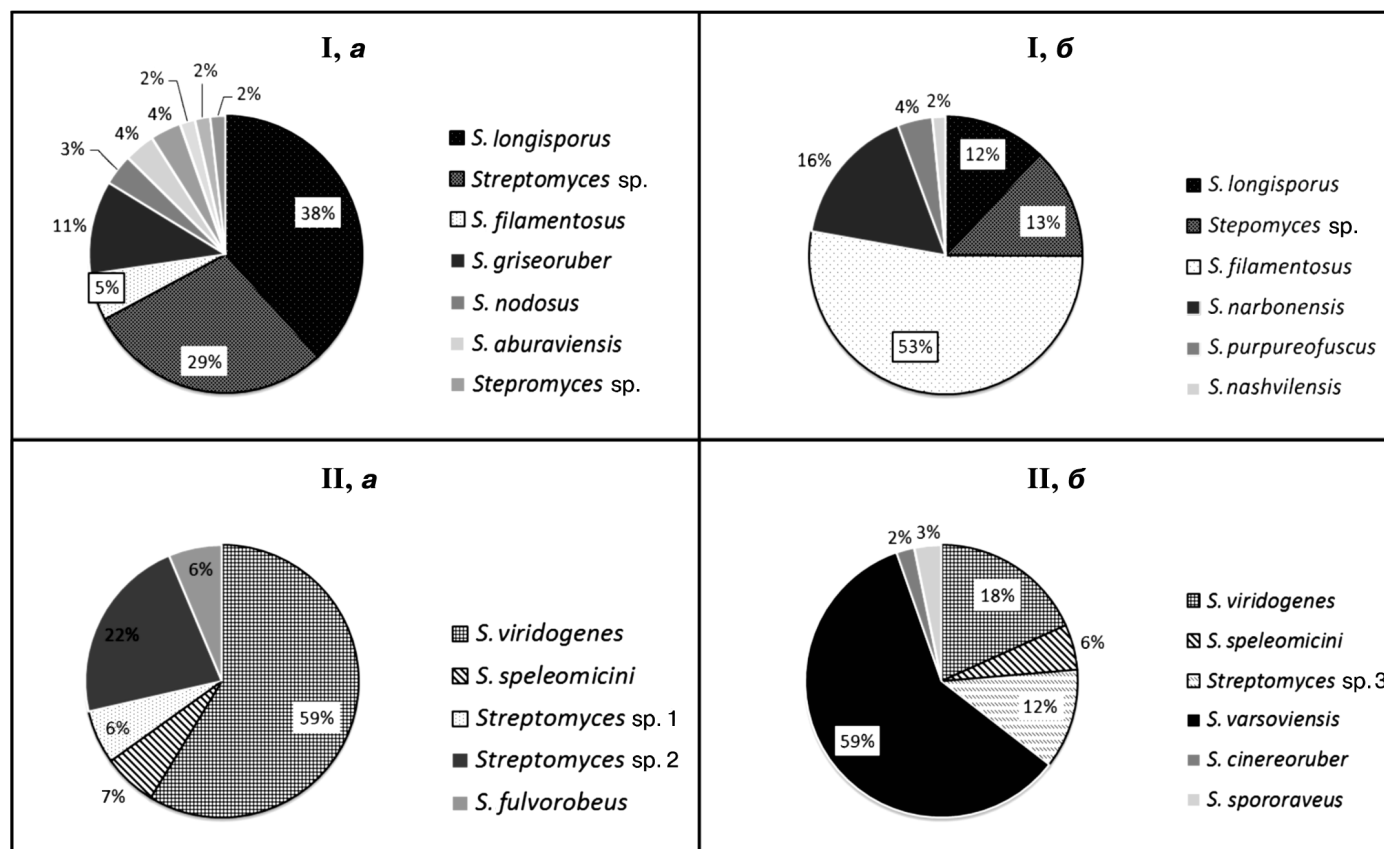


Рис. 3. Видовая структура стрептомицетных комплексов, ассоциированных с муравьями *L. niger* (I) и *F. cunicularia* (II): а — смыв, б — гомогенизат. Доля вида в сообществе, %

Численность актиномицетов, выделенных из гомогенизатов черных садовых муравьев, значительно выше, чем в посевах из суспензии прытких степных муравьев (рис. 2), хотя последние крупнее (в среднем вес муравья *Formica* более чем в три раза превышает рабочего *Lasius*). При этом количество актиномицетов, вырастающих из смывов, не зависит от размера муравья.

По ширине видового спектра лидирует вариант “*Lasius* смыв”; в посевах было выявлено 10 фенотипов, идентифицированных как *Streptomyces*. Смывы с *Formica* позволили выявить только пять видов стрептомицетов. В посевах из гомогенизатов обоих видов муравьев выявлено по шесть фенотипов, также отнесенных к роду *Streptomyces*.

Обнаружены два общих вида для смыва и гомогенизата *L. niger* — *S. filamentosus* и *S. longisporus* (рис. 3). В посевах из гомогенизата *S. filamentosus* доминирует (53%), а в посевах смыва становится минорным (5%). Напротив, *S. longisporus* доминирует в смывах (38%) и субдоминантен (12%) в гомогенизате *L. niger* (рис. 3).

В стрептомицетных комплексах, ассоциированных с муравьями *F. cunicularia*, также отмечены два общих вида — *S. speleomicini*, *S. viridogenes* (рис. 3). *S. viridogenes* доминировал в смывах (59%), а в суспензии был субдоминантом (18%). Доля *S. speleomicini* в смыве и суспензии составляет 6–7%, что характеризует его как минорный вид. В посевах из гомо-

генизатов *F. cunicularia* доминировал *S. varsoviensis* (59%), не обнаруженный в посевах поверхностных смывов (рис. 3).

Таким образом, структурные характеристики актиномицетных комплексов, ассоциированных с муравьями, зависят от методических подходов к их выделению: меняются доминанты и субдоминанты, отличаются наборы минорных видов. По нашему мнению, для поиска возможных симбиотических актиномицетов более перспективны виды, выделенные из суспензий.

Выявленные отличия между стрептомицетными комплексами, ассоциированными с муравьями, наглядно иллюстрируются параметрами α -разнообразия (табл. 6).

Наибольшее значение индекса разнообразия *H* отмечено для смыва *Lasius*, наименьшее — для смывов с муравьев *Formica*, а гомогенизаты имеют практически одинаковые значения. Для индекса выравненности *E* можно повторить вышесказанное, поскольку этот показатель прямо пропорционален индексу Шеннона.

Минимальное значение индекса доминирования *D* отмечено для “смыва *Lasius*”. В комплексах стрептомицетов, ассоциированных с *Formica*, доминанты более обильны (рис. 3), максимальное значение *D* вычислено для варианта “смыв” (табл. 6).

Таблица 6

Значения индексов доминирования, разнообразия, выровненности и сходства для комплексов стрептомицетов, ассоциированных с муравьями *L. niger* и *F. cunicularia*

Показатели	<i>Lasius niger</i>		<i>Formica cunicularia</i>	
	смыв	гомогенизат	смыв	гомогенизат
Индекс Шеннона (<i>H</i>)	2,65	1,95	1,69	1,97
Индекс Пиелоу (<i>E</i>)	0,80	0,76	0,73	0,70
Индекс Симпсона (<i>D</i>)	0,26	0,33	0,41	0,38
Индекс Съеренсена (<i>S</i>)	0,21		0,26	
	0			

В паре вариантов “смыв” и “гомогенизат” для стрептомицетных комплексов, ассоциированных с *F. cunicularia* и с *L. niger*, сходство видового состава (коэффициент Съеренсена) составляет соответственно 21 и 26% (табл. 5). Общих видов стрептомицетов для муравьев *Lasius* и *Formica* выделено не было — *S* равен нулю.

Заключение

Из гнездового материала муравьев выделяется большее число видов актиномицетов, чем при посеве из гомогенизированных муравьев или смывов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Jones C.G., Lawton H.J., Shachak M. Organisms as ecosystem engineers // *Oikos*. 1994. Vol. 69. P. 373—386.
2. Nkem J.N., Lobry de Bruyn L.A., Grant C.D., Hulugale N.R. The impact of ant bioturbation and foraging activities on surrounding soil properties // *Pedobiologia*. 2000. Vol. 44. P. 609—621.
3. Holec M., Frouz J. The effect of two ant species *Lasius niger* and *Lasius flavus* on soil properties in two contrasting habitats // *Eur. J. Soil Biol.* 2006. Vol. 42. P. 213—217.
4. Cammeraat E.L.H., Risch A.C. The impact of ants on mineral soil properties and processes at different spatial scales // *J. App. Entomol.* 2008. Vol. 132. P. 285—294.
5. Frouz J., Jilková V. The effects of ants on soil properties and processes (Hymenoptera: Formicidae) // *Myrmecol. News*. 2008. Vol. 11. P. 191—199.
6. Длусский Г.М. Муравьи рода *Formica*. М.: Наука, 1967. 236 с.
7. Czechowski W., Radchnko A., Czechowska W. The Ants of Poland: (Hymenoptera, Formicidae). Warszawa, 2002.
8. McCarthey A.J., Williams S.T. Methods for studying the ecology of actinomycetes // *Methods in Microbiology*. 1990. Vol. 22. P. 533—563.
9. Dauber J., Schroeter D., Wolters V. Species specific effects of ants on microbial activity and N-availability in the soil of an old-field // *Eur. J. Soil Biol.* 2001. Vol. 37. P. 259—261.
10. Boulton A.M., Amberman K.D. How ant nests increase soil biota richness and abundance: a field experiment // *Biodiversity & Conservation*. 2006. Vol. 15. P. 69—82.

Данное наблюдение является вполне ожидаемым, поскольку почва, из которой и состоят гнезда, считается естественным “банком” микроорганизмов, в частности актиномицетов. Существовать же в ассоциации с животными, очевидно, способно ограниченное число видов.

Комплексы стрептомицетов, выделенные с использованием живых муравьев, заметно менее разнообразны, менее выравнены, в них ярче выражены доминанты по сравнению с сообществами, выделенными из их гнезд (табл. 5, 6).

Ввиду практически полной разобщенности между актиномицетными сообществами муравьев и гнездового материала β-разнообразие можно считать очень высоким. Для муравьев *F. cunicularia* и их гнезд выявлен один общий вид, *S. cinereoruber*, минорный в гомогенизате и субдоминантный в образцах холмика. Общих видов для актиномицетного сообщества самих муравьев *L. niger* и их гнезд не выявлено.

Сходства между сообществами актиномицетов в фоновой почве больше, чем между группами актиномицетов, связанными с живыми муравьями. Это позволяет предположить, что помимо опосредованного влияния на актиномицеты путем преобразования почвы муравьи формируют уникальные комплексы, непосредственно контактируя с актиномицетами. Механизмы, связи, взаимная выгода таких отношений, без сомнения, требуют дальнейшего изучения.

11. Boots B., Clipson N. Linking ecosystem modification by the yellow meadow ant (*Lasius flavus*) to microbial assemblages in different soil environments // *Eur. J. Soil Biol.* 2013. Vol. 55. P. 100—106.
12. Actinomycetes in biotechnology / Ed. M. Goodfellow. L.: Academic Press, 1988. 501 p.
13. Шишов Л.Л., Тонконогов В.Д., Лебедева И.И., Герасимова М.И. Классификация и диагностика почв России. М.: Изд-во Почв. ин-та им. В.В. Докучаева, 2004. 342 с.
14. Гаузе Г.Ф., Преображенская Т.П., Свешикова М.А., Терехова Л.П., Максимова Т.С. Определитель актиномицетов. М.: Наука, 1983. 245 с.
15. Методы почвенной биологии и биохимии / Под ред. Д.Г. Звягинцева. М.: Изд-во МГУ, 1991. 304 с.
16. Лебедева Н.В., Криволицкий Д.А. Биологическое разнообразие и методы его оценки // География и мониторинг биоразнообразия. М.: Изд-во научного и учебно-методического центра, 2002. 253 с.
17. Звягинцев Д.Г., Зенова Г.М. Экология актиномицетов. М.: Геос, 2001. 257 с.
18. Уиттекер Р. Сообщества и экосистемы. М.: Прогресс, 1980. 328 с.
19. Одум Ю. Экология. Т. 2 / Под ред. В.Е. Соколова. М.: Мир, 1986. 376 с.
20. Мэггаран Э. Экология разнообразия и его измерение. М.: Мир, 1992. 184 с.
21. Currie C. A community of ants, fungi and bacteria: a multilateral approach to studying symbiosis // *Ann. Rev. Microbiol.* 2001. Vol. 55. P. 357—380.

22. Мирчинк Т.Г. Почвенные грибы как компонент биогеоценоза// Почвенные микроорганизмы как компонент биогеоценоза. М.: Наука, 1984.

23. Любарский Е.Л. К методике экспресс-квалификации и сравнения описаний фитоценозов // Количественные методы анализа растительности. Уфа, 1974. С. 221—224.

Поступила в редакцию
14.08.13

**COMPARATIVE STUDY OF THE ACTINOMYCETES COMMUNITIES
ASSOCIATED WITH *LASIUS NIGER* AND *FORMICA CUNICULARIA*
ANTS AND THEIR NESTS**

J.V. Zakalyukina, M.V. Golitschenkov, O.I. Brovkina, T.S. Putyatina

For the first time a comparative analysis of the abundance and biodiversity actinomycetes complexes isolated from the living ants *Lasius niger* and *Formica cunicularia*, as well as of material anthills, was conducted. The number of actinomycetes detected in ants *L. niger*, close to a number of actinomycetes in their anthill, which is much higher than those for *F. cunicularia*. Actinomycetes community of anthills and intact soil are of high diversity, equitability, without severe dominants, the presence of common species. Biodiversity of actinomycetes associated with live ants is significantly below, and a set of actinomycetes are specific for each species of ants.

Key words: *actinomycetes, ants, biodiversity, Lasius niger, Formica cunicularia.*

Сведения об авторах

Закалюкина Юлия Владимировна — канд. биол. наук, мл. науч. сотр. кафедры биологии почв факультета почвоведения МГУ. Тел.: 8-917-554-80-04; e-mail: juline@mail.ru

Голиченков Максим Владимирович — канд. биол. наук, науч. сотр. кафедры биологии почв факультета почвоведения МГУ. Тел.: 8-903-61-13-805; e-mail: affen@mail.ru

Бровкина Ольга Игоревна — канд. биол. наук, науч. сотр. лаборатории молекулярной диагностики и геномной дактилоскопии, ФГУП ГНИИ генетики и селекции промышленных микроорганизмов. E-mail: floweret88@mail.ru

Путятина Татьяна Сергеевна — канд. биол. наук, науч. сотр. кафедры биологической эволюции биологического факультета МГУ. Тел.: 8-495-939-35-01; e-mail: tputyatina@mail.ru