

ФОРМИРОВАНИЕ ФЛОРЫ, РАСТИТЕЛЬНОСТИ И МИКОРИЗНЫХ СВЯЗЕЙ НА БАТУРИНСКИХ ОТВАЛАХ ОТКРЫТЫХ УГОЛЬНЫХ РАЗРАБОТОК

Н.В. ЛУКИНА, Е.И. ФИЛИМОНОВА, М.А. ГЛАЗЫРИНА, Т.С. ЧИБРИК

Уральский федеральный университет, Екатеринбург (Tamara.Chibrik@urfu.ru)

THE FORMATION OF FLORA, VEGETATION AND MYCORRHIZA ON OPEN COAL MINES BATURIN DUMPS

N.V. LUKINA, E.I. FILIMONOVA, M.A. GLAZYRINA, T.S. CHIBRIK

Ural Federal University, Ekaterinburg (Tamara.Chibrik@urfu.ru)

Резюме. Дана характеристика восстановления растительности на Батуриных 10–15-летних углемощных и 40–45-летних вскрышных гидроотвалах, находящихся в Челябинской области (лесостепная зона). Приведены данные биоэкологической структуры флоры, представлены результаты изучения арбускулярной микорризы.

Ключевые слова: отвал, биоэкологическая структура, арбускулярная микорриза.

Abstract. The characteristics of regeneration plant communities formed in 10–15-years-old coal-washing and 40–45-years-old overburden slurry dumps, located in the Chelyabinsk region (forest steppe zone) are given in the article. The bioecological structure of plant communities and the results of arbuscular mycorrhizae study are presented.

Key words: dump, bioecological structure, arbuscular mycorrhiza.

Урал старый промышленный район Российской Федерации. Площади нарушенных земель велики, а типы нарушений чрезвычайно разнообразны. Открытая разработка полезных ископаемых является наиболее дешёвым и перспективным способом их добычи, в том числе угля. Породы, покрывающие угольные пласты и переслаивающие их, транспортируются на поверхность, прилегающую к разрезу, железнодорожным и гидротранспортом, образуя внешние отвалы. В результате этого большие площади земель, в том числе сельскохозяйственных и лесных угодий, оказываются погребёнными под бесплодными и часто токсичными породами.

На значительных площадях техногенных образований идёт формирование растительного и почвенного покровов в процессе самозарастания. Изучению этих процессов посвящены исследования сотрудников Уральского федерального университета [Чибрик, Елькин, 1991; Лукина и др., 2008; Чибрик и др., 2011; Чибрик и др., 2016; Chibrik et al., 2016; и др.]. Важным является изучение восстановления функциональных связей (на примере микорризообразования) в формирующихся экосистемах на промышленных отвалах.

Целью исследования было изучение восстановления флоры, растительности и микоризных связей на разновозрастных Батуриных, сложенных надугольными (в дальнейшем углемощные) и вскрышных, сложенных покрывающими угольные пласты породами гидроотвалах, расположенных в Еманжелинском угленосном районе (Челябинская область).

Челябинский буроголовый бассейн находится в пределах лесостепной зоны и расположен на границе восточного склона Южного Урала и Зауральской равнины (Зауральский пенеплен). Площадь бассейна 1300 км². Открытые разработки сосредоточены в центральной и южной части бассейна.

Климат района резко континентальный, умеренно холодный. Годовое количество осадков очень неустойчиво и колеблется от 250 до 400 мм в год, до 75% из них выпадает в тёплый период года. Растительность района представлена разбросанными по всей территории берёзовыми, реже осиновыми колками, чередующимися с безлесными пространствами, занятыми луговыми степями. Почвенный покров отличается большой комплексностью.

Наиболее распространенными зональными типами почв района являются выщелоченные, осолоделые лугово-чернозёмные почвы и сильно засоленные солончаки и солонцы.

По механическому составу породы вскрышных и углемоечных гидроотвалов представлены тяжёлыми и средними суглинками, сходными в этом отношении с зональными почвами. Углемоечные гидроотвалы сложены надугольными породами: углистые аргиллитами и алевролитами с третиными глинами, содержат частицы угля. Субстрат сильно засолен, тип засоления хлоридно-сульфатный. Вскрышные гидроотвалы образованы аргиллитами, алевролитами, песчаниками и суглинками, а также с небольшой примесью углистых аргиллитов и алевролитов. Из всех перечисленных пород углистые аргиллиты и алевролиты, а также песчаники имеют сильно кислую реакцию среды ($pH=2,8-3,3$). Четвертичные суглинки засолены, тип засоления хлоридно-сульфатный, степень засоления колеблется от слабой до очень сильной. Содержание подвижных фосфатов и обеспеченность обменным калием у большинства пород высокая [Махонина, Чибрик, 1974; Колесников, Махонина, Чибрик, 1976]. По агрохимической характеристике большинство этих отвалов пригодны для произрастания на них растений. Различием в эдафических свойствах обусловлено своеобразие процессов формирования растительности.

Отвалы обследовались детально-маршрутным методом с описанием растительности по общепринятой методике. Для изучения арбускулярной микоризы в растительных сообществах отбирались корни травянистых растений в 5–10-кратной повторности. Отобранные образцы обрабатывались по методике И.А. Селиванова [Селиванов, 1981]. Были изучены такие параметры, как доля участия микотрофных видов в растительных сообществах, частота встречаемости микоризной инфекции, степень микотрофности, интенсивность микоризной инфекции.

Исследования проводились в 1976 и 2015 гг. на углемоечных Батуриных гидроотвалах: северном (площадь – 176 га, возраст 1–5 лет) и юго-восточном (I–III секции, общая площадь 59 га, возраст 10 и 15 лет) а также на вскрышных гидроотвалах (юго-западном, северо-западном и северо-восточном общей площадью 229 га, возраст 16 и 24 гг. и на 40–45-летнем двухъярусном северо-западном и западном отвалах, площадью 230 га).

Исследования показали, что углемоечные гидроотвалы наименее благоприятны для произрастания растений. В течение первых 3–5 лет после окончания формирования отвалов, растения на них практически не поселяются. К 10–15 годам здесь формируются сложные растительные группировки с обедненным флористическим составом (всего встречено 12 видов). Общее проективное покрытие растительностью (ОПП) 10–15%. Обилие видов и интенсивность зарастания зависят от степени увлажнения. На более сухих участках растительность представлена группами *Atriplex littoralis* L. (sp-copigr), *Salsola collina* Pall., *Polygonum aviculare* L., *Artemisia absinthium* L., *Hordeum jubatum* L., *Puccinellia distans* (Jacq.) Parl. (sol-sp gr); на переувлажненных участках формируются заросли *Phragmites australis* (Cav.) Trin. ex Steud. и группировки *Tussilago farfara* L.

На вскрышных гидроотвалах растительность начинает появляться уже на второй год после прекращения их заполнения. Как правило, к 10–15 годам на них формируются разнотравно-злаковые фитоценозы (ОПП 80–90%) с доминированием *Poa pratensis* L., *Medicago lupulina* L. (cop1), *Trifolium pretense* L. (sp). К 24-летнему возрасту формируются разнотравно-вейниковые фитоценозы (ОПП 80–90%) с доминированием *Calamagrostis epigeios* (L.) Roth (cop2), высокое обилие имеют *Agrostis gigantea* Roth, *Elytrigia repens* (L.) Nevski, *Poa pratensis* L., *Trifolium pretense* L., *Amoria repens* (L.) C. Presl (sp).

К 40–45-летнему возрасту на вскрышных отвалах формируются растительные сообщества с доминированием *Calamagrostis epigeios* (L.) Roth (cop2), содоминантами являются *Melilotus albus* Medik. (cop1), *Achillea nobilis* L. (sp-cop1). ОПП травянистого яруса варьирует от 60% до 90%, местами ОПП составляет 20–30%. На навалах углистых аргиллитов и алевролитов, имеющих сильное засоление, растительность практически отсутствует, встречаются единичные особи *Kochia scoparia* (L.) Schrad., *Puccinellia distans* (Jacq.) Parl.,

Festuca pseudovina Hack. ex Wiesb. На переувлажнённых участках вдоль водосборных каналов группами встречаются *Salix triandra* L., *Salix cinerea* L., а также гигрофитные и мезофитные травянистые виды: *Phragmites australis* (Cav.) Trin. ex Steud., *Bolboschoenus maritimus* (L.) Palla., *Tussilago farfara* L. и др. Появляются древесные виды, группами встречается *Betula pendula* (sol gr), отмечены единичные особи *Pinus sylvestris* L. (sol gr), *Ulmus foliacea* Gilib., *Elaeagnus angustifolia* L., *Tamarix* sp. (un).

Анализ биоэкологической структуры флоры Батуринских отвалов показал, что доля многолетних видов на разновозрастных отвалах варьирует от 58,6% до 66,7%.

Анализ экоморф выявил разнообразие экологических условий по фактору увлажнения. Так в экологическом спектре флористического состава преобладают виды ксерофитных местообитаний (ксеромезофиты, мезоксерофиты и ксерофиты), их доля в растительных сообществах углемоечных гидроотвалов, вскрышных 24- и 40–45-летних отвалах составляет 50,0%, 48,2% и 44,8% соответственно; доля мезофитов – 25,0%, 29,3%, 32,8%; значительную долю составляют растения влажных местообитаний (гигрофиты, мезогигрофиты, гигромезофиты): 8,3%; 6,9%; 12,2%. Высока доля галомезофитов, произрастающих на засоленных участках: 16,7%, 15,5% и 10,3%.

Структура ценоотических групп в значительной мере определяется возрастом растительных сообществ и характером субстрата. Так на углемоечных гидроотвалах и на вскрышных 24- и 40–45-летних отвалах высока доля сорно-рудеральных и лугово-сорных видов: 75,1%, 55,2% и 34,5% соответственно; доля степных, лугово-степных и луговых видов: 16,6%, 42,7% и 55,2%.

Изучение микоризы проводилось в разновозрастных растительных сообществах, формирующихся на угольных отвалах. Установлено, что большинство исследованных растений имеют арбускулярную микоризу, характеризующуюся локализацией микоризообразующего гриба в мезодерме, отсутствием гриба в меристематических тканях корня и в центральном цилиндре, наличием в тканях коры гиф, единичных везикул и крайне мало-числа арбускул или зернистой массы. Для большинства исследованных растений характерно крайне неравномерное распределение гриба в корне.

На углемоечном гидроотвале была изучена микориза у 12 видов растений, у 5 из них (41,7%) микориза не обнаружена (таблица). Среди них *Polygonum aviculare* L., *Atriplex litoralis* L. и *Salsola collina* Pall., эти виды не микотрофны и в естественных фитоценозах. Не обнаружена микориза также у *Hordeum jubatum* L. и *Phragmites australis* (Cav.) Trin. ex Steud. Большинство растений оказались слабомикотрофными [Чибрик и др., 1980].

Таблица

Показатели микоризы на Батуринских углемоечных и вскрышных гидроотвалах

Показатели	Углемоечный гидроотвал	Вскрышный углемоечный гидроотвал	
	10–15	24	40–45
Возраст участка, лет			
Число исследованных видов, шт.	12	26	45
Доля микотрофных видов, %	58,3	88,4	80,0
Средняя частота микоризной инфекции, (F), %	37,86±8,44	47,06±6,48	29,61±3,01
Средняя степень микотрофности растений (D), балл	0,58±0,20	0,75±2,53	0,58±0,03
Кoeffициент интенсивности микоризной инфекции (C), %	11,91±4,22	16,19±2,53	14,23±1,41
Микосимбиотический ряд дифференциации			
Число немикотрофных видов, шт.	5	3	9
Число слабомикотрофных видов, шт.	7	22	33
Число среднемикотрофных видов, шт.	–	1	3

Для изучения микоризы на вскрышном 24-летнем гидроотвале было отобрано 26 видов растений, у 23 из них (88,4%) обнаружена арбускулярная микориза. Не обнаружена микориза у *Erysimum cheiranthoides* L., *Berteroa incana* (L.) DC. и *Linaria vulgaris* L. По-

давляющее большинство микотрофных видов оказались слабомикотрофными. Один вид – *Picris hieracioides* L. можно отнести к среднемикотрофным.

Для изучения микоризы на вскрышном 40–45-летнем отвале были отобраны образцы корней 45 видов травянистых растений. Проведенные исследования показали, что 36 видов (80,0%) имеют арбускулярную микоризу. Средняя частота встречаемости микоризы (F) составляет 29,6%, средняя степень микотрофности (D) – 0,58 балла, средняя интенсивность микоризной инфекции (C) – 14,2%.

Установлено, что большинство исследованных видов являются слабомикотрофными. Среднемикотрофными оказались: *Saussurea amara* (L.) DC. (D=3,01), *Crepis tectorum* L. (D=2,09), *Erigeron acris* L. (D=1,80).

Не обнаружена микориза у: *Salsola collina* Pall., *Kochia scoparia* (L.) Schrad., *Atriplex sagittata* Borkh., *Gypsophila altissima* L., *Polygonum aviculare* L., *Erysimum cheiranthoides* L., *Sisymbrium loeselii* L., *Juncus compressus* Jacq., *Bolboschoenus maritimus* (L.) Palla. По данным ряда авторов [Селиванов, 1981; Smith, Read, 2008; и др.] представители семейств Caryophyllaceae, Chenopodiaceae, Polygonaceae, Brassicaceae, Juncaceae, Сурегaceae как правило, микоризы не образуют.

Большинство исследованных видов при произрастании в этой же зоне в сходных климатических условиях имеют более высокую интенсивность микоризной инфекции, относятся преимущественно к средне- и высокомикотрофным. В условиях отвалов факторами, замедляющими микоризообразование, являются сочетание неблагоприятного водного и температурного режимов субстратов, высокая засоленность, резкие температурные колебания. Сильное уплотнение субстрата также ухудшает условия аэрации и может быть одной из причин, замедляющих образование микориз.

Таким образом, на Батуриных углемоечных отвалах к 10–15-летнему возрасту формируются сложные растительные группировки с обедненным видовым составом, представленные, в основном сорно-рудеральными, ксерофитными и галофитными видами.

На Батуриных вскрышных отвалах открытых угольных разработок к 10–15-летнему возрасту формируются разнотравно-злаковые фитоценозы с доминированием *Poa pratensis* L., *Medicago lupulina* L., начиная с 24-летнего возраста формируются растительные сообщества с доминированием *Calamagrostis epigeios* (L.) Roth; к 40–45 годам в составе фитоценозов появляются древесные виды, представленные, в основном, *Betula pendula* Roth. В видовом составе растительных сообществ преобладают луговые и лугово-степные виды, высокую долю имеют сорно-рудеральные виды.

Большинство видов, произрастающих на Батуриных отвалах открытых угольных разработок, имеют арбускулярную микоризу. Показатели микоризы ниже, чем в естественных растительных сообществах. Преобладание слабомикотрофных видов характерно для большинства растительных сообществ, формирующихся на техногенных объектах Урала [Чибрик и др., 2011]. На формирование флоры, растительности и микоризу большое влияние оказывают экологические условия.

ЛИТЕРАТУРА

- Колесников Б.П., Махонина Г.И., Чибрик Т.С. 1976. Естественное формирование почвенного и растительного покровов на отвалах Челябинского бурогоугольного бассейна. В кн.: Растения и промышленная среда. Сборник научных трудов. Свердловск: УрГУ: 70–123.
- Лукина Н.В., Чибрик Т.С., Глазырина М.А., Филимонова Е.И. 2008. Формирование флоры золоотвалов в зависимости от зонально-климатических условий. В кн.: Відновлення порушених природних екосистем. Матеріали Третьої міжнародної наукової конференції (м. Донецьк, 7–9 жовтня 2008 р.). Донецьк: 343–349.

- Махонина Г.И., Чибрик Т.С.** 1974. Агрохимическая и геоботаническая характеристика гидроотвалов Челябинского угольного бассейна. *В кн.: Растения и промышленная среда. Сборник научных трудов.* Свердловск: УрГУ: 127–137.
- Селиванов И.А.** 1981. Микосимбиотрофизм как форма консортивных связей в растительном покрове Советского Союза. Москва: Наука: 232 с.
- Чибрик Т.С., Елькин Ю.А.** 1991. Формирование фитоценозов на нарушенных промышленностью землях (биологическая рекультивация). Свердловск: Изд-во Урал. ун-та: 220 с.
- Чибрик Т.С., Лукина Н.В., Филимонова Е.И., Глазырина М.А.** 2011. Экологические основы и опыт биологической рекультивации нарушенных промышленностью земель. Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та: 268 с.
- Чибрик Т.С., Нагибина Т.И., Рябкова Т.Е.** 1980. О микотрофности растений на отвалах угольных разработок Урала. *В кн.: Растения и промышленная среда. Сборник научных трудов.* Свердловск: УрГУ: 33–79.
- Чибрик Т.С., Филимонова Е.И., Лукина Н.В., Глазырина М.А.** 2016. Формирование лесных фитоценозов на Южном отвале Веселовского месторождения бурого угля. *Известия Самарского научного центра Российской академии наук.* 18, 2(2): 567–571.
- Chibrik T.S., Lukina N.V., Filimonova E.I., Glazyrina M.A., Rakov E.A., Maleva M.G., Prasad M.N.V.** 2016. Biological recultivation of mine industry deserts: facilitating the formation of phytocoenosis in the middle Ural region, Russia. *In: Bioremediation and Bioeconomy.* Amsterdam: Elsevier: 389–418.
- Smith S.E., Read D.J.** 2008. *Mycorrhizal symbiosis (Third Edition).* N.Y.: Academic Press: 787 p.

БЛАГОДАРНОСТИ. Работа выполнена при финансовой поддержке со стороны Министерства образования и науки Российской Федерации в рамках выполнения государственного задания УрФУ № 2017/236, код проекта 7696.