**Результаты выполнения проекта за 2016 год**

Программа исследований 2016 г. выполнена полностью. Получены следующие основные результаты:

На заключительном этапе проекта исследована эффективность действия разработанных форм препаратов. Для этого сконструированы лабораторные почвенные микроэкосистемы с культивируемыми растениями, включающие: а) сорные растения (многолетний злак полевица побегоносная – Agrostis stolonifera, щетинник лисий хвост – *Setaria macrocheata*), марь белая – *Chenopodium album*, донник белый (или обыкновенный) – *White melilotus*); щирица запрокинутая – Amaranthus retroflexus; б) культурные растения cалат листовой – *Latuca sativa*, пшеница – Triticum aestivum; в) почвенные микроэкосистемы, зараженные фитопатогенами *F. moniliforme* и *F. solani*; г) культуру Triticum aestivum, зараженную Fusarium moniliforme или сорняками.

При первичной оценке наличие фунгицидной активности экспериментальных форм тебуконазола (ТЕБ) доказано при высеве спор грибов *Fusarium monil*iforme и *F. solani* на виде пленок и 3D-форм в плотную агаризованную среду, которая была сопоставимой с этим фунгицидом в свободном виде. Далее фунгицидный эффект трех разработанных форм П(3ГБ)/ТЕБ (пленки, микрогранулы, 3D-формы) подтвержден в почве, зараженной *Fusarium moniliforme*. Более эффективными формами были гранулы и пленки. Заключительное исследование фунгицидного действия П(3ГБ)/ТЕБ в виде пленок, микрогранул и 3D-форм при нагрузке ТЕБ на 10 и 50% исследовано в сравнении с коммерческим препаратом тебуконазола (Раксил Ультра в посевах пшеницы), посевной материал которой исходно был инфицирован спорами фитопатегенных грибов. Все формы П(3ГБ)/ТЕБ снижали численность Fusarium на протяжении всего эксперимента, имели более продленный эффект, но были менее эффективны в первоначальный период в связи с задержкой выхода ТЕБ из формы по мере разрушения полимерной основы. При этом более эффективными были микрогранулы и пленки по сравнению с наиболее медленно разрушаемыми 3D-формами. Форма применения ТЕБ значительно влияла на степень пораженности корневой системы пшеницы: при применении коммерческого препарата Раксил Ультра и при протравливании семян подавление развития корневых гнилей имело место в период 10-20 сутки, но далее зараженность корней нарастала, достигнув к концу эксперимента 21-27%. Действие пролонгированных экспериментальных форм П(3ГБ)/ТЕБ проявлялось более длительно и обеспечивало сдерживание развития корневых гнилей; на 30-е сутки общий процент зараженных корней был ниже в 1,6 раза, а фузариозной гнили – в 1,4 раза по сравнению с действием Раксил Ультра. Форма доставки ТЕБ (коммерческий препарат, довсходовая обработка семян или разработанные формы) по-разному влияли на рост пшеницы и величину биомассы, которая в экспериментальных группах была значительно выше. Таким образом, депонирование ТЕБ в основу из П(3ГБ), обеспечивало хотя и несколько отсроченное, но пролонгированное подавление фитопатогенов *Fusarium*. В зависимости от геометрии формы длительность лаг-фазы варьировала, и это обстоятельство необходимо учитывать при выборе формы для использования.

В связи с тем, что посевы зараженной пшеницы подвергаются воздействию двух факторов – тебуконазола и фузариоза, проведены исследования для оценки стрессорного состояния растений с использованием следующих показателей, – по содержанию в проростках пшеницы карбонилированнных белков (КБ), малонового диальдегида (МДА) – как одного из продуктов перекисного окисления липидов, пролина, а также состоянию пограничных клеток корневых апексов, которые играют фундаментальную роль в регуляции взаимоотношений корня с симбиотическими и патогенными организмами ризосферы. Показано, что в корнях инфицированных проростков содержание пролина, карбонилированных белков и пограничных клеток выше, чем в корнях неинфицированных проростков. Триазольный фунгицид тебуконазол (ТЕБ) в исследованных концентрациях (0,01; 0,10 и 1,00 мкг/мл среды) в корневом апексе инфицированных проростков препарат вызывал дозо-зависимое уменьшение численности пограничных клеток. Оценка состояния корневых апексов посевов пшеницы, зараженной фузариозом, показала, что они повреждаются в меньшей степени при использовании фунгицида в виде П(3ГБ)/ТЕБ в отличие от Раксил Ультра, что существенно важно для развития растения и его продуктивности.

Гербицидная активность 4-х форм метрибузина [П(3ГБ)/МЕТ] в виде пленок, микрогранул, микрочастиц и 3D при различной нагрузке МЕТ при первичной оценке подтверждена в посевах тестовых сорняковых растений (Agrostis stolonifera и Setaria pumila), которая по эффективности была сопоставимой со свободной формой препарата (Зенкор Ультра), а в ряде вариантов – превосходила его по оценке плотности растений и весу зеленой биомассы. Гербицидная активность форм П(3ГБ)/МЕТ проявлялась даже при минимальной нагрузке полимерной основы метрибузином (10%) и в начальный период наблюдения. Аналогичным выраженным гербицидным эффектом обладали формы метрибузина, депонированного в смесовую основу полимера П(3ГБ) с полиэтиленгликолем, поликапролактоном или древесными опилкам в посевах Agrostis stolonifera. Применение в составе полимера наполнителей не только влияет на кинетику разрушения основы и выхода гербицида, но делает формы более экономичными. На примере второго гербицида трибенурон-метила (ТРБМ) в посевах еще одного сорного растения – щирицы запрокинутой (Amaranthus retroflexus), также показано, что его действие превосходило коммерческую форму гербицида. На заключительном этапе эффективность экспериментальных форм П(3ГБ)/МЕТ в виде пленок и микрочастиц, нагруженных гербицидом, доказана в посевах пшеницы, зараженной донником. В первые 10 суток после посева плотность сорного растения (донника) и его биомасса без обработки МЕТ были в 1,5-2,0 раза выше, чем в положительном контроле и экспериментальных группах. Через 20 суток значительная часть донника погибла, что положительно отразилось на росте пшеницы.

Выраженный гербицидный эффект экспериментальной формы второго гербицида – трибенурон-метила (ТРБМ) в виде микрогранул, зарегистрирован в посевах пшеницы *Triticum aestivum* по отношению к сорному растению марь белая (*Chenopodium album*), плотность которого и вес наземной биомассы уже в первую неделю после посева были ниже в экспериментальной группе растений по сравнению с применением коммерческой формы этого гербицида, а через 20 суток плотность сорных растений снизилась до 200 шт./м2 , что в 1,5 раза ниже относительно действия коммерческого препарата. При этом посевы пшеницы с экспериментальной формой гербицида были более зелеными, полеглые среди них отсутствовали; наземная биомасса превосходила негативный и положительный контроли в 1,5 и 1,29 раз. Аналогичный гербицидный эффект гербицида трибенурон-метила [П(3ГБ)/ТРБМ] зафиксирован в посевах пшеницы, зараженных другим сорным растением – щирицей. Сроки и выраженность гибели щирицы в контроле и эксперименте были сопоставимыми, но величина наземной биомасса пшеницы в экспериментальной группе в конце эксперимента (40 суток) превосходила негативный и положительный контроли в 1,6 и 1,3 раза соответственно. Таким образом, на примере двух гербицидов и нескольких видов сорных растений показа эффективность действия и применения разработанных экспериментальных форм различной геометрии с различными уровнями нагрузки полимерной основы препаратами.

Эффективность экспериментальных форм азотного удобрения доказана в культурах полевицы побегоносной (*Agrostis stolonifera*) и салата листового (*Latuca sativa*) на примере карбамида по сравнению с коммерческой формой (гранулы). При использовании П(3ГБ)/карбамид в виде пленок положительный эффект на *Agrostis stolonifera* зарегистрирован уже на седьмые сутки; далее отличия были более выраженными. Аналогичный положительный эффект применения разработанной формы П(3ГБ)/карбамид подтвержден на культуре салата. В связи с тем, что биодеградация ПГА осуществляется микроорганизмами, и этот процесс влияет на структуру почвенного микробиоценоза, а также круговорот азота, исследован исходный микробиоценоз почвы и после внесения азотного удобрения. За время вегетации растений происходило потребление питательных веществ из почвы и изменение в структуре микробиоценоза. Без внесения азота общая численность бактерий падала 2 раза по сравнению с исходной почвой за счет всех групп, кроме азотфиксаторов, численность которых возросла в 2 раза. Внесение в почву депонированных форм карбамида значительно увеличивало численность копиотрофов, азотфиксаторов и уменьшало количество олиготрофных бактерий. Коэффициенты минерализации и олиготрофности снизились, что свидетельствует об активно протекающих процессах минерализации.

Полнота использования азота, его потери и состояние растений исследованы в посевах пшеницы при различных формах доставки азотного удобрения. Содержание азота в почве и дренажных водах существенно зависело от формы, при этом во всех случаях отмечено постепенное снижение концентрации аммония в почве, что было следствием выноса азота из почвы и поглощения растениями. Самые большие потери азота и вынос его в ирригационный раствор были при использовании коммерческого быстрорастворимого удобрения. Применение форм пролонгированного действия и сокращение его выноса с дренажными водами позволило избежать дефицита азота в почве. Это обеспечило более чем 25% превышение прироста биомассы растений. Таким образом показано, что применение разрушаемого П(3ГБ), а также композитов на его основе для депонирования азотных удобрений позволяет создавать эффективные формы удобрения с регулируемым пролонгированным действием, обеспечивающие длительное (до нескольких месяцев) поддержание концентрации азота в почве.

Результаты исследований, полученные в ходе реализации проекта показали пригодность разрушаемого природного полиэфира – поли-3-гидроксибутирата П(3ГБ) – представителя класса природных разрушаемых полигидроксиалканоатов (ПГА), для депонирования и доставки с/х препаратов различного действия и различной структуры. Установлена эффективность разработанных пролонгированных форм препаратов по отношению к сорнякам и фитопатогенам, возможность влияния геометрией формы и нагруженностью на выход активного начала и выраженность действия. Получена научная основа для перехода к полевым испытаниям. Результаты, полученные в ходе реализации программы НИР по проекту, обобщены в изданной монографии «Фундаментальные основы конструирования и применения сельскохозяйственных препаратов нового поколения» (Волова Т.Г., Жила Н.О., Прудникова С.В., Бояндин А.Н., Шишацкая Е. И. / Фундаментальные основы конструирования и применения сельскохозяйственных препаратов нового поколения – Красноярск, 2016. – 220 с.).