

Бизнес-модель применения биоугля сельхозпроизводителями с учётом концепции LCA (Life Cycle Assessment) и углеродного следа*

Елена Тюрина¹, Максим Свиридов¹,
Ольга Нестерова¹, Николай Сакара²

¹ Дальневосточный федеральный университет,
г. Владивосток, Россия

² Приморская ООС, филиал Федерального научного центра овощеводства,
с. Суражевка, Приморский край, Россия

Информация о статье

Поступила в редакцию:
05.02.2023

Принята
к опубликованию:
06.03.2023

УДК 332.1, 332.3, 338.435,
338.512

JEL M21, Q15, Q16, Q57

Ключевые слова:

биоуголь, низкоуглеродная технология, концепция LCA, парниковые газы, депонирование углерода, бизнес-модель.

Keywords:

biochar, low-carbon technology, LCA methodology, greenhouse gases, carbon sequestration, business model.

Аннотация

Описан естественный эксперимент применения биоугля с точки зрения экономических эффектов. Представлена технологическая цепочка выращивания сельхозпродукции. На основе концепции LCA и международных норм установлены процессы, ведущие к выбросам и поглощениям парниковых газов при производстве, транспортировке, подготовке, применении биоугля, а также производстве овощной продукции. Установленные в ходе эксперимента эффекты поглощения парниковых газов и депонирования углерода в почве позволили обозначить применение биоугля как низкоуглеродной технологии и обосновать её использование в виде бизнес-модели.

Business Model of Biochar Application by Agricultural Producers: Life Cycle Assessment (LCA) and Carbon Footprint

Elena A. Tyurina, Maxim K. Sviridov,
Olga V. Nesterova, Nikolay A. Sakara

Abstract

A natural experiment of biochar application in terms of economic effects is described. The technological chain of growing agricultural products is presented. The processes causing greenhouse gas emissions

* Исследования были проведены при поддержке гранта РФФИ №19-29-05166\19.

and absorption while producing, transporting, preparing, and applying biochar and in vegetable production have been determined using life cycle assessment methodology and international standards. The effects of greenhouse gas absorption and carbon sequestration in soils identified experimentally made it possible to specify biochar application as a low-carbon technology and justify its use as a business model.

Введение

Сельскохозяйственное производство относится к одному из основных источников антропогенных выбросов парниковых газов (ПГ) наряду со сжиганием органического топлива для выработки энергии и транспорта. Одновременно экосистемы, используемые в сельском хозяйстве, обладают потенциалом поглощения углерода при условии применения современных ресурсосберегающих технологий. Очевидно, что изменения в деятельности сельскохозяйственных предприятий, связанные с внедрением новых технологий землепользования, выращивания продукции, утилизации отходов, а также управления процессами, могут способствовать переходу на низкоуглеродное развитие предприятий и сокращению выбросов ПГ.

Одной из технологий, которая может быть использована в сельском хозяйстве и привести к сокращению выбросов ПГ, считается пиролиз – “процесс переработки твёрдых отходов под действием высоких температур без доступа кислорода”, ...в итоге которого получается уголь – твёрдый остаток, содержащий углерод”¹. Преимущества технологии пиролиза заключаются в том, что: (1) технология достаточно отработана и понятна; (2) при её использовании в окружающую среду не поступают продукты горения, нет загрязнений; (3) сырьём служат твёрдые отходы, в том числе те, которые сложно поддаются утилизации; (4) продукт, получаемый в результате пиролиза, не содержит агрессивных компонентов, и “устранить” вредные вещества возможно путём повышения температуры горения.

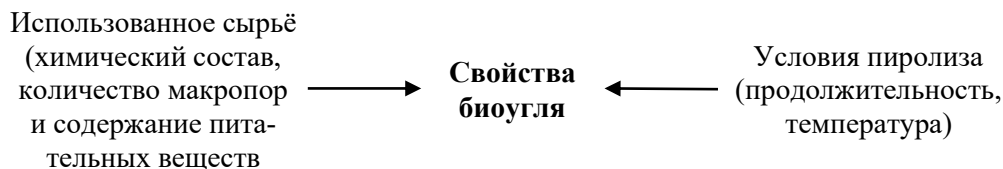
В последнее десятилетие в сельском хозяйстве (Индия, КНР, США и др.), в первую очередь, в растениеводстве, получило распространение применение биоугля как улучшителя почвы. Биоуголь (биочар) — это высокоуглеродистый и высокопористый продукт, который получают при пиролизе биомассы², это “богатое углеродом твёрдое вещество, полученное из биомассы различного происхождения (древесные опилки, органические отходы, навоз) с помощью пиролиза (неполного сжигания сырья) при температурах от 200 до 800 °С в условиях ограниченного присутствия кислорода” (Kookana, 2010)³. Значение имеет температура

¹ <https://delta-eco.ru/ekotehnologii/pererabotka-tverdyyh-bytovykh-othodov-pri-pomoshhi-piroliza.html>.

² Бовсун М.А., Нестерова О.В., Семаль В.А. [и др.]. Влияние различных доз биоугля в дренажной и бездренажной системе на эмиссию CO₂ и CH₄ из почв // Биоуголь: свойства, применение в сельском хозяйстве, влияние на почвы, растения и окружающую среду: материалы Международ. науч. семинара ФГБНУ АФИ (г. Санкт-Петербург, 8 декабря 2020 г.). – СПб.: ФГБНУ АФИ, 2020. — С. 13–15.

³ Kookana R.S. The role of biochar in modifying the environmental fate, bioavailability, and efficacy of pesticides in soils: A review // Aust. J. Soil Res. 2010. Vol. 48/ P. 627–637. — DOI 10.1071/SR10007 (цит. по: Железова А.Д., Седерлунд Х. Влияние биоугля на адсорбцию гербицидов в почве // Биоуголь: свойства, применение в сельском хозяйстве, влияние на почвы, растения и окружающую среду: материалы Международ. науч. семинара ФГБНУ АФИ (г. Санкт-Петербург, 8 декабря 2020 г.). – СПб.: ФГБНУ АФИ, 2020. — С. 31-34.

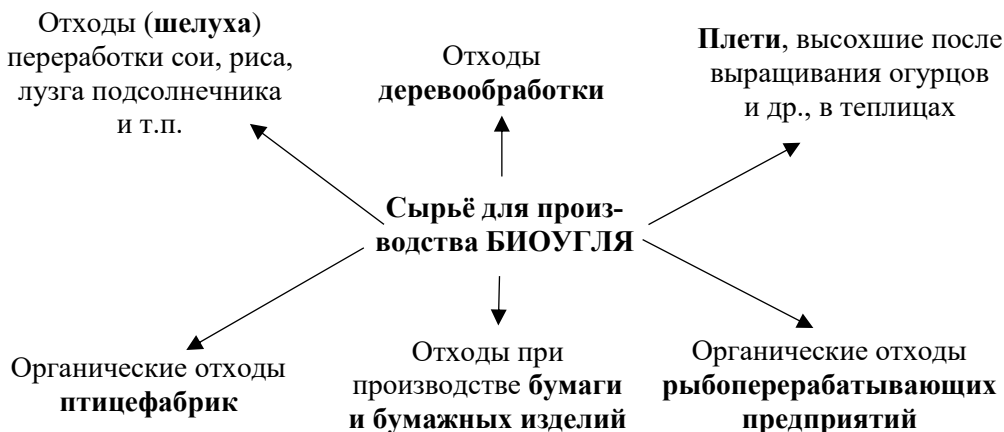
пиролиза, авторы полевых экспериментов по применению биоугля (рис. 1) отмечают данный параметр, так как некоторые виды сырья, например осадок сточных вод, содержат загрязнения, и повышение температуры позволяет снизить содержание вредных веществ (Кулагина и др., 2018)¹, (Рязанов и др., 2020)². Авторы отмечают, что необходимо учитывать фитотоксичность биоугля.



Источник: составлено авторами по [7].

Рис. 1. Основные факторы, определяющие свойства биоугля

Сырьём для производства биоугля могут служить различные отходы. Наиболее ценными считаются отходы деревообработки дуба, ясеня, граба и берёзы (рис. 2).



Источник: составлено авторами.

Рис. 2. Источники сырья для производства биоугля

Применение биоугля в сельском хозяйстве (растениеводстве) России как низкоуглеродной технологии

В нашем исследовании биоуголь рассматривается как органический улучшитель почвы, который при определённых условиях можно считать низкоуглеродным продуктом, а его использование в растениеводстве по соответствующим правилам — низкоуглеродной технологией.

¹ Кулагина В.И., Грачев А.Н., Рязанов С.С. [и др.]. Оценка фитотоксичности как первый этап эколого-биологической оценки влияния продукта пиролиза илов сточных вод на почву // Вестник Технологического университета. 2018. Т. 21. № 1. С. 164–168.

² Рязанов С.С., Грачев А.Н., Кулагина В.И. [и др.]. Содержание тяжёлых металлов в растениях при внесении различных видов биоуглей в серую лесную почву // Российский журнал прикладной экологии. 2020. № 3 (23). С. 29–34.

Функции биоугля при применении в сельском хозяйстве разнообразны: от сорбента до улучшителя, повышающего урожайность (табл. 1). Проведённый в 2020 г. Международный научный семинар “Биоуголь: свойства, применение в сельском хозяйстве, влияние на почвы, растения и окружающую среду”, собрал учёных из различных регионов России и зарубежных стран, где они продемонстрировали результаты экспериментов по применению биоугля в различных типах почв.

Эксперимент применения биоугля в сельском хозяйстве Приморского края

Несмотря на распространение производства и применения биоугля в сельском хозяйстве ряда стран, данная технология ещё не нашла применения в России. Чтобы изучить особенности и перспективы применения биоугля в российских условиях, международная команда исследователей Far Eastern Climate Smart Lab провела масштабное исследование, основной целью которого на первоначальном этапе было изучение последствий внесения биоугля в почвы (агротёмногумусовые подбелы, подзолисто-бурозёмные почвы на дренажном и бездренажном участках). Лаборатория Far Eastern Climate Smart Lab разработала дизайн полевого эксперимента и реализовала его в четырёхлетнем периоде на экспериментальном поле Приморской овощной опытной станции филиала Федерального государственного бюджетного научного учреждения “Федеральный научный центр овощеводства” (с. Суражовка, Приморский край) (рис. 3).

УЧАСТКИ БЕЗ ДРЕНАЖА		УЧАСТКИ С ДРЕНАЖЁМ	
Участок 1: Контроль 1	Контрольные участки по отношению к биоуглю	Участок 10: Контроль 1	Участок 11: Контроль 2 (минеральные удобрения)
Участок 2: Контроль 2 (минеральные удобрения)		Участок 12: Контроль 3 (органические удобрения)	
Участок 3: Контроль 3 (органические удобрения)			
Участок 4: 1 кг (10 т/га)	Биоуголь	Участок 13: 1 кг (10 т/га)	Участок 14: 3 кг (30 т/га)
Участок 5: 3 кг (30 т/га)			
Участок 6: 1 кг (10 т/га)	Биоуголь + минеральные удобрения	Участок 15: 1 кг (10 т/га)	Участок 16: 3 кг (30 т/га)
Участок 7: 3 кг (30 т/га)			
Участок 8: 1 кг (10 т/га)	Биоуголь + органические удобрения	Участок 17: 1 кг (10 т/га)	Участок 18: 3 кг (30 т/га)
Участок 9: 3 кг (30 т/га)			

Источник: составлено авторами.

Рис. 3. Дизайн эксперимента (участки)

Таблица 1

Функции биоугля в сельском хозяйстве

Эффект от применения биоугля	Тип почвы	Вид биоугля, норма внесения	Функция биоугля	Источник
Инактивация меди (Cu)	Чернозём обыкновенный при сочетании загрязнения мезоталлом и бенз(а)пиреном	2,5% от массы почвы	Сорбент	1
Повышение содержания азота и углерода в почве, снижение поступления азота в растения, в том числе на поле без дренажной системы с внесением 3 кг биоугля происходит минимальная миграция соединений азота в корневую систему и кочан капусты	Агропочвы (агротёмногумусовые подбелы) Приморской овощной опытной станции (п. Суражевка)	Биоуголь, произведённый из древесных остатков берёзы Betula alba, 1 и 3 кг на м ²	Сохранение уровня гумусированности почв, увеличение урожайности сельхозкультур и сокращение эмиссии ПП (N ₂ O и др.)	2
Улучшение водно-воздушного режима почвы и микробиологической активности Уменьшение эмиссии из почвы CO ₂	Тяжёлые по гранулометрическому составу почвы, например на Дальнем Востоке России агрозём текстурно-дифференцированный (тёмногумусовый подбел) (Anthric Luvisol)	Биоуголь, произведённый из древесных остатков берёзы Betula alba, 1 кг м ² и 3 кг м ²	Альтернатива / дополнение дренажной системы, увеличение секвестрационной способности почв, повышение прогитивной устойчивости, минимизация операций по обработке почвы	3
Увеличение содержания минеральных форм азота в почве	Дерново-подзолистые супесчаные почвы разной окультуренности	Древесный уголь из берёзы сорта "Премимум" (1 класса), фракция с размером частиц угля 0,5–5 см, 20 т га ⁻¹ (или 8 кг на 4 м ²)	Улучшение физических условий почвенной среды; увеличение интенсивности нитрификации и снижение интенсивности денитрификации	4, 19

Эффект от применения биоугля	Тип почвы	Вид биоугля, норма внесения	Функция биоугля	Источник
Увеличение рН, подвижного калия и фосфора, нитратного азота	Песчаные дерново-подзолистые почвы	Древесный биоуголь фракций 3–5 и ≤ 2 мм в 5% дозировке (от массы почвы)	Улучшение почвенного плодородия, усиление линейного роста, повышение продуктивности надземной биомассы ячменя и содержание протеина в зелёной биомассе	5
Рост водного и солевого рН, увеличение содержания подвижных фосфора и калия, органического углерода; содержание общего азота практически не меняется	Дерново-подзолистые супесчаные почвы	Древесный уголь фракции ≤ 1 см в количестве 15 т га ⁻¹	Влияние на основные агрохимические параметры и их динамику	6
Уменьшение адсорбции при продолжительной экспозиции биоугля в почве	Почвы полей Лэнна и Уллеракер, Швеция	Биоуголь Skogens kol из древесной биомассы Betula sp. (80%) и Picea abies (20%). Биоуголь смешивали с почвой из расчёта 1, 10, 20 и 30% биоугля на единицу сухой массы почвы	Адсорбция гербицидов в почве	8

Источник: составлено авторами.

Основными культурами для эксперимента стали капуста, картофель. Основные результаты полевого эксперимента [13, 17–19]:

– применение биоугля приводит к улучшению условий аэрации почвы путём повышения макропористости почвы и уменьшения уплотнения и удельной плотности почвы, улучшает показатели по гранулометрическому составу в сторону облегчения и положительно влияет на противозерозионную стойкость почв тяжёлого гранулометрического состава;

– применение биоугля приводит к улучшению усвоения питательных элементов, уменьшает потери органического углерода после изъятия урожая и сдвигает реакцию среды в сторону нейтральной на бездренажных участках при различных дозах биоугля;

– применение биоугля сокращает выбросы закиси азота и углекислого газа, при этом наибольший эффект наблюдается на бездренажных участках;

– применение биоугля на бездренажных участках увеличило урожай капусты в 2-3 раза.

Экономическая характеристика применения биоугля в сельском хозяйстве

Дополнительно была поставлена задача рассчитать себестоимость внесения биоугля под выращивание овощных культур в Приморском крае. По итогам её решения установлено: (а) применение биоугля привело к дополнительным технологическим операциям (погрузка, транспортировка в разбрасыватель, внесение), операция боронования в 2 следа уже предусмотрена для внесения удобрений. Для биоугля она обязательна в связи с необходимостью смешивания с почвой и избегания смыва водой, сноса ветром, при этом общее количество операций может быть сокращено в перспективе; (б) в себестоимости нужно учитывать затраты на ГСМ, амортизацию и ремонт техники, затраты труда, закупочную стоимость биоугля с учётом доставки (затраты на НИОКР не включались в расчёт себестоимости), а также затраты на взятие проб и проведение исследований в лаборатории согласно чек-листу (перечень тестов, проведение которых сельхозпроизводитель должен выполнять на постоянной основе при использовании биочара для корректировки норм внесения в последующие периоды). Затраты на 1 га составили около 40 тыс. руб. в первый год использования. Эта сумма может снижаться в последующие годы, а также может быть увеличена с учётом изначального состояния почв и выращиваемой культуры (за счёт изменения норм внесения биоугля).

При внесении биоугля на участках с дренажём и без дренажа расчёты показывают возможность получения дополнительной прибыли за счёт прироста урожайности (на примере картофеля и капусты) по сравнению с участком, где биоуголь не вносился. Для расчёта себестоимости использовалась цена древесного (берёза) биоугля, предлагаемого ООО «ИВЧАР», Кировская область (2021), в размере от 19 руб. за 1 кг берёзового угля в зависимости от объёма закупок.

Учитывая, что сырьём для производства биоугля могут служить различные отходы (см. рис. 2), а так же неопределённость с оптимальными местами их сбора, концентрации, складирования, что может увеличить затраты на транспортировку, хранение биоугля, объём возникающих при этом выбросов парниковых газов (ПГ), возникла задача разработать концепцию финансовой модели применения биоугля сельхозпроизводителями с учётом концепции LCA (Life Cycle Assessment), предусматривающей оценку углеродного следа на всех этапах жизненного цикла технологии.

В целях экономической оценки применения биоугля сельхозпроизводителями необходимо установить и рассмотреть процессы, ведущие к выбросам и поглощениям парниковых газов при производстве, транспортировке, подготовке, применении биоугля, “...которые могут быть широко распределёнными в пространстве и весьма изменчивыми во времени” (МГЭИК, 2006, с. 5).

На основе концепции LCA (K. Hasler, 2015) было установлено, что среди сценариев культивирования, при добавлении биоуголя, экологические затраты снижаются. Каждая тонна биоугля, вносимого в почву, снижает выбросы CO_2 на 1,3 т, таким образом, при применении биоугля 1 кг/м^2 выбросы снизятся на 13 т CO_2 на гектар, а при применении биоугля 3 кг/м^2 — на 39 т с гектара. Секвестрация углерода имеет свою цену на углеродном рынке, поскольку в мире существует несколько углеродных рынков, цена которых варьируется в пределах от 0,37 долл. США/т CO_2 до 126,78 долл. США/т CO_2 , компании могут участвовать на заранее установленных рынках или продавать напрямую клиентам по всему миру (это могут быть индивидуумы или компании). Если средняя цена на углеродные единицы 20 долл. США/т CO_2 , каждый гектар, дополненный биоуглем, будет приносить 200 долл. США при применении биоугля по 1 кг/м^2 и 600 долл. США при применении биоугля по 3 кг/м^2 .

Земельный участок (поле), на котором проводился эксперимент, относится, согласно РУЭП-ЗИЗЛХ (Руководящие указания по эффективной практике для землепользования, изменений в землепользовании и лесного хозяйства), к одной из шести категорий — возделываемым землям. Переустройство экспериментального поля, повлекшее к изменению категории, за последние 10 лет не производилось. Поле относится к управляемым землям — землям, “...на которых происходит вмешательство и деятельность человека для выполнения производственных, экологических и социальных функций” (МГЭИК, 2006, с. 5). На национальном уровне определяется как земли сельхозназначения.

Согласно Руководящим принципам национальных инвентаризаций парниковых газов (МГЭИК, 2006), в сельскохозяйственной деятельности изменения запасов углерода учитываются:

- в биомассе;
- мёртвом органическом веществе;
- почве во всех категориях землепользования.

Так же учитываются выбросы парниковых газов при сжигании биомассы, от систем уборки, хранения и использования навоза.

Применение биоугля в сельском хозяйстве оказывает воздействие на систему “почва – растения – атмосфера”.

Какие парниковые газы возможно учитывать в секторе сельского хозяйства? (табл. 2).

Таблица 2

Парниковые газы, учитываемые при инвентаризации в сельском хозяйстве

	CO ₂	N ₂ O	CH ₄	NH ₃
Деятельность, ведущая к изменению запасов углерода в биомассе				
Деятельность, ведущая к изменению запасов углерода в мёртвом органическом веществе				
Деятельность, ведущая к изменению запасов углерода в минеральных почвах				
Выбросы газов от пожаров				
Обработка почв				
Внесение извести и мочевины в обрабатываемые почвы				
Выращивание риса				
Культивирование органических почв			В случае обводнения	
Сжигание биомассы				
Деятельность систем уборки, хранения и использования навоза				

Источник: составлено авторами на основании руководства МГИЭК.

Бизнес-модель применения биоугля сельхозпроизводителями

Потребители биоугля: крупные и средние предприятия, занимающиеся или планирующие производство сельскохозяйственной продукции (растениеводство), фермеры, собственники земель, владельцы подсобных хозяйств, заинтересованные в длительном эффекте воспроизводства плодородия. География сбыта биоугля: Дальний Восток России, зарубежные рынки (экспорт).

Продукты-конкуренты:

– органические удобрения из природного сырья (торф и сапропель). Биочар, в отличие от торфа и сапропеля, не требует сложной подготовки перед внесением в почву, а также удерживает полезные вещества в почве более долгое время (усиливает тем самым эффект дренажной системы);

– дорогостоящие дренажные системы на труднодоступных и мелкоконтурных земельных участках. Службы мелиорации в России пришли в упадок, проектирование и установка дренажных систем является дорогостоящим мероприятием. Там, где сложно установить дренажную

систему или очень дорого, можно прибегнуть к использованию низкоуглеродной технологии с применением биоугля;

– улучшители почв (мелиоранты), например, циолиты, гидрогель и др. Биоуголь по мере разложения становится частью почвы, привнося в неё углерод, улучшая усвоение подвижных форм питательных элементов и плодородие. Таким свойством не обладают другие природные и искусственные мелиоранты. Эффекты улучшения почв от внесения биоугля могут сохраняться до 10 лет в зависимости от его вида.

Такие органические мелиоранты-сорбенты, как “...торф, сапропель, лигнин, кора, опилки, мох, компост и другие вещества биологического происхождения. В дополнение, сырьём для формирования мелиоранта могут служить вещества нетрадиционного происхождения: техногенные шлаки, шламы, фосфогипс, силикаты и гидросиликаты магния, угольная пыль”¹.

Преимущество древесного биоугля перед органическими удобрениями состоит в способности уменьшать затраты углерода из почвы, выносимого с урожаем. Биоуголь однозначно можно отнести к чистым органическим технологиям, что даёт возможность производителям для сертификации производимой продукции на участках с биоуглём вместо удобрений как органического продукта.

Полученный эффект снижения эмиссии углекислого газа также даёт возможность рассматривать предложенную технологию как низкоуглеродную.

Как показали исследования, внесение биоугля в бездренажные участки под овощные культуры даёт возможность экономить на внесении удобрений, но для полного понимания экономической эффективности необходимо изучение последствие биоугля после внесения.

Установлено, что использование биоугля в растениеводстве даёт прирост прибыли (табл. 3). Дополнительный эффект возможен за счёт встраивания в производственную цепочку переработку собственных органических отходов.

Таблица 3

Оценка экономического эффекта применения биоугля в растениеводстве

Участок	Расходы на обработку 1 га, руб.	Урожайность с 1 га, кг	Выручка с продажи урожая с 1 га, руб.	Прибыль с 1 га, руб.	Прирост прибыли по сравнению с контролем, руб.
Обычный участок (контроль)	220 260	27 000	405 000	184 740	–
Участок с внесением биоугля	257 560	41 260	618 903	361 143	+176 403
Участок с дренажем и внесением биоугля	266 332	49 908	748 624	482 292	+297 552

Источник: составлено авторами.

¹ Рудзиш Э. Рекультивация техногенно нарушенных земель с использованием нетрадиционных мелиорантов: дисс. ... канд. техн. наук. — СПб., 2022. — 144 с.

Вариант размещения производства биоугля в непосредственной близости от полей сельскохозяйственного предприятия может оказаться предпочтительным: отходы самого сельхозпредприятия могут перерабатываться, вырабатываемый биогаз может так же использоваться, затраты на перевозку биоугля снизятся. Однако вопрос доступности сырья станет определяющим. Например, производство лесоматериалов необработанных (тыс. плотных м³) в Приморском крае составляет 4579 тыс. плотных м³ (2017)¹. Предположим, что в последующие годы существенных отклонений не было и из них 1152 тыс. м³ пошло на деревообработку (2019)². Древесные отходы составляют 32,2% от объёмов используемого пиловочника, из которых кусковые отходы составляют 41,8%; луб — 13,47%; кора — 13,88%; щепа — 5,77%; опилки, стружка, пыль — 19,95%; обрезки шпона — 5,13%³. Отходы предположительно составят 369 тыс. м³. Если предположить, что 50% отходов недоиспользованы, то их объём может составлять 185 тыс. м³.

Компания “Экокарбон” (Красноярский край) предлагает 3 типа пиролизных печей по производству биоугля из древесных отходов⁴ производительностью 280 т, 600 и 1200 т биоугля в месяц, используя 5600 м³, 12 000 и 24 000 м³ насыпных кубов отходов в месяц. Для переработки 185 тыс. м³ древесных отходов потребуется целый год, что не представляется реалистичным вариантом, так как источники возникновения этих отходов разбросаны по большой территории. Существует вариант мобильного оборудования (компания Beston⁵) с производительностью 300 кг/ч (около 53 т биоугля в месяц). Оборудование требовательно к сырью по размеру и влажности, поэтому дополнительно потребуется дробилка и сушильная камера. Следовательно, размещение полей сельхозпредприятий и лесоперерабатывающих предприятий, где формируются отходы, будет определять тип закупаемого оборудования наряду с требуемым объёмом и наличием других видов отходов в регионе.

На концептуальном уровне финансовая модель применения биоугля в растениеводстве показывает, что запуск сельхозпроизводителями нового направления обоснован в случае, если компании намерены выходить в сегмент “зелёной” продукции класса “средний высокий” и “премиальный”, в том числе органической продукции, а также развивать её экспорт в страны с растущим спросом на “зелёные” продукты и низкоуглеродный стиль жизни. Производство биоугля необходимо размещать на оптимальном расстоянии от мест возникновения соответствующих отходов и одновременно от полей, где планируется внесение биоугля, что позволит снизить углеродный след, связанный с транспортировкой сырья и готовой продукции.

¹ https://amgpgu.ru/upload/iblock/05f/kursova_i_m_bystrushkin_a_yu_sovremennoe_sostoyanie_lesopromyshlennogo_kompleksa_dalnevostochnogo_fe.pdf.

² https://vl.aif.ru/society/kak_prohodit_pererabotka_lesa_v_primore.

³ <https://cyberleninka.ru/article/n/analiz-obrazovaniya-i-ispolzovaniya-drevesnyh-othodov-na-predpriya-tiyah-lesopromyshlennogo-kompleksa-rossii/viewer>.

⁴ <https://ecocarbon.ru/>.

⁵ <https://bestoncompany.com/ru/biochar-production-equipment/>.

Благодаря использованию технологии экономический эффект проявляется через:

- а) повышение урожайности (рост прибыли);
- б) улучшение плодородия почв, установленное путём четырёхлетнего полевого эксперимента (Приморский край), свойства почв имеют положительную динамику, что сказывается на стоимости земель как актива и возможности снижения издержек (экономия на внесении удобрений);
- в) декарбонизацию и возможность производителя позиционировать выращиваемую продукцию как “зелёную”, низкоуглеродную, в том числе органическую, создавать дополнительную ценность для потребителя и претендовать на более высокую маржу на рынке, в том числе на экспортных рынках низкоуглеродной пищевой продукции

Заключение

Валовая прибыль с 1 га (на примере выращивания капусты) при применении биоугля увеличивается благодаря росту урожайности практически в 2 раза (со 184 до 361 тыс. руб.), на полях с дренажом значение может вырасти в 2 раза. Дополнительный эффект в долгосрочной перспективе возникает за счёт сохранения плодородия почв, депонирования в них углерода, а также, как было сказано выше, за счёт снижения эмиссии парниковых газов. При этом коммерциализация этих эффектов требует различных подходов, так как биоуголь “работает” в системе “почва – растения – атмосфера”. Спрос на эффекты в элементе системы “почвы” возникает при продаже участка, сдачи его в аренду, оценке в случае передачи в залог, однако в России мы имеем дело с “провалами” рынка земель сельхозназначения, его несовершенством, асимметрией информации. Так как биоуголь снижает необходимость в механической обработке почвы по традиционно применяемой технологической карте, сельхозпроизводители могут рассчитывать на снижение затрат. Спрос на эффекты системы “растения” самый очевидный — рост урожайности. Спрос на эффекты системы “атмосфера” пока не сформирован в России ввиду отсутствия рынка углерода. Финансовый поток здесь возможен за счёт экспортных рынков, развития потенциала добровольного рынка углерода в России, популяризации соответствующего стиля жизни, в том числе через встраивание в образование универсальной компетенции ведения низкоуглеродной деятельности. Таким образом, максимизация эффектов внедрения низкоуглеродной технологии с применением биоугля возможна при разработке и внедрении новых механизмов мониторинга качественных характеристик земель сельхозназначения, механизмов оценки и торговли углеродными единицами. Работа подобных механизмов должна быть организована на принципах открытости, путём реализации региональных экспериментов. На сегодня бизнес-модель применения биоугля в растениеводстве говорит о новаторстве данного направления и его сопряжённости с высокими рыночными рисками при интернационализации бизнеса (экспорт) и выхода произ-

водителей в сегменты “зелёной” продукции класса “средний высокий” и “премиальный”, в том числе органической продукции в России.

Список источников

1. Барахов А.В., Лобзенко И.П., Дудникова Т.С. [и др.]. Влияние биочара на подвижность Си в сочетанно загрязнённом чернозёме обыкновенном // Биоуголь: свойства, применение в сельском хозяйстве, влияние на почвы, растения и окружающую среду: материалы Международ. науч. семинара ФГБНУ АФИ (г. Санкт-Петербург, 8 декабря 2020 г.). — СПб.: ФГБНУ АФИ, 2020. — С. 3–7.
2. Белая А.А., Патрушева О.В., Нестерова О.В. [и др.]. Влияние биоугля на содержание некоторых форм азота в почве и биомассе капусты // Биоуголь: свойства, применение в сельском хозяйстве, влияние на почвы, растения и окружающую среду: материалы Международ. науч. семинара ФГБНУ АФИ (г. Санкт-Петербург, 8 декабря 2020 г.). — СПб.: ФГБНУ АФИ, 2020. — С. 8–11.
3. Бовсун М.А., Нестерова О.В., Семаль В.А. [и др.]. Влияние различных доз биоугля в дренажной и бездренажной системе на эмиссию CO₂ и CH₄ из почв // Биоуголь: свойства, применение в сельском хозяйстве, влияние на почвы, растения и окружающую среду: материалы Международ. науч. семинара ФГБНУ АФИ (г. Санкт-Петербург, 8 декабря 2020 г.). — СПб.: ФГБНУ АФИ, 2020. — С. 13–15.
4. Бойцова Л.В., Рижия Е.Я. Влияние биоугля на сезонную динамику минеральных форм азота в дерново-подзолистой супесчаной почве разного качества // Биоуголь: свойства, применение в сельском хозяйстве, влияние на почвы, растения и окружающую среду: материалы Международ. науч. семинара ФГБНУ АФИ (г. Санкт-Петербург, 8 декабря 2020 г.). — СПб.: ФГБНУ АФИ, 2020. — С. 16–20.
5. Дубровина И.А., Юркевич М.Г., Сидорова В.А. Влияние биоугля и удобрений на развитие растений ячменя и агрохимические показатели дерново-подзолистых почв в вегетационном опыте // Труды Карельского научного центра Российской академии наук. 2020. № 3. С. 31–44.
6. Дубровина И.А. Пролонгированное влияние биоугля на агрохимические свойства дерново-подзолистой супесчаной почвы // Биоуголь: свойства, применение в сельском хозяйстве, влияние на почвы, растения и окружающую среду: материалы Международ. науч. семинара ФГБНУ АФИ (г. Санкт-Петербург, 8 декабря 2020 г.). — СПб.: ФГБНУ АФИ, 2020. — С. 26–30.
7. Ahmad M., Rajapaksha A.U., Lim J.E. [et al.]. Biochar as a sorbent for contaminant management in soil and water: A review. // Chemosphere. 2014. Vol. 99. P. 19–23. — DOI 10.1016/j.chemosphere.2013.10.071.
8. Железова А.Д., Седерлунд Х. Влияние биоугля на адсорбцию гербицидов в почве // Биоуголь: свойства, применение в сельском хозяйстве, влияние на почвы, растения и окружающую среду: материалы Международ. науч. семинара ФГБНУ АФИ (г. Санкт-Петербург, 8 декабря 2020 г.). — СПб.: ФГБНУ АФИ, 2020. — С. 31–34.
9. Haslera K., Bröring S., Omtab S.W.F. [et al.]. Life cycle assessment (LCA) of different fertilizer product types // Europ. J. Agronomy. 2015. Vol. 69. P. 41–51. — URL: <http://dx.doi.org/10.1016/j.eja.2015.06.001>

10. Федеральный закон “О государственном регулировании обеспечения плодородия земель сельскохозяйственного назначения” от 16.07.1998 № 101-ФЗ // Собрание законодательства РФ. 20.07.1998. № 29. Ст. 3399.
11. Product Definition and Specification Standards: Standardized Product Definition and Product Testing Guidelines for Biochar That Is Used in Soil (aka IBI Biochar Standards) // Version 2.1 2015 IBI 61 p. — URL: <https://biochar-international.org/characterizationstandard/>.
12. Федеральный закон “Об органической продукции и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации” от 03.08.2018 № 280-ФЗ // Собрание законодательства РФ. 06.08.2018. № 32 (ч. I). Ст. 5073.
13. Bovsun M.A., Castaldi S., Nesterova O.V. [et al.]. Effect of biochar on soil CO₂ fluxes from agricultural field experiments in Russian far east // *Agronomy*. 2021. Vol. 11 (8). P. 1559. — DOI <https://doi.org/10.3390/agronomy11081559>.
14. Hawthorne L., Johnson M.S., Jassal R.S. [et al.]. Application of biochar and nitrogen influences fluxes of CO₂, CH₄ and N₂O in a forest soil // *J. Environ. Manage.* 2017. Vol. 192. P. 208–214. — URL: <https://biochar-international.org/sustainability-climate-change/>.
15. Ding Y., Liu Y., Liu S. [et al.]. Biochar to improve soil fertility // *Agronomy for Sustainable Development*. 2016. Vol. 36. 18 p. — DOI 10.1007/s13593-016-0372-z.
16. Международная инициатива по биочару (IBI). — URL: <https://biochar-international.org/soil-health/>.
17. Bovsun M.A., Castaldi S., Nesterova O.V. [et al.]. Effect of biochar on soil CO₂ fluxes from agricultural field experiments in Russian Far East // *Agronomy*. 2021. Vol. 11 (8). P. 1559. — DOI 10.3390/agronomy11081559.
18. Bovsun M., Nesterova E., Semal V. [et al.]. Changes in the composition and properties of biochar after one-year application // *E3S Web of Conferences*. 2020. Vol. 217. P. 10009. — DOI 10.1051/e3sconf/202021710009.
19. Kolesnikova Y., Semal V., Nesterova O. [et al.]. The effect on nitrogen oxide emission from agricultural soils // *E3S Web of Conferences*. 2020. Vol. 175. P. 09014. — DOI 10.1051/e3sconf/202017509014.

Сведения об авторах / About authors

Тюрина Елена Александровна, кандидат экономических наук, доцент Департамента социально-экономических исследований и регионального развития Школы экономики и менеджмента, Дальневосточный федеральный университет. 690922 Россия, г. Владивосток, о-в Русский, кампус ДВФУ, корпус G. *E-mail: tyurina.ea@dvfu.ru*.

Elena A. Tyurina, PhD in Economics, Associate Professor of the Department of Socio-Economic Research and Regional Development, the School of Economics and Management, Far Eastern Federal University. Bld. G, FEFU Campus, Vladivostok, Russia, 690620. *E-mail: tyurina.ea@dvfu.ru*.

Свиридов Максим Константинович, старший преподаватель Департамента менеджмента и предпринимательства Школы экономики и менеджмента, Дальневосточный федеральный университет. 690922 Россия, г. Владивосток, о-в Русский, кампус ДВФУ, корпус G. *E-mail: sviridov.mk@dvfu.ru*.

Maxim K. Sviridov, Senior Lecturer of the Department of Management and Entrepreneurship, the School of Economics and Management, Far Eastern Federal University. Bld. G, FEFU Campus, Vladivostok, Russia, 690620. *E-mail: sviridov.mk@dvfu.ru*

Нестерова Ольга Владимировна, кандидат биологических наук, зав. кафедрой почвоведения Института мирового океана, Дальневосточный федеральный университет. 690922 Россия, г. Владивосток, о-в Русский, кампус ДВФУ, корпус G. *E-mail: nesterova.ov@dvfu.ru*.

Olga V. Nesterova, PhD in Biology, Head of the Soil Science Department, the Institute of the World Ocean, Far Eastern Federal University. Bld. G, FEFU Campus, Vladivostok, Russia, 690620.
E-mail: nesterova.ov@dvfu.ru

Сакара Николай Андреевич, кандидат сельскохозяйственных наук, зам. директора по научной работе, Приморская овощная опытная станция – филиал Федерального государственного бюджетного научного учреждения “Федеральный научный центр овощеводства” (Приморская ООС – филиал ФГБНУ ФНЦО).

Nikolay A. Sakara, PhD in Agricultural Sciences, Deputy Director for Research at the Primorye Vegetable Experimental Station – the Primorye branch of the Federal State Budgetary Research Institution “Federal Research Center for Vegetable Growing”