

УДК 581.557.24

МИКОРИЗООБРАЗОВАНИЕ ТРАВЯНИСТЫХ ВИДОВ КОРКИНСКОГО УГОЛЬНОГО РАЗРЕЗА

Чибрик Т. С., Лукина Н. В.

*Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б. Н. Ельцина
Екатеринбург, Россия, tamara.chibrik@urfu.ru*

Проведено изучение микоризы травянистых видов в 15 растительных сообществах, формирующихся в процессе самозарастания на южном борту Коркинского угольного разреза на глубине от 10 до 323 м. В Коркинском угольном разрезе, характеризующемся специфическими экологическими условиями, естественное зарастание и формирование микоризы у отдельных видов растений связано со свойствами пород, слагающих поверхность разреза, условиями внутрикарьерного пространства, глубиной и степенью сформированности растительных сообществ.

Ключевые слова: угольный разрез, самозарастание, арбускулярная микориза, формирование фитоценозов.

ВВЕДЕНИЕ

При добыче угля открытым способом значительные площади занимают выемки (угольные разрезы или карьеры). Специфические условия угольных разрезов, как экотопов – плотность и токсичность слагающих борта пород, глубина и разная экспозиция бортов, изменение химического состава атмосферного воздуха ограниченный водный режим, резкие суточные колебания температур представляют значительные трудности для формирования растительных сообществ в условиях разреза. Опыта рекультивации или даже в какой-то мере нейтрализации вредного влияния разрезов на окружающие территории практически нет. Наиболее приемлемыми способами являются затопление разрезов водой (при наличии технических условий), или сухая консервация.

При сухой консервации восстановление растительности на этих территориях происходит крайне медленно, и зависит от множества факторов.

В настоящее время установлено, что в сообществах высших растений широкое распространение имеет микориза. 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 кругооборот (Harley, Smith, 1983; Каратыгин, 1993; Проворов, 2001).

В связи с этим большой интерес представляет изучение восстановления микоризы в растительных сообществах, формирующихся в угольных разрезах в экстремальных экологических условиях.

Цель работы: Изучить встречаемость, степень и интенсивность микоризной инфекции в зависимости от глубины, свойств пород, экологических условий, степени сформированности и видового состава растительных сообществ в Коркинском угольном разрезе.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Исследование проводилось в Коркинском угольном разрезе, расположенном в 30 км к юго-востоку от г. Челябинска, в лесостепной зоне. Климат района резко континентальный, ландшафт характеризуется разбросанными по всей территории березовыми колками, чередующимися с безлесными пространствами, занятыми луговыми степями, почвы района дерново-подзолистые, выщелоченные черноземы.

Коркинский угольный разрез – один из наиболее крупных и глубоких карьеров на территории Российской Федерации, представляющий собой многогранную чашевидную выемку, площадью свыше 800 га, проектная глубина его 570 м. Углы наклона бортов разреза достигают 10–25°, высота рабочих уступов 10–15 м. Добыча угля осуществляется

драглайнами с предварительным разрыхлением пород буровзрывными работами и внешним отвалообразованием. Внутрикьерное пространство характеризуется специфическими условиями: в верхней части разрез мало обводнен, с увеличением глубины повышается температура воздуха и горных пород (на 1 °С каждые 30–40 м), уменьшается влажность воздуха, увеличивается степень загрязнения атмосферы радиоактивными и канцерогенными веществами, связанная с интенсивными взрывными работами, работой механизмов, транспортных средств и др. Поток солнечной радиации зависит от экспозиции и крутизны склона (Чибрик, Красавин, 1981; 1983).

Геоботаническое обследование разреза проводилось детально-маршрутным методом с описанием растительности по общепринятым методикам (Корчагин, 1964; Понятовская, 1964). За основной критерий сформированности сообществ принималось проективное покрытие (ПП) растениями (Курочкина, Вухрер, 1987). Согласно принятой классификации были идентифицированы этапы сукцессий: I – простая растительная группировка (ПП – 0,1–5 %), II – сложная растительная группировка (ПП – 6–50 %), III – фитоценоз (ПП – 50 %). Общее проективное покрытие (ОПП) определялось как среднее проективное покрытие всех раункиеровских площадок, закладываемых в изучаемом растительном сообществе. Для изучения микоризы в растительных сообществах, формирующихся в разрезе, 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 (D, отражает обилие гриба в корнях растений); интенсивность микоризной инфекции (C, отражает как распределение огрибленных участков корня, так и обилие гриба в нем). Был построен микосимбиотрофический ряд дифференциации, дающий представление о соотношении между немикотрофными, слабо-, средне- и высокомикотрофными видами (Селиванов, 1981). Одновременно с исследованием растительности взяты пробы субстрата для агрохимического анализа.

Статистическая обработка материалов проведена с использованием пакета прикладных программ Statistika 6,0.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Изучение микоризы травянистых видов проводилось в 1984 г. в 15 растительных сообществах, формирующихся в процессе самозарастания на южном борту Коркинского угольного разреза на глубине от 10 до 323 м. Глубина участков определялась по маркшейдерским данным. Работы по добыче угля в данной части разреза не проводятся, возраст участков от 2–3 до 30 лет и более. Для сравнения были взяты образцы растений на дневной поверхности (краевая полоса вдоль разреза шириной 50–100 м). Растительные сообщества на исследуемых участках различаются видовым составом и проективным покрытием.

Борта разреза сложены рыхлыми слабо сцементированными, легко выветривающимися породами. Породы покровной толщи до глубины 30 м представлены суглинками, глинами и частично опоковыми глинами. Реакция среды близка к нейтральной (рН солевой вытяжки колеблется от 5,7 до 7,5, рН водной вытяжки 6,1–8,0). Породы бедны питательными веществами: доступных фосфатов содержится 4–6 мг, обменного калия – 9–14 мг на 100 г породы соответственно. Содержание азота незначительно (от 0,01 до 0,145 % общего азота). Породы практически не засолены.

Ниже 30 м южный борт сложен аргиллитом и песчаником с примесью угля. Аргиллиты имеют сильно кислую реакцию среды (рН 3,5), средне засолены (засоление сульфатное). Обеспеченность обменным калием низкая, фосфором – средняя (6,0 мг P₂O₅ на 100 г). Отмечается довольно высокое содержание углерода (5,42 %), связанное с близким залеганием толщи угля. Уголь, находящийся в виде примеси, дает сильно кислую реакцию

среды (рН 2,7), увеличивающую фитотоксичность пород. Песчаники бедны элементами минерального питания, рН солевой вытяжки 6,5–4,5. Таким образом, исследуемые участки характеризуются пестротностью эдафических условий.

Неблагоприятными факторами, оказывающими влияние на зарастание уступов растениями, являются кислая реакция среды, засоленность, недостаток воды. Высокая кислотность в сочетании с сильным засолением существенно влияют на видовой состав растительных сообществ. Степень сформированности растительных сообществ зависит от возраста сообществ, агрохимических характеристик субстрата, глубины залегания участка (Чибрик, 2015).

За время исследования на южном борту Коркинского угольного разреза было выявлено 77 видов растений, относящихся к 17 семействам.

Анализ биоэкологической структуры флоры показал, что по продолжительности жизни флора представлена преимущественно многолетними видами (59 %), 41 % составляют малолетние виды. В структуре экоморф преобладают мезофиты (55,1 %), большую группу составляют ксерофиты, мезоксерофиты и ксеромезофиты (41 %), доля гигромезофитов, приуроченных к выходу грунтовых вод – 3,9 %.

Биоморфы представлены преимущественно травянистыми стержнекорневыми однолетниками и многолетниками (55,1 %) и короткокорневищными видами (21,8 %). В структуре жизненных форм (по Раункиеру) большинство видов относится к гемикриптофитам (51,1 %), значительна доля участия терофитов (28,2 %) и геофитов (15,4 %), хамефиты составляют 5,1 %.

Анализ ценотической структуры флоры выявил большое количество ценотических групп, свидетельствующих о начальных этапах формирования флоры, пестротности эдафических условий и высокой антропогенной нагрузке: большая часть видов принадлежит к группам сорно-рудеральных и лугово-сорных видов (49,9 %), луговые и лугово-лесные виды составляют 20,6 %, степные и лугово-степные – 18,0 %, виды солончаковых лугов – 8,9 %, переувлажненных местообитаний – 2,6 %.

По способу распространения плодов и семян ведущее положение занимает группа анемохоров (53,8 %), значительную долю составляют группы автохоров (21,8 %), зоохоров (16,7 %) и баллистов (7,7 %).

Анализ географической структуры флоры показал, что широтные группы представлены полизональными (38,5 %), бореальными (35,9 %), лесостепными (16,7 %) и степными (8,9 %) видами. Среди долготных групп преобладают евразийские (50,0 %), пльорирегинальные (16,7 %), циркумполярные (12,8 %) и европейские (10,2) виды, азиатские и евросибирские виды составляют 7,7 % и 2,6 % соответственно.

Изучение микоризы проводилось в растительных сообществах, характеристика которых представлена в таблице 1.

В растительном сообществе, формирующемся на дневной поверхности южного борта Коркинского угольного разреза, было проведено изучение микоризы у 31 травянистого вида. Растительность здесь испытывает высокую рекреационную нагрузку и аэротехногенное загрязнение, из видов преобладают *Calamagrostis epigeios* (L.) Roth, *Cirsium setosum* (Willd.) Bess., *Linaria vulgaris* L. (обилие по Друде – сор₁). В корнях большей части растений (96,8 %) обнаружена арбускулярная микориза, представленная гифами, везикулами и арбускулами. Немикотрофным оказался лишь один вид – *Raphanus raphanistrum* L. Все исследованные виды являются слабомикотрофными.

Верхние уступы южного борта разреза, расположенные на глубине 10 м от дневной поверхности, сложены относительно благоприятными для роста растений суглинками и глинами. Процессы самозарастания на них наиболее интенсивны, здесь формируются разнотравно-злаковые фитоценозы с ОПП растительностью 70–100 %. Из видов доминируют *Calamagrostis epigeios*, *Hordeum jubatum* L., *Cirsium setosum*, *Melilotus albus* Medik. (сор₁₋₂). Доля микоризных видов составляет 94,1–100 %. Преобладают слабомикотрофные виды, немикотрофными оказались *Kochia scoparia* (L.) Schrad., *Polygonum aviculare* L., *Berteroa incana* (L.) DC. Единично встречаются среднемикотрофные виды: *Saussurea amara* (L.) DC., *Carduus crispus* L., *Medicago lupulina* L.

Таблица 1

Показатели микотрофности растительных сообществ

| Глубина участка, м | Общее проективное покрытие, % | Название и сукцессионный статус растительных сообществ | Число исследованных видов | Число и доля микоризных видов, шт/%,*** | Степень микотрофности (D), баллы | Частота встречаемости микоризы (F), % | Микосимбиотический ряд дифференциации | | |
|--------------------|-------------------------------|--------------------------------------------------------|---------------------------|-----------------------------------------|----------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|-----------------------|------------------------|
| | | | | | | | Немикотрофные виды | Слабомикотрофные виды | Среднемикотрофные виды |
| 0 | 73 | Вейниково-разнотравно-полюнный ФЦ* | 31 | $\frac{30}{96,8}$ | 0,58±0,07 | 38,4±3,95 | – | 31 | – |
| 10 | 100 | Донниково-разнотравно-злаковый ФЦ | 34 | $\frac{32}{94,1}$ | 0,63±0,10 | 38,03±4,41 | 2 | 29 | 3 |
| 10 | 72 | Разнотравно-злаковый ФЦ | 34 | $\frac{34}{100}$ | 0,71±0,05 | 54,6±3,43 | – | 34 | – |
| 30 | 74 | Бобово-разнотравно-злаковый ФЦ | 32 | $\frac{27}{84,4}$ | 0,81±0,11 | 43,03±5,06 | 5 | 23 | 4 |
| 30 | 37 | Разнотравно-вейниковая СРГ** | 14 | $\frac{11}{78,6}$ | 0,49±0,13 | 33,50±8,58 | 3 | 11 | – |
| 40 | 52 | Злаково-разнотравный ФЦ | 29 | $\frac{17}{58,6}$ | 0,33±0,09 | 18,00±4,57 | 12 | 17 | – |
| 40 | 31 | Разнотравная СРГ | 14 | $\frac{7}{50,0}$ | 0,34±0,12 | 23,08±7,27 | 7 | 7 | – |
| 80 | 60 | Разнотравно-вейниковый ФЦ | 22 | $\frac{20}{90,9}$ | 0,54±0,10 | 35,78±5,83 | 2 | 19 | 1 |
| 130 | 29 | Разнотравно-критезоно-пырейная СРГ | 13 | $\frac{10}{76,9}$ | 0,15±0,05 | 11,66±3,49 | 3 | 10 | – |
| 150 | 85 | Разнотравно-вейниковый ФЦ | 38 | $\frac{32}{84,2}$ | 0,48±0,08 | 27,82±4,04 | 6 | 31 | 1 |
| 150 | 38 | Разнотравно-злаковая СРГ | 8 | $\frac{6}{75}$ | 0,37±0,19 | 21,25±10,14 | 2 | 6 | – |
| 150 | 34 | Разнотравно-злаковая СРГ | 5 | $\frac{5}{100}$ | 0,19±0,15 | 13,80±9,89 | 5 | 5 | – |
| 215 | 47 | Разнотравный СРГ | 22 | $\frac{17}{77,3}$ | 0,17±0,05 | 11,54±3,85 | 5 | 17 | – |
| 225 | 65 | Злаково-разнотравная СРГ | 23 | $\frac{14}{63,6}$ | 0,29±0,10 | 20,47±5,80 | 9 | 13 | 1 |
| 247 | 30 | Разнотравно-кохиевая СРГ | 8 | $\frac{3}{37,5}$ | 0,01±0,006 | 1,00±0,56 | 5 | 3 | – |
| 323 | 41 | Разнотравно-кохиевая СРГ | 10 | $\frac{7}{70}$ | 0,30±0,14 | 17,70±7,42 | 3 | 7 | – |

Примечание к таблице. * – ФЦ – фитоценоз; ** – СРГ – сложная растительная группировка; *** – в числителе абсолютное число видов, в знаменателе – % от общего числа видов.

На уступах, расположенных на глубине от 30 до 80 м растительность формируется в основном, на аргиллитах с примесью угля. По агрохимической характеристике здесь встречаются кислые и засоленные породы. Растительность образует отдельные мозаичные пятна, локализованные в понижениях микрорельефа, а также по краям уступов и у подножия склонов. Здесь, в основном, формируются разнотравно-злаковые сложные растительные группировки с доминированием *Calamagrostis epigeios* (cop₁₋₂), *Hordeum jubatum* (cop_{1-sp}), *Tussilago farfara* L. (sp), на засоленных участках пятнами встречаются *Puccinellia distans* (Jacq.) Parl. и *Saussurea amara*. ОПП растительностью варьирует от 30 до 45 %, достигая 85 % в зарослях *Calamagrostis epigeios*. Изучение микоризы показало, что доля микоризных видов составляет 50,0–90,9 %, преобладают слабомикотрофные виды. Не обнаружена микориза у *Salsola collina* Pall., *S. australis* R. Br., *Gypsophila altissima* L., *Puccinellia distans*, *Kochia scoparia*, *Polygonum aviculare*, *Atriplex littoralis* L., *A. sagittata* Borkh., *Sisymbrium loeselii* L., *Phragmites australis* (Cav.) Trin. ex Steud. Один вид оказался среднемикотрофным – *Carduus crispus*.

На глубине 150 м на нейтральных породах сформировался разнотравно-вейниковый фитоценоз с доминированием *Calamagrostis epigeios* (cop₂). Из 38 исследованных видов – 32 вида (84,2 %) имеют арбускулярную микоризу, большинство видов – слабомикотрофные, среднемикотрофным оказался лишь один вид – *Vicia cracca* L. На кислом субстрате на глубине 150 м формируются сложные растительные группировки с высоким обилием *Artemisia absinthium* L., *Kochia scoparia*, *Polygonum aviculare*, *Calamagrostis epigeios* (sp). Все исследованные виды являются слабомикотрофными. Не обнаружена микориза у *Kochia scoparia* и *Atriplex littoralis*.

Особый интерес представляют сообщества, сформированные глубже 200 м (215, 225, 247 и 323 м). Эти сообщества формируются на кислых породах в более или менее неблагоприятных экологических условиях при постоянном техногенном воздействии.

На глубине 215–225 м формируются разнотравные и разнотравно-злаковые сложные растительные группировки. ОПП растительностью около 50 %. Обилие большинства видов не превышает sol и sol gr. Имеются переувлажненные участки с гигрофильной растительностью. Исследования показали, что большинство видов (63,6–77,3 % соответственно) вступают в симбиоз с грибом, и являются слабомикотрофными. Наиболее высокие показатели интенсивности микоризной инфекции выявлены у *Solanum dulcamara* L. – 12,4 %, у *Phragmites australis* – 14,4 %, у *Linaria vulgaris* – 21,8 %. Остальные виды имеют очень низкую интенсивность микоризной инфекции (0,2–4,2 %). Один вид – *Tripolium vulgare* Nees оказался среднемикотрофным. Не обнаружена микориза у *Kochia scoparia*, *Melilotus albus*, *Salsola collina*, *Polygonum aviculare*, *Atriplex littoralis*, *Puccinellia distans*, *Sisymbrium loeselii*, *Artemisia absinthium*, *Amaranthus retroflexus* L.

На нижних уступах карьера на глубине 247–323 м при постоянных техногенных нарушениях субстрата ОПП растительностью не превышает 30–40 %. Возраст формирующихся растительных сообществ от 2–3 до 5 лет, видовой состав обеднен, основное покрытие создают заросли *Kochia scoparia*. Доля микоризных видов варьирует от 37,5 до 70,0 %. Виды имеют очень низкие показатели микоризы. Доминант сообщества – *Kochia scoparia* не микотрофна.

Таким образом, в результате проведенных исследований установлено, что в растительных сообществах, формирующихся на южном борту Коркинского угольного разреза, произрастают, в основном, микоризные виды. Не обнаружена микориза у представителей сем. *Amaranthaceae*, *Caryophyllaceae*, *Chenopodiaceae*, *Polygonaceae*, *Brassicaceae*, в которых преобладают немикоризные виды, а также у некоторых видов сем. *Fabaceae*, *Asteraceae*, *Roaceae*. Относительно более высокие показатели микоризы выявлены у галофитных растений на засоленных участках.

Доля микоризных видов и средние показатели микотрофности в растительном сообществе уменьшаются с глубиной, и зависят от агрохимических характеристик субстрата а также степени сформированности растительного сообщества. Коэффициент корреляции общего проективного покрытия растительностью и числа микоризных видов в сообществе составил $r_p=0,74$; $n=15$.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенные исследования показали, что большинство видов, произрастающих на южном борту Коркинского угольного разреза, имеют арбускулярную микоризу. Количественные оценки микоризы ниже, чем в естественных растительных сообществах. В формирующихся растительных сообществах преобладают слабмикотрофные виды, и лишь единично встречаются среднемикотрофные.

Доля микоризных видов и показатели микотрофности в Коркинском угольном разрезе уменьшаются с глубиной, и зависят от неблагоприятных факторов внутрикарьерного пространства, а также от степени сформированности (от статуса) растительных сообществ.

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

- Каратыгин, И. В. Козволюция грибов и растений / И. В. Каратыгин. – СПб. : Гидрометеоздат, 1993. – 115 с.
- Корчагин, А. А. Видовой (флористический состав) растительных сообществ и методы его изучения / А. А. Корчагин // Полевая геоботаника: в 5 т. – Т. 3. – М.–Л. : Наука, 1964. – С. 39–62.
- Красавин, А. П. К методике комплексных исследований при разработке технологии рекультивации угольных разрезов в режиме сухой консервации / А. П. Красавин, Т. С. Чибрик // Растения и промышленная среда. – Свердловск : Изд-во Уральского ун-та, 1982. – С. 5–17.
- Курочкина, Л. Я. Развитие идей В. Н. Сукачева о сингенезе / Л. Я. Курочкина, В. В. Вухрер // Вопросы динамики биогеоценозов: докл. на IV ежегодных чтениях памяти акад. В. Н. Сукачева. – М. : Наука, 1987. – С. 5–27.
- Понятовская, В. М. Учет обилия и особенности размещения видов в естественных растительных сообществах / В. М. Понятовская, В. М. // Полевая геоботаника: в 5 т. – Т. 3. – М.–Л. : Наука, 1964. – С. 209–299.
- Проворов, Н. А. Генетико-эволюционные основы учения о симбиозе / Н. А. Проворов // Журнал общей биологии. – 2001. – Т. 62, № 6. – С. 472–495.
- Селиванов, И. А. Микосимбиотрофизм, как форма консортивных связей в растительном покрове Советского Союза / И. А. Селиванов – М. : Наука, 1981. – 230 с.
- Чибрик, Т. С. К проблеме рекультивации выработанных пространств глубоких угольных разрезов / Т. С. Чибрик, А. П. Красавин // Почвообразование в антропогенных условиях. – Свердловск, 1981. – С. 90–100.
- Чибрик, Т. С. Особенности озеленения выработанного пространства глубоких разрезов / Т. С. Чибрик, А. П. Красавин // Ускоренная рекультивация земель на шахтах и разрезах: Экспресс-информация ЦНИЭИуголь. – М. – 1983. – Вып. 4. – С. 2–15.
- Чибрик, Т. С. Некоторые особенности формирования растительных сообществ Коркинского угольного разреза / Т. С. Чибрик // Проблемы промышленной ботаники индустриально развитых регионов: материалы IV Междунар. науч. конф., Кемерово, 1–2 октября 2015 г. – Кемерово, 2015. – С 145–148.
- Harley, J. L. Mycorrhizal symbiosis / J. L. Harley, S. E. Smith – London: Acad. press, 1983. – 484 p.

Chibrik T. S., Lukina N. V. The herbaceous species mycorrhiza of the Korkino coal mine // Ekosystemy. 2016. Iss. 5 (35). P. 60–65.

The article presents a study of the arbuscular mycorrhizae in 15 plant communities, which are formed in the process of overgrowing on the southern edge of the Korkino coal mine at a depth of 10 to 323 m. The formation of herbaceous species mycorrhizae in Korkino coal mine, depends on the rock properties, environmental conditions, depth and degree of development of plant communities.

Key words: coal cut, self-overgrowing, arbuscular mycorrhiza, the phytocenoses formation.

Поступила в редакцию 01.06.2016 г.