

УДК 631.86:579.222

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПРОДУКТОВ БИОКОНВЕРСИИ ОТХОДОВ ДЕРЕВООБРАБОТКИ В КАЧЕСТВЕ БИОУДОБРЕНИЙ ДЛЯ РЕМЕДИАЦИИ ДЕГРАДИРОВАННЫХ ПОЧВ<sup>1</sup>

© 2021 г. А. В. Богородская<sup>1,\*</sup>, О. В. Киселёва<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Институт леса им. В.Н. Сукачева Сибирского отделения РАН – обособленное подразделение ФИЦ КНЦ СО РАН  
660036 Красноярск, Академгородок, 50/28, Россия

<sup>2</sup> Сибирский государственный университет науки и технологий им. М.Ф. Решетнёва  
660049 Красноярск, просп. Мира, 82, Россия

\*E-mail: anbog@ksc.krasn.ru

Поступила в редакцию 17.12.2019 г.

После доработки 27.08.2020 г.

Принята к публикации 10.11.2020 г.

Исследована возможность применения биоудобрений, полученных в результате твердофазного культивирования некоторых штаммов ксилотрофных базидиомицетов, для повышения продуктивности и биологической активности деградированных почв на примере вскрышных пород Бородинского буроугольного разреза. Внесение микопродуктов и отработанных субстратных блоков, а также опилок повышало грунтовую всхожесть семян сосны обыкновенной на 10–50%, увеличивало в 2–3 раза сохранность семян, а также их морфометрические параметры и биомассу. Применение биоудобрений повышало биогенность и функциональную активность микробоценоза грунтов, особенно заметно в вариантах с микопродуктом на основе *T. versicolor* и субстратными блоками *P. eryngii*.

**Ключевые слова:** деградированные почвы, биоудобрение, микопродукт, всхожесть и сохранность семян, почвенная микробная биомасса, базальное дыхание, численность эколого-трофических групп микроорганизмов.

DOI: 10.31857/S0002188121020046

### ВВЕДЕНИЕ

Россия является одной из ведущих стран мира по объему заготавливаемой древесины. При существующих способах переработки древесного сырья до 60% биомассы составляют отходы, 20% из которых приходится на опилки [1]. В данный момент основная масса опилок складывается и превращается в не утилизируемый отход производства, который, помимо экологической, представляет еще и пожарную опасность. Для снижения техногенной нагрузки на окружающую среду необходимо сокращать долю не утилизированных отходов, широко вовлекая их в глубокую переработку. Одним из многообещающих способов утилизации опилок, позволяющих решить несколько важных задач, следует считать их прямую биоконверсию базидиальными грибами-ксилотрофами с получением органических и органоминеральных удобрений для сельского и лесного хозяйств.

Развитие идей микробиологической биотрансформации древесных отходов с последующим использованием их в качестве биоудобрений прослежена в работах отечественных ученых [2–7]. Предлагаемые методы основаны на биодеградации древесных отходов как аборигенными культурами почвенных микроорганизмов, так и выделенными из естественных мест обитания штаммами грибов с высокой дереворазрушающей активностью [6, 8, 9]. Также перспективным видится направление биоконверсии лигноцеллюлозных субстратов с использованием съедобных базидиомицетов, которое позволяет эффективно совмещать технологии утилизации растительных отходов лесопереработки и получения кормовых и высококачественных пищевых продуктов [10–12], при этом отработанные ферментированные субстраты, обогащенные мицелиальной биомассой, могут быть использованы в качестве биоудобрений.

При твердофазном культивировании ксилотрофных грибов на опилках и растительных суб-

<sup>1</sup> Работа выполнена по базовому проекту № 0356-2019-0027.

страхах возможно получить микопродукт (МП), который самостоятельно или в качестве добавки к другим субстратам можно использовать как биоудобрение при лесовыращивании и в сельском хозяйстве [13]. Биоудобрение способствует обогащению почвы не только элементами питания, но и микрофлорой, является стабилизатором биологической активности почвы, улучшает ее агрофизические и агрохимические свойства [5]. В МП происходит частичная деградация лигноцеллюлозного комплекса, снижается содержание и легко- и трудногидролизующих полисахаридов, увеличивается количество экстрактивных веществ, снижается содержание лигнина [4, 8, 14, 15], разрушаемая древесина обогащается грибным мицелием, иммобилизованным естественным образом на субстрате [11, 12, 16]. Оба компонента системы по отдельности рассматриваются как перспективные сорбенты тяжелых металлов, нефти, органических загрязнителей-ксенобиотиков [4]. Сочетание биологической деструкции и обогащения грибной биомассой позволяет ожидать увеличения сорбирующей активности продуктов биоконверсии и (или) проявления у них качественно новых свойств.

Цель работы – оценка возможности применения биоудобрений, полученных в результате твердофазного культивирования некоторых штаммов ксилотрофных базидиомицетов, для повышения продуктивности и биологической активности деградированных почв на примере вскрышных пород Бородинского бурогоугольного разреза (БУР).

## МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Биоудобрения на основе МП получали путем твердофазного культивирования мицелия ксилотрофных базидиальных грибов *Trametes versicolor* и РО-4.1 *Pleurotus ostreatus* на свежих увлажненных сосновых и березовых опилках соответственно для разных грибов в течение 2.5 мес. при 25°C. Для приготовления субстрата для культивирования *T. versicolor* измельченные сосновые опилки на 12 ч замачивали в разбавленном в 10 раз сусле, прогревали, отжимали, вносили измельченный чистотел (5% по объему) для усиления лигнолитической активности [14], раскладывали в 3-литровые банки и стерилизовали дробно дважды с интервалом в 1 сут в течение 40 мин каждый раз при температуре 120°C и давлении 1 атм. Для культивирования *P. ostreatus* измельченные березовые опилки на 1 сут замачивали в водопроводной воде, отжимали, раскладывали в 3-литровые банки и стерилизовали как описано выше. Перед засевом гриба вносили 5%-ный раствор  $\text{NH}_4\text{NO}_3$ .

Засев проводили предварительно выращенными 10-суточными культурами грибов на сусло-агаре в соотношении 2% от объема. Культивировали в течение 2.5 мес. при 25°C [17]. Затем мицелиально-опилочную массу (микопродукт) измельчали и высушивали до воздушно-сухого состояния.

В эксперименте также использовали отработанные субстратные блоки (СБ) после культивирования РО-22 *Pleurotus eryngii* (DC.) Quél. Субстратные блоки состояли из отходов лесопереработки без тщательного разделения по породам с добавлением некондиционного зерна (пшеницы, овса) и хвои после извлечения масел [12].

В пластиковые контейнеры помещали измельченный и просеянный через 3 мм сито грунт (вскрышные породы БУР, расположенного в пределах Канско-Рыбинской котловины, на восточной окраине лесостепной зоны Средней Сибири [18]) (вариант “контроль”), смешанный с 5% по весу с сосновыми и березовыми опилками (варианты “ОП сосна” и “ОП береза”), а также с внесением 5% по весу МП грибов *T. versicolor* (вариант “МП *T. versicolor*”), *P. ostreatus* (вариант “МП *P. ostreatus*”) и СБ *P. eryngii* (вариант “СБ *P. eryngii*”).

Семена сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.), предварительно обработанные фунгицидом (флудиоксонил), высевали в разные варианты грунта с добавками по 20 семян в 6-ти повторностях, субстрат увлажняли до 60% и оставляли для прорастания при комнатной температуре 25°C. Учет грунтовой всхожести проводили на 26-е сут. Повторный учет для определения сохранности семян проводили на 52-е сут от начала эксперимента. У оставшихся семян сосны проводили морфометрические измерения по следующим параметрам: длина корневой системы, стволка и мутовки. Также определяли биомассу семян, которую учитывали стандартными методами [19].

Во всех вариантах грунта с добавками биоудобрений после снятия эксперимента определяли содержание микробной биомассы ( $\text{C}_{\text{микр}}$ ), интенсивность базального дыхания (БД), подробная методика которых описана ранее [20, 21]. Также изучали общую численность и структуру эколого-трофических групп микроорганизмов (ЭКТГМ) на диагностических средах [22], определяли влажность субстрата (105°C, 8 ч) и рН потенциометрическим методом.

Статистическую обработку данных проводили с использованием программы Microsoft Excel 10. Достоверность полученных результатов оценивали с помощью *t*-критерия Стьюдента при уровне значимости  $P = 0.05$ .

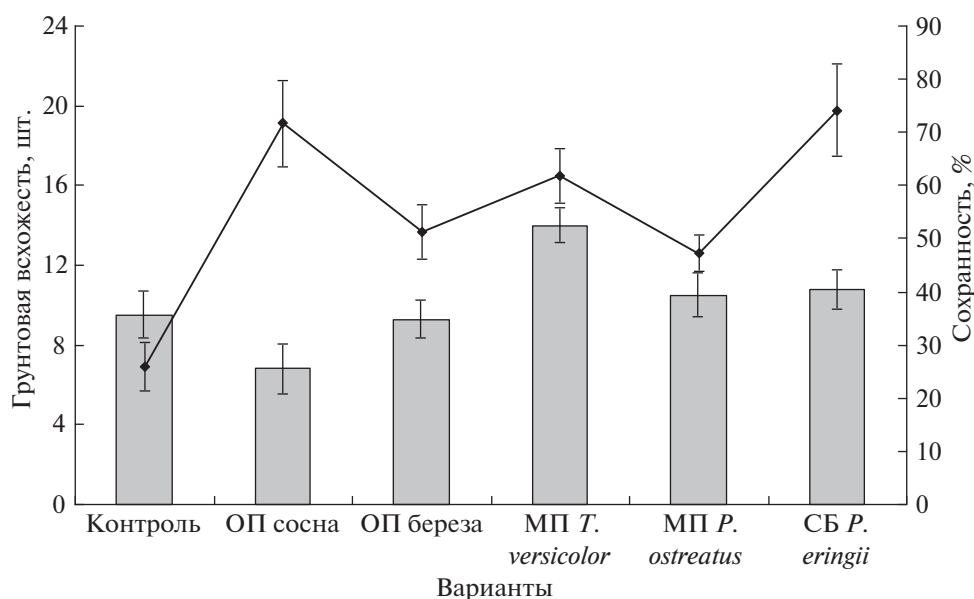


Рис. 1. Грунтовая всхожесть семян сосны обыкновенной (диаграмма) и сохранность семян (график) в разных вариантах грунта с добавками биоудобрений.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Полное уничтожение почвенного покрова и техногенное формирование ландшафта, начатое с “ноль-момента” наблюдается при открытой разработке каменноугольных месторождений [23]. Рекультивационные работы начинаются с отсыпки отвалов вскрышными породами (горнотехнический этап), которые весьма неоднородны по гранулометрическому составу и химическим свойствам [24]. Формирующиеся при разработке каменного угля отвалы представляют собой хаотичную смесь вскрышных пород антропогена, неогена, палеогена и др. [25]. Отвалы БУР сложны широким спектром горных пород: алевролитами серого цвета, техногенной смесью горных пород четвертичного возраста — суглинков, глин, супесей, песков, остатков угля и угольной пыли [24]. Установлено, что отвалы вскрышных пород БУР обладают исходным плодородием (по содержанию гумусовых веществ, азота, калия и фосфора, гранулометрическому составу) и не токсичны для высших растений [26]. Для лесного направления рекультивации отвалы оставляют без нанесения плодородного слоя почвы (литостраты) под самозаращение либо высаживают лесные культуры. Бедность породы в первую очередь доступными формами азота, а также минерализованность поверхности отвалов определяют естественное развитие березы, сосны и облепихи [27].

Для повышения почвенного плодородия и производительного потенциала грунтов отвалов, а также увеличения грунтовой всхожести семян и

сохранности семян целесообразно использование биоудобрений как агентов, стимулирующих биогенность почвы.

Полученные МП на основе ксилотрофных базидиомицетов отличались от исходного материала (опилок): количество экстрактивных веществ в МП *T. versicolor* превышало таковое в опилках в 2 раза, в то время как содержание трудноразлагаемых веществ (лигнина и целлюлозы) было снижено на 12–13% [14], в МП *P. ostreatus* снизилось содержание и легко- и трудногидролизующих полисахаридов на 4–15%, количество лигнина уменьшилось почти на 10%, и МП обогатился доступными формами азота [28].

Добавление в грунт вскрышных пород БУР МП и отработанных СБ увеличивало всхожесть семян сосны обыкновенной (рис. 1). Максимальное (на 47% от контроля) и статистически достоверное увеличение всхожести наблюдали в варианте “МП *T. versicolor*”. В варианте “ОП сосна” всхожесть снижалась на 28%, что, вероятно, было вызвано угнетающим влиянием экстрактивных веществ древесины сосны, которые задерживают прорастание. Всхожесть в варианте “ОП береза” была также несколько меньше контроля.

Ситуация менялась к концу эксперимента: максимальная сохранность семян сосны (72–74%) отмечена в вариантах “ОП сосна” и “СБ *P. eringii*”. Вероятно, экстрактивные вещества из древесины сосны и остатки грибного мицелия *P. eringii* обладали ингибирующим влиянием на условия

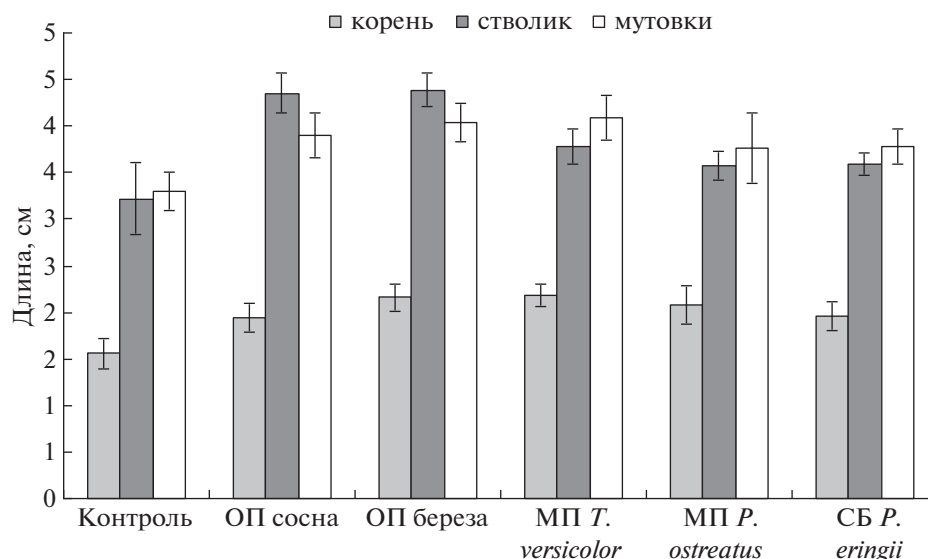


Рис. 2. Морфометрические параметры сеянцев в разных вариантах грунта с добавками биоудобрений.

но-патогенную микрофлору, повышая устойчивость сеянцев сосны к патогенам. В варианте “МП *T. versicolor*” сохранность сеянцев достигала 62%, что было в 2.5 раза больше, чем в контроле. В вариантах “ОП береза” и “МП *P. ostreatus*” сохранность сеянцев была больше контроля в 1.8–2.0 раза. В целом внесение разных вариантов органических биоудобрений достоверно ( $P = 0.05$ ) повышало сохранность сеянцев сосны.

Анализ морфометрических параметров оставшихся проростков показал, что во всех вариантах добавления биоудобрений длина корневой системы достоверно ( $P = 0.05$ ) была больше контроля (рис. 2). Достоверное удлинение стволиков наблюдали только в вариантах с добавлением опилок, мутовок – во всех вариантах, кроме “МП *P. ostreatus*”.

Общая биомасса всех сеянцев сосны обыкновенной была достоверно больше контроля во всех вариантах добавок (рис. 3). Наиболее высокая общая биомасса сеянцев, в 3.5–4.4 раза превышающая контроль, отмечена в вариантах “МП *T. versicolor*” и “СБ *P. eryngii*”. Похожая тенденция сохраняется и для биомассы одного проростка.

Исследование параметров биологической активности грунта после внесения биоудобрений позволило как дать оценку функциональных изменений на различные воздействия, так и определить стратегию их восстановления [27, 28]. Для ранней диагностики состояния и определения критических пределов сбалансированного функционирования почв рекомендуется использование содержания микробной биомассы и ее актив-

ности [20, 29], параметров, которые в ряде зарубежных стран имеют статус стандарта для определения качества почвы [30].

Исследование функциональных характеристик микробоценоза вскрышных пород БУР после снятия эксперимента по внесению биоудобрений демонстрировало достоверное увеличение содержания  $S_{\text{микр}}$  (исключая вариант “ОП сосна”) и интенсивности БД во всех исследованных вариантах (рис. 4). Наибольшее увеличение рассматриваемых параметров почвенного микробоценоза отмечено в вариантах “МП *P. ostreatus*” и “СБ *P. eryngii*”: в 2–3.3 раза для  $S_{\text{микр}}$  и в 4.0–8.5 раза – для БД, что, вероятно, было связано как с активизацией аборигенной микрофлоры на внесение дополнительного органического вещества, так и с содержанием остатков живого мицелия базидиальных грибов.

Влияние внесения разных вариантов биоудобрений в грунт БУР проявилось и на показатели структуры и численности основных эколого-трофических групп микроорганизмов (рис. 5). Численность гидролитической микрофлоры, представленная быстрорастущими грибами, грамположительными спорообразующими и некоторыми грамотрицательными бактериями и актиномицетами, возрастала во всех вариантах внесения биоудобрений, но особенно заметно в варианте “СБ *P. eryngii*”, где она достигала 31 млн КОЕ/г, что было в 10 раз больше контроля. Гидролитические микроорганизмы способны к биосинтезу внеклеточных гидролаз и являются первичными редуцентами в цепи разложения поступившего в поч-

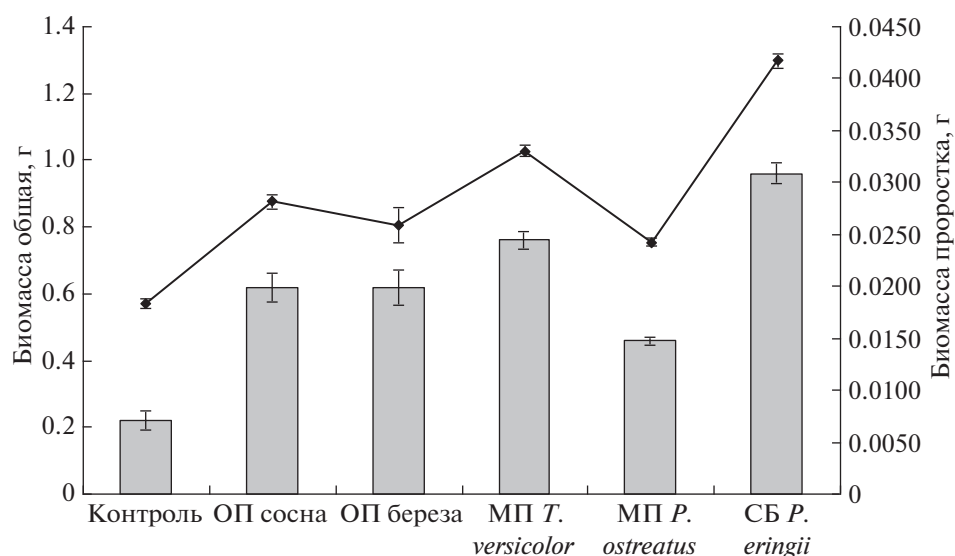


Рис. 3. Общая биомасса семян сосны обыкновенной (диаграмма) и одного проростка (график) в разных вариантах грунта с добавками биоудобрений.

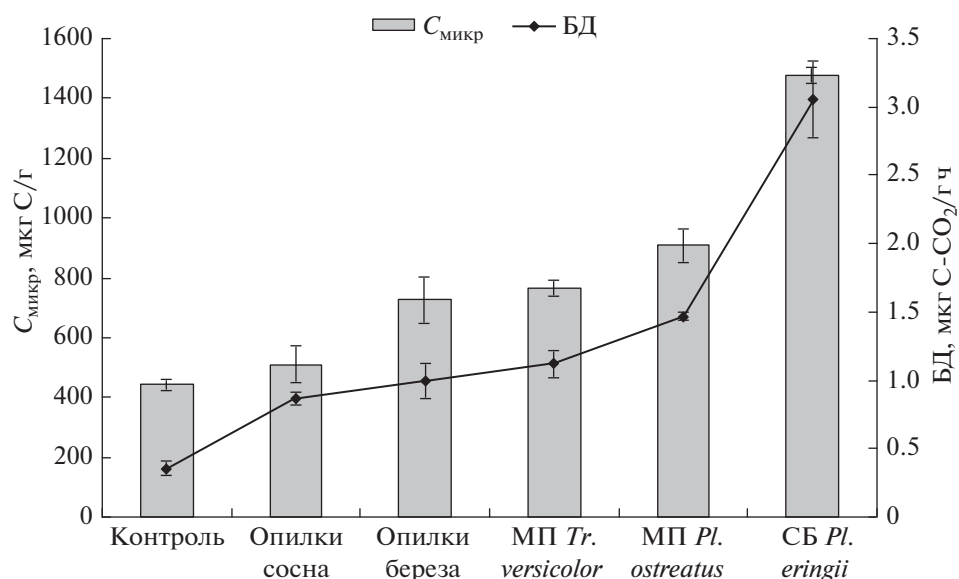


Рис. 4. Содержание углерода микробной биомассы (диаграмма) и интенсивность БД (график) разных вариантов грунта с добавками биоудобрений в конце вегетации.

ву органического вещества. Численность копиотрофов — микрофлоры, характеризующейся высокой скоростью потребления мономеров при их высокой концентрации в окружающей среде, была практически сравнима с контролем в разных вариантах, исключая варианты “ОП береза” и “МП *P. ostreatus*”, где она заметно снизилась. Численность олиготрофных групп микроорганизмов, имеющих систему активного транспорта мономерных соединений внутрь клетки при их низкой концентрации в окружающей среде, во

всех вариантах внесения биоудобрений была больше контроля, при этом отношение их численности к количеству гидролитических микроорганизмов заметно снижалось почти во всех вариантах (исключая вариант “ОП сосна”), особенно заметно в варианте “СБ *P. erylngii*”, что свидетельствовало о снижении олиготрофности почвогрунта в отношении азота и доступного органического вещества. Стоит обратить внимание, что кислотность водной вытяжки грунта уменьшалась на 0.1–0.3 ед. в вариантах с МП и СБ и

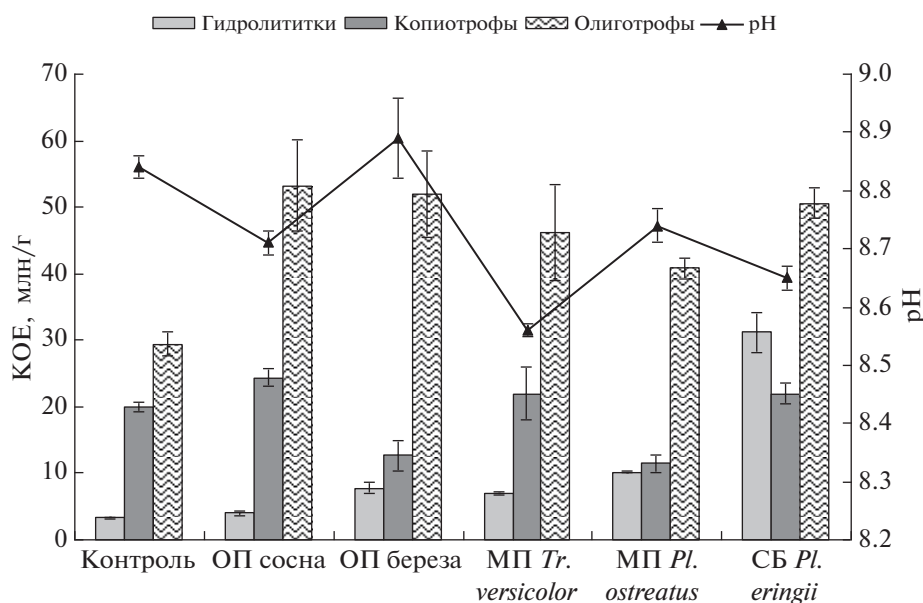


Рис. 5. Структура и численность основных эколого-трофических групп микроорганизмов (диаграмма) и кислотность водной вытяжки (график) в разных вариантах грунта с добавками биоудобрений в конце вегетации.

сосновыми опилками, при этом величина pH оставалась в слабощелочном диапазоне.

В целом отмеченное увеличение численности гетеротрофных микроорганизмов в основном за счет гидролитической группировки, обладающей *r*-стратегией, свидетельствовало о начальном этапе преобразований в почвенном микробном комплексе в ответ на внесение биоудобрений в грунт БУР. Численность активных деструкторов органического вещества в вариантах с внесением МП и СБ в грунте была сравнима с таковой в разновозрастных реплантоземах и литостратах рекультивированных отвалов БУР и в фоновых почвах исследованной лесорастительной зоны [21, 31].

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, внесение микопродуктов и отработанных субстратных блоков, а также опилок повышало грунтовую всхожесть семян сосны обыкновенной на 10–50%, увеличивало сохранность семян, а также их морфометрические параметры и биомассу. Наибольшее увеличение морфометрических параметров и биомассы отмечено в вариантах “МП *T. versicolor*” и “СБ *P. eringii*”. Применение биоудобрений увеличивало биогенность и функциональную активность микробоценоза грунтов, особенно заметно в вариантах с применением микопродукта и субстратных блоков.

Возможность применения биоудобрений, полученных путем биоконверсии продуктов лесопе-

реработки, позволит увеличить продуктивность и биологическую активность деградированных почв и грунтов техногенных территорий, а также будет способствовать сохранности как естественных всходов, так и саженцев при искусственном лесовозобновлении. В перспективе использование биоудобрений может найти применение при выращивании посадочного материала в лесопитомниках.

Полученный заметный положительный эффект от внесения в деградированные почвогрунты отработанных ферментированных субстратов, обогащенных мицелиальной биомассой — отходов от выращивания пищевых базидиомицетов, является основанием расширить исследования возможности применения и других отходов биотехнологической переработки древесины.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Дитрих В.И., Андрияс А.А., Пережилин А.И., Корпачев В.П. Оценка объемов и возможные пути использования отходов лесозаготовок на примере Красноярского края // Хвойные бореальной зоны. 2010. № 3–4. С. 346–351.
2. Беловежец Л.А. Микробиологические и экологические аспекты переработки вторичного лигноцеллюлозного сырья: Автореф. дис. ... канд. биол. наук. Иркутск, 2007. 22 с.
3. Гродницкая И.Д., Пашенова Н.В., Кондакова О.Э. Продукты биоконверсии древесных отходов хвойных в биоремедиации деградированных почв. Строение, свойства и качество древесины — 2018. Мат-лы VI Международ. симп. им. Б.Н. Уголева,

- посвящ. 50-летию Регионального координационного совета по современным проблемам лесовосстановления. 2018. С. 68–71.
4. Куликова Н.А., Кляйн О.И., Степанова Е.В., Королева О.В. Использование базидиальных грибов в технологиях переработки и утилизации техногенных отходов: фундаментальные и прикладные аспекты (обзор) // Прикл. биохим. и микробиол. 2011. Т. 47. № 6. С. 619–634.
  5. Ленскинова Л.В. Получение биоудобрения на основе биодеструкции опилок для оптимизации деградированных почв: Автореф. дис. ... канд. биол. наук. Улан-Удэ, 2003. 22 с.
  6. Мокрушина Н.С., Тарасова Т.С., Дармов И.В. Биоконверсия древесных отходов методом компостирования с получением органического удобрения // Изв. Самар. НЦ РАН. 2009. № 1. С. 228–232.
  7. Сенкевич О.В., Ульянова О.А., Хижняк С.В. Оценка влияния новых видов вермикомпоста на плодородие агросерой почвы // Агрохимия. 2019. № 8. С. 24–33.
  8. Бондарь П.Н., Садыкова В.С. Использование отходов деревообрабатывающей промышленности для создания биопрепаратов на основе грибов рода *Trichoderma* // Хвойные бореальной зоны. 2015. № 5–6. С. 286–290.
  9. Литовка Ю.А., Павлов И.Н., Рязанова Т.В., Газизуллина А.В., Чупрова Н.А. Дереворазрушающие свойства сибирских штаммов *Fomitopsis pinicola* (Sw.) P. Karst // Химия раст. сырья. 2018. № 1. С. 193–199.
  10. Кудря А.М. Биоконверсия растительных отходов при промышленном производстве грибов рода *Pleurotus*: Автореф. дис. ... канд. биол. наук. Краснодар, 2007. 24 с.
  11. Миронов П.В., Алаудинова Е.В., Эназаров Р.Х., Саволайнен А.С. Микробиологическая конверсия отходов деревопереработки с получением органических удобрений // Хвойные бореальной зоны. 2018. № 3. С. 275–278.
  12. Павлов И.Н., Литовка Ю.А., Мулява В.В., Сапронова И.Е., Кулаков С.С., Пашенова Н.В., Мулява В.Е. Биоконверсия отходов лесопереработки ксилотрофным базидиомицетом *Pleurotus eryngii* (DC.) Qué! // Агроэкоинфо. 2017. № 2. [http://agroecoinfo.narod.ru/journal/STATYI/2017/2/st\\_222.doc](http://agroecoinfo.narod.ru/journal/STATYI/2017/2/st_222.doc)
  13. Антонов Г.И., Пашенова Н.В., Гродницкая И.Д. Патент на изобр. РФ № 2681572 от 11.03.2019 Опилочно-почвенный субстрат для оптимизации плодородия почв // Б.И. 2019. № 8.
  14. Пашенова Н.В., Лоскутов С.Р., Пермякова Г.В., Анискина А.А. Влияние отвара чистотела на биоконверсию сосновых опилок культурами базидиальных грибов-ксилотрофов // Новые достижения в химии и химической технологии растительного сырья. Мат-лы IV Всерос. конф. 21–23 апреля 2009 г. Барнаул: Изд-во Алтай. ун-та, 2009. Кн. 2. С. 39–41.
  15. Colavolpe M.B., Albertó E. Cultivation requirements and substrate degradation of the edible mushroom *Gyromyces patreanus* – A novel species for mushroom cultivation // Sci. Horticult. 2014. V. 180. P. 161–166.
  16. Теоретические основы биотехнологии древесных композитов. В 2 кн. Кн. I. Древесина и разрушающие ее грибы / Под ред. Рабинович М.Л. М.: Наука, 2001. 264 с.
  17. Методы экспериментальной микологии / Под ред. Билай В.И. Киев: Наукова думка, 1982. 550 с.
  18. Снытко В.А., Семенов Ю.М., Мартынов А.В. Почвенно-географическое районирование западного участка КАТЭКа // Географ. и природн. ресурсы. 1982. № 2. С. 32–38.
  19. Полевая геоботаника. Т. 3. М.–Л., 1964. 530 с.
  20. Ананьева Н.Д. Микробиологические аспекты самоочищения и устойчивости почв. М.: Наука, 2003. 222 с.
  21. Богородская А.В. Влияние органических субстратов и бакпрепарата на биологическую активность и продуктивность отвалов угольного разреза Канской лесостепи // Агрохимия. 2018. № 8. С. 12–21.
  22. Методы почвенной микробиологии и биохимии / под ред. Звягинцева Д.Г. М.: Изд-во МГУ, 1991. 304 с.
  23. Андроханов В.А., Курачев В.М. Почвенно-экологическое состояние техногенных ландшафтов: динамика и оценка. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2010. 224 с.
  24. Рабочий проект рекультивации земель, нарушенных ОАО “Разрез Бородинский” в Рыбинском районе Красноярского края. Красноярск. 2005.
  25. Шугалей Л.С., Яшихин Г.И., Дмитриенко В.К. Биологическая рекультивация нарушенных земель КАТЭКа. Красноярск: Изд-во Красноярск. ун-та, 1996. 186 с.
  26. Гродницкая И.Д., Трефилова О.В., Шишкин А.С. Агрохимические и микробиологические свойства техногенных почв отвалов (Канско-Рыбинская котловина) // Почвоведение. 2010. № 7. С. 867–878.
  27. Мурзакматов Р.Т., Шишкин А.С., Борисов А.Н. Особенности формирования насаждений на отвалах угольных разрезов в лесостепной зоне // Сибир. лесн. журн. 2018. № 1. С. 37–49.
  28. Киселева О.В., Миронов П.В. Биоконверсия древесных отходов с получением органических удобрений – перспективный способ их утилизации // Перспективы развития российской экономики в цифровую эпоху: Мат-лы Всерос. научн.-практ. конф. 14 декабря 2018 г. Саратов: ЦПМ “Академия Бизнеса”, 2018. С. 73–76.
  29. Гавриленко Е.Г., Ананьева Н.Д., Макаров О.А. Оценка качества почв разных экосистем // Почвоведение. 2013. № 12. С. 1505–1515.
  30. Doran J.W., Zeiss M.R. Soil health and sustainability: managing the biotic component of soil quality // Appl. Soil Ecol. 2000. V. 15. P. 3–11.
  31. Богородская А.В., Краснощекова Е.Н., Трефилова О.В., Шишкин А.С. Сезонная динамика развития микробсообществ и комплексов беспозвоночных на отвалах вскрышных пород Бородинского бурого угольного разреза (КАТЭК) // Географ. и природн. ресурсы. 2010. № 4. С. 36–45.

## Use of Wood Waste Bioconversion Products as Biofertilizers for Remediation of Degraded Soils

**A. V. Bogorodskaya<sup>a,#</sup> and O. V. Kiseleva<sup>b</sup>**

<sup>a</sup> *V.N. Sukachev Institute of Forest of the Siberian branch of the Russian Academy of Sciences –  
a separate division of the FITC KNC SB RAS*

*Akademgorodok 50/28, Krasnoyarsk 660036, Russia*

<sup>b</sup> *M.F. Reshetnev Siber State University of Science and Technology  
prosp. Mira 82, Krasnoyarsk 660049, Russia*

<sup>#</sup> *E-mail: anbog@ksc.krasn.ru*

The possibility of using biofertilizers obtained as a result of solid-phase cultivation of certain strains of xylo-trophic basidiomycetes to increase the productivity and biological activity of degraded soils on the example of overburden rocks of the Borodino brown coal section is investigated. The introduction of mycoproducts and spent substrate blocks, as well as sawdust, increased the ground germination of Scots pine seeds by 10–50%, increased the safety of seedlings by 2–3 times, as well as their morphometric parameters and biomass. The use of biofertilizers increased the biogenicity and functional activity of the soil microbocenosis, especially noticeable in the variants with mycoproducts based on *T. versicolor* and substrate blocks of *P. egupdii*.

*Key words:* degraded soils, biofertilizer, mycoproduct, seedling germination and preservation, soil microbial biomass, basal respiration, number of ecological and trophic groups of microorganisms.