

МИКОРИЗООБРАЗОВАНИЕ ТРАВЯНИСТЫХ ВИДОВ НА РАЗНОВОЗРАСТНЫХ ОТВАЛАХ НИКЕЛЕВОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ

В статье представлено изучение особенностей микоризообразования травянистых видов в растительных сообществах, формирующихся в процессе самозарастания на 8 разновозрастных (4–36-летних) отвалах Черемшанского рудника Уфалейского никелевого месторождения, находящихся в 15 км к северо-востоку от г. Верхний Уфалей Челябинской области.

Породы отвалов состоят, в основном, из выветренных серпентинитов, представленных глинистым материалом и валунами в равной степени, реакция среды (рН) варьирует от слабощелочной до нейтральной, обеспеченность азотом и доступными фосфатами очень низкая, обменным калием – средняя и высокая. Обследование растительности показало, что на 4–6-летних отвалах идет формирование растительных группировок, представленных единичными особями сорно-рудеральных и лугово-сорных видов. На 11–36-летних отвалах формируются лесные фитоценозы, с доминированием *Pinussylvestris* L., *Betulapendula* Roth. Проективное покрытие травянистым ярусом зависит от степени а каменистости субстрата. Исследования показали, что в корнях большинства травянистых растений имеется арбускулярная микориза, представленная несептированными гифами гриба, везикулами и арбускулами. С увеличением возраста отвалов и степени сформированности растительных сообществ растет доля микотрофных видов. На молодых 4–6-летних отвалах доля микотрофных видов составляет 52,4–58,8%, на более старых 11–36-летних отвалах – 91,7–100%, достигая величины, характерной для естественных фитоценозов. Такие показатели, как степень микотрофности, частота встречаемости микориз, интенсивность микоризной инфекции также растут с увеличением возраста отвалов и зависят от экологических условий (степени каменистости и увлажнения субстрата).

Ключевые слова: фитоценозы, динамика фитоценозов, арбускулярная микориза, никелевые отвалы.

В настоящее время молекулярные и палеоботанические исследования поддерживают гипотезу тесной взаимосвязи микоризообразующих грибов с растениями [1], [2]. Микориза является одним из компонентов экосистем, усиливающих их интегрированность, способствующих интенсификации в них оборота биогенных веществ, компенсирующих дефицитность биогенных элементов в экосистеме путем включения их в биотический круговорот [3]–[5].

При изменении условий окружающей среды происходит смещение равновесия в природных комплексах, нарушение консортивных связей, в частности микориз. Подобные нарушения приводят к серьезным последствиям, таким как деградация растительных сообществ, снижение доступности необходимых элементов и потеря устойчивости экосистемы. Одним из примеров таких территорий являются промышленные отвалы. Восстановление растительности на этих территориях происходит крайне медленно. В связи с этим большой интерес представляет изучение восстановления микоризы в растительных сообществах, формирующихся на техногенных субстратах.

Объекты и методы

Целью наших исследований было изучение особенностей микоризообразования в растительных сообществах, формирующихся в процессе самозарастания на отвалах никелевого месторождения, установление зависимости показателей микотрофности от возраста сообществ и от экологических условий.

Были обследованы 8 разновозрастных (4–36-летних) отвалов Черемшанского рудника Уфалейского никелевого месторождения, находящихся в 15 км к северо-востоку от г. Верхний Уфалей Челябинской области, территория относится к лесной зоне, подзоне сосново-березовых лесов восточного склона Урала [6].

Породы отвалов Черемшанского карьера состоят, в основном, из выветренных серпентинитов, представленных глинистым материалом и валунами в равной степени. Агрохимическая характеристика субстрата показала, что реакция среды (рН) варьирует от слабощелочной до нейтральной, обеспеченность азотом и доступными фосфатами очень низкая, обменным калием – средняя и высокая. Обследование отвалов проводилось детально-маршрутным мето-

дом с описанием растительности. За основной критерий сформированности растительного сообщества принималось проективное покрытие (ПП) растениями [7]. Для изучения микоризы в растительных сообществах, формирующихся на отвалах, отбирали корни травянистых растений в десятикратной повторности, высушивали и обрабатывали по общепринятой методике с окрашиванием в анилиновой сини после мацерации в КОН.

Были изучены такие параметры, как: доля участия микотрофных видов в растительных сообществах; частота встречаемости микоризной инфекции (F, характеризует равномерность распределения гриба в корне); степень микотрофности (Д, отражает обилие гриба в корнях растений); интенсивность микоризной инфекции (С, отражает как распределение огрибленных участков корня, так и обилие гриба в нем). Был построен микосимбиотический ряд дифференциации, дающий представление о соотношении между немикотрофными, слабо-, средне- и высокомикотрофными видами [8]. Статистическая обработка материалов проведена с использованием пакета прикладных программ Statistica 6,0.

Результаты и обсуждение

Изучение микоризы травянистых видов проводилось в следующих растительных сообществах.

На отвале 4-летнего возраста сложная растительная группировка (ПП 6–10%), представлена единичными особями *Lappulasquarrosa* (Retz.) Dumort., *Polygonum aviculare* L., *Amoria repens* (L.) C. Presl и др.

На отвале 6-летнего возраста в составе сложной растительной группировки (ПП 6–10%) появляются единичные всходы *Betula pendula* Roth (sol_{gr}), из травянистых видов встречаются *Puccinellia distans* (Jacq.) Parl., *Chenopodium rubrum* L., *Taraxacum officinale* Wigg. и др.

Было обследовано два 11-возрастных отвала, один из отвалов (11а) имеет выровненную поверхность с относительно рыхлым субстратом, на втором (11б) – субстрат более каменистый, в связи с этим ПП растительностью на первом отвале выше, чем на втором. В фитоценозах обоих отвалов (ПП от 40 до 80%) древесные виды представлены *Pinussylvestris*

L., *Betulapendula* Roth, *Populustremula* L., *Salixcaprea* L.(sol), из травянистых видов доминируют: *Trifoliumpratense* L. (sp-sol), *Amoriarepens* (L.) C. Presl (sp_{gr}), *Poacompressa* L., *Festucarubra* L. (sp) и др.

На отвале 15-летнего возраста идет формирование лесного фитоценоза (ПП 50%) с высоким обилием *Pinussylvestris* (cop₂), высотой 2–3 м, *Betulapendula* (cop₁), *Populustremula* (sol), из травянистых видов наибольшую встречаемость имеют: *Amoriarepens*, *Festucapratensis* Huds. (sp_{gr}), *Poapalustris* L. (sp).

Отвал 17-летнего возраста характеризуется высокой каменистостью. В формирующемся лесном фитоценозе (ПП 50–80%) доминирует *Pinussylvestris* (cop₂), встречаются *Betulapendula*, *Salixcaprea*, *Alnusglutinosa* (L.) Gaertn. (sol). Травянистый ярус представлен *Dactylisglomerata* L., *Festucarubra*, *Phleumpratense* L., *Trifoliumpratense*, *Amoriarepens* (sp_{gr}) и др.

На отвале 25-летнего возраста формируется смешанный лесной фитоценоз (ПП 50–60%). Древесные виды представлены *Pinussylvestris* (sp), *Betulapendula*, *Salixcaprea*, *Populustremula*, *Alnusglutinosa* (sol), травянистые – *Elytrigiarrepens* (L.) Nevski (sp_{gr}), *Festucarubra* (sp) и др.

Отвал 36-летнего возраста частично разобран, характеризуется разным водным режимом. На возвышенных участках сформировался лесной фитоценоз (ПП 90%) с доминированием *Pinussylvestris* (cop₂), с примесью *Betulapendula* и *Salixcaprea*(sol), с хорошо развитым травянистым ярусом, представленным *Festucapratensis*, *Trifoliumpratense*, *Amoriarepens* (sp_{gr}). В понижении при избыточном увлажнении сформировался заболоченный луг с доминированием *Deschampsiaespitosa* (L.) Beauv. и *Festucarubra* (sp_{gr}).

Таким образом, растительность никелевых отвалов представлена сообществами разного возраста и разной степени сформированности, формирование растительных сообществ идет, в основном, по лесному типу.

Изучение микоризы показало, что в корнях большинства исследованных растений имеется арбускулярная микориза, представленная несептированными гифами гриба, везикулами и арбускулами. Установлено, что на всех отвалах преобладают микотрофные виды. На молодых 4–6-летних отвалах они составляют 52,4–58,8%,

с увеличением возраста отвалов количество микотрофных видов растет, и на более старых 11–36-летних отвалах этот показатель составляет 91,7–100%, достигая величины, характерной для естественных фитоценозов (более 80%).

Большинство микотрофных видов являются слабомикотрофными, на более старых 11–36-летних отвалах они составляют от 61,3 до 76,3%, а на 4–6-летних отвалах – 47,1 и 52,4% от общего числа видов (табл. 1). Высокомикотрофные виды встречаются единично только на отвалах 11–25-летнего возраста. Высокая доля немикотрофных и слабомикотрофных видов свидетельствует об экстремальности эдафических условий.

Гриб распределен в корнях не равномерно, частота встречаемости микоризной инфекции у отдельных видов варьирует от 2 до 100%. Встречаются корни, заполненные грибом и корни, где гриб находится лишь в единичных клетках мезодермы. Такое неравномерное заселение корневой системы эндوفитами наблюдали В.Г. Логинова и И.А. Селиванов [9] у высокогорных

растений, связывая мозаичность распределения микоризообразующего гриба с пониженной его активностью и недостатком гриба в почве.

Степень микотрофности – величина, выражающая изменчивость развития микоризы в зависимости от экологических условий, растет с увеличением возраста отвалов. На молодых отвалах она меньше 1, а на более старых колеблется от 1,15 до 1,74, одновременно эта величина зависит от экологических условий каждого отвала.

Интенсивность микоризной инфекции также растет с увеличением возраста отвалов. Небольшое снижение показателей микотрофности на отвалах 17– и 36-летнего возраста связано в первом случае с высокой каменистостью субстрата, а во втором – с частичной заболоченностью: известно, что на переувлажненных участках в анаэробных условиях происходит снижение микоризообразования.

Таким образом, проведенные исследования показали, что растительные сообщества, формирующиеся на разновозрастных (4–36-летних)

Таблица 1. Количественная характеристика микотрофности разновозрастных никелевых отвалов

Возраст отвала, лет	Количество исследованных видов	Степень микотрофности (D), баллы	Частота встречаемости микоризы (F), %	Интенсивность микоризной инфекции (C), %	Микосимбиотический ряд дифференциации			
					Немикотрофные виды	Слабомикотрофные виды	Среднемикотрофные виды	Высокомикотрофные виды
4	$\frac{21}{100}$	0,19±0,08	18,72±8,04	3,89±1,70	$\frac{10^*}{47,6}$	$\frac{11}{52,4}$	–	–
6	$\frac{17}{100}$	0,79±0,21	62,50±10,99	23,64 ±5,99	$\frac{7}{41,2}$	$\frac{8}{47,1}$	$\frac{2}{11,7}$	–
11a	$\frac{31}{100}$	1,51±0,18	79,00±4,69	27,04±3,15	$\frac{2}{6,4}$	$\frac{19}{61,3}$	$\frac{9}{29,1}$	$\frac{1}{3,2}$
11b	$\frac{28}{100}$	1,31±0,16	77,13±4,28	29,97±3,49	–	$\frac{19}{67,8}$	$\frac{8}{28,6}$	$\frac{1}{3,6}$
15	$\frac{24}{100}$	1,74±0,18	87,00±3,59	34,07±3,81	$\frac{2}{8,3}$	$\frac{11}{45,8}$	$\frac{10}{41,7}$	$\frac{1}{4,2}$
17	$\frac{38}{100}$	1,16±0,13	79,82±3,75	24,53±4,01	$\frac{3}{7,9}$	$\frac{27}{71,0}$	$\frac{6}{15,8}$	$\frac{2}{5,3}$
25	$\frac{27}{100}$	1,73±0,15	90,34±2,91	33,96±2,85	$\frac{1}{3,7}$	$\frac{17}{63,0}$	$\frac{8}{29,6}$	$\frac{1}{3,7}$
36	$\frac{38}{100}$	1,15±0,89	70,76±4,80	21,92±2,50	–	$\frac{29}{76,3}$	$\frac{9}{23,7}$	–

Примечание: * – в числителе абсолютное число видов, в знаменателе –% от общего числа видов.

отвалах никелевого месторождения, расположенного в Челябинской области, сложены в основном микотрофными видами. С увеличением возраста отвалов и степени сформированности растительных сообществ растет доля микотрофных видов.

Такие показатели, как степень микотрофности, частота встречаемости микориз, интенсивность микоризной инфекции также растут с увеличением возраста отвалов и зависят от экологических условий (степени каменистости и увлажнения субстрата).

01.09.2015

Работа выполнена при финансовой поддержке со стороны Министерства образования и науки Российской Федерации в рамках выполнения государственного задания УрФУ №2014/236, код проекта 2485

Список литературы:

1. Remy W., Taylor T.N., Haas H., Kerp H. Four-hundred-million-year-old vesicular-arbuscularmycorrhizae // Proc. Natl. Acad. Sci. – 1994. – P. 11841.
2. Simon L., Bousquet J., Levesque R.C., Lanonde M. Origin and diversification of endomycorrhizal fungi and coincidence with vascular land plants // Nature. – 1993. – V. 363. – p. 67.
3. Каратыгин И.В. Козволюция грибов и растений. – СПб.: Гидрометеоздат, 1993. – 115 с.
4. Проворов Н.А. Генетико-эволюционные основы учения о симбиозе // Журнал общей биологии. – 2001. – Т. 62.– № 6. – С. 472–495.
5. Harley J.L., Smith S.E. Mycorrhizal symbiosis. – London: Acad. press, 1983. – p. 484.
6. Колесников Б.П. Очерк растительности Челябинской области в связи с ее геоботаническим районированием // Флора и лесная растительность Ильменского государственного заповедника им. В.И. Ленина / Тр. Ильменск. гос. заповед. им. В.И. Ленина. – Свердловск: УФАН СССР, 1961. – Вып. 8. – С. 105–129.
7. Курочкина Л.Я., Вухрер В.В. Развитие идей В.Н. Сукачева о сингенезе // Вопросы динамики биогеоценозов: Докл. На IV ежегодн. чтениях памяти акад. В.Н. Сукачева. – М.: Наука, 1987. – С. 5–27.
8. Селиванов И.А. Микосимбиотрофизм, как форма консортивных связей в растительном покрове Советского Союза. – М.: Наука, 1981. – 230 с.
9. Логинова В.Г., Селиванов И.А. Микотрофность растений в некоторых высокогорных растительных сообществах Гиссарского хребта // Уч. зап. Пермск. пед. ин-та. – Т. 142. – Пермь, 1975. – С. 124–142.

Сведения об авторах:

Чибрик Тамара Семеновна, заведующий лабораторией антропогенной динамики экосистем Отдела биологических исследований НИИ ФПМ ИЕН биологического факультета Уральского федерального университета имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник, 03.02.01. – ботаника, 03.02.08 – экология
тел.: (343) 261-74-95, e-mail: Tamara.Chibrik@urfu.ru

Лукина Наталия Валентиновна, старший научный сотрудник лаборатории антропогенной динамики экосистем Отдела биологических исследований НИИ ФПМ ИЕН биологического факультета Уральского федерального университета имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, кандидат биологических наук, доцент по специальности «экология», 03.02.01. – ботаника, 03.02.08 – экология
тел.: (343) 261-74-95, e-mail: Natalia.Lukina@urfu.ru