

УДК 581.557.24

Динамика восстановления растительности и микоризы на рекультивированных и нереккультивированных участках золоотвала Верхнетагильской ГРЭС (Средний Урал)

Лукина Н. В., Чибрик Т. С., Глазырина М. А., Филимонова Е. И.

Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б. Н. Ельцина
Екатеринбург, Россия
natalia.lukina@urfu.ru

В статье представлены результаты долговременных (40–45-летних) исследований восстановления растительности и микоризных ассоциаций на рекультивированных и нереккультивированных участках золоотвала Верхнетагильской государственной районной электростанции (ВТ ГРЭС) (г. Верхний Тагил, Средний Урал). Показано, что рекультивационные мероприятия (покрытие золы полосами грунта) ускоряют формирование лесных фитоценозов с доминированием раннесукцессионных видов: *Betula pendula* Roth, *Populus tremula* L., *Pinus sylvestris* L. К 20–30-летнему возрасту в составе лесных сообществ появляются позднесукцессионные виды: *Picea obovata* Ledeb., *Larix sibirica* Ledeb., *Abies sibirica* Ledeb., *Pinus sibirica* Du Tour. На нереккультивированных участках золоотвала восстановление растительности задерживается на 10–15 лет: к 35–40-летнему возрасту формируется лесной фитоценоз с преобладанием *P. tremula*, *Betula pubescens* Ehrh., *B. pendula*, с подростом *P. sylvestris* и *P. obovata*. С увеличением возраста растительных сообществ происходит рост числа и доли микоризных видов. Большинство видов, произрастающих в условиях золоотвала, являются слабомикотрофными. Показатели микотрофности ниже, чем в естественных растительных сообществах. К 40–45-летнему возрасту в растительных сообществах на золоотвале ВТ ГРЭС формируется широкий спектр микоризных ассоциаций (типов микориз), характерных для лесных растительных сообществ бореальной зоны. Разнообразие спектров микоризных ассоциаций в значительной степени определяется зонально-климатическими условиями, а также зависит от эдафических особенностей и рекультивационных мероприятий.

Ключевые слова: микориза, нарушенные промышленностью земли, золоотвал, формирование растительности, рекультивация.

ВВЕДЕНИЕ

Одной из форм антропогенного нарушения целостности ландшафта являются золоотвалы тепловых электростанций, представляющие собой гидротехнические сооружения, намываемые из золошлаковых материалов в процессе их складирования. После заполнения золоотвалов на высыхающих участках начинают поселяться первые растения. Формирование растительности идет по типу первичных сукцессий, поскольку зольный субстрат не содержит диаспор растений (Работнов, 1983; Миркин и др., 2000). Фитоценозы золоотвалов – результат сложного взаимодействия зонально-климатических и конкретных экологических условий: чем условия благоприятнее, тем ближе к зональному типу формирующиеся растительные сообщества. Последовательность смен растительности, направленность процессов зарастания и предполагаемые конечные стадии в значительной степени определяются свойствами субстрата (Чибрик, Елькин, 1991).

В настоящее время установлено, что в сукцессионных изменениях сообществ принимают участие микоризные грибы, определяя их направление и влияя на видовое разнообразие растений (Gange et al., 1990; Booth, 2004; Alguacil et al., 2011; Horn et al., 2014; Horn et al., 2015). Закономерности растительной сукцессии определяются микоризной зависимостью растений, а также зависят от доступности микоризного инокулюма. Есть данные, что вначале нарушенные местообитания заселяются немикоризными растениями (например, видами сем. Chenopodiaceae, Brassicaceae и Polygonaceae). Далее происходит замещение данных растений факультативными, а позже и облигатными микотрофами. Сначала появляются, как правило, арбускулярно-микоризные растения. Затем, даже после серьезных нарушений растительных

сообществ, быстро восстанавливаются эктомикоризные растения (Ozinga et al., 1997). Возрастающее с течением времени разнообразие микобионтов приводит к повышению видового разнообразия растений в сообществе и увеличению его продуктивности (Allen et al., 1995; Ozinga et al., 1997 и др.). Известно также, что микоризы определенного типа доминируют в определенных фитоценозах и различаются в разных широтах (Read, 1984; Read, Perez-Moreno, 2003).

Для прогноза направлений и скоростей восстановления нарушенных земель, для разработки способов биологической рекультивации данных территорий важным является комплексное изучение динамики восстановления экосистем.

Цель работы – изучить процессы восстановления растительности и микоризных ассоциаций в ходе сукцессий на рекультивированных и нереккультивированных участках золоотвала.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Исследования проводили на золоотвале Верхнетагильской ГРЭС (ВТ ГРЭС), расположенном на Среднем Урале в Свердловской области в 5 км от города Верхний Тагил (таежная зона, подзона южной тайги). Площадь золоотвала составляет 125 га, высота дамб от 0 до 25 м. Золоотвал образован золой бурых углей Челябинского (Коркинский разрез, Калачевские шахты) и Богословского месторождений. По гранулометрическому составу зола представлена фракциями песка и пыли с примесью измельченного шлака. Аэрация золы от 40 до 58 %, водопроницаемость – в 5–8 раз выше, чем почвы, теплопроводность – слабая. Зола золоотвала ВТ ГРЭС крайне бедна азотом (практически его не содержит), достаточно высоко обеспечена подвижными фосфатами (23,5 мг/100 г золы), и имеет низкое обеспечение калием (7,0 мг/100 г золы). Реакция среды слабощелочная (Чибрик и др., 2011; Chibrik et al., 2016).

Биологическая рекультивация на золоотвале ВТ ГРЭС была начата в 1968 году (через 3 года после прекращения подачи пульпы) и продолжалась в последующие годы. На высохшую часть золоотвала был нанесен глинистый грунт, взятый из расположенного рядом карьера. Глина наносилась полосами шириной 5–7 м, толщина наносимого слоя – 15–20 см. Полосы с покрытием чередовались с полосами золы такого же размера. Направление полос – перпендикулярно господствующему направлению ветров. По гранулометрическому составу нанесенный субстрат – глина (частиц <0,005 мм содержится от 30 до 60 %). Субстрат не засолен, pH водной вытяжки – 6,5–7,5. Содержание общего азота – 30,0 мг/100 г субстрата; P₂O₅ – 9,0 мг/100 г субстрата; K₂O – 10,7 мг/100 г субстрата. Большинство полос было засеяно многолетними травами (*Bromopsis inermis* (Leyss.) Holub, *Festuca rubra* L., *Medicago media* Pers., *Onobrychis arenaria* (Kit.) DC. и др.), часть золоотвала была оставлена под самозаращение (Чибрик и др., 2011).

Обследование золоотвала проводилось детально-маршрутным методом с описанием растительности (Корчагин, 1964; Понятовская, 1964). За основной критерий сформированности растительного сообщества принималось проективное покрытие (ПП) растениями (Курочкина, Вухпер, 1987). Обилие видов оценивалось по шкале О. Друде (Миркин и др., 1989): sol – растения единичные; sp – растения редкие; sor₁ – растения довольно обильны; sor₂ – растения обильны; gr – растения произрастают группами. В ходе исследования определяли тип микориз (Brandrett, 2004), оценивали долю участия микоризных видов в растительных сообществах. Для изучения микоризы травянистых растений отбирали корни в десятикратной повторности, высушивали и обрабатывали в лабораторных условиях по общепринятой методике с окрашиванием в анилиновой сини после мацерации в КОН. Были изучены такие параметры, как: частота встречаемости микоризной инфекции (F, характеризует равномерность распределения гриба в корне); степень микотрофности (D, отражает обилие гриба в корнях растений); интенсивность микоризной инфекции (С, отражает как распределение огрибненных участков корня, так и обилие гриба в нем) (Селиванов, 1981). Статистическая обработка материалов проведена с использованием пакета прикладных программ Statistica 6,0.

Формирование растительности и восстановление микоризных связей на золоотвале ВТ ГРЭС было изучено как на рекультивированной территории с полосным нанесением грунта, оставленной под самозарастание (экотоп 1), так и на нереккультивированной золе (экотоп 2). Исследования проводили с 1970 года по 2015 год через 5–10 лет.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

На первично рекультивированной территории с полосным нанесением грунта (экотоп 1) в течение 48 лет было прослежено формирование лесных фитоценозов.

Исследования показали, что на участке золоотвала после покрытия его поверхности полосами глинистого грунта уже в первый год произрастало 15 видов растений (*Pericaria linicola* (Sutul.) Nenjuk., *Sonchus arvensis* L., *Chenopodium album* L., *Galeopsis ladanum* L., *Tussilago farfara* L., *Polygonum aviculare* L. (sp gr), *Achillea millefolium* L., *Alchemilla xanthochlora* Rothm. (sp), *Echinochloa crusgalli* (L.) Beauv., *Fallopia convolvulus* (L.) A. Löve, *Linaria vulgaris* L., *Lepidotheca suaveolens* (Pursh) Nutt., *Rorippa amphibia* (L.) Bess., *Sisymbrium loeselii* L., *Viola arvensis* Murr. (sol). Общее проективное покрытие (ОПП) растениями не превышало 5–10 %. Через год число видов увеличилось до 54. Через 5–8 лет на участке появились первые древесные виды: *Betula pendula* Roth, *Alnus incana* (L.) Moench, *Populus tremula* L., *Pinus sylvestris* L. (sol–sp).

К 10-летнему возрасту на данном участке произрастало 5 видов деревьев: *Betula pubescens* Ehrh. и *B. pendula*, *P. tremula*, *A. incana* (sp), *P. sylvestris* (sol); и 7 видов кустарников: *Rosa acicularis* Lindl., *Rubus idaeus* L., *Chamaecytisus ruthenicus* (Fisch. ex Wołoszcz.) Klásková, *Salix caprea* L., *S. phlycifolia* L., *S. triandra* L., *S. viminalis* L. Древесные виды чаще росли на полосах грунта, высота подроста деревьев достигала 2–3 м. Полосы грунта были частично размыты. В травянистом ярусе доминировали *Deschampsia cespitosa* (L.) Beauv., *Chamaenerion angustifolium* (L.) Scop., *Artemisia absinthium* L., *Cirsium setosum* (Willd.) Bess., *Trifolium pratense* L., образующие взаимопроникающие группы. ОПП травянистого яруса составляло 80–90 %.

К 20-летнему возрасту видовой состав древесных растений увеличился до 15 видов за счет появления *Picea obovata* Ledeb., *Populus alba* L., *Salix myrsinifolia* Salisb., эдификаторная роль древесных значительно возросла. Количество деревьев и кустарников в среднем составило 54,7 особей на 100 м². Из травянистых видов преобладали *D. cespitosa*, *F. rubra*, *Agrostis gigantea* Roth, *A. millefolium*.

К 30-летнему возрасту на рекультивированном участке в результате самозарастания сформировался лесной фитоценоз с высоким долевым участием, а иногда с доминированием *P. sylvestris*, *B. pendula*, *B. pubescens*, *P. tremula*. Общее количество древесных растений на 100 м² в среднем составляло 66,8 особей, из них взрослых – 25,7 особей. Видовой состав их увеличился до 20 видов, появились такие виды, как *Larix sibirica* Ledeb., *Abies sibirica* Ledeb., *Pinus sibirica* Du Tour, *Sorbus aucuparia* L., *Padus avium* Mill. Начал формироваться ярус кустарничков и полукустарничков из *Vaccinium vitis-idaea* L., *Orthilia secunda* (L.) House, *Pyrola media* Sw. В травянистом ярусе появились такие лесные виды, как *Fragaria vesca* L., *Rubus saxatilis* L., *Heracleum sibiricum* L., *Angelica sylvestris* L., *Aegopodium podagraria* L., *Malaxis monophyllos* (L.) Sw., *Platanthera bifolia* (L.) Rich., *Listera ovata* (L.) R. Br.

К 40-летнему возрасту на рекультивированной территории в результате самозарастания полос золы и грунта сформировались лесные фитоценозы, по видовому составу близкие к зональным. Видовой состав древесных и полудревесных растений увеличился до 28 видов. По уменьшению степени увлажнения, от центра к дамбе, на участке отмечено изменение структуры древостоя от доминирования мелколиственных пород *B. pendula*, *B. pubescens* и *P. tremula* до преобладания *P. sylvestris*. В вертикальной структуре древостоя прослеживались следующие ярусы: 1) верхний древесный ярус, представленный *B. pendula*, *B. pubescens* и *P. tremula*. Высота древостоя варьировала от 18 до 25 м, сомкнутость составляла 0,7–0,9; 2) 2-й ярус представлен подростом этих видов и *P. sylvestris*. Высота древостоя от 10 до 18 м; 3)

ярус подроста и высоких кустарников (*S. caprea*) высотой от 1,3 до 10 м; 4) ярус низких кустарников, высотой до 1,3 м, который был наиболее выражен на полосах грунта.

На полосах с грунтовым покрытием среднее число деревьев и кустарников (48,5 особей на 100 м², из них взрослых – 16,0 особей) было значительно ниже, чем на полосах золы (87,4 особей на 100 м², из них взрослых – 22 особи). При этом морфометрические характеристики древесных (высота, величина крон, диаметр стволов) на полосах грунта были выше, чем на золе. Отмечалось различие в формировании кустарникового яруса: на грунте чаще встречались – *Ch. ruthenicus*, *S. aucuparia*, *P. avium*, на золе – *Salix cinerea* L. и *S. myrsinifolia*, *Viburnum opulus* L.

Травянистый ярус в 40-летних лесных фитоценозах был разрежен, ОПП варьировало от 15 % на золе, до 25–50 % на грунте. Хроноклин, построенный по данным постоянства (встречаемости) преобладающих на этом участке травянистых видов, показал, что за исследуемый период из состава растительных сообществ выпали такие виды, как *Taraxacum officinale* Wigg. и *C. setosum*; произошло снижение постоянства сорно-рудеральных видов, таких как *T. farfara* (от 29 до 1 %), *Ch. angustifolium* (от 60 до 5 %); не изменилось постоянство *D. cespitosa* (29–32 %). Увеличилось постоянство (встречаемость) лесных и лугово-лесных видов, характерных для бореальной зоны, таких, как *F. vesca* (от 8 до 25 %), *Lathyrus pratensis* L. (от 20 до 58 %), *O. secunda* (от 0 до 21 %), *Pyrola rotundifolia* L. (от 0 до 8 %) (рис. 1).

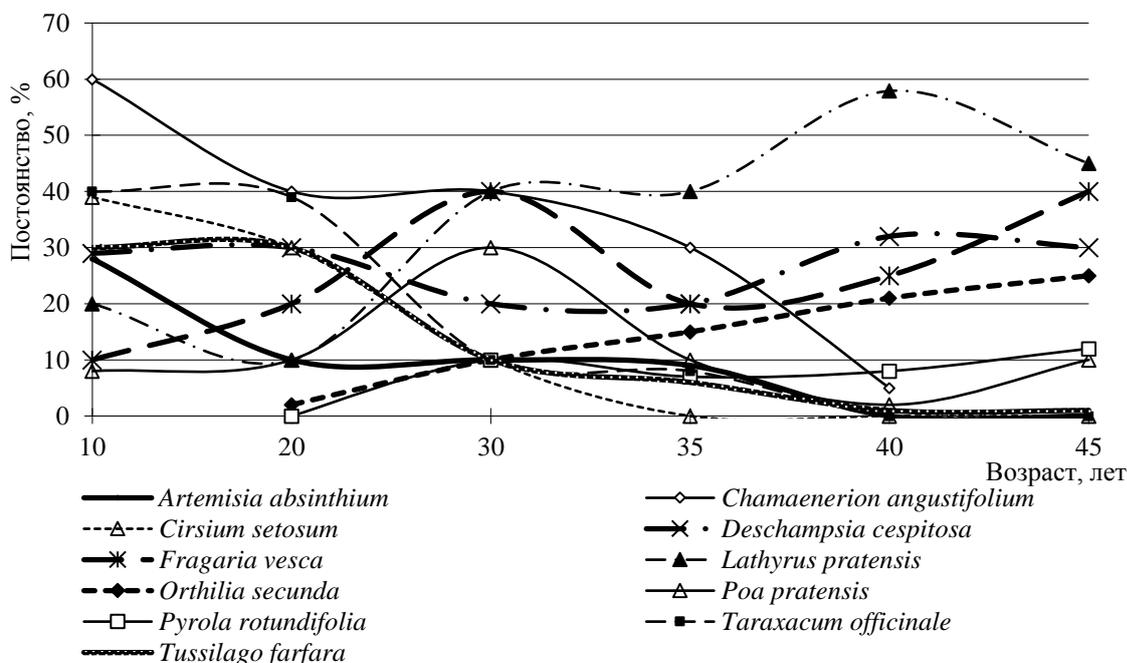


Рис. 1. Хроноклин изменения постоянства преобладающих травянистых видов в лесном фитоценозе (экотоп 1)

К 45-летнему возрасту в лесном фитоценозе на рекультивированной территории преобладали *B. pendula* (cop₂), *P. sylvestris* (cop₁), *P. tremula* (sp–cop₁) и *P. obovata* (sp). В подросте встречались: *B. pendula*, *B. pubescens*, *P. tremula* и *P. sylvestris*. Кустарниковый ярус был представлен *S. aucuparia*, *Ch. ruthenicus* и *S. myrsinifolia*, ОПП – от 5 % до 25 %. В травяно-кустарничковом ярусе отмечены группы *P. rotundifolia*, *O. secunda*, *Chimaphila umbellata* (L.) W. Barton, *R. saxatilis*, из травянистых видов доминировали *L. pratensis*, *F. vesca* (cop₁), *F. rubra*, *Amoria repens* (L.) C. Presl (sp–cop₁). ОПП травяно-кустарничкового яруса варьировало от 15 % до 50 %; ПП мохово-лишайникового покрова – от 10–30 %. Видовое разнообразие сем. Orchidaceae возросло до 5 видов: *P. bifolia*, *L. ovata*, *M. monophyllos*,

Epipactis helleborine (L.) Crantz, *Goodyera repens* (L.) R. Br. Всего в лесном фитоценозе было встречено 115 видов сосудистых растений.

На нерекультивированной золе (экотоп 2) вдоль дамб также отмечено восстановление лесных фитоценозов с преобладанием лиственных пород. На участках с более влажным субстратом их формированию предшествовали бескильничевые растительные группировки с доминированием *Puccinellia Hauptiana* V. Krecz. и *P. distans* (Jacq.) Parl.; на более сухих участках – *Ch. album* со временем переходящие в кустарниковую стадию – ивняк с участием *Salix dasyclados* Wimm., *S. myrsinifolia*, *S. caprea*, *S. viminalis* и *S. triandra* и другие.

К 25–30-летнему возрасту на данной территории сформировался смешанный лес (сомкнутость 0,6–0,7), характеризующийся довольно высокой плотностью деревьев и кустарников (104,6 особей на 100 м²), а также сложной вертикальной структурой. В верхнем древесном ярусе доминировали мелколиственные породы, такие как *P. tremula* (сор₂), *B. pendula* (сор₂) и *B. pubescens* (сор₁). Высота древостоя в среднем составляла 8–10 м, местами достигая 14 м. Нижний подполог образован хвойными породами: *P. sylvestris* и *P. obovata* (sol), а также ивами: *S. caprea* и *S. cinerea*. В кустарниковом ярусе встречались *Salix pentandra* L., *S. myrsinifolia* и подрост *S. aucuparia*, *V. opulus*, *P. avium*, *Ch. ruthenicus*, *R. acicularis*, высота которых варьировала от 0,7–0,8 м до 3,5 м (ОПП – 15–20 %, местами до 30 %). В разреженном травяно-кустарничковом ярусе (ОПП – 20–25 %) наиболее часто встречались *A. repens*, *T. pratense*, *Festuca pratensis* Huds., *F. rubra*, *Calamagrostis epigeios* (L.) Roth (рис. 2); появились представители сем. Pyrolaceae: *P. rotundifolia*, *O. secunda*, *Ch. umbellata* и сем. Orchidaceae: *P. bifolia*, *L. ovata*. Моховой покров не развит, отдельные пятна мхов были приурочены к основаниям стволов деревьев. Всего в смешанном лесу произрастало 62 вида сосудистых растений.

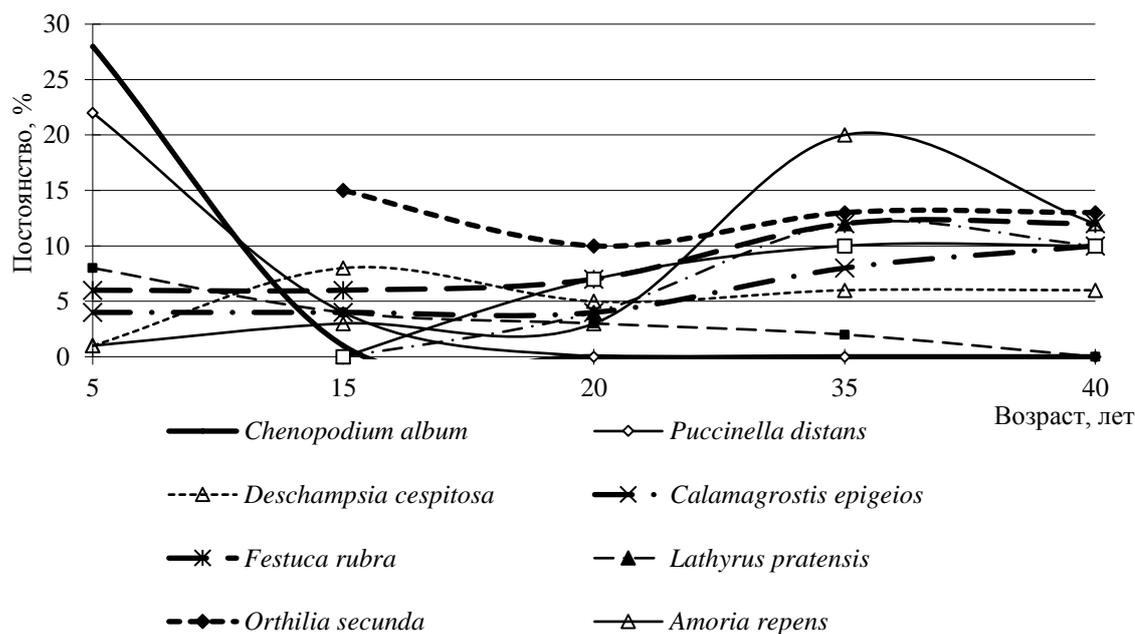


Рис. 2. Хроноклиническое изменение постоянства преобладающих травянистых видов в мелколиственном лесу (экотоп 2)

К 35–40-летнему возрасту на нерекультивированном участке сформировался лесной фитоценоз с доминированием *B. pendula*, *P. tremula*, *P. sylvestris* высотой до 14–16 м. Из состава нижнего подполога выпали *S. caprea* и *S. cinerea*, что привело к снижению сомкнутости крон до 0,5–0,6.

Слабо выраженный подлесок (ПП 10 %) представлен подростом деревьев: *B. pubescens*, *P. obovata*, *A. sibirica* и кустарников: *Ch. ruthenicus*, *Rosa majalis* Herrm. и *R. acicularis*,

S. aucuparia, *P. avium*, *V. opulus* высотой до 0,8–0,1 м. Разреженный травяно-кустарничковый ярус (ОПП от 10 до 50 %) характеризуется более бедным видовым составом по сравнению с рекультивированной территорией. В его составе преобладают *C. epigeios*, *Poa pratensis* L., *A. repens*, *F. rubra*, *D. cespitosa*, появляются лесные виды: *F. vesca*, *R. saxatilis*, *Calamagrostis arundinaceae* (L.) Roth, *Hieracium umbellatum* L., группами встречаются *Ch. umbellata* (sol), *P. rotundifolia* (cop₁ gr), *O. secunda* (sp gr). *Pyrola chlorantha* Sw. Мхи произрастают только у стволов деревьев, покрытие незначительное.

Изучение динамики микоризообразования в растительных сообществах, формирующихся на золоотвале ВТ ГРЭС, было проведено как на рекультивированной территории с полосным нанесением грунта (экотоп 1), так и на золе (экотоп 2). Результаты изучения арбускулярной микоризы представлены в таблице 1.

Таблица 1

Динамика показателей микотрофности травянистых видов в растительных сообществах, формирующихся на золоотвале ВТ ГРЭС

Возраст растительного сообщества, лет	ОПП травяно-кустарничкового яруса, %	ОПП кустарничкового яруса, %	Сомкнутость древесного яруса, %	Число исследованных видов	Число микоризных видов, шт	Доля микоризных видов, %	Частота встречаемости микоризной инфекции (F), %	Степень микотрофности (D), баллы	Интенсивность микоризной инфекции (С), %
Лесной фитоценоз (рекультивированная территория – экотоп 1)									
1–2	-	-	-	14	8	57,1	20,0±3,6	0,5±0,3	5,6±2,4
10	80–90	<5	-	53	35	66,0	39,1±4,9	0,7±0,2	9,6±1,5
20	80–95	5–10	45–60	37	31	83,8	61,9±5,5	0,9±0,2	28,1±1,9
35	30–70	5–15	50–60	33	28	84,8	25,0±3,4	0,3±0,1	17,0±0,6
40	15–50	5–25	70–90	29	25	86,2	58,1±4,5	0,9±0,1	17,3±1,7
48	15–50	5–25	70–90	47	43	91,5	58,8±4,8	0,8±0,1	17,4±1,1
Лесной фитоценоз на золе (экотоп 2)									
5	0–50	-	-	21	11	52,4	32,7±7,0	0,4±0,1	6,6±1,5
15	70	20–40	-	29	23	79,3	60,2±8,8	0,9±0,1	16,8±1,9
35	20–25	15–20	60–70	25	20	80,0	57,4±5,7	0,7±0,1	14,1±1,6
40	20–35	15–30	60–70	20	18	80,0	43,9±9,1	0,5±0,1	10,4±2,4

Исследования показали, что с увеличением возраста и степени сформированности растительных сообществ происходит рост числа и доли микоризных видов: от 66,0 % в 10-летних растительных сообществах, до 91,5 % – в 45-летних (экотоп 1); и от 52,4 % в 5-летних растительных сообществах, до 80,0 % – в 40-летних (экотоп 2). К 15–20-ти годам доля микоризных видов стабилизируется и приближается к таковой в естественных растительных сообществах. Средние показатели частоты встречаемости и интенсивности микоризной инфекции, а также степени микотрофности значительно ниже, чем в естественных фитоценозах, что свидетельствует об экстремальности эдафических условий (Лукина, Рязанова, 2012). На начальных этапах формирования лесных фитоценозов наблюдается рост показателей микотрофности, а затем с формированием древесного и кустарничкового ярусов,

с увеличением сомкнутости крон происходит затенение травяно-кустарничкового яруса, что ведет к стабилизации или снижению показателей микоризации корней травянистых видов.

В ходе проведенных исследований в растительных сообществах, формирующихся на золоотвале, было обнаружено 6 типов микориз.

Эктомикоризы (ЭМ) древесных видов обнаружены в лесных сообществах золоотвала, как на золе, так и на полосах золы и грунта.

Арбускулярные микоризы (АМ) были обнаружены у большинства травянистых видов растений в обоих исследованных растительных сообществах.

Арбутоидные микоризы (АрМ) были выявлены в лесных фитоценозах у *P. rotundifolia*, *P. chlorantha*, *P. media*, *Ch. umbellata* и *O. secunda*. Изучение микоризы перечисленных видов показало, что на поверхности корней у них имеются рыхлые корневые чехлы, образованные темноокрашенными септированными гифами. На поперечных срезах корней в единичных коровых клетках наблюдаются клубки мицелия и продукты переваривания гриба, а также фрагменты сети Гартига.

Эрикоидный тип микориз (ЭрМ) встречен у *V. vitis-idaea* в лесном фитоценозе (экотоп 1).

Орхидные микоризы (ОМ) были обнаружены у видов сем. Orchidaceae: *M. monophyllos*, *P. bifolia*, *L. ovata*, *E. helleborine*, *G. repens*, произрастающих в лесных растительных сообществах (экотоп 1, 2). Микориза у данных видов представлена септированными гифами и клубками гиф (пелотонами) в субэпидермальных клетках корня.

Монотропоидный тип микоризы (ММ) был встречен у *Hypopitys monotropa* Crantz в лесном фитоценозе (экотоп 1).

Исследования показали, что на золе первыми поселяются немикоризные виды. Рекультивационные мероприятия ускоряют поселение древесных видов, так как завезенный грунт обеспечивает для их развития более благоприятные условия, а также, вероятно, содержит зачатки грибного инокулюма. К 20-летнему возрасту в растительных сообществах золоотвала поселяются виды с арбутоидным типом микориз (представители сем. Pyrolaceae), к 30-летнему – с орхидным типом микориз (виды сем. Orchidaceae) (рис. 3). К 45-летнему возрасту на рекультивированном участке золоотвала обнаружены 6 типов микориз.

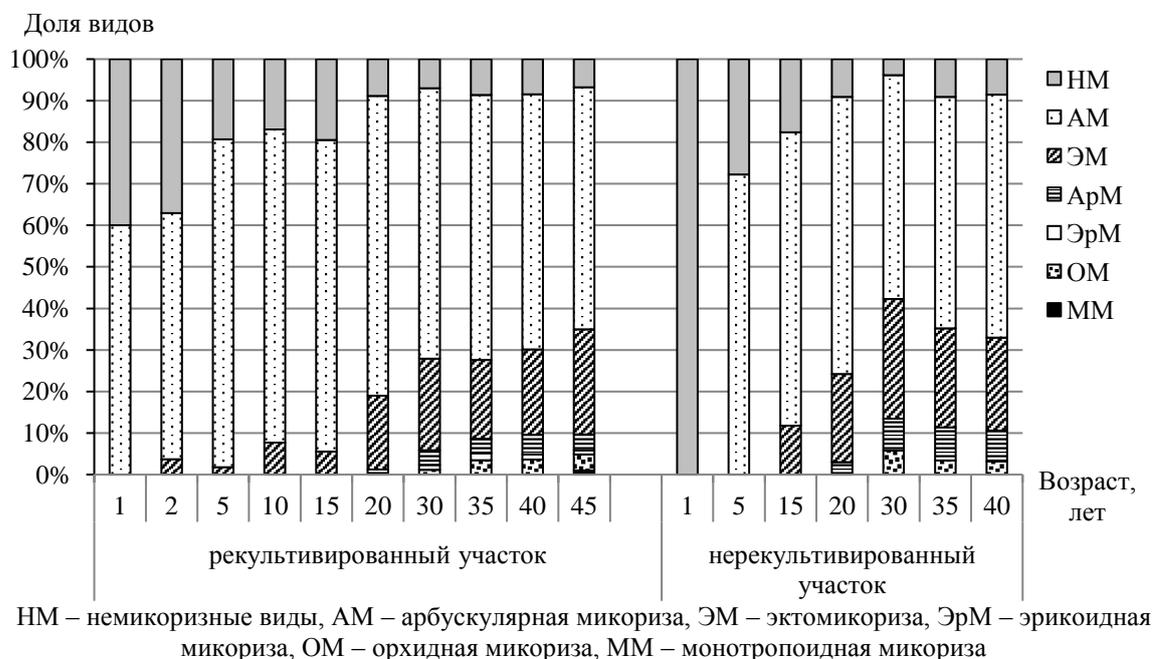


Рис. 3. Динамика восстановления микоризных ассоциаций на золоотвале ВТ ГРЭС

ВЫВОДЫ

1. На рекультивированных и нерекультивированных участках золоотвала Верхнетагильской ГРЭС (Средний Урал) к 40–45-летнему возрасту в процессе самозарастания формируются лесные фитоценозы со сложной пространственной и функциональной структурой.

2. Рекультивационные мероприятия (покрытие золы полосами грунта) ускоряют формирование лесных фитоценозов с доминированием раннесукцессионных видов: *B. pendula*, *P. tremula*, *P. sylvestris*. К 20–30-летнему возрасту в составе лесных сообществ появляются позднесукцессионные виды: *P. obovata*, *L. sibirica*, *A. sibirica*, *P. sibirica*.

3. На нерекультивированных участках золоотвала восстановление растительности задерживается на 10–15 лет: к 35–40-летнему возрасту формируется лесной фитоценоз с преобладанием *P. tremula*, *B. pendula*, *B. pubescens*, с подростом *P. sylvestris* и *P. obovata*.

4. С увеличением возраста растительных сообществ, происходит рост числа и доли микоризных видов. К 40–45-летнему возрасту в лесных фитоценозах на золоотвале формируется широкий спектр микоризных ассоциаций (типов микориз), характерных для лесных растительных сообществ бореальной зоны. Разнообразие спектров микоризных ассоциаций в значительной степени определяется зонально-климатическими условиями, а также зависит от эдафических особенностей и рекультивационных мероприятий.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования РФ в рамках выполнения государственного задания УрФУ № 6.7696.2017/БЧ (анализ данных Чибрик Т. С.); РФФИ № 18-04-00714 (полевые работы и анализ данных Лукиной Н. В., Филимоновой Е. И., Глазыриной М. А.).

Список литературы

- Корчагин А. А. Видовой (флористический состав) растительных сообществ и методы его изучения // Полевая геоботаника. – М.–Л.: Наука, 1964. – Т. 3. – С. 39–62.
- 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.
- Лукина Н. В., Рязанова С. В. Особенности микоризообразования в техногенных экосистемах // Экосистемы, их оптимизация и охрана. – 2012. – Вып. 7. – С. 261–269.
- Миркин Б. М., Розенберг Г. С., Наумова Л. Г. Словарь понятий и терминов современной фитоценологии. – М.: Наука, 1989. – 223 с.
- Миркин Б. М., Наумова Л. Г., Соломещ А. И. Современная наука о растительности. – М.: Логос, 2000. – 264 с.
- Понятовская В. М. Учет обилия и особенности размещения видов в естественных растительных сообществах // Полевая геоботаника. – М.–Л.: Наука, 1964. – Т. 3. – С. 209–299.
- Работнов Т. А. Фитоценология. – М.: Изд-во МГУ, 1983. – 296 с.
- Селиванов И. А. Микосимбиотрофизм, как форма консортивных связей в растительном покрове Советского Союза. – М.: Наука, 1981. – 230 с.
- Чибрик Т. С., Елькин Ю. А. Формирование фитоценозов на нарушенных промышленностью землях (биологическая рекультивация). – Свердловск: Изд-во Урал. ун-та, 1991. – 220 с.
- Чибрик Т. С., Лукина Н. В., Филимонова Е. И., Глазырина М. А. Экологические основы и опыт биологической рекультивации нарушенных промышленностью земель. – Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2011. – 268 с.
- Alguacil M. M., Torres M. P., Torrecillas E., Díaz G., Roldán A. Plant type differently promote the arbuscular mycorrhizal fungi biodiversity in the rhizosphere after revegetation of a degraded, semiarid land // Soil Biology & Biochemistry. – Vol. 43. – 2011. – P. 167–173.
- Allen E. B., M. F. Allen, D. J. Helm, D. J., Trappe J. M., Molina R. & Rincon E. Patterns and regulation of mycorrhizal plant and fungal diversity // Plant & Soil. – 1995. – Vol. 170. – P. 47–62.
- Booth M. G. Mycorrhizal networks mediate overstorey – understorey competition in a temperate forest // Ecology Letters. – 2004. – Vol. 7. – P. 538–546.
- Brandrett M. C. Diversity and classification of mycorrhizal association // Biological Reviews. – 2004. – Vol. 79. – P. 473–495.
- Chibrik T. S., Lukina N. V., Filimonova E. I., Glazyrina M. A., Rakov E. A., Maleva M. G., Prasad M. N. V. Biological recultivation of mine industry deserts: facilitating the formation of phytocoenosis in the Middle Ural region, Russia // Bioremediation and Bioeconomy. – Amsterdam: Elsevier, 2016. – С. 389–418.

Gange A. C., Brown V. K., Farmer L. M. A test of mycorrhizal benefit in early successional plant community // *New Phytologist*. – 1990. – Vol. 15. – P. 85–91.

Horn S., Caruso T., Verbruggen E., Rillig M. C., Hempel S. Arbuscular mycorrhizal fungal communities are phylogenetically clustered at small scales // *The ISME Journal*. – 2014. – Vol. 8. – P. 2231–2242.

Horn S., Hempel S., Ristow M., Rillig M. C., Kowarik I., Caruso T. Plant community assembly at small scales: Spatial vs. environmental factors in a European grassland // *Acta Oecologica*. – 2015. – Vol. 63. – P. 56–62.

Ozinga W. A., Van Andel J., McDonnell-Alexander M. P. Nutritional soil heterogeneity and mycorrhiza as determinants of plant species diversity // *Acta Botanica Neerlandica* – 1997. – Vol. 46. – P. 237–254.

Read D. J. The structure and function of the vegetative mycelium of mycorrhizal roots // *The ecology and physiology of the fungal mycelium* / [Edited by D. H. Jennings, A. D. M. Rayner]. – Cambridge: Cambridge University Press, 1984. – P. 215–240.

Read D. J., Perez-Moreno J. Mycorrhizas and nutrient cycling in ecosystems – a journey towards relevance? // *New Phytologist*. – 2003. – Vol. 157. – P. 475–492.

Lukina N. V., Chibrik T. S., Glazyrina M. A., Filimonova E. I. The dynamics of vegetation and mycorrhizal restoration on recultivated and non-recultivated sites of the ash dump // *Ekosistemy*. 2019. Iss. 20. P. 188–196.

The article presents the results of long-term (40–45-year) studies of vegetation restoration and mycorrhizal associations in recultivated and non-recultivated areas of the ash dump of the Verkhnetagil state district power plant (VT GRES) (Verkhny Tagil, Middle Urals). It is shown, that recultivation measures (covering the ash with strips of soil) accelerate the formation of forest phytocoenoses with domination of early successive species: *Betula pendula* Roth, *Populus tremula* L., *Pinus sylvestris* L. By the age of 20–30 years old late species appear in forest communities: *Picea obovata* Ledeb., *Larix sibirica* Ledeb., *Abies sibirica* Ledeb., *Pinus sibirica* Du Tour. On non-recultivated areas of the ash dump, vegetation restoration is delayed by 10–15 years: by the age of 35–40 years, forest phytocoenosis is formed with the prevalence of *P. tremula*, *Betula pubescens* Ehrh., *B. pendula*, with undergrowth *P. sylvestris* and *P. obovata*. With increasing age of plant communities, there is an increase in the number and proportion of mycorrhiza species. Most of the species growing in the conditions of the ash dump are weak mycotrophic. Indicators of mycotrophy are lower than in natural plant communities. By the age of 40–45 years, a wide range of mycorrhizal associations (types of mycorrhiza) characteristic of forest plant communities of the boreal zone are formed in plant communities at the ash dump of the Verkhnetagilskaya power station. The diversity of the spectra of mycorrhizal associations is largely determined by the zone-climatic conditions, and also depends on the edaphic features and recultivation measures.

Key words: mycorrhiza, lands disturbed by industry, ash dump, the formation of vegetation, recultivation.

Поступила в редакцию 26.07.19