

Результаты третьего этапа (третьего года) работ.

Объектом исследования являются почвы сельхозугодий, обработанные пироуглем или минеральными удобрениями точным способом, экспериментальные образцы пироугля из куриного помета, в т.ч. с повышенным содержанием ^{13}C .

Целью данного этапа ПНИЭР является подтверждение выявленных на предыдущих этапах закономерностей о влиянии пироугля на почвы, микроорганизмы и растения в рамках полевого эксперимента, а также обобщение полученных в ходе выполнения всех этапов ПНИЭР результатов, в т.ч. их технико-экономическая оценка и подготовка предложений по внедрению.

В ходе выполнения ПНИЭР Исполнитель проекта за счет собственных средств, затраты которых возмещаются Субсидией, выполнил работы и получил результаты, представленные ниже:

Проведена наработка экспериментальной партии пироугля для обеспечения полевого эксперимента, состоящей из 7200 т порошкообразного и 3600 т гранулированного пироугля. Весь гранулированный пироуголь был непосредственно использован для внесения в почву в ходе полевого эксперимента. Порошкообразный пироуголь направлен для дальнейших манипуляций (химической модификации, иммобилизации микроорганизмов и частичной последующей грануляции) Индустриальному партнеру. Пиролиз проведен в установках роторного типа при пиковой температуре 400°C , удерживаемой в течение 2 ч, и последующим остужением реторты во вращении для предотвращения озоления полученного материала.

На следующем этапе работ были проведены экспериментальные исследования влияния пироугля на почвенные микробные сообщества и растения в полевых условиях. В рамках полевого эксперимента было заложено 7 опытных вариантов (обработка гранулированным пироуглем – gVw, обработка порошкообразным и гранулированным пироуглем с микроорганизмами – VM1%w, gVM1%w, химически модифицированным пироуглем – gVchX1%w и gVchX2%w, минеральными удобрениями и пестицидами (KFPw) и гранулированным пироуглем на фоне минеральных удобрений и пестицидов (gBFPw), а также контроль без обработки (Kw). При анализе заболеваемости пшеницы (корневые гнили, мучнистая роса, бурая ржавчина, септериоз) установлено, что развитие корневых гнилей и листовых микозов увеличивается со временем. Наибольшая степень развития заболеваемости корневых гнилей в конце эксперимента отмечена в образце Kw (8,3 балла), далее она снижалась в ряду образцов KFPw-gVchX1%w-gVw-VM1%w-gVM1%w-gVchX2%w-gBFPw. Наиболее высокое распространение корневых гнилей также отмечено для образца Kw, наименьшее – для образца VM1%w (100% и 74%,

соответственно, в конце эксперимента). При анализе листовых микозов выявлено дополнительное влияние иммобилизованных на пироугле микроорганизмов на снижение развития и распространения мучнистой росы и септериоза по сравнению с пироуглем без микроорганизмов, при этом наибольшее развитие и распространение в образце Кw отмечено для септериоза (8,7 баллов и 100%, соответственно). Заболевание бурая листовая ржавчина практически не отмечено для растений пшеницы в полевом эксперименте. Полученные визуальным методом данные подтверждены с использованием ПЦР в реальном времени со специфическими праймерами для *Fusarium avenaceum*, *Fusarium graminearum*, *Fusarium oxysporum*, *Bipolaris sorokiniana*, *Ophiobolus graminis*, *Blumeria graminis*, *Puccinia dispersa*, *Septoria tritici*.

Анализ структуры микробных сообществ почв позволил установить следующее. Число копий генов бактерий в образцах почвы под пшеницей, отобранных в рамках полевого эксперимента, изменялось в диапазоне $8,66 \cdot 10^6$ – $5,83 \cdot 10^7$ копий генов/г. Численность микроскопических грибов в почве находилась в диапазоне $2,92 \cdot 10^4$ – $2,75 \cdot 10^5$ копий генов/г. Внесение пироугля, удобрений и микроорганизмов, не привело к достоверным отличиям числа копий бактериальных и грибных генов от контрольного образца Кw. Методом секвенирования ампликонов в почвах суммарно было обнаружено 627 бактериальных и 276 грибных ОТЕ. Среди 18 выявленных типов бактерий наибольшим обилием как в контрольном образце Кw, так и в опытных образцах характеризовались типы Actinobacteria и Proteobacteria, а также Plantomycetes, Gemmatimonadates, Acidobacteria и Chlorflexi. В грибном сообществе были выявлены ОТЕ, принадлежащие 6 типам, среди которых в образцах доминировали Ascomycota, Basidiomycota и Mucoromycota. Внесение в почву пироугля, удобрений и микроорганизмов не привело к достоверным отличиям в соотношении обилия бактериальных и грибных типов, а также составу сообществ в контрольном и опытных образцах. Бактериальные и грибные сообщества опытных образцов, отобранные в различные временные точки эксперимента, обладали высокой степенью сходства, как между собой, так и по отношению к контрольному образцу.

Внесение штаммов консорциума из *Azospirillum zeae*, *Bacillus megaterium*, *Pseudomonas putida* и *P. fluorescens* не привело к значительным изменениям структуры почвенного сообщества. Значение выживаемости на 90 сутки для интродуцентов составило 119-293%, что позволяет судить о сохранении их численности и активности.

Оценка физиологического профиля почвенных микроорганизмов осуществлялась на основании их способности потреблять углеродные субстраты с использованием плашек Biolog Ecoplate, определенной по окрашенности ячеек. Методом MDS установлено, что

спектр потребления углеродных субстратов в течение эксперимента изменялся как в контрольном, так и в опытных вариантах, и различия между сообществами, оцененными в разные временные точки, было большим, чем между таковыми в почвах при различных вариантах обработки почвы. Исключением явился вариант KFPw с внесением пестицидов и удобрений, микробное сообщество которого отличалось от контрольного на 14 и 30 сутки эксперимента с точки зрения своей способности утилизировать углеродные субстраты.

На 1 сутки полевого эксперимента установлено минимальное значение РА для всех вариантов (0,004-0,014 мгСО₂/г*ч). РА в контрольном варианте (Kw) и варианте с внесением пироугля достоверно не отличались в течение полевого эксперимента, таким образом, можно предположить, что внесение пироугля не оказывало стрессового воздействия на микробное сообщество почв. При этом внесение химически модифицированного пироугля привело к увеличению РА на 14 сутки эксперимента: в 8 раз для варианта gVchX1%w и в 14 раз – для варианта gVchX2%w. Применение минеральных удобрений и пестицидов также оказало стрессовое воздействие на микробное сообщество почв на 30 сутки эксперимента (снижение РА в 7,7 раз по сравнению с РА на 14 сутки у варианта KFPw), при этом применение минеральных удобрений на фоне внесения пироугля снизило этот негативный эффект (снижение РА в 1,3 раз по сравнению с РА на 14 сутки у варианта gBFPw). К концу вегетационного периода (90 сутки) РА для всех вариантов обработки полей составила 0,006-0,014 мгСО₂/г*ч.

Кислофосфатазная активность почвенных микроорганизмов в почвах 24 исследованных полей до начала эксперимента находилась в пределах 213 до 270; 1,4-β-глюкозидазная – в пределах 72 - 119, а лейцин-аминопептидазная – 25-57 нмоль* г⁻¹*ч⁻¹. В контрольном варианте Kw в течение эксперимента активность фосфатазы колебалась в пределах 69-128 %, 1,4-β-глюкозидазы –94-179%, лейцин-аминопептидазы – 115-166% от начальных значений. В вариантах почвы, обработанной минеральными удобрениями и пестицидами, значения ферментативных активностей были сопоставимыми с контрольными, тогда как в вариантах, обработанных пироуглем в различных видах (гранулированном, с микроорганизмами, с химической модификацией, в сочетании с минеральными удобрениями и пестицидами) – превышало его, особенно в конце эксперимента. Вероятно, это связано со способностью пироугля пролонгированно выделять содержащиеся в нем биогенные элементы (N, P, K) и интенсифицировать синтез микроорганизмами ферментов, задействованных в их циклах.

Для оценки влияния внесения пироугля на урожайность растений в качестве тестовой культуры была использована пшеница сорта «Экада-109». Оценивалась масса урожая, полученного с 1 га, качество зерна (содержание белка, сорная и зерновая примесь зерна, натура и число падения), а также дополнительные показатели – всхожесть, биомасса, длина стебля и корня растений, содержание хлорофилла, масса колоса и вес зерна, вес снопа. Масса урожая, полученного с полей без обработки (Kw) составила 18 ц/га, тогда как масса урожая полей вариантов с внесением всех видов пироугля была равна 42-44 ц/га и была сопоставимой с таковой для варианта с внесением пестицидов и минеральных удобрений точным способом. При одинаковой урожайности, качество зерен, полученных с вариантов полей, обработанных различными видами пироугля и минеральными удобрениями, значительно различалось. В частности, внесение пироугля привело к увеличению содержания белка, клейковины в зерне, улучшению хлебопекарных свойств получаемой муки, модификация пироугля йодом привела к увеличению содержания данного дефицитного элемента в зерне на 30%, что имеет важное значение для здоровья населения, иммобилизация консорциума микроорганизмов на пироуголь привела к снижению уровня зараженности зерен фитопатогенами на 35% по сравнению с контролем.

На третьем этапе работ определены перспективы их внедрения (промышленного освоения) основных результатов, полученных в ходе ПНИЭР. Показано, что такие результаты как ГИС-картограммы полей с информацией об агрохимических свойствах почвы, севообороте и заболеваемости растений, интерполированные картограммы для точного земледелия, результаты экспериментальных исследований агрохимических свойств и фитопатогенного фона почв сельхозугодий, уже внедрены в деятельность Индустриального партнера проекта, однако для них необходимо постоянное обновление. Для результатов экспериментальных исследований влияния пироугля и гранулированного пироугля на урожайность свеклы, пшеницы, ячменя, лабораторного музей и каталога фитопатогенов, а также экспериментальных образцов пироугля продемонстрированы краткосрочные перспективы внедрения. Выявлена необходимость изменения разработанных ранее методов химической модификации и иммобилизации микроорганизмов на пироугле для возможности их применения в условиях крупномасштабного производства, а также необходимость оценки объемов и калорийности образующегося в процессе пиролиза топлива. Проведены дополнительные исследования, в результате которых доработаны указанные методы, получена информация о пиролизном топливе, а также создана программа ЭВМ для прогнозирования объемов и свойств продуктов пиролиза при использовании различных субстратов и режимов

переработки. Даны предложения и рекомендации по внедрению (промышленному освоению) полученных результатов Индустриальным партнером и другими предприятиями агропромышленного комплекса, а также по их использованию в дальнейших исследованиях и разработках.

На основании анализа и обобщения полученных при реализации ПНИЭР результатов, поименованных в ТЗ, установлено, что характеристики всех полученных результатов полностью соответствуют требованиям ТЗ. Так, разработан метод химической модификации пироугля биогенными элементами и дополнительно йодом, позволяющий увеличить их содержание в пироугле не менее чем на 100% и использовать его как удобрение для получения функциональных продуктов. Создан и усовершенствован метод иммобилизации консорциумов микроорганизмов на пироугле, обеспечивающий иммобилизацию не менее четырех штаммов при концентрации клеток не менее 10^6 КОЕ/г пироугля. Применение пироугля, полученного по разработанному методу, способствует уменьшению заболеваемости растений и снижению зараженности фитопатогенами получаемого зерна. Получены экспериментальные образцы пироугля (42 образца пироугля при различающемся режиме и субстрате пиролиза, полученные в лабораторных условиях; 5 экспериментальных образцов, полученных на Экспериментальной пиролизной установке роторного типа, 19 химически модифицированных экспериментальных образцов и 45 экспериментальных образцов с иммобилизованными микроорганизмами). Разработаны ГИС-картограммы полей с информацией об агрохимических свойствах почвы, севообороте и заболеваемости растений, которые использованы в дальнейшем для выбора полей полевого эксперимента. Создан лабораторный музей фитопатогенов, выделенных из почв полей Индустриального партнера. Характеристики и описание фитопатогенов внесены в каталог. Разработаны интерполированные картограммы обеспеченности полей биогенными элементами, а также карты-задания для разбрасывателей Amazone для точного земледелия. Представлена информация о результатах экспериментальных исследований влияния пироугля и гранулированного пироугля на урожайность свеклы, пшеницы, ячменя, а также о результаты экспериментальных исследований агрохимических свойств и фитопатогенного фона почв сельхозугодий.

Дана технико-экономическая оценка ряду результатов РИД: методам химической модификации пироугля и иммобилизации на нем микроорганизмов с полезными свойствами, ГИС-картам и интерполированным картограммам для точного земледелия, созданным на основе агрохимических обследований полей Индустриального партнера. Показано, что объем рынка органических удобрений, к которым относится и пироуголь, в

РФ достаточно мал – на 2018 он составил 67275 тыс. т, однако рынок является растущим. Прямых аналогов пироугля в настоящее время на российском рынке не существует. Учитывая то, что химически модифицированный пироуголь и пироуголь с иммобилизованными микроорганизмами обладает возможностью дополнительного обогащения растительных продуктов йодом и выполняет функцию биопестицида, он является уникальным продуктом. Уникальные свойства пироугля дают возможность предположить, что в долгосрочной перспективе он сможет занять исключительное положение на рынке (к 2026 году около 50% от объема потребления органических удобрений в РФ), поскольку производитель сам будет формировать рынок, используя стратегию вывода на рынок нового продукта. При оценке экономического эффекта от внесения удобрений точным способом, которое стало возможным на основании предварительных агрохимических обследований, построения ГИС-карт и интерполированных картограмм, под сахарную свеклу на поля общей площадью 1535 га, была продемонстрирована экономия расхода удобрений стоимостью 9459 руб/га. Дополнительным эффектом стало повышение урожайности сахарной свеклы на указанных площадях на 18%.

Проведено сравнение результатов ПНИЭР с современным научно-техническим уровнем. Полученный анализ свидетельствует о растущем в последнее десятилетие количестве публикаций в областях, в которых получены результаты, что свидетельствует о том, что все исследования являются актуальными и своевременными. Полученные результаты не противоречат современным представлениям и существенно дополняют пул знаний об изменении агрохимических свойств почв при внесении пироугля, об урожайности растений на полях, подвергнутых обработке пироуглем, и их развитии на ранних стадиях и качественных характеристиках растений, о методах химической модификации пироугля и методах и эффектах иммобилизации микроорганизмов на пироугле, а также о геостатистических приемах повышения урожайности агрокультур. Ряд результатов обладает научной новизной, а все результаты соответствуют уровню, представленному в мировой литературе как по методикам и техникам выполнения исследований, так и в части глубины и объема исследований.

Разработано ТЗ на ОТР «Пиролизной шнековой промышленной установки непрерывного действия», которое изложено на 23 страницах и содержит 15 разделов требований. Тематика ОТР выбрана на основании анализа имеющейся научной, научно-технической литературы и состояния и развития промышленного сектора по производству оборудования для переработки куриного помета методом пиролиза. Проведен обзор преимуществ и недостатков существующих технических решений, используемых в

оборудовании для медленного пиролиза. Предложена принципиальная концепция пиролизной установки нового типа непрерывного действия, включающая в себя безваловый шнек в качестве основного конструктивного элемента. Реализация такой установки позволит получить пироуголь с заданными свойствами в условиях крупномасштабного производства (до 3000 кг/час).

Результаты, полученные Исполнителем проекта за счет собственных средств, полученных из внебюджетных источников:

Пироуголь с повышенным содержанием изотопа ^{13}C был наработан из биомассы кукурузы (*Zea mays*), относящейся к растениям с фотосинтезом типа C3, для которых характерно избирательное поглощение углерода ^{13}C из атмосферного воздуха. При пиковых температурах 300 °C и 400 °C получено 2 партии пироугля с повышенным содержанием изотопа ^{13}C массой 73 и 67 кг. Подтверждение повышенного содержания проведено на основании сравнения ЯМР спектров (^{13}C -CPMAS ЯМР) пироугля из куриного помета с типичным средним содержанием ^{13}C и пироуглей из полученных партий.

Для изучения путей трансформации пироугля в почве был использован метод меченных изотопов. Пироуголь с повышенным содержанием ^{13}C был наработан из силоса кукурузы, его поведение в почве оценивали с помощью ^{13}C -CPMAS ЯМР-спектроскопии, а также традиционными методами элементного анализа. Для оценки роли микроорганизмов в трансформации пироугля оценивали ряд характеристик активности микробного сообщества, включая эмиссию углекислого газа и наличие атомов ^{13}C в нем. Эксперимент проводили в почвенных колонках для оценки миграции компонентов пироугля по почвенному профилю с осадками. Установлено, что помещенный в верхний слой почвы пироуголь полностью остался в нем, изменения в содержании привнесенного пироугля в связи с инфильтрацией в нижележащие слои или улетучиванием в составе CO_2 отсутствовали или находились ниже пределов обнаружения использованных методов. Основная часть пироугля была представлена ароматическими структурами, доля которых в процессе нахождения пироугля в почве возрастала за счет снижения доли карбоксильных и алифатических групп. Внесение пироугля не оказало воздействия на метаболическую и ферментативную активность почвенных микроорганизмов, однако привело к увеличению почвенного дыхания, причем в составе выделившейся углекислоты зарегистрировано наличие ^{13}C изотопов атомов углерода. Установлено, что лишь небольшая часть пироугля подвергается трансформации при инкубировании в почве в течение 90 суток, и основное направление такой трансформации заключается в переходе части его компонент в состав новых органических соединений в почве.

Проведено моделирование структуры субъединиц и ЯМР спектров пироугля с использованием программных пакетов HyperChem, NUTS, MestReNova, полученные результаты сопоставлены с реально измеренными ^{13}C -MAS ЯМР спектрами образцов пироугля из силоса кукурузы с повышенным содержанием ^{13}C , и установлено их соответствие. На основе данных об изменении ЯМР спектров, полученных для обработанных пироуглем почвенных образцов в динамике, смоделирован процесс трансформации пироугля. Показано, что наблюдаемый в процессе инкубирования пироугля рост пика в области 129 м.д. обусловлен увеличением сигнала от ароматических групп и на фоне снижения сигнала от алифатических и карбоксильных функциональных групп. Учитывая данные об увеличении количества меченного углекислого газа, выделяемого из обработанной ^{13}C -пироуглем почвы, при внесении в нее активных гетеротрофных микроорганизмов, можно заключить, что трансформация пироугля в почве а) основная для пироугля остается неизменной в течение 90 суток эксперимента после внесения в почву, б) в основном обусловлена деятельностью микроорганизмов, в) незначительная доля углерода пироугля минерализуется до углекислого газа, причем интенсивность минерализации зависит от активности микроорганизмов, г) значительная часть биодоступных частей молекул пироугля трансформируется микроорганизмами в ароматические соединения, предположительно, входящие в состав гумуса.

Проведено наращивание четырех штаммов микроорганизмов (*B. megaterium*, *A. zaeae*, *P. fluorescens* и *P. putida*). Работы проводились в ферментере с рабочим объемом 30 л, позволяющем контролировать температуру, уровень pH среды, доступ кислорода. Осуществлено по 30 циклов наращивания каждого штамма, после чего культуры были сконцентрированы методом центрифугирования, с фактором 15. Готовые культуры разливали в стерильные канистры объемом 2,5 л для дальнейшего соединения в консорциум и иммобилизации на пироугле. Таким образом, всего наработано 120 канистр с культурами, количество живых клеток в которых составило $5,29 \cdot 10^9$ - $2,15 \cdot 10^{10}$, $1,28 \cdot 10^9$ - $9,45 \cdot 10^9$, $6,81 \cdot 10^9$ - $8,07 \cdot 10^{10}$ и $4,91 \cdot 10^9$ - $1,05 \cdot 10^{10}$ для *B. megaterium*, *A. zaeae*, *P. fluorescens* и *P. putida*, соответственно.

Для разработки проекта опытно-технологического регламента переработки куриного помета в пироуголь с дополнительными полезными свойствами выбрано три технологических процесса, позволяющих получать три типа продукта: пироуголь из куриного помета гранулированный, пироуголь из куриного помета с иммобилизованными микроорганизмами, гранулированный, пироуголь из куриного помета химически модифицированный, гранулированный. Технологическая схема производства была составлена в виде списка технологических операций и операций по контролю процессов,

полуфабрикатов и продуктов; было подобрано соответствующее оборудование, определены контролируемые характеристики сырья, материалов и продуктов, определены выбросами, сбросами и отходами производства, образующиеся в технологическом процессе. Разработанный проект опытно-технологического регламента изложен на 78 страницах, содержит 3 рисунка и 14 таблиц.

Результаты, полученные Исполнителем проекта при использовании средств Индустриального партнера:

Проведены экспериментальные исследования влияния пироугля на агрохимические свойства почв в условиях полевого эксперимента. Почвы отбирали до обработки, а также на 14, 30, 60 и 90 сутки эксперимента в соответствии с п. 1.3.3 Программы и методик экспериментальных исследований агрохимических свойств почв в мелкоделяночном и полевом экспериментах. Анализировали рН, влажность, электропроводность, содержание азота общего и гии углерода, металлов, подвижных форм фосфора и калия и пестицидов. Установлено, что обработка почвы пироуглем в любом из вариантов приводит к увеличению в почве содержания органического углерода, связанному с его присутствием в составе пироугля, а также общего азота. Обратные результаты получены при анализе содержания легкогидролизуемого азота: увеличение его содержания наблюдали при внесении минеральных соединений, но не пироугля. Скорее всего, такие закономерности в поведении параметров содержания общего и гидролизумого азота связаны с различиями двух процессов выделения азота из пироугля и внесении растворимых форм азота с минеральными удобрениями и поглощением доступного азота микроорганизмами. Обработка почвы пироуглем обеспечила ожидаемое увеличение содержания фосфора и калия, количество которого оказалось в этих вариантах достоверно выше контрольных вариантов на 75%. Обнаружено недостоверное увеличение кислотности почв, тогда как значения электропроводности увеличились уже к 14 суткам эксперимента в среднем на 21% по сравнению с контрольными вариантами без внесения пироугля. Изменение влажности в динамике эксперимента соответствовало изменению климатических факторов, примечательно, что внесение пироугля в любой вариации увеличивает влажность почв, тем самым закрепляя в почве воду, что является крайне важным как для растений, так и для микроорганизмов. Анализ содержания металлов в почвах, отобранных на 14 и 90 сутки эксперимента, не выявил достоверных изменений в их содержании, оно варьировалось на уровне их начального содержания и не превышало значений ПДК. В почвах вариантов K_w, KFP_w g и BFP_w на 30, 60 и 90 сутки эксперимента определяли содержание фунгицида Колосаль (действующее вещество тебуконазол, 250г/л), гербицидов Примадонна (действующее вещество 2,4-Д, 200 г/л и флорасулам, 3,7 г/л) и

Гранат (действующее вещество трибенурон-метил, 750г/кг). Установлено, что на 30 сутки эксперимента в почвах обнаруживаются тебуконазол, 2,4-Д и трибенурон-метил, а к 60 суткам только тебуконазол в незначительных количествах, что связано со сроками полураспада пестицидов.

Результаты, полученные Индустриальным партнером при использовании собственных средств, полученных из внебюджетных источников

Проведена наработка партии химически модифицированного пироугля. Для возможности его использования в полевом эксперименте, после модификации осуществлялась грануляция. Процедура включала в себя орошение пироугля водным раствором, содержащим (на 1 л): 84,3 г дигидрофосфата калия, 49,8 г карбамида, 0,1 л пластификатора «ЛЭЙКСИЛ®» 40-AL, а также йодид калия – 21,8 или 44,0 г, в зависимости от требуемой финальной концентрации йода. Для орошения 1 кг пироугля требовалось 0,33 л раствора. После орошения и перемешивания, пироугль подвергался механической грануляции. Суммарно было наработано 3600 т химически модифицированного гранулированного пироугля, из которых 1800 т содержало 0,66 кг/т йода и 1800 т – 1,32 кг/т йода.

Проведена иммобилизация консорциума микроорганизмов, включающего в себя *A. zeae*, *P. fluorescens* и *P. putida*, *B. megaterium*, на 3600 т пироугля, из которых 1800 т далее были подвергнуты грануляции. Установлено, что в иммобилизованном порошкообразном пироугле количество микроорганизмов составило $5,8 \cdot 10^6$ - $7,2 \cdot 10^6$ копий генов, а в иммобилизованном гранулированном пироугле – $1,3 \cdot 10^6$ - $2,8 \cdot 10^6$ копий генов на грамм пироугля.

Для проведения полевого эксперимента выполнены подготовительные агрохимические мероприятия. На 24 полях Индустриального партнера, были заложены 7 экспериментальных вариантов каждое площадью не менее 20 га и один контрольный вариант обработки: 1) обработка почвы гранулированным пироуглем (gBw), 2) обработка почвы порошковым пироуглем с иммобилизованными микроорганизмами (BM1%w), 3) обработка почвы гранулированным пироуглем с иммобилизованными микроорганизмами (gBM1%w), 4) обработка почвы гранулированным пироуглем на фоне минеральных удобрений и пестицидов (gBFPw), 5) обработка почвы гранулированным пироуглем, химически модифицированным иодом в количестве 1% (gBchX1%w) 6) обработка почвы гранулированным пироуглем после химической модификации иодом в количестве 2% (gBchX2%w), 7) конвенциональная обработка минеральными удобрениями и пестицидами (KFPw) и контрольный вариант только механическая обработка почвы (Kw).

Осенняя предпосевная обработка включала лущение (рыхление) стерни, вспашку зяби. Весенние подготовительные агротехнические мероприятия включали культивирование верхнего слоя почвы, внесение пироугля, минеральных удобрений и обработку пестицидами. Внесение минеральных удобрений производили точным способом на основе созданных карт-заданий. Посев осуществляли семенным материалом яровой пшеницы «Экада-109». Использовали семена, прошедшие предпосевную обработку протравителем. После посева производили прикатывание почвы катком. После появления всходов все посеы пробороновали. В течение вегетационного сезона посеы обрабатывали гербицидами и фунгицидом. Семена, минеральные удобрения, пестициды, ГСМ были закуплены в зимний период.

Технико-экономическая оценка применения технологии переработки куриного помета в пироуголь с дополнительными полезными свойствами проведена для модельного предприятия, основной деятельностью которого является прием и переработка отходов в удобрения. При проектной мощности до 190 000 т отходов в год, затраты на закупку оборудования, приобретение расходных материалов, ФОТ, общепроизводственные расходы составят 729 млн. в год (для срока эксплуатации 3 год), при этом доходы от продажи пироуглей трех типов (гранулированного, с иммобилизованными микроорганизмами, химически модифицированного) составят 1 576 млн., а от оплаты услуг по переработке отходов – 268 млн. руб. в год.

Поставленные задачи решены в полном объеме.