

Свердловское региональное отделение общественной организации
Международной академии наук экологии, безопасности человека и природы

Министерство образования и науки Российской Федерации
ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет»

Институт экономики УрО РАН

ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ И ТЕХНОСФЕРНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ ГОРНОПРОМЫШЛЕННЫХ РЕГИОНОВ

**Труды VII Международной научно-практической
конференции**

9 апреля 2019 г.

г. Екатеринбург

Екатеринбург

2019

УДК 330.15:622

Ответственный редактор: д.г-м.н., профессор Семячков А.И.

Рецензенты: д.э.н., профессор Акбердина В.В.
д.г-м.н., профессор Болтыров В.Б.

Экологическая и техносферная безопасность горнопромышленных регионов: Труды VII Международной научно-практической конференции 9 апреля 2019 / отв. редактор А.И. Семячков – Екатеринбург: Институт экономики УрО РАН, Уральский государственный горный университет, 2019. – 358 с.

ISBN

В сборнике трудов представлены результаты авторских исследований по экологии как науке о взаимодействии природы и общества, а также техносферной безопасности – науки, рассматривающей вопросы обеспечения безопасности человека в современном мире.

Публикуемые материалы могут быть интересны для студентов, аспирантов, профессорско-преподавательского состава вузов, реализующих программы высшего профессионального образования в области экологии, природопользования и техносферной безопасности, а также для специалистов науки и производства горнопромышленного комплекса.

УДК 330.15:622

ISBN

© СРО ОО – МАНЭБ
© Уральский государственный
горный университет
© ИЭ УрО РАН

Бетехтина А.А.¹, Большаков В.Н.², Некрасова О.А.¹, Радченко Т.А.¹,
Малыгин М.В.¹, Дергачева М.И.³

¹Уральский Федеральный университет, г. Екатеринбург, Россия

²Институт экологии растений и животных УрО РАН, г. Екатеринбург,
Россия

³Институт почвоведения и агрохимии СО РАН, г. Новосибирск, Россия

САМОЗАРАСТАНИЕ ЗОЛОТВАЛОВ: ОЦЕНКА МИКОРИЗОБРАЗОВАНИЯ, СОДЕРЖАНИЯ АЗОТА И УГЛЕРОДА В ТОНКИХ КОРНЯХ BETULA PENDULA ROTH. И POPULUS TREMULA L.

Неблагоприятные физико-химические характеристики, отсутствие или низкая биодоступность макро- и микроэлементов ограничивает восстановление почвенно-растительного покрова золоотвалов. Важной стратегией растений для адаптации к экстремальным эдафическим условиям является изменение структурно-функциональных признаков поглощающих корней. Наши результаты показывают, что у древесных видов *Betula pendula* и *Populus tremula* наблюдаются сходные параметры микоризообразования, а также видоспецифичные биохимические пути адаптации поглощающих корней к эдафическим условиям золоотвалов.

Ключевые слова: золоотвал, эктомикориза, углерод, азот, *Betula pendula*, *Populus tremula*.

Betekhtina A.A.¹, Bolshakov V.N.², Nekrasova O.A.¹, Radchenko T.A.¹,
Malygin M.V.¹, Dergacheva M.I.³

¹Ural Federal University, Ekaterinburg, Russia

²Institute of Plant and Animal Ecology UB RAS, Ekaterinburg, Russia

³Institute of Soil Science and Agrochemistry SB RAS, Novosibirsk, Russia

ASH DUMP SELF-GROWING: ASSESSMENT OF MYCORIZATION, NITROGEN AND CARBON CONTENT IN THIN ROOTS OF BETULA PENDULA ROTH. AND POPULUS TREMULA L.

Unfavorable physico-chemical characteristics, the lack or low bioavailability of macro- and microelements limit soil and vegetation cover restoration of ash dumps. Changes of the structural and functional characteristics of absorbing roots is an important plant strategy for adaptation to extreme edaphic conditions. Our results show that the woody species *Betula pendula* and *Populus tremula* have similar mycorrhiza formation parameters, as well as species-specific

biochemical ways of absorbing roots adapting to the edaphic conditions of ash dumps.

Key words: ash dump, ectomycorrhiza, carbon, nitrogen, *Betula pendula*, *Populus tremula*.

Введение

Работа тепловых электростанций приводит к созданию больших площадей отвалов, сложенных золой углей, которая характеризуется физической нестабильностью, неблагоприятными водными, тепловыми и питательными условиями, и прежде всего отсутствием азота (N) [13], а сильнощелочная реакция среды может ограничивать биодоступность некоторых микроэлементов [3]. Часть золоотвалов, не подвергшихся рекультивации, зарастает самостоятельно, в том числе древесными видами. Адаптация древесных растений к условиям недостатка элементов минерального питания (ЭМП) тесно связана с эктомикорризой (ЭМ), которая обеспечивает растениям доступ к органическим формам азота, при низкой доступности неорганических соединений N [12], а также некоторых микроэлементов [5]. К настоящему времени определены некоторые закономерности элементного состава тонких корней растений в естественных местообитаниях, бедных элементами минерального питания. Показано [2; 4], что приспособление к бедным ЭМП почвам сопровождается формированием в клеточных стенках корней веществ, относительно обогащенных углеродом (С), таких как лигнин, и уменьшением содержания N в корнях. Для золоотвалов имеются данные обследования эктомикорризы только хвойных пород [8].

Особенности элементного состава корней мелколиственных деревьев, преобладающих в самовосстанавливающихся фитоценозах Среднего Урала, и позволяющих выявить направление адаптации к произрастанию на золоотвалах, ранее не изучались. Настоящая работа посвящена выявлению специфики микоризообразования и элементного состава поглощающих корней двух пород деревьев – березы (*Betula pendula* Roth.) и осины (*Populus tremula* L.) – доминирующих на самозарастающих золоотвалах.

Материалы и методы исследования

Работа выполнена на участках золоотвала Верхне-Тагильской ГРЭС (Средний Урал), зарастающих лесной растительностью, и контрольных, на прилегающих территориях, занятых мелколиственными лесами.

Золоотвал был сложен золошлаковыми отходами (ЗОШ), обладающими низкой объемной массой (0,72–0,97 г/см³), с преобладанием в гранулометрическом составе фракции мелкого песка, что обуславливает их рыхлость, слабую теплопроводность в сочетании с резкими суточными колебаниями температуры зольного субстрата на поверхности и глубине, а также высокую водо- и воздухопроницаемость и в целом создает неблагоприятные для произрастания растений условия.

На участке золоотвала за 50 лет сформировался мелколиственный лес с доминированием *Betula pendula* Roth. и *Populus tremula* L., корни которых были использованы в качестве объекта исследования. Участок был разбит на три площадки, с каждой из которых у 5–6 особей каждого вида отбирались образцы тонких (<0.5 мм диаметром) корней с глубины 5–10 см. по общепринятой методике [1]. Пробу делили на две части, одну фиксировали в 70% спирте для изучения микориз, другую высушивали при 70 °С в течение 2 ч для элементного анализа. Развитие микоризы оценивали количественно по общепринятой методике [14]. Содержание общего С и N определяли на CHNS-O анализаторе EURO EA-3000 CHN в 5-6 кратной повторности.

Физико-химические характеристики зольного субстрата, преобразованного древесными сообществами, и фоновых почв определялись общепринятыми методами [7; 9].

Результаты и обсуждение

В техноземах, сформировавшихся за 50 лет на участке золоотвала, морфологически были выделены подстилка (2 см), а также горизонты АС (сизо-серый бесструктурный легкий суглинок мощностью 5 см) и С (сизо-серая бесструктурная супесь с преобладанием фракции мелкого песка, превышающей 70% от суммы всех фракций). Техноземы имеют слабокислую реакцию среды (рН – 6,0–6,4), содержат в горизонте АС около 2,0% С_{орг.} и 0,12–0,16% N, а также 12–14 мг/100 г, и 4–7 мг/100 г почвы подвижных форм калия и фосфора соответственно, 1–2 мг/100 г почв поглощенных Са²⁺ и Mg²⁺. Они также характеризуются ненасыщенностью основаниями.

Условия произрастания березы и осины на золоотвале отличаются от фоновой дерново-подзолистой почвы [11] или Retisols – согласно [6] WRB (2014) контрольного участка песчаным характером рыхлого субстрата и отсутствием агрегатов, менее кислой реакцией среды, в 2 раза меньшим содержанием гумуса и азота и более чем в 5 раз – поглощенных оснований [10].

Betula pendula и *Populus tremula* успешно формировали ЭМ как на золоотвале, так и на контрольном участке – большая часть недеградированных корней (67–86%) была заселена грибом и несла чехлы различного строения.

На контрольных участках поглощающие корни изучаемых растений не различались по диаметру эктомикоризного корня (220–270 мкм), диаметру корня без учета чехла (205–222 мкм) и среднему диаметру центрального цилиндра (60–76 мкм).

В лесу микоризы у обоих видов были толще на 15% по сравнению с участками на золоотвалах в основном за счет более толстых чехлов, а также большего среднего размера корня и его стелы. При этом относительный вклад чехла в строение микоризы одинаково зависел у березы и осины от типа почвы: на контрольных его доля варьировала в диапазоне 31–34%, на золоотвале – не превышала 29%.

У древесных пород обоих видов на зольном субстрате было зафиксировано больше корней с дегенеративными изменениями по сравнению с контролем: доля их соответственно составляла 36–43% и 26%. Этот результат свидетельствует о более активном отмирании корней в зольном субстрате.

Betula pendula и *Populus tremula* на контрольных участках сильно различались по содержанию углерода в тонких корнях ($p=0.028$): меньшие значения были обнаружены у осины (табл.), что свидетельствует о его низком вкладе в механические ткани растений и защитные соединения, и что более характерно для быстрорастущих деревьев. Достоверных различий по содержанию N и C/N между породами деревьев не обнаружено.

Таблица 1 - Признаки строения эктомикориз *Betula pendula* и *Populus tremula* в разных типах местообитаний (среднее \pm SE)

Показатели	Береза		Осина		Фактор		
	Тип местообитания				Тип местообитания (1)	Вид (2)	(1)X(2)
	Фон	Зола	Фон	Зола			
Активность микоризообразования %	78.0 \pm 5.7	86.6 \pm 3.9	66.9 \pm 6.2	71.8 \pm 11.5	1.00 ^{нз}	3.67 ^{нз}	0.08 ^{нз}
Диаметр эктомикоризного корня, мкм	254\pm14	219\pm10	268\pm23	221\pm11	8.48^{**}	0.22 ^{нз}	0.33 ^{нз}
Толщина чехла, мкм	25\pm2	18\pm2	23\pm3	17\pm1	12.33^{**}	0.52 ^{нз}	0.02 ^{нз}
Парциальный объем чехлов, %	34.4\pm1.6	29.1\pm1.3	30.8\pm1.7	28.3\pm1.6	5.57[*]	1.80 ^{нз}	0.63 ^{нз}
Диаметр корня без учета чехла, мкм	205\pm10	186\pm8	222\pm18	187\pm10	5.66[*]	0.64 ^{нз}	0.47 ^{нз}
Диаметр стелы, мкм	66.4\pm3.8	58.4\pm2.5	64.6\pm3.5	57.6\pm2.7	5.09[*]	0.157 ^{нз}	0.02 ^{нз}
Доля окончаний с тургором, %	73.8 \pm 9.6	56.2 \pm 12.8	93.8 \pm 6.1	63.9 \pm 4.7	9.95 ^{**}	2.52 ^{нз}	0.30 ^{нз}
Содержание С, %	44.99 \pm 0.9 4	45.56 \pm 0.9 9	40.99 \pm 0.7 3	44.73 \pm 1.3 8	4.00 ^{нз}	5.03 [*]	2.16 ^{нз}
Содержание N, %	1.31 \pm 0.15	1.41 \pm 0.06	1.36 \pm 0.04	1.21 \pm 0.05	0.21 ^{нз}	1.42 ^{нз}	3.70 ^{нз}
C/N	32.20 \pm 0.0 9	33.49 \pm 2.4 5	30.20 \pm 0.6 1	37.30 \pm 2.4 2	6.42 [*]	0.30 ^{нз}	3.07 ^{нз}

Примечание. F – критерий Фишера. Значимости F-критерия: * P < 0.05, ** P < 0.01, нз – незначимо.

Различия по элементному составу тонких корней между двумя видами древесных пород проявились и на участках золоотвала. Если у березы содержание С, N и C/N на зольном субстрате практически не отличалось от фонового участка, то у осины величина С была достоверно ($p=0.032$) выше, а

N – значительно ($p=0.041$) ниже, что закономерно повысило C/N в тонких корнях у этого вида на золоотвале по сравнению с фоном.

Таким образом, сопоставление свойств почв золоотвала с контрольными участками позволило выявить различия по гранулометрическому составу, менее кислой реакции среды, меньшему содержанию гумуса, азота и поглощенных оснований в эмбриоземах, сформировавшихся на зольном субстрате. У древесных видов *Betula pendula* и *Populus tremula*, произрастающих на золоотвалах нами установлены высокая доля деградированных корней, уменьшение размеров эктомикориз за счет сокращения грибного чехла, стелы и паренхимы корня. Выявлены видоспецифичные биохимические пути адаптации тонких корней к эдафическим условиям золоотвалов.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки РФ в рамках государственного задания № 6.7696.2017/8.9 и РФФИ (проект № 18-04-00714).

Библиографический список

1. Cornelissen J. H. C., Lavorel S., Garnier E., Díaz S., Buchmann N., Gurvich D. E., Reich P. B., Steege H. t., Morgan H. D., Heijden M. G. A. v. d., Pausas J. G., Poorter H. A handbook of protocols for standardised and easy measurement of plant functional traits worldwide // Australian Journal of Botany. 2003. V. 51, № 4. P. 335-380.
2. Craine J. M., Lee W. G., Bond W. J., Williams R. J., Johnson L. C. Environmental constraints on a global relationships among leaf and root traits of grasses // Ecology. 2005. V. 86, № 1. P. 12-19.
3. Cross A. T., Lambers H. Young calcareous soil chronosequences as a model for ecological restoration on alkaline mine tailings // Science of The Total Environment. 2017. V. 607-608, № P. 168-175.
4. Poiriera V., Roumet C., Munsonc A. D. The root of the matter: Linking root traits and soil organic matter stabilization processes // Soil Biology and Biochemistry. 2018. V. 120, № P. 246-259.
5. Remiszewski K. A., Bryce J. G., Fahnestock M. F., Pettitt E. A., Blichert-Toft J., Vadeboncoeur M. A., Bailey S. W. Elemental and isotopic perspectives on the impact of arbuscular mycorrhizal and ectomycorrhizal fungi on mineral weathering across imposed geologic gradients // Chemical Geology. 2016. V. 445, № P. 164-171.
6. World Reference Base for Soil Resources 2014 International Soil Classification System for Naming Soils and Creating Legends for Soil Maps. Rome: FAO, 2015. 181.
7. Аринушкина Е. В. Руководство по химическому анализу почв. Москва: МГУ, 1970. 488.

8. Внуков А. А. Экологические аспекты лесовосстановления на нарушенных землях (на примере золоотвалов Верхнетагильской и Рефтинской ГРЭС) / Внуков А. А. // Биологическая рекультивация нарушенных земель: Тез. докл. междунар. совещ., Екатеринбург. Екатеринбург, 1996. Р. 19-20.

9. Воробьева Л. А. Теория и практика химического анализа почв. Москва: ГЕОС, 2006. 400.

10. Гафуров Ф. Г. Почвы Свердловской области. Екатеринбург: Изд-во Уралю ун-та, 2008. 396.

11. Егоров В. В., Фридланд В. М., Иванова Е. Н., Розов Н. Н., Носин В. А., Фраев Т. А. Классификация и диагностика почв СССР. Колос, 1977.

12. Макаров М. И. Роль микоризообразования в трансформации соединений азота в почве и азотном питании растений (обзор) // Почвоведение. 2019. V. 2, № Р. 220-233.

13. Пасынкова М. В. Зола углей как субстрат для выращивания растений // В кн. Растения и промышленная среда / Eds.: МВ и ССО РСФСР УрГУ. Свердловск, 1974. Р. 26-44.

14. Селиванов И. А. Микосимбиотрофизм как форма консортивных связей в растительном покрове Советского Союза. Москва: Наука, 1981. 231.