Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
«Пермский государственный аграрно-технологический университет
имени Д.Н. Прянишникова»
Федеральное государственное бюджетное научное учреждение
«Всероссийский научно-исследовательский институт агрохимии
имени Д.Н. Прянишникова»

УДК 631.811.1 : 633.1 : 470.53

На правах рукописи

АЛЁШИН
Матвей Алексеевич

РЕГУЛИРОВАНИЕ АЗОТНОГО ПИТАНИЯ ЗЕРНОВЫХ БОБОВЫХ И ЗЛАКОВЫХ КУЛЬТУР В АГРОЦЕНОЗАХ ПРЕДУРАЛЬЯ

Специальность 4.1.3. Агрохимия, агропочвоведение,
защита и карантин растений

ДИССЕРТАЦИЯ
на соискание ученой степени
доктора биологических наук

Научный консультант:
академик РАН, доктор сельскохозяйственных наук, профессор
А.А. Завалин

Москва – 2023

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ……...…….…..... 4
ГЛАВА 1. Обзор литературы……...……..... 12
1.1. Влияние N-удобрений на азотфиксирующую активность и продуктивность зернобобовых культур…….…….. 12
1.2. Азотфиксирующая способность зернобобовых культур в смешанных посевах. 19
ГЛАВА 2. Условия и методика проведения исследований.…… 28
2.1. Погодные и почвенные условия проведения полевых опытов…… 28
2.2. Методика проведения полевых и вегетационного опытов……... 33
2.3. Методы агрохимических исследований растений и почвы, сопутствующие расчёты по данным полевых опытов ……... 37
2.4. Методика проведения лабораторных модельных опытов……..... 40
ГЛАВА 3. Урожайность зерновых бобовых и злаковых культур в одновидовых и смешанных агроценозах…… 45
3.1. Сортовая отзывчивость гороха посевного на инокуляцию семян симбиотическими ризобактериями и внесение азотного удобрения……...…… 48
3.1.1. Морфология фотосинтетического и симбиотического аппарата гороха.. 63
3.1.2. Реакция гороха на использование удобрений на дерново-подзолистой почве разной степени окультуренности……...……. 72
3.2. Влияние азотного удобрения на урожайность гороха посевного в одновидовом и смешанных агроценозах с пшеницей яровой ……...….. 95
3.3. Влияние азотного удобрения на урожайность вики озимой в одновидовом и смешанных агроценозах с тритикале озимой.…….. 105
ГЛАВА 4. Биохимический состав и технологические показатели качества урожая зерновых культур в одновидовых и смешанных агроценозах ……..... 121
4.1. Биохимический состав и технологические свойства крупы из зерна гороха при инокуляции семян ризобактериями и внесении азотного удобрения…….. 122
4.2. Влияние азотного удобрения на биохимический состав корма гороха посевного в одновидовом и смешанных агроценозах с пшеницей яровой……..… 136
4.3. Влияние азотного удобрения на биохимический состав корма вики озимой в одновидовых и смешанных агроценозах с тритикале озимой…….. 152
ГЛАВА 5. Накопление свежего органического вещества и биологического азота в почве в одновидовых и смешанных агроценозах зернобобовых культур ……. 169
5.1. Азотфиксирующая способность сортов гороха посевного при инокуляции семян симбиотическими ризобактериями и внесении азотного удобрения …….. 170
5.2. Азотфиксирующая способность гороха посевного в одновидовом и смешанных агроценозах с пшеницей яровой……...…….. 182
5.3. Азотфиксирующая способность вики озимой в одновидовом и смешанных агроценозах с тритикале озимой.……...……...…….. 190
ГЛАВА 6. Эмиссия закиси азота из почвы в агроценозах зерновых бобовых и злаковых культур…….……... 202
ГЛАВА 7. Баланс азота в почве и эффективность его использования зерновыми культурами в одновидовых и смешанных агроценозах……...…… 221
7.1. Эффективность потребления азота сортами гороха посевного при инокуля- 222

ции семян симбиотическими ризобактериями и внесении азотного удобрения.…...
7.2. Эффективность потребления азота горохом посевным в одновидовом и смешанных агроценозах с пшеницей яровой……... 233
7.3. Эффективность потребления азота викой озимой в одновидовом и смешанных агроценозах с тритикале озимой……...…. 243
ГЛАВА 8. Оценка действия биологического азота, накопленного зернобобовыми культурами в одновидовых и смешанных агроценозах……...…. 255
8.1. Влияние биологического азота гороха посевного на урожайность и качество зерна овса ярового……...……..…….. 256
8.2. Влияние биологического азота гороха посевного на урожайность и качество зерна ячменя ярового……. 271
8.3. Влияние биологического азота вики озимой на урожайность и качество зерна пшеницы яровой……..……. 279
ГЛАВА 9. Активность и структура микробного сообщества, содержание и трансформация форм биогенных элементов (C, N) в почве при разложении соломы зерновых культур ……...…… 292
9.1. Биохимический состав соломы и скорость её разложения в почве……. 294
9.2. Динамика, структура и активность микробного сообщества почвы……... 300
9.3. Содержание и трансформация форм углерода в органическом веществе почвы 329
9.4. Азотный режим дерново-подзолистой почвы..……. 336
9.5. Реакция проростков овса на внесение соломы и азотного удобрения……. 344
ЗАКЛЮЧЕНИЕ……..... 353
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ……..……..... 359
ПРИЛОЖЕНИЯ…… 403

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы исследования. Благодаря присущей бобовым культурам способности к азотфиксации и средообразующей функции, им отводится особая роль в агроценозах (Тихонович и др., 2012; Завалин и др., 2019). При их участии происходит регулирование круговорота азота в системе почва – растение – атмосфера. Зернобобовые культуры возделываются в одновидовых и смешанных агроценозах в качестве основных культур, занятых паров, поукосных и пожнивных посевов, где они являются эффективным биогенным стоком углерода и снижают продуцирование CO_2 в атмосферу. Посевы зернобобовых используют для сохранения и повышения плодородия почв, благодаря поступлению в почву пожнивно-корневых остатков, в которых накапливаются лабильное органическое вещество и фиксируемый ризобиями биологический азот, активно используемый последующими культурами в течение 3-4 лет (Назарюк и др., 2016; Кононучук и др., 2019).

За счёт зернобобовых культур в земледелии РФ на сегодняшний день производится 4,42 млн т растительного белка, что на 2,08 млн т больше по сравнению с периодом 2005-2010 гг. (Завалин, 2022). Дальнейшее увеличение посевных площадей под их одновидовыми и смешанными посевами, является приемлемым решением одной из наиболее острых проблем, которая в настоящее время наблюдается в большинстве регионов РФ и Пермского края, в частности – дефицит кормового и продовольственного белка (Косолапов и др., 2021). Благодаря зернобобовым культурам (горох, вика), в растительной биомассе и зерне которых содержание переваримого протеина превышает зоотехническую норму на 32…55%, можно добиться повышения качества объёмистых и концентрированных кормов из наиболее распространенных злаковых культур (ячмень, овёс, кукуруза, тритикале), составляющих основу рациона сельскохозяйственных животных и птицы (Савченко и др., 2009; Елисеев, 2014).

Однако биологический потенциал бобовых культур в севооборотах используют не в полной мере, поскольку при создании агротехнологий не учитывается как видовая, так и сортовая специфичность растений в отношении формируемых агроценозов и применяемых удобрений, взаимодействия с почвенной микрофлорой и штаммами

микроорганизмов, используемыми для инокуляции семян (Сидорова и др., 2010; Парахин, Кузмичёва, 2012; Новикова, 2018). Оптимизация азотного питания зернобобовых культур, при сохранении и последующем наращивании объёмов применения N-удобрений в агротехнологиях, является сложной задачей, поскольку используемые приемы должны обеспечивать формирование высокого урожая и накопление в нём протеина, не оказывая ингибирующего влияния на способность растений потреблять биологический азот. Среди таких приёмов особого внимания заслуживают использование биопрепаратов на основе ризобий для предпосевной инокуляции семян и возделывание зернобобовых в смешанных агроценозах с зерновыми злаками.

Цель диссертационной работы – научное обоснование биологических параметров регулирования азотного питания зерновых бобовых и злаковых культур на дерново-подзолистых почвах Среднего Предуралья.

Задачи исследований:

1. Оценить эффективность действия азотного удобрения на урожайность зерновых бобовых и злаковых культур в одновидовых и смешанных агроценозах и инокуляции семян симбиотическими ризобактериями;

2. Установить изменения биохимического состава и технологических показателей качества урожая зерновых культур при разном уровне азотного питания;

3. Определить объём накопления свежего органического вещества, количество общего и биологического азота, поступающих в почву в агроценозах зернобобовых культур;

4. Установить объём секвенирования C-CO_2, прямой и косвенной эмиссии N-N_2O из почвы в агроценозах зерновых бобовых и злаковых культур при разных уровнях N-питания;

5. Определить баланс азота в почве и эффективность его использования зерновыми культурами в разных по составу агроценозах;

6. Оценить действие биологического азота ($N_{биол.}$), накопленного зернобобовыми культурами в одновидовых и смешанных агроценозах;

7. Выявить изменения в структуре микробного сообщества и содержании форм биогенных элементов (C, N) в почве при разложении соломы зерновых культур.

Научная новизна. Впервые для условий Предуралья выявлены различия в азотном питании сортов гороха посевного, которые выражены посредством более высокой отзывчивости растений сорта Агроинтел (+0,66 т/га) на внесение N-удобрения, а у сорта Вельвет (+0,45 т/га) на инокуляцию семян симбиотическими ризобактериями. При повышении обеспеченности растений гороха азотом происходят увеличение урожайности зерна до 2,53…2,63 т/га у сорта Агроинтел и наращивание вегетативной массы, в ущерб зерновой продуктивности, у сорта Вельвет.

Выявлены изменения параметров фотоассимилирующей поверхности и структуры симбиотического аппарата на корнях растений гороха при внесении N-удобрения. Они связаны с более интенсивным формированием до 38,6…41,0 шт. крупных клубеньков на начальном этапе развития растений, а также быстрым прекращением функционирования 62,5…94,4% клубеньков при обесцвечивании бактероидной ткани на их срезе в дальнейшем.

Обнаружены особенности в реакции растений гороха на внесение N-удобрения при выращивании на дерново-подзолистой почве разной окультуренности. На среднеокультуренной почве прибавка зелёной массы и зерна от внесения N-удобрения в 1,2…3,0 раза выше, чем на слабоокультуренной почве. Пороговая дозировка N-удобрения для слабо- и среднеокультуренной почвы, выше которой у гороха полностью подавляется процесс формирования симбиотического аппарата, составляет 0,05 и 0,20 г N/кг а.с.п. соответственно.

При включении гороха посевного в состав агроценозов с яровой пшеницей, зафиксирована оптимизация её азотного питания, что прослеживается по увеличению урожайности зерносенажа (на 2,9…4,0 т/га) и зерна (на 0,42 т/га), накоплению сырого протеина в зелёной биомассе растений (на 28,0…61,9 г/кг) и зерне (на 5,1…27,6 г/кг). Аналогичные изменения в продуктивности растений и биохимическом составе урожая прослеживаются у озимой тритикале в смешанных агроценозах с озимой викой.

Конкретизированы генетические различия зернобобовых культур на внесение N-удобрения. Увеличение доли гороха в смешанных агроценозах с 25 до 75% сопровождалось повышением их отзывчивости на N-удобрение с 0,6…1,4 до 1,6…2,9 т/га.

Увеличение дозы N-удобрения и доли вики в смесях с тритикале, приводит к снижению урожайности зерна на 0,72…2,13 т/га из-за сохранения у растений положительного баланса между автотрофным и симбиотрофным питанием азотом.

Рассчитан потенциальный объём свежего органического вещества (0,8…7,7 т/га), общего (15,8…128,6 кг/га) и биологического (10,3…74,6 кг/га) азота, накапливаемых в почве при разных сроках уборки зернобобовых культур в условиях Предуралья. Предложено уравнение регрессии для учёта выхода ПКО озимой вики, позволяющее дополнить методику определения вклада биологического азота бобовых культур в азотный баланс земледелия России.

Произведены расчёты количества $C\text{-}CO_2$ (120…2565 кг/га) дополнительно секвенируемое зернобобовыми культурами и поступающее в почву (до 777…856 кг/га) за счёт усиления азотфиксирующей способности. Объём эмиссии закиси азота из почвы при разных уровнях азотного питания зернобобовых культур составил от 1,21 до 4,54 кг $N\text{-}N_2O$/га.

Установлены доза N-удобрения (свыше 60 кг N/га), величины расходных и приходных статей, включая поступление $N_{биол.}$ в разных по составу агроценозах гороха, при формировании устойчивого положительного баланса азота в дерново-подзолистой почве (в среднем 17,9…73,7 кг/га). В отличие от гороха, для озимой вики возможна компенсация всех статей затрат N за счёт симбиотической азотфиксации.

В рамках комплексной оценки действия биологического азота зернобобовых культур отмечено увеличение урожайности зерна овса, ячменя и пшеницы на 0,18…0,74 т/га и содержания в нём сырого протеина на 6,1…17,8 г/кг.

Определены форма жизнедеятельности микроорганизмов, структура и динамика развития микробиома на поверхности соломы зерновых культур в начальный период её разложения в почве. Установлено увеличение общей численности культивируемых на МПА, КАА и СЧ микроорганизмов (в 1,2-1,9 раза) в первые 3 месяца инкубирования. По истечении 120 суток отмечен гомеостаз микробного сообщества, участвующего в деструкции соломы. Суммарный объём фактической минерализации органического вещества соломы зерновых культур составил 8,63…17,79 мкг C-

CO_2 × 1 г почвы$^{-1}$ × час$^{-1}$, образуя следующий возрастающий ряд: озимая рожь → яровая пшеница → ячмень → овёс → горох.

Расширено представление относительно динамики и трансформации фракций углерода органического вещества почвы при минерализационно-иммобилизационных превращениях азота, поступающего с пожнивными остатками зерновых культур. Происходит увеличение содержания углерода легкоразлагаемых фракций ($C_{эгв.}$ на 14…79 мг/кг почвы, $C_{лов}$ на 0,14…0,21%), $C_{орг.}$ (на 0,24…0,46%) и снижение почвенных запасов азота ($N_{мин.}$ на 1,5 мг/100 г почвы, $N_{лг}$ на 0,8 мг/100 г почвы, $N_{тг+нг}$ на 10,7 мг/100 г почвы).

Методология и методы исследований. Исследования в одновидовых и смешанных агроценозах зернобобовых культур проводили с 2012 по 2019 гг. на учебно-научном опытном поле ФГБОУ ВО «Пермский государственный аграрно-технологический университет имени Д.Н. Прянишникова». В контролируемых условиях на дерново-подзолистой почве разной степени окультуренности растения гороха выращивали в сосудах на вегетационной площадке УНЦ «Липогорье». Лабораторные модельные эксперименты в период с 2020 по 2022 гг., а также все сопутствующие агрохимические исследования растений и почвы проводили на кафедре агрохимии Пермского ГАТУ. Учёт накопления свежего органического вещества в почве, общего и фиксированного N в биомассе зернобобовых культур, инвентаризацию объёма эмиссии $N\text{-}N_2O$ из почвы и расчёт эмиссионного фактора, эффективность использования, вынос и баланс N в почве, а также оценку действия биологического азота производили в лаборатории минерального и биологического азота и эффективности применения удобрений ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт агрохимии имени Д.Н. Прянишникова».

Основные положения, выносимые на защиту:

1. Действие азотного удобрения на урожайность зерновых бобовых и злаковых культур в одновидовых и смешанных агроценозах;

2. Биохимический состав и технологические показатели качества урожая зерновых культур при изменении уровня азотного питания;

3. Количество свежего органического вещества, общего и биологического азота, накапливающееся в почве в агроценозах зернобобовых культур;

4. Объём C-CO_2, секвенируемый зернобобовыми культурами, и эмиссия N-N_2O из почвы в их агроценозах;

5. Баланс азота в почве и величина показателей, характеризующих эффективность его использования в агроценозах зерновых культур;

6. Действие биологического азота, накопленного в разных по составу агроценозах зернобобовых культур;

7. Динамика микробиологических и агрохимических показателей почвы при разложении соломы зерновых культур.

Практическая значимость. Результаты исследований могут быть использованы в учебном процессе, при разработке биологизированных агротехнологий гороха посевного и вики озимой на дерново-подзолистой почве.

Установление дополнительного объёма углерода и биологического азота, поступающих в почву с послеуборочными растительными остатками зернобобовых культур, позволяет усовершенствовать расчёт баланса этих элементов в почве и разработку системы применения азотных удобрений в севообороте.

Данные по стоку CO_2 и эмиссии N_2O могут быть использованы при составлении национального кадастра выбросов парниковых газов, а также в качестве основания для дальнейших исследований и разработки методики по оценке потоков углерода и азота в агроценозах.

Представленная оценка действия биологического азота, накопленного зернобобовыми культурами, позволяет обоснованно рекомендовать их включение в состав севооборотов в качестве хороших и отличных предшественников.

Результаты лабораторных модельных экспериментов позволяют детализировать представление и качественно дополнить уровень знаний о микробных процессах при разложении в почве растительных остатков.

Апробация работы. Материалы диссертации доложены на 28 научных мероприятиях различного уровня: Всероссийских научно-практических конференциях (Пермь, Пермский ГАТУ, 2013, 2014, 2015, 2016, 2017, 2019, 2020, 2021, 2022);

Международных научно-практических конференциях (Ижевск, Ижевская ГСХА, 2014, 2019); Международных и Всероссийской научно-практических конференциях (Москва, ВНИИА, 2015, 2018, 2022); Международных научно-практических конференциях (Краснодар, КубГАУ, 2016, 2020); Международных научно-практических конференциях (Нижний Новгород, Нижегородская ГСХА, 2017, 2021); Международной Пущинской школы-конференции (Пущино, 2020); Всероссийского конгресса (Пермь, Пермский ГНИУ, 2020); Всероссийской научно-практической конференции (Пермский НИИСХ, ПФИЦ УрО РАН, 2021); Международной научно-практической конференции (Горки, Беларусь, Белорусская ГСХА, 2021).

Основные положения диссертационной работы доложены в рамках научного сообщения «Кормопроизводство: состояние, проблемы и пути их решения» на заседании бюро Отделения сельскохозяйственных наук РАН (24 февраля 2022 г.).

Личный вклад соискателя. Автору принадлежит формулировка темы и программы исследований, анализ опубликованных источников. Лично проведены закладка полевых опытов со смешанными посевами яровых и озимых зерновых культур (2012-2016 гг.), одновидовыми посевами гороха (2014-2016 гг., 2018-2019 гг.), определение действия биологического азота на урожайность и качество зерна ячменя (2013-2015 гг.), яровой пшеницы (2015-2017 гг.) и овса (2015-2017 гг.), поставлены лабораторные модельные эксперименты (2020-2022 гг.). Осуществлён анализ результатов исследований, сформулированы выводы работы.

Публикации по теме диссертации. По материалам исследований опубликовано 57 работ, в том числе 16 – в изданиях, рекомендованных ВАК при Министерстве науки и высшего образования Российской Федерации.

Структура и объём диссертации. Диссертация состоит из введения, 9 глав, заключения, списка литературы, включающего 884 наименований, в том числе – 310 на иностранных языках. Работа изложена на 478 страницах печатного текста, содержит 109 таблиц, 20 рисунков, 75 приложений.

Благодарности. Автор выражает признательность научному консультанту академику РАН, доктору сельскохозяйственных наук, профессору Алексею Анатольевичу Завалину за всестороннюю поддержку и ценные советы, а также Г.П. Май-

сак, В.А. Волошину (Пермский НИИСХ), Т.В. Полюдовой (ИЭГМ УрО РАН), А.Н. Шихову (Пермский ГНИУ), Л.А. Михайловой, А.М. Смолину, Р.Х. Садикову, М.Г. Субботиной, В.П. Мурыгину (Пермский ГАТУ) за помощь в проведении исследований и творческое сотрудничество. Выражаю благодарность студентам-дипломникам, принимавшим участие в проведении полевых, вегетационных и лабораторных экспериментов.

ГЛАВА 1. ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ

1.1. Влияние N-удобрений на азотфиксирующую активность и продуктивность зернобобовых культур

Особенность бобовых культу заключается в том, что, являясь элементами природного реактора, они аккумулируют азот атмосферы и в то же время могут испытывать на себе ограничительное действие повышенных доз минерального (технического) азота. В процессе селекционной работы отмечается изменение соотношения между симбиотрофным и автотрофным способами усвоения азота в пользу последнего (Проворов, Тихонович, 2016). Изменение баланса между источниками азотного питания имеет исключительное значение, поскольку от этого соотношения зависят избирательное проникновение бактерий в ткани и последующее формирование симбиотического аппарата на корневой системе растений. В связи с этим, вопрос об эффективности использования азотных удобрений, при сохранении бобовыми культурами способности к биологической фиксации азота, приобретает особую актуальность.

Поглощение и дальнейшая ассимиляция вносимого с удобрениями минерального азота бобовыми культурами, подчиняются общим закономерностям, характерным для других растений (Верниченко, 2001). Ключевым критерием, определяющим тип азотного питания бобовых растений, является уровень связанного азота в среде. При этом вид бобовой культуры, определяет степень чувствительности нитрогеназного комплекса к наличию минерального азота. Клубеньковым бактериям необходим азот в форме амидов и аминокислот, без их присутствия в питательной среде (*in vitro*) они не развиваются (Гукова, 1974). Сами ризобии, являясь типичным представителем почвенной биоты, обладают высоким уровнем солеустойчивости – до 3,85 мСм/см (Roumyantseva et al, 2002) и выдерживают высокую концентрацию минерального азота – до 60-80 мМоль (Шильникова, 1972; Кириченко и др., 1993). Культивирование клубеньковых бактерий при высоких концентрациях азота в стерильной культуре, не снижает их вирулентности и симбиотической активности. Вы-

сокие дозы минерального азота активируют размножение клубеньковых бактерий в ризосфере, их адсорбцию на поверхности корневых волосков и продуцирование экзополисахаридов (Шумный и др., 1991; Глянько и др., 2009; Лобанов, Полюдова, 2020). Усиление активности диазотрофов в почве обусловлено экспрессией продуцирования корневых экссудатов бобовыми культурами при внесении азотных удобрений (Mahmood et al., 2005; Пухальский и др., 2016).

Формирование активных клубеньков на корнях бобовых происходит примерно через 3-4 недели после всходов (Новикова, 2018). Начало симбиотического усвоения молекулярного азота начинается в фазу 2-3 листьев (Гречко и др., 2000), когда сформируется надземная масса, несколько снизится интенсивность ростовых процессов растения-хозяина, и появится некоторый избыток углеводов. Это объясняется тем, что на начальной стадии взаимодействия ризобиям необходимо время для внедрения в корневой волосок и последующего роста в нём в виде инфицированной нити до его основания. Поэтому на ранних этапах развития, когда образовавшиеся клубеньки ещё не в состоянии в полном объёме компенсировать потребность растений в азоте (Безносиков, 1997), признаются эффективными небольшие (N30…45) «стартовые» дозы минерального азота (Дозоров, Гаранин, 2012; Новикова, 2017). Горох уже на 20-й день вегетации наряду с азотом почвы и удобрения, начинает активно использовать и азот атмосферы (Jensen, 1987). К наступлению фазы бутонизации клубеньковые бактерии быстро размножаются и образуют крупные клетки, которые называют бактериодами, в них и происходит фиксация молекулярного азота (Шотт, 2007). По мере развития бобовых (люпин, горох, бобы) доля минерального азота (почвы, удобрения) снижается, а доля атмосферного – возрастает, достигая своего максимума в фазу бутонизации – начало цветения. Сам процесс азотфиксации у гороха длится всего 3-4 недели и практический прекращается к моменту формирования бобов.

В зависимости от сорта, внесение стартовой дозы азота под сою (40 кг/га) стимулировали образование клубеньков на корнях растений и их симбиотическую активность, способствовало увеличению фиксации атмосферного азота на 55-139% (Трепачев, 1999). Внесение минерального азота в дозе 60 кг/га на фоне ино-

куляции семян Ризоторфином, вызывало повышение урожайности сои на 0,5-3,2 ц/га (Васильчиков, 2017). Внесение перед посевом люпина узколистного азотного удобрения (N30), не снижала его азотфиксирующую способность (Персикова, 2002). При внесении азота в дозе 60 кг/га в виде азофоски, образование клубеньков на всех сортах (Темп, Оптимус, Амиор) происходило с тем же успехом, что и в вариантах с биопрепаратами (Гурьев, Васильчиков, 2017). Для гороха целесообразным признается использование стартовой дозы азота на бедных супесчаных дерново-подзолистых (Курилович и др., 2014) и серых лесных почвах (Зотиков и др., 2009). Эффект от использования азотного удобрения на чернозёме обыкновенном также был положительный: доза N30 повысила урожайность гороха на 0,24 т/га, а доза N60 – на 0,38 т/га (Литвинцев, 2007). При внесении 25-50 кг N/га горох фиксировал 213-244 кг/га симбиотического азота. При такой дозировке N-удобрения, растения наиболее активно использовали для питания азот атмосферы: его доля в растениях при уборке урожая составила 70% (Jensen, 1987). По результатам (Gul et al., 2006), при выращивании гороха эффективно применение полной дозы азота (80 кг/га) в форме карбамида в два срока – 25% при посеве и 75% во время цветения. Внесение N-удобрения (N30…60 кг/га) способствовало повышению урожайности гороха на 0,60 т/га, вики и сои на 0,79 т/га и 0,65 т/га соответственно (Хамоков, 2017). Внесение азота в дозах, не превышающих физиологическую потребность растений, усиливает азотфиксацию на 30-45% и участие биологического азота в питании растений (Galal et al., 2001; Завалин и др., 2019). Использование азотных удобрений может оказаться обязательным в случае ранней инактивации симбиотического аппарата, вследствие неблагоприятного режима увлажнения (Дубовенко и др., 1989).

Однако использование стартовых доз азота подходит не для всех симбиотических систем (Лапинскас, 2006; Лапинскас, Мотузене, 2007). Этот приём был не эффективен при возделывании отдельных сортов гороха на чернозёмах (Литвинцев, 2007) и супесчаных дерново-подзолистых почвах Нечерноземной зоны (Рахимова, Храмой, 2010). Применение азота в составе полного удобрения на сераделле, приводило к снижению массы клубеньков и их активности на 32 и 21% со-

ответственно. При внесении азотных удобрений на люцерне, наблюдалось снижение фиксации атмосферного азота на 39…57% во влажный и на 37…78% в сухой год (Трепачёв, 1999). Под действием азотного удобрения (60 кг N/га) азотфиксирующая способность вики на начальном этапе развития (3-4 недели) снижалась на 40%. В дальнейшем, подавление азотфиксации у 5-6-недельных растений от N удобрения значительно ослабевало, а у 8-недельных отсутствовало полностью. В ряде случаев внесение N30…45 кг/га уже подавляло симбиотическую N-фиксирующую активность ризобий люцерны, которая только частично восстанавливалась на более поздних стадиях развития растений (Vasiljeva, 2012). Использование азотных удобрений ингибировало формирование клубеньков у клевера до фазы цветения и синтез в них фитоглобина (Федорова и др., 1983).

Обеспеченность почвы минеральным азотом приводит к активации защитных систем растения, которые отвечают за иммунный ответ и препятствует установлению симбиоза (Кириченко, 2001). Это поведение бобовых культур, оправдано с точки зрения затрат питательных веществ и энергии на N_2-фиксацию. Даже у суперклубеньковых мутантов гороха отмечается некоторое снижение активности азотфиксации при внесении высоких доз азотных удобрений. Их устойчивость к содержанию минерального азота отмечена только в отношении образования клубеньков, но не самого процесса азотфиксации (Hansen et al., 1992). При этом, эффективность внесения N30…45, является общепризнанным условием (Moreau et al., 2008). Объяснение этому, является потребность минерального азота для синтеза азотсодержащих веществ растениями, участвующих в выстраивании симбиотических взаимоотношений.

Противоречивость результатов исследований, в отдельных случаях, связана с сопутствующими факторами: содержанием минерального азота в почве (Кириченко, 2001), его доступностью растениям (Новикова, 2018), азотминерализующей способностью почвы (Гамзиков, Сулейменов, 2021; Новиков, 2021), а также другими почвенными (pH, влажность, гранулометрический состав) и эдафическими условиями (Верниченко, Мишустин, 1989; Хамоков, 2005). Основной же причиной, является модификация метаболизма бобовых культур при внесении N-NH_4^+, N-NO_3^-, что делает затруднительным формирование симбиотрофного взаи-

модействия (Глянько и др., 2009). Степень влияния на бобово-ризобиальный симбиоз разных форм минерального азота (NH_4^+, NO_3^-), прежде всего, определяется их концентрацией (Верниченко, 2017). Азотнокислый и сернокислый аммоний оказывают тормозящее действие при концентрации 1 : 20 000, калийная селитра – 1 : 10 000, натриевая селитра уже 1 : 2000 (Ржанова и др., 1970). Органический азот почвы, в отличие от минерального, не оказывает ингибирующего действия на формирование клубеньков на корнях бобовых растений даже в условиях засухи. За счёт его накопления тормозится процесс минерализации и симбиотический аппарат не страдает от избытка минерального азота (Завалин, 2011). Азот в составе пептона и мочевины, почти не снижает образования клубеньков. Гумусовые соединения почвы, а в ряде случаев и не высокие концентрации аммонийного и нитратного азота оказывали стимулирующее действие на развитие растений и нитрогеназную активность бактерий рода *Rhizobium* (Верниченко, 2017). Аммонийная и нитратная формы азота являются равноценными источниками питания для растений. Хотя с физиологической точки зрения, пути их поглощения, транспорта и ассимиляции имеют ряд принципиальных различий (Прянишников, 1965). Для них характерна абсолютно различная конкуренция со стороны ионов почвенного раствора (Осмоловская, 1992).

Чувствительность бобово-ризобиального симбиоза к внесению аммонийного азота ($N\text{-}NH_4$) ниже, чем к нитратному ($N\text{-}NO_3$) (Vessey, Bollman, 2006), что указывает на различные механизмы, ингибирующие влияние этих форм азота на мутуалистические отношения макро- и микросимбионта. Michiels et al. (1990) рассматривая механизм адсорбции почвенных азотфиксирующих бактерий на поверхности корневых волосков бобовых культур установили, что внесение нитратной формы азота приводит к снижению адгезии микроорганизмов за счет экстрацеллюлярных полисахаридов. $N\text{-}NH_4$ имеет большее сродство для растительного организма, хотя может оказывать и токсическое действие в отсутствии устойчивого притока углеводов (Проворов, Онищук, 2019). Аммиак является конечным продуктом симбиотрофного восстановления бобовыми N_2 (1), распада белковых и других веществ (2), фотодыхательного пути получения

энергии (3); ферментативного восстановления NO_3^- (4). $N\text{-}NO_3$ следует рассматривать не только как элемент питания, но и как активную форму азота, способную выполнять в растении функции сигнальных веществ (Wang et al., 2007). Ассимиляция нитратной формы минерального азота связана с регуляцией обмена многих веществ флавоноидной и фитогормональной природы (Signora et al., 2001; Scheible et al., 2004).

Отмечается и такая особенность клубеньковых ризобий, связанная с ингибированием комплекса нитрогеназы, как переключение с усвоения N_2 на продуцирование газообразных продуктов (N_2O, NO), при высокой обеспеченности почвы и растений нитратным азотом (Шумный и др., 1991). При этом включаются в работу ферментативные комплексы нитрат- и нитритредуктазы, которые используются для извлечения энергии свободноживущими азотфиксаторами (Monza et al., 1992). Экзогенный NO отрицательно влияет на адгезию и последующее инфицирование клубеньковыми бактериями клеток корневых волосков (Глянько и др., 2008). Влияние NO_2^- на активность диазотрофов сравнимо с действием NO. Другие формы азота (NO_3^-, NH_4^+), даже в высокой концентрации (20 мМоль), не оказывали ингибирующего действия на развитие клубеньковых бактерий (Глянько и др., 2008). По мнению (Глянько и др., 2009) влияния высоких доз экзогенного азота сказывается негативно на формировании и функционировании бобово-ризобиального симбиоза. Действие активных форм азота проявляется как на стадии взаимодействия клубеньковых бактерий с корневой системой (Dakora, 2003; Soto et al., 2006), так и в физиологических механизмах фенольного и фитогормонального обмена (Coronado et al., 1995; Макарова и др., 2007), окислительно-восстановительных реакциях с леггемоглобином (Herouart et al., 2002).

Важно заметить, что различия в отзывчивости бобовых культур на азотное удобрение отмечено как на уровне видов, так и их сортов. Так, при внесении азотных удобрений (N30…120 кг/га) прибавка урожая сена клевера на сорте ВИК-7, составила 20…23%, тогда как у сорта Тетраплоидный ВИК наблюдалось снижение урожая сена на 4-6% при любой дозировке азота (Трепачев, 1999). В исследовании (Литвинцев, 2007) сорта гороха положительно и очень

схоже реагировали на внесение минерального азота. Так, при внесении N30 и N60 соответственно сорт Таловец 55 увеличил урожайность зерна на 10 и 15%, сорта Титан и Варяг – на 7 и 12%. Увеличение продуктивности бобовых культур при внесении азотных удобрений и других агрохимикатов, тесно связано с формированием эффективных растительно-микробных системы с комплементарным для выбранного сорта штаммом ризобактерий (Гамзиков, Барсуков, 1996; Косолапов, Трофимов, 2011).

Применение азотсодержащих удобрений серьёзно сказывается на интенсивности симбиотрофного усвоения азота, посредством влияния на процессы трансформации азота почвы (иммобилизацию, минерализацию, нитрификацию, денитрификацию). В отсутствии источников пополнения почвенных запасов азота, минерализация органического вещества превалирует над другими процессами (Кореньков, 1999). Внесение N-удобрений изменяет равновесие между минерализацией и иммобилизацией азота в почве. На протекание этих процессов в почве оказывает влияние структурные изменения состава и численности микробоценоза (Шмырева и др., 2014; Алфёров и др., 2016). Регулирование последнего в условиях производства, возможно за счёт внесения и запашки соломы.

Таким образом, решение вопроса применения минеральных азотных удобрений при выращивании бобовых культур, обладающих уникальной способностью фиксировать азот и углерод атмосферы, синтезировать легкоусвояемые белки и повышать плодородие почвы осложняется, с одной стороны, многообразием процессов, протекающих в почве при их внесении, а с другой – сложностью взаимообусловленных и взаимосвязанных реакций азота в системе почва–растение под воздействием как биологических, так и абиотических факторов. Итогом должно стать комплексное, взвешенное, дифференцированное и интегрированное с производством решение. При внесении N-удобрений в дозах, не превышающих физиологическую потребность растений в азоте, повышается усвоение атмосферного N_2 и снижаются его газообразные потери. Во внесении полной дозы N в составе минерального удобрения нуждаются посевы на дерново-подзолистых и серых лесных почвах более тяжелого гранулометрического состава с низкой обес-

печенностью минеральными формами азота и микробиологической активностью, смешанные агроценозы бобовых со злаками. При использовании более высоких доз N-удобрений активность азотфиксации снижается вследствие: изменения ультраструктуры бактероидов, приостановления синтеза леггемоглобина, подавления образования клубеньков, снижения их массы и коэффициента азотфиксации, усиления минерализации и потерь почвенного азота. Применение инокуляции совместно с внесением N-удобрений влечет за собой изменение скорости и направленности, как отдельных звеньев, так и в целом круговорота азота в почве и растениях, в результате чего создается ситуация, определяющая экологическую целесообразность используемой технологии.

1.2. Азотфиксирующая способность зернобобовых культур в смешанных посевах

Устойчивое развитие сельскохозяйственной отрасли в значительной степени зависит от возобновляемых ресурсов, таких как биологически фиксированный азот. Смешанные агроценозы зерновых бобовых культур, наряду с одновидовыми посевами, способны обеспечить вовлечение в биологический цикл более значительного количества азота атмосферы (Конончук и др., 2019; Jensen et al., 2020), высокую и устойчивую продуктивность (Персикова, Почтовая, 2010; Lithourgidis et al., 2011; Bedoussac et al., 2015; Raseduzzaman, Jensen, 2017; Надежина и др., 2019), эффективное использование пашни и питательных веществ (Zhang, Long, 2003; Лапшин, 2017; Алёшин, 2020), накопление азота, сырого протеина и белка в урожае (Sahota, Sukhdev, 2015; Monti et al., 2016; Ioannis et al., 2018), сокращение вредителей и болезней (Malézieux et al., 2009), повысить экономическую рентабельность производства (Pelzer et al., 2012; Елисеев и др., 2014). Смешанные агроценозы намного ближе к естественным фитоценозам по сравнению с одновидовыми посевами (Руцкая и др., 2019). Конструирование посева из растений с различными биологическими ритмами позволяет наиболее полно и экономно использовать элементы питания, влагу и световую энергию. Разный темп линейного роста и время прохождения фаз развития у культур в смешанных посевах, позволяет создать многоярусные агроце-

нозы и избежать обострения в конкурентной борьбе за использование трофических факторов в агроэкосистемах (Banik et al., 2006; Corre-Hellou et al., 2011; Kremen et al., 2012; Краснопёров, Буянкин, 2019).

В вопросе конструирования смешанных агроценозов большинство исследователей видят только одностороннюю очевидную выгоду, связанную с включением в состав посева бобовой культуры и использованием её способности к симбиотическому усвоению азота воздуха. Так, количество симбиотически фиксированного азота в урожае зелёной массы, при уборке смешанных посевов гороха в фазу бутонизации-начало цветения и начало восковой спелости зерна, составляло 22…57 кг/га и 62…199 кг/га (Конончук и др., 2019). При уборке в фазу полной спелости зерна, суммарно в основной и побочной продукции, ПКО гороха накапливалось 16,9…82,4 кг/га биологического азота (Безгодова и др., 2016). Однако выстраивание взаимодействия между культурами по принципу протокооперации подразумевает взаимоблагоприятные и выгодные отношения для обоих видов при одновременном отсутствии у них строгой облигатности в этом вопросе (Hauggaard-Nielsen et al., 2003).

Эффективность интеркультурного взаимодействия продиктовано временной и пространственной дифференциацией агроэкологических ниш (Fargione, Tilman, 2005), в рамках которых происходит более полная реализации продукционного потенциала отдельных компонентов слагающих агроценозы, повышение их устойчивости к стрессовым факторам. Речь идёт о фенологии развития и архитектонике не только надземной вегетативной массы, отвечающей за ассимиляцию солнечной энергии (Fujita et al., 1992), но и корневых систем (Hauggaard-Nielsen et al., 2001), а именно характере их сосуществования и взаимодействия. Преимущество смешанных посевов в этой зоне взаимодействия достигается за счёт определённой «гибкости» компонентов в виде пространственного ориентирования корневых систем. Выражено оно посредством ассиметричной межвидовой фасилитации (Long et al., 2006), результатом которой является направленность роста боковых корней, формирование более длинной и плотной периферической части корневой системы, обладающей максимальной удельной адсорбирующей поверхностью.

Благодаря взаимодействию корневых систем бобовых и злаковых компо-

нентов в смешанных агроценозах происходит оптимизация процесса потребления элементов (Long et al., 2001; Dahmardeh et al., 2010) и условий минерального питания. Так, благодаря более высокой усваивающей способности корневой системы зернобобовых культур, в границах ризосферы происходит увеличение подвижности почвенных соединений азота (Bedoussac, Justes, 2010; Kaci et al., 2018) и фосфора (Zhang, Long, 2003; Betencourt et al., 2006; Latati et al., 2016). В результате, существенно облегчается процесс поглощения питательных веществ корневой системой, происходит оптимизация условий минерального питания злакового компонента (Aslam et al., 2003; Latati et al., 2019). Также приводится информация относительно трансфера, части выделенного горохом симбиотически фиксированного азота к корневой системе злакового растения в виде аминокислотного экссудата (Hauggaard-Nielsen, Jensen, 2005). В составе последнего у посевного гороха, в зависимости от сорта обнаружено 12-16 аминокислот, среди которых наиболее активно корни выделяли треонин (Кузмичёва и др., 2014). Интенсивность их продукции у гороха выше, чем у злаков и может достигать 152 мг/сутки или 10-17 кг $N\text{-}NH_2$ за вегетацию (Минько, 1987 цит. по Кононов, 2013). В ризосфере смешанных агроценозов зернобобовых культур, этот объём служит дополнительным источником N-питания для злаков. Обмен экзометаболитами через соседствующие корневые системы подтверждён с помощью изотопного метода анализа (Гродзинский, 1991; Vance, 1998). Его скорость, в соответствии с сопутствующими условиями, определяется 6-72 часами (Рахтиенко, 1976).

В смешанном посеве злаковых и бобовых зерновых культур наблюдается образование единого пула корневых систем и корневых выделений (Winter, 1960). Корневая система злака, за счет химической аллелопатии, быстро поглощает легкодоступные амиды и аминокислоты, выделенные в почву бобовым растением. В организме злаков они без промежуточных превращений сразу вступают в процесс синтеза белка. В сформированной смешанной биосистеме, за счёт экзоосмоса азотистых веществ корнями бобового растения, обеспечивается более 25% от объема потребляемого азота для яровой пшеницы (Шкотова, 2015). Многолетние бобовые травы (люцерна, клевер, лядвенец) передавали злакам от 9 до 78 кг N/га, обеспе-

чивая от 22 до 68% их потребности в азоте (Vance, 1998).

Органические соединения, поступающие в почву через корни, способствуют активации деятельности находящихся в почве ризобий и других диазотрофов, а также микроорганизмов, участвующих в минерализации органического вещества почвы (Тихонович, Проворов, 2011). Разложение гумусовых веществ связано с накоплением доступных растениям минеральных соединений азота. На основании их концентрации в почве, растениями осуществляется регуляция высокочувствительного механизма, контролирующего активность нитрогеназного ферментного комплекса бобовых культур (Minchin, 1999). Поэтому динамическое состояние системы «почва – микроорганизмы – растения» связано с интенсивностью симбиотической азотфиксации и фотосинтетической активностью бобовых растений.

Дополнительное азотное питание легкодоступным азотом создает определённый регуляторный сдвиг физиологических процессов, благодаря которому, задействованным получается целый ряд механизмов (Лекомцев, 2002; Пасынкова, 2009): увеличенного поступления азота в растения злакового компонента смеси в период вегетации (1), интенсивного поглощения азота корневой системой в период формирования и налива зерна (2), увеличения абсолютной величины реутилизации и полноты оттока азота из вегетативных органов в зерно (3). Это позволяет в различных почвенно-климатических условиях поддерживать стабильный и высокий уровень содержания белка и клейковины в зерне злаков, увеличивать его производство в смешанной посеве без затрат на минеральные азотные удобрения (Кононов, 2013). Накопление биологического N в зерне яровой пшеницы и ячменя повышается на 2,4-3,1% (Кононов и др., 2018), усиливается синтеза и выход белка в урожае на 34-62% (Новиков и др., 2008). Кроме того, дополнительный азот обеспечивает увеличение площади светопотребляющих органов на 23-27% и эффективно стимулирует процесс фотосинтеза, путём усиления нагрузки на единицу листового аппарата. Это улучшает обеспечение органоидов клеток, задействованных в процессе синтеза белка, энергией АТФ и НАДФ (Кононов и др., 2015).

Количество и характер корневых выделений в процессе вегетации зернобобовых культур в смешанных посевах и пожнивно-корневых остатков после их уборки,

обуславливает увеличение углерода микробной биомассы ($C_{мик.}$), высокое видовое разнообразие и активность микробиологического пула ризосферы. В результате чего, в севооборотах со смешанными агроценозами бобовых прекращается прогрессирующее снижение гумуса и обеспечивается постепенное повышение почвенного плодородия (Latati et al., 2014, 2017). Эти изменения (Tian et al., 2019) характеризуют как видоспецифичные, так как в опытах с зернобобовыми культурами (нут, чечевица) они наблюдались в ризосфере лишь в случае их смешанного посева с пшеницей. В процессе возделывания сои, бобов и нута в смешанных агроценозах с кукурузой (Tang et al., 2014) установили изменение состава почвенного микробного сообщества, связанное с увеличением относительного обилия почвенных грибов-сапрофитов класса *Sordariomycetes*, увеличением биомассы арбускулярных микоризных грибов и(или) снижением относительного обилия бактерий *Nitrospirae*.

Как уже отмечалось, со стороны зернобобовых культур, азотфиксация далеко не единственный параметр для выстраивания надёжных комплементарных взаимоотношений со злаками в смешанных посевах. Возделывание этих видов потенциально может повысить эффективность использования источников азота благодаря конкурентным, взаимодополняющим или стимулирующим взаимодействиям. Именно в части вопроса усиления азотфиксации бобовым компонентом в смешанном агроценозе, следует отметить о непосредственном участии в нём злакового компонента. В рамках этого взаимодействия именно злаковый компонент способствует раскрытию и более полной реализации биологического потенциала бобовой культурой при симбиотической фиксации атмосферных запасов N_2 (Ghaley et al., 2005; Fenliang et al., 2006). В частных случаях, это взаимодействие происходит посредством корневых экссудатов, способных увеличить экспрессию флавоноидов (сигнальных соединений для ризобий) и генов, отвечающих за инфицирование корневой системы бобовых культур со стороны симбиотических микроорганизмов и последующее протекание процесса нодуляции (Bai et al., 2016). Особая роль зерновых культур в смесях обусловлена более активным, а порою даже «агрессивным» поведением злака, относительно использования N почвенных запасов и привносимого количества с удобрениями. По сообщению зару-

бежных исследователей (Andersen et al., 2005; Hauggaard-Nielsen et al., 2008; Bedoussac, Justes, 2010), это является мощным драйвером для активизации процесса азотфиксации у бобового компонента посева на 9…17% (Hauggaard-Nielsen et al., 2009; Chapagain, Riseman, 2014) для обеспечения собственной потребности в азоте до 95…99% (Hauggaard-Nielsen et al., 2003; Rodriguez et al., 2020).

Ключевая роль в вопросе взаимодействия компонентов смешанных посевов принадлежит азоту. Именно азот почвы и удобрений является тем питательным ресурсом, благодаря которому комплементарные межвидовые взаимоотношения переходят в конкурентные. Внесение азота минеральных удобрений (Naudin et al., 2011), особенно в нитратной форме (Ohyama et al., 2011), вносит дополнительные коррективы в механизм образования и последующую работу симбиотического аппарата на корнях бобовых. Указывается на снижение скорости и полное ингибирование процесса образования клубеньков (нодуляции), наличие повреждений у уже существующих клубеньков, непосредственное уменьшение объёмов фиксации азота (Naudin et al., 2010) в одно- и поливидовых посевах бобовых культур. Однако и здесь следует отметить, что именно злаковый компонент посева, наряду с активно протекающими в почве процессами трансформации и инфильтрацией, способен снизить обозначенное ингибирующее действие со стороны нитратного азота удобрения (Li et al., 2009). При этом возможность восстановления симбиотического ризобиального аппарата у бобовых в смешанных посевах, наблюдается только до вступления в фазу цветения (Naudina et al., 2010).

В вопросе конструирования смешанных посевов не следует забывать о технологичности самого процесса их возделывания. Именно злаковый компонент выполняет роль поддерживающей культуры, благодаря которой сохраняется вертикальная ярусность зернобобовых культур с легко полегающим стеблем и возможность проведения механизированной уборки. При этом обеспечивается возможность для полноценного протекания фотосинтеза и ассимиляции $C\text{-}CO_2$. Выстроенность и интенсивность процесса фотосинтеза является первостепенным условием в вопросе азотфиксации, так как при полноценной реализации бобовыми культурами своего биологического потенциала в смешанном посеве на 30-35%

возрастает поглощение CO_2, а на сам процесс затрачивается до 30% процентов углеводов и энергии фотосинтеза (Кононов и др., 2009). При переходе и последующем доминировании симбиотрофного питания, у зернобобовых культур существенно повышается ассимилирующая способность листьев в отношении C-CO_2 и содержание в них углеводов (Пигарева, 1990). Это даёт бобовому растению дополнительную энергию на процесс восстановления молекулярного азота воздуха.

Результаты анализа, полученные посредством введения изотопа ^{13}C в состав жирных кислот фосфолипидов, убедительно свидетельствуют о том, что динамика микробного ризобиального сообщества в ризосфере и интенсивность азотфиксации тесно связана с потоком углерода (Griffiths et al., 2004; Lu et al., 2004; Treonis et al., 2004). По мнению (Посыпанов 1989; Хамоков, 2004) между фотосинтезом и процессом фиксации N в клубеньках бобовых культур осуществляется тесное взаиморегулируемое соотношение. При наличии клубеньков на корневой системе растений, интенсивность фотосинтеза у бобовых культур увеличивается на 15-30% (Посыпанов, 1991). Нарастание вегетативной массы, сопровождаемое увеличением ассимилирующей поверхности растений и изменением интенсивности фотосинтеза в течение вегетационного периода или всего онтогенеза растений, и даже суточная динамика этого процесса – в свою очередь, является причиной колебания величины азотфиксации (Мильто, 1982; Садыков, 1986). Активность N_2-фиксации и эффективность симбиотических взаимоотношений между компонентами, в значительной степени определяется не только облиственностью бобовых культур, но и содержанием в их листьях хлорофилла (Тихонович и др., 1985). Именно таким образом тесно взаимосвязаны процессы фотосинтеза и симбиотической азотфиксации. Все приёмы, обуславливающие оптимизацию условий для протекания фотосинтеза, будут способствовать усилению N_2-фиксации и накоплению усвоенного зернобобовыми культурами из воздуха азота в растительной биомассе и почве. Суммарно активация N_2-фиксации у зернобобовых культур в смешанных агроценозах осуществляется с использованием сразу нескольких механизмов:

1. Экспрессии корневых экссудатов злакового и бобового компонента посева;

2. Изменения состава и активности микробного пула ризосферы;

3. Использования злаком легкодоступных соединений N в почве;

4. Увеличения интенсивность протекания процесса фотосинтеза.

При совершенствовании современных систем земледелия в севооборотах, положительное суммарное влияние зернобобовых культур в одновидовых и смешанных посевах является интегральным показателем, включающим увеличение урожая и оптимизацию его биохимического состава, поддержку благоприятной фитосанитарной обстановки в условиях агроценоза, сохранение группового состава и активности микробного почвенного сообщества, оказание положительного влияния на агрохимические и агрофизические свойства почвы, способность сохранять устойчивость к эрозионным процессам (Солодун и др., 2011). Важным агрономическим аспектом является положительная реакция, прежде всего злаков, на возделывание после зернобобовых культур (Chalk, 1998).

Повышение эффективности использования азота при совместном выращивании зернобобовых и злаковых культур может в глобальном масштабе снизить потребности в удобрениях на основе ископаемого азота примерно на 26% (Jensen et al., 2020). Это является ключевым фактором в сокращении объёмов выбросов парниковых газов, поступления химически активного азота (N_r) и его воздействия на окружающую среду (Foley et al., 2011). Фиксация азота бобовыми культурами не связана с затратами на ископаемый углерод, а выбросы N_2O редко превышают выбросы от вовлечённой в сельскохозяйственное производство почвы или удобренных азотом культур (Jensen et al., 2012; Jeuffroy et al., 2013). За счёт введения в севообороты смешанных посевов наблюдается экологическая интенсификация производства и стимулирование биоразнообразия.

Обозначенные критерии и параметры взаимодействия зернобобовых и злаковых культур в составе смешанных агроценозов позволяют рассматривать конструирование гетерогенных посевов в качестве приёма по регулированию азотфиксирующей активности зернобобовых культур, подчёркивают их актуальность в вопросах производства объёмистых и концентрированных кормов на пашне и позволяют более комплексно подходить к интерпретированию полученных результатов.

Заключение. Из представленного материала следует, что зернобобовые культуры обладают уникальной способностью фиксировать молекулярный азот, а также, благодаря этому, обеспечивают более интенсивный сток для углерода атмосферы; синтезируют и накапливают в своей биомассе значительное количество легкоусвояемых белковых веществ. Чёткое понимание сущности процесса азотфиксации и наличие возможности его регулирования, могут быть востребованы в условиях, когда отключается механизм, ингибирующий образование клубеньков на корнях бобовых в присутствии минерального азота в почве, что позволит активно использовать почвенные ресурсы злаковым компонентам, а бобовые смогут обеспечить наиболее полную реализацию своего биологического потенциала за счёт изначально смешанного, а в последующем и полного перехода на симбиотрофное питание молекулярным азотом атмосферы.

В этой связи в представленной работе предстояло уточнить действие азотного удобрения на: развитие симбиотического аппарата зернобобовых культур (гороха посевного, вики озимой); продуктивность растений по срокам уборки и урожайность зерна, накопление азота в основной и побочной продукции, клубеньках на корнях растений на дерново-подзолистой почве разной степени окультуренности; биохимический состав зерна гороха, качество получаемой из него крупы; питательную ценность зерносенажа и зерна в смешанных агроценозах с зерновыми злаками; накопление общего и фиксированного азота в составе органического вещества, поступающего в почву с ПКО и соломой; объём прямой и косвенной эмиссии $N\text{-}N_2O$; вынос азота урожаем, эффективность его использования из удобрения и баланс в почве; величину прибавок урожайности, кормовую питательность, продовольственные и технологические показатели зерна, высеваемых в последующем яровых зерновых культур.

ГЛАВА 2. УСЛОВИЯ И МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИ

2.1 Погодные и почвенные условия проведения полевых опытов

Территория Пермского края расположена в восточной части Восточно-Европейской равнины и на западных склонах Среднего и Северного Урала. Располагаясь непосредственно в бассейне реки Кама, входит в состав Приволжского федерального округа. Большинство районов входят в ареал со средним значением климатического индекса биологической продуктивности (106-120 баллов БКП[1]). За последние 50 лет наблюдается тенденция к возрастанию показателя БКП во всех районах, увеличение территории с благоприятными климатическими условиями для возделывания зерновых культур и повышения потенциала их урожайности до 2,4-2,8 т/га и выше (Авдеев, Лазарев, 2021).

Средняя температура воздуха за год для агроклиматического района, где проводили полевые исследования составляет около 2,0°С. За последние десятилетия на территории Среднего Предуралья наступление весны сдвинулось на неделю, она начинается 15-25 марта. Характерной особенностью этого периода является быстрый подъем температуры после схода снежного покрова. Устойчивый переход среднесуточной температуры через 0°С в первой половине апреля, сменяется возвратами холодов и заморозками. Продолжительность периода с положительной среднесуточной температурой воздуха – 183…210 дней. Продолжительность беззаморозкового периода в центральной части в воздухе и на почве составляет 102-136 и 86-119 дней соответственно. Среднемесячная температура самого теплого месяца (июля) составляет от +15,6°С до +18,9°С. Наступление первых заморозков на большей части территории области приходится на вторую декаду сентября. Осенью переход через 0^{o}С происходит с 10 по 26 октября. В январе среднемесячная температура достигает своего минимума (-13,7…-18,5^{o}С). Глубина промерзания почвы достигает 71 см (Ермакова и др., 2008).

---

[1] *С помощью БКП дается общая оценка ресурсов тепла и влаги безотносительно к запросам отдельных культур и их сортов. Под БКП также следует подразумевать балловую оценку степени доступности для растений питательных веществ, находящихся в почвенном растворе на конкретной территории (Зоидзе, 2004).*

Годовое количество атмосферных осадков на территории края составляет 517-912 мм. Из этого количества осадков на холодный период приходится 25-35%, а на теплый – 75-65%. Сумма осадков начинает увеличиваться с апреля и достигает максимума в июле (81 мм). Первый снежный покров на территории региона может появиться в конце сентября. Весенние запасы влаги в пахотном слое (0-20 см) дерново-подзолистых почв составляют 38-40 мм, в метровом слое 140…230 мм. В течение года на территории Пермского края преобладают южные, юго-западные и западные ветры со средней скоростью 3,2 м/с (Ермакова и др., 2010; Шкляев, Шкляева, 2006).

Гидротермические особенности последних десятилетий характеризуются в значительным ростом температуры воздуха и увеличением продолжительности вегетационного периода. Средняя годовая температура воздуха увеличилась на 1,1^{o}C. Прослеживается тенденция к увеличению сумм температур воздуха выше 10^{o}C на 139°C до 1900-2200^{o}C. В свою очередь, средняя суточная температура воздуха за вегетационный период составляет 15,5^{o}C. Общее удлинение вегетационного периода за 25 лет составило около 13 дней. Благодаря этому его продолжительность в центральной части края колеблется от 134 до 156 дней. Количество осадков в среднем увеличилось на 42 мм, наряду с уменьшением запасов продуктивной влаги в дерново-подзолистых почвах к моменту посева весной на 10-12 мм. Тенденции временных изменений ГТК в мае и июне имеют положительный тренд, соответственно равный 0,24 и 0,04 ед./10 лет. Это свидетельствует о потеплении вегетационного периода рассматриваемой территории и изменении условий возделывания сельскохозяйственных культур в Пермском крае в сторону более благоприятных (Шкляев и др., 2012).

Территория Пермского края в настоящее время характеризуется удовлетворительными и хорошими агрометеорологическими условиями. Научно-учебное опытное поле Пермского ГАТУ, на котором была произведена закладка полевых опытов, относится к IV^{A} агроклиматическому району, который характеризуется как теплый, незначительно засушливый. Основные параметры (количество осадков, сумма активных температур выше 10^{o}C), которые используются для

характеристики агроклиматических условий местности и расчёта гидротермического коэффициента (ГТК, по Селянинову) за месяцы вегетационных периодов 2012-2019 гг. представлены в таблице 2.1.

Таблица 2.1. Погодные условия вегетационных периодов (май-август) на территории проведения полевых исследований (по данным ГИС-центра ПГНИУ)

Год	Месяц	Сумма осадков, мм	Сумма активных температур ≥10°С	ГТК
2012	май	63,1	322,3	1,96
	июнь	95,3	548,3	1,74
	июль	78,9	623,4	1,27
	август	65,8	517,7	1,27
2013	май	37,4	229,0	1,63
	июнь	42,5	563,0	0,75
	июль	78,5	596,2	1,32
	август	71,7	533,3	1,34
2014	май	18,5	337,7	0,55
	июнь	82,2	450,7	1,82
	июль	106,4	409,4	2,60
	август	55,0	528,7	1,04
2015	май	51,2	356,3	1,44
	июнь	61,2	553,5	1,11
	июль	123,6	448,1	2,76
	август	238,3	347,9	6,85
2016	май	9,2	329,9	0,28
	июнь	96,4	476,3	2,02
	июль	16,8	624,0	0,27
	август	39,4	664,8	0,59
2017	май	42,6	133,8	3,18
	июнь	143,0	410,9	3,48
	июль	204,5	542,7	3,77
	август	67,6	522,5	1,29
2018	май	47,5	147,3	3,22
	июнь	92,4	351,2	2,63
	июль	47,0	635,2	0,74
	август	82,0	483,0	1,70
2019	май	64,5	337,0	1,91
	июнь	73,4	431,7	1,70
	июль	142,9	524,2	2,73
	август	240,7	382,6	6,29

За время проведения исследований (2012-2019 гг.) сумма осадков за вегетационный период варьировала от 162 до 521 мм, при сумме активных температур ≥10°С 1610-2095°С. Гидротермический коэффициент (ГТК, по Селянинову) за месяцы вегетационных периодов в среднем составил: май – 1,77; июнь – 1,91; июль – 1,93, август – 2,55.

Территория Пермского края относится к южно-таёжной подзоне, где преобладающим является подтип дерново-подзолистых почв, занимающих 6240 тыс. га. – 38,8% общей площади края и 69,5% площади пашни. По гранулометрическому составу наибольшее распространение имеют средне-, тяжелосуглинистые и глинистые почвы, они занимают 44,8% площади края и 79,4% пашни. В окультуренном состоянии под пашней располагаются 8,3% дерново-сильноподзолистых, 29,3% дерново-среднеподзолистых и 62,4% дерново-слабоподзолистых почв (Кротких, Михайлова, 2013).

Закладку полевых опытов проводили в пределах одного участка землепользования и почвенного массива. Для определения морфологического строения почвы, на краю одного из полей севооборота в защитке опыта был заложен почвенный разрез. Морфологическая характеристика и физико-химические свойства отдельных слоёв почвы приведены в приложении 1.

Почва опытного участка дерново-мелкоподзолистая среднесуглинистая, сформированная на древнеаллювиальных отложениях, характеризуется низким содержанием гумуса (2,1%) в пахотном слое, средней ёмкостью катионного обмена и высокой степенью насыщенности почв основаниями по всему профилю, в материнской породе повышенная (90%). Реакция среды в пахотном горизонте нейтральная (pH_{KCl} 6,2), вниз по профилю снижается до сильнокислой (pH_{KCl} 4,1). Обеспеченность пахотного слоя минеральным азотом повышенная (Шафран, 2019), содержание подвижных форм фосфора и калия – высокое. Обеспеченность пахотного слоя Ca повышенная, Mg, S и Zn средняя, остальными микроэлементами (B, Mo, Cu, Zn, Co, Mn) – высокая (Методические указания…, 2003).

Агрохимическая характеристика пахотного слоя почвы по отдельным полям севооборота представлена в таблице 2.2. Почва участков, на которых проводили исследования с одновидовыми посевами афильных сортов гороха, слабо- и среднегумусированная, с близкой к нейтральной и нейтральной реакцией среды, повышенным содержанием минерального азота, высоким содержанием подвижного фосфора и калия; с одновидовым и смешанными посевами гороха листочкового

морфотипа среднегумусированная с близкой к нейтральной и нейтральной реакцией среды, повышенным содержанием минерального азота, высоким и очень высоким содержанием подвижного фосфора и повышенным-очень высоким калия (по Кирсанову); с одновидовым и смешанными посевами озимой вики слабогумусированная со слабокислой-нейтральной реакцией среды, повышенным содержанием минерального азота, высоким и очень высоким содержанием подвижного фосфора и высоким подвижного калия.

Таблица 2.2. Агрохимические показатели пахотного слоя почвы опытных участков

Год опыта	Гумус, %	pH_{KCl}	Нг	S	ЕКО	V,%	$N_{мин}$	P_2O_5	K_2O
			мг-экв./ 100 г почвы				мг/кг почвы		
Одновидовой посев гороха – яровой овёс									
2014-2015	2,16	5,5…6,1	2,1	22,3	24,4	91,4	42,3	170	185
2015-2016	2,04	5,7…6,2	2,8	26,2	29,0	90,3	30,3	213	241
2016-2017	2,47	5,8…5,9	1,9	30,6	32,5	94,1	38,0	222	251
Смешанные посевы яровой пшеницы и посевного гороха – яровой ячмень									
2012-2013	2,48	6,5…6,6	2,6	26,1	28,7	90,9	54,7	262	275
2013-2014	2,60	6,5…6,7	1,0	27,6	28,6	96,5	27,3	215	129
2014-2015	2,31	5,5…5,8	2,2	24,8	27,0	91,8	18,8	242	230
Смешанные посевы озимой тритикале и озимой вики – яровая пшеница									
2013-2015	1,83	5,5…6,1	2,0	24,4	26,4	92,4	77,0	254	240
2014-2016	1,60	5,7…6,0	1,7	20,0	21,7	92,1	47,3	255	175
2015-2017	1,68	5,5…5,6	3,8	22,8	26,6	85,7	43,2	205	170

Использование в качестве одного из объектов исследования почвы высокой степени окультуренности связано с обязательным их наличием в структуре землепользования абсолютного большинства хозяйств региона. Также именно высокоокультуренные почвы составляют до 95% пахотного фонда отдельной категории хозяйств – птицефабрик, в рамках которых максимально востребованы и происходит наиболее активное внедрение в состав севооборотов смешанных агроценозов зернобобовых культур.

При инокуляции семян симбиотическими ризобактериями, важнейшей характеристикой почвы является содержание в ней бактерий *Rhizobium*. Следует сказать о значительной обеспеченности почвы микроорганизмами этого рода (4,15…6,13 × 10^5 КОЕ/1 г почвы) на протяжении 3-х первых лет после возделывания гороха в одновидовых и смешанных агроценозах.

2.2 Методика проведения полевых и вегетационного опытов

Полевые исследования проводили в период с 2012 по 2019 гг. на учебно-научном опытном поле Пермского ГАТУ им. Д.Н. Прянишникова.

Опыт №1 (2014-2016 гг.) был посвящён изучению влияния уровня азотного питания и инокуляции семян симбиотическими ризобактериями на урожайность и качество зерна гороха посевного. Для этого использовали следующую схему:

Фактор А – инокулирование посевного материала препаратом симбиотических ризобактерий: A_0 – без обработки, A_1 – при обработке.

Фактор В – дозы азотного удобрения, кг д.в./га: $B_0 – N_0$, $B_1 – N_{30}$, $B_2 – N_{45}$, $B_3 – N_{60}$, $B_4 – N_{75}$, $B_5 – N_{90}$, $B_6 – N_{105}$, $B_7 – N_{120}$.

Высевали сорта гороха безлисточковой морфотипа Агроинтел и Вельвет, подробная характеристика которых представлена в приложениях 2, 3. Изучаемые сорта гороха различаются по направлению использования: Агроинтел – зернового, продовольственного; Вельвет – зернового, фуражного направления. Отличием также является происхождение сортов: Агроинтел – сорт отечественной селекции (оригинатор ООО «Фабалес» и др., Россия), выведен с использованием гибридизации сортов Богатырь, Немчиновский 91 и Норд; Вельвет – сорт иностранной селекции (SAATBAU LINZ eGen, Austria), получен скрещиванием линии SG-L-2651 × сорта Mozart.

При наличии 4-х кратной повторности, изучаемые варианты были представлены на 128 делянках, расположенных систематически в 4 яруса. Общая площадь делянки первого (использование инокуляции): 2400 м^2 (25×96), второго порядка (доза N-удобрения): 150 м^2 (25×6), учётная: 100 м^2 (20×5). Схематическое расположение вариантов опыта по делянкам представлено в приложении 4.

В качестве азотного удобрения использовали аммонийную селитру (34,4% д.в.), которую вносили вручную, под предпосевную культивацию. Инокуляция семенного материала гороха симбиотическими ризобактериями проводили вручную в день посева согласно инструкции (прил. 5). Инокуляционная нагрузка составила 6,2-9,3×10^5 бактериальных клеток на семя. Посев проводили сеялкой СЗ-3,6А при норме

высева 1,4 млн. всхожих семян на 1 га в первую декаду мая. Уборку проводили прямым комбайнированием «Vektor-410», в сочетании с прямым методом учёта урожая зерна. Действие накопленного в составе ПКО гороха симбиотически фиксированного азота, оценивали по урожайности и качеству зерна последующей культуры севооборота – ярового овса сорта Конкур (прил. 6).

В *опыте №2* (2018-2019 гг.) изучали влияние доз азотного удобрения и инокуляции семян симбиотическими ризобактериями на формирование фотосинтетического и симбиотического аппарата гороха посевного сортов Красноуфимский 11 и Вельвет. Для этого использовали следующую схему:

Фактор А – сорт гороха (направление использования): A_0 – Красноуфимский 11 (зернового, продовольственного), A_1 – Вельвет (зернового, фуражного).

Фактор В – дозы N-удобрения, кг д.в./га: B_0 – N0, B_1 – N15, B_2 – N30, B_3 – N45.

Повторность в опыте 4-х кратная. Опыт проводили методом расщепленных делянок: общая площадь делянки 112,5 м^2, учётная – 33 м^2. В качестве азотного удобрения использовали аммонийную селитру (34,4% д.в.). Весь семенной материал проходил бактеризацию препаратом симбиотических ризобактерий. Приемы ухода за посевами в опыте соответствовали установленной системе земледелия для условий Пермского края.

Для определения интенсивности развития фотосинтетического и симбиотического аппарата гороха, по фазам развития растений (3-4 листьев, ветвления стебля, бутонизации – начало цветения, зелёных бобов) в случайном порядке отбирали по 10 растений, следуя по диагонали делянки.

Эффективность инокуляции семян симбиотическими ризобактериями и азотного удобрения при возделывании гороха на дерново-подзолистой почве разной степени окультуренности устанавливали в *опыте №3*. Для этого были проведены исследования в 2015 и 2017 гг. в вегетационном опыте на дерново-мелкоподзолистой слабо и средне окультуренной почве с разных участков землепользования учебно-опытного поля университета. Степень окультуренности почвы выражалась посредством таких параметров, как мощность пахотного горизонта, величина обменной кислотности и содержание подвижного фосфора, степени

насыщенности почвы основаниями (Сычев и др., 2020). Подробная агрохимическая характеристика пахотного слоя почвы представлена в таблице 2.3.

Таблица 2.3. Агрохимическая характеристика пахотного слоя дерново-подзолистой почвы разной степени окультуренности

Слой и его глубина, см	Гумус, %	Нг	S	ЕКО	V, %	pH_{KCl}	Подвижные формы элементов питания, мг/кг почвы	
		ммоль /100 г					P_2O_5	K_2O
Слабо окультуренная почва								
$A_{пах}$, 0-22	2,10	5,7	12,5	17,8	70	4,4	44	72
Средне окультуренная почва								
$A_{пах}$, 0-25	2,05	4,1	17,5	21,6	81	5,1	59	92

Для закладки использовали сосуды Митчерлиха (20×20), вмещающие 5 кг абсолютно сухой почвы. Влажность почвы на протяжении эксперимента поддерживали на уровне 60% от полной влагоемкости, которая составляла 55%. Схема опыта подразумевала включение следующих факторов:

Фактор А – инокулирование посевного материала симбиотическими ризобактериями: A_0 – без обработки, A_1 – при обработке.

Фактор В – дозы азотного удобрения, г N/кг абсолютно сухой почвы: B_0 – N_0 (без удобрений), B_1 – $N_{0,05}$, B_2 – $N_{0,10}$, B_3 – $N_{0,15}$, B_4 – $N_{0,20}$, B_5 – $N_{0,25}$.

Повторность вариантов 16-ти кратная. Объектом исследований был горох посевной сорта Агроинтел. Посев провели пророщенными семенами по 25 шт. на сосуд. После прореживания на сосуд оставляли по 12 растений. Инокуляцию семян симбиотическими ризобактериями производили непосредственно перед посевом, согласно прилагаемой к биопрепарату инструкции. Уборку растений и установление их продуктивности проводили в 3 срока (фазы): ветвления стебля, бутонизации – начало цветения и полной спелости. Определение морфологического строения симбиотического ризобиального аппарата на корневой системе гороха (Посыпанов, 1991) было сопряжено с первым и вторым сроком уборки, а также фазой формирования зелёных (плоских) бобов.

Влияние азотного удобрения на урожайность яровой пшеницы и посевного гороха в смешанных и одновидовых агроценозах изучали в *опыте №4*. Для этого в 2012-2014 гг. был заложен полевой 2-х факторный эксперимент по следующей схеме:

Фактор А – состав агроценоза: A_0 – пшеница 100%, A_1 – пшеница 75% + горох 25%, A_2 – пшеница 50% + горох 50%, A_3 – пшеница 25% + горох 75%, A_4 – горох 100%.

Фактор В – дозы N-удобрения, кг д.в./га: B_0 – N0, B_1 – N30, B_2 – N60.

Повторность в опыте 4-х кратная. Расположение делянок систематическое в 4 яруса. Варианты опыта, были представлены методом расщепленных (сложных) делянок. Общая площадь под опытом составляла порядка 2 га. Общий размер делянок для фактора А и В составлял 900 и 150 м^2. Учётная площадь при уборке на зерносенаж и зерно составляла 25,2 и 91,5 м^2 соответственно. Схематическое расположение вариантов по делянкам в опыте представлено в приложении 7.

Азот в опыте ($N_м$, 46% д.в.), вносили под предпосевную культивацию. В качестве предшественника выступала озимая рожь, посеянная по чистому пару. Объектами исследования выступали районированные сорта гороха посевного листочкового морфотипа (Альбумен) и пшеницы яровой (Иргина), имеющие близкий по продолжительности вегетационный период (прил. 8, 9). Норма высева культур в составе одновидовых агроценозов составляла 1,4 и 7 млн. шт. всхожих семян на гектар соответственно. Посев и последующие агротехнические мероприятия проводили согласно перспективной технологии заготовки кормов из смесей бобовых и злаковых растений при уборке всей надземной биомассы в фазе молочно-восковой спелости злакового компонента. Уборку на зерносенаж (КС-2,1) проводили дифференцировано, по достижению культурами уборочной спелости, в сочетании с прямым методом учета урожая. Уборку на зерно (СК-5М «Нива») – также в сочетании с прямым методом учёта, по достижению полной спелости зерна. Действие накопленного в ПКО гороха симбиотически фиксированного азота оценивали по урожайности и качеству зерна последующей культуры – ярового ячменя сорта Родник Прикамья (прил. 10).

Указанные элементы технологии были правомерны при изучении влияния N-удобрения на урожайность озимой тритикале и озимой вики в смешанных и одновидовых агроценозах (*опыт №5*). Для этого в 2013-2015 гг. был заложен 2-х факторный полевой опыт по следующей схеме:

Фактор А – соотношение компонентов смеси: $А_1$ – тритикале 100%, $А_2$ – тритикале 75% + вика 25%, $А_3$ – тритикале 50% + вика 50%, $А_4$ – тритикале 25% + вика 75%, $А_5$ – вика 100%.

Фактор В – дозы N-удобрения, кг д.в./га: $В_1$ – N0, $В_2$ – N30, $В_3$ – N45, $В_4$ – N60.

При наличии 4-х кратной повторности, расположение делянок было систематическим в 4 яруса. Общая площадь делянки первого порядка (фактор А) составила 600 м^2, второго (фактор В) – 150 м^2. Учётная площадь делянки при уборке на зерносенаж и зерно составляла – 10,5 м^2 и 89,5 м^2 соответственно. Схематическое расположение вариантов по делянкам в опыте представлено в приложении 11.

Азотное удобрение ($N_{аа}$, 34,4% д.в.) вносили в качестве ранневесенней подкормки. Объектами исследований были – районированные сорта озимой тритикале (Ставропольская 5) и озимой вики (Юбилейная), подробная характеристика которых указана в приложении 12, 13. Предшественником посевов выступал чистый пар. Посев проводился в первой декаде сентября с использованием сеялки ССНП-16. Агротехника в опыте соответствует научной системе земледелия, рекомендованная для Предуралья. Действие накопленного в ПКО озимой вики симбиотически фиксированного азота, оценивали по урожайности и качеству зерна последующей культуры – яровой пшеницы сорта Горноуральская (прил. 14).

2.3 Методы агрохимических исследований растений и почвы, сопутствующие расчёты по данным полевых опытов

В образцах зерносенажа и зерна, полученных в полевых опытах, проводили определение следующих зоотехнических показателей: влаги и сухого вещества (ГОСТ 31640-2012); сырого протеина (ГОСТ 13496.4-93); сырой клетчатки (ГОСТ 31675-2012); сырого жира (ГОСТ 13496.15-2016); сырой золы (ГОСТ 32933-2014). На основании норм по этим показателям, определяли класс зерна и его пригодность для скармливания животным и птице. Для расчёта концентрации обменной энергии (ОЭ, МДж/ 1 кг с.в. корма) использовали уравнение для крупного рогатого скота:

$$ОЭ_{КРС} = 0,02085 \times СП + 0,01715 \times СЖ – 0,0011865 \times СК + 0,01226 \times БЭВ \quad (1)$$

где, *СП – содержание сырого протеина, г в 1 кг сухого вещества;*
СЖ – содержание сырого жира, г в 1 кг сухого вещества;
СК – содержание сырой клетчатки, г в 1 кг сухого вещества;
БЭВ – содержание безазотистых экстрактивных веществ, г в 1 кг сухого вещества вычисляют по формуле:

$$БЭВ = 1000 – (СП + СК + СЖ + СЗ) \quad (2)$$

где, *СЗ – содержание сырой золы, г в 1 кг сухого вещества.*

Наряду с определением биохимического состава, изучали влияние применяемых удобрений на показатели качества зерна и крупы гороха, формирование технологических характеристик зерна овса и хлебопекарных свойств зерна яровой пшеницы.

Пригодность зерна гороха для переработки в крупу устанавливали согласно ГОСТ 28674-2019 «Горох. Технические условия». Определение крупности и выравненности семян гороха, а также последующую переработку в крупу производили на технологическом оборудовании в центре зерновых бобовых культур и производства растительного белка при ФГБОУ РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, согласно «Правила организации…, 1990». Органолептические и технологические характеристики крупы «Горох целый шлифованный» оценивали по ГОСТ 6201-68 "Горох шлифованный. Технические условия". Последующая оценка кулинарных достоинств крупы гороха произведена в сваренном виде. Для этого использовали бальную шкалу по органолептическим показателям и консистенции. Определение вкусовых достоинств проводили при помощи субъективного метода оценки – дегустацией, в составе экспертной комиссии было 5 человек, обладающих знанием оцениваемого товара (Верещагин, 2001).

Показатели зерна овса, определяющие его пригодность и возможность последующей переработки для диетического и детского питания, регламентировали по ГОСТ Р 28673-2019 «Овёс. Технические условия». Величину титруемой кислотности определяли по ГОСТ 26971-86, натуру – по ГОСТ 10840-2017, плёнчатость по ГОСТ 10843-76, содержание ядра в зерне по ГОСТ 28673-2019 (прил. 15).

Качество зерна пшеницы устанавливали по ГОСТ 9353-2016, хлебопекарные свойства – ГОСТ 34702-2020. Определение белка проводили по ГОСТ 10846-91, стекловидность с использованием диафаноскопа по ГОСТ 10987-76, натуру – по

ГОСТ 10840-2017, массу 1000 зёрен определяли по ГОСТ 10842-89, количество и качество клейковины в зерне пшеницы определяли по ГОСТ 13586.1-2014.

В образцах растений, зерна, соломы, ПКО и клубеньков элементный состав определяли: общий азот по Къельдалю; фосфора по Труогу с колориметрическим окончанием, калия – на пламенном фотометре.

Для агрохимической характеристики почвы отбирали смешанные образцы на глубину пахотного слоя. Во взятых образцах определяли: обменную кислотность (pH_{KCl}) по методу ЦИНАО (ГОСТ 26483-85), гидролитическую кислотность (Нг) по методу Каппена в модификации ЦИНАО (ГОСТ 26212-91), сумму поглощенных оснований (S) по Каппену-Гильковицу (ГОСТ 27821-88), степень насыщенности почв основаниями (V) расчётным методом, содержание гумуса по Тюрину (ГОСТ 26213-2021), подвижного фосфора и калия по Кирсанову в модификации ЦИНАО (ГОСТ Р 54650-2011), нитратного азота ионометрическим методом (ГОСТ 26951-86), аммонийного азота колориметрическим методом по Е.В. Аринушкиной, обменного кальция и магния методом ЦИНАО (ГОСТ 26487-85), подвижной серы (ГОСТ 26490-85), подвижных соединений железа (ГОСТ 27395-87) и других микроэлементов (ГОСТ Р 50688-94, ГОСТ Р 50689-94, ГОСТ Р 50684-94, ГОСТ Р 50686-94, ГОСТ Р 50687-94, ГОСТ Р 50682-94).

Выход ПКО, накопление свежего органического вещества, общего и фиксированного N рассчитывали по методике (Завалин и др., 2007).

Накопление общего N в растениях вычисляли на основании фактического содержания N (в % на а.с.в.) в зерносенажной массе, зерне и соломе, которое определяли по ГОСТ 13496.4-93, а также справочным значениям (Завалин и др., 2014) по содержанию N в корнях злаковых и бобовых зерновых культур. Определение накопления органического С в растениях производили на основании справочных значений в урожае основной (Шеуджен и др., 2006) и побочной (Новиков и др., 2007) продукции сельскохозяйственных культур. Дополнительный объём $C\text{-}CO_2$ секвестируемый зернобобовыми культурами и поступающий в почву в одновидовых и смешанных посевах, устанавливали разностным способом. Количество С расходуемое на фикса-

цию N определяли, как отношение запасов углерода в надземной и корневой биомассе с результатами накопления биологического азота в соломе и ПКО.

Расчёт эмиссии N-N_2O производили по (Методические рекомендации…, 2014) с использованием коэффициентов (прил. 16), эмиссионного фактора ($ЭФ_{N_2O}$) по формуле (Кудеяров, 2020):

$$ЭФ_{N_2O} = (N_2O\text{-}N_{уд.} - N_2O\text{-}N_0) \times 100 / N_{уд.} \quad (3)$$

где, $N_2O–N_{уд.} - N_2O–N_0$ *разность между кумулятивной эмиссией* N_2O *из удобренных и контрольных (без удобрений) вариантов;*

$N_{уд.}$ *– количество внесенного в почву азота, кг/га;*

100 – перевод в проценты.

Приращение эмиссии N-N_2O определяли при использовании универсальной модели (Shcherbak et al., 2014) в зависимости от дозы минерального N-удобрения:

$$\Delta ЭФ_{N_2O} = 0{,}001 \times N \times (6{,}49 \times 0{,}0187 \times N) \quad (4)$$

где, $\Delta ЭФ_{N_2O}$ *– приращение эмиссии* $N–N_2O$*, кг/га;*

N – доза N-удобрения, кг/га.

Установление баланса N в почве и эффективности использования из удобрений производили согласно (Рекомендации по проектированию…, 2010) с применением нормативных данных (Методические указания …, 2000; Нормативы для определения вклада…, 2007; Бюллетень …, 2013; Научно-обоснованные параметры…, 2014).

Оценку действия биологического N, накопленного зернобобовыми культурами, производили по рекомендациям (Завалин и др., 2007).

Полученные результаты в полевых и вегетационном опытах обработали методом дисперсионного анализа с помощью программы MS Excel 2010.

2.4 Методика проведения лабораторных модельных опытов

Ферментативную микробиологическую активность, динамику и трансформацию форм углерода и азота почвы при разложении соломы зерновых культур изучали в лабораторном модельном эксперименте (*опыт №6*) на кафедре агрохимии ФГБОУ Пермского ГАТУ, для чего использовали следующую схему:

1. Без соломы (контроль); 2. Солома озимой ржи; 3. Солома яровой пшеницы; 4. Солома ярового ячменя; 5. Солома посевного гороха; 6. Солома ярового овса.

Повторность вариантов 12-ти кратная, что позволило проследить за изменением микробиологических и агрохимических показателей почвы по истечению 30, 60, 90 и 120 суток инкубирования соломы (прил. 17). В сосуды закладывалось по 12 г каждого вида соломы, длина которой составляла 3-4 см. Элементный состав соломы определяли только до закладки эксперимента:

- углерод – модификация метода Тюрина (Янишевский и др., 2000);

- азота, фосфора и калия из одной навески по Пиневич (Куркаев, 1959).

Для закладки исследования использовали сосуды, вмещающие 2,6 кг абсолютно сухой среднесуглинистой дерново-подзолистой почвы, агрохимическая характеристика которой представлена в таблице 2.4.

Таблица 2.4. Агрохимическая характеристика пахотного слоя дерново-подзолистой среднесуглинистой почвы в лабораторных модельных опытах

Мощность слоя, см	Гумус, %	Нг	S	ЕКО	V, %	pH_{KCl}	Подвижные формы элементов питания, мг/кг		
		мг-экв./100 г почвы					$N_{мин}$	P_2O_5	K_2O
0-23	2,1	1,6	16,0	17,6	91	5,9	50	154	227

Для поддержания высокой микробиологической активности и энергичного течения процесса разложения пожнивных остатков, почву в сосудах увлажняли до 60% от полной влагоёмкости на протяжении всего периода экспозиции.

По истечению срока инкубирования (30, 60, 90 и 120 суток) в каждом из вариантов разбирали по 3 сосуда. Не разложившуюся солому отмывали на сите и высушивали до постоянной массы в сушильном шкафу (прил. 18), фиксировали убыль массы. Интенсивность разложения соломы определяли по формуле:

$$ИР_{сол.} = (M_1 - M_2) / M_1 \quad (5)$$

где, *M_1 – масса соломы, заложенной в почву для инкубирования, г;*
M_2 – масса неразложившейся соломы, по истечению срока инкубирования в почве, г.

Определение ферментативной активности в почве проводили по методикам А.И. Чундерова (протеаза, КФ 3.4.15-23); А.Ш. Галстяна, Г.П. Цюпы (уреаза, КФ 3.5.1.5.); А.Ш. Галстяна, Л.В. Маркосяна (нитратредуктаза, КФ 1.6.6.1); А.Ш. Галстяна, Э.Г. Саакяна (нитритредуктаза, КФ 1.6.6.4).

Определение общего микробного числа проводилось на основании содержания отдельных групп микроорганизмов, которые выращивались на селективных питательных средах (МПА, КАА, СЧ) (Теппер и др., 2004). Микробиологическому посеву предшествовало приготовление почвенной суспензии и взятие навески для определения влажности почвы по ГОСТ 28268-89.

Для установления микробиологической активности почвы проводили:

- определение величины базального дыхания (БД) по эмиссии углекислого газа, продуцируемого микроорганизмами из почвы за 24 часа её инкубирования, после добавления воды;

- определение величины субстрат-индуцированного дыхания (СИД) по эмиссии углекислого газа, продуцируемого микроорганизмами из почвы за 4 часа её инкубирования, после обогащения глюкозой;

- расчёт микробного метаболического коэффициента (*QR)* по формуле (Благодатская и др., 1995):

$$QR = БД / СИД \quad (6)$$

где, *БД – интенсивность актуальной дыхательной активности почвы, мкг С-CO_2 × $г^{-1}$ почвы × $ч^{-1}$;*
СИД – интенсивность потенциальной дыхательной активности почвы, мкг С-CO_2 × $г^{-1}$ почвы × $ч^{-1}$;

- расчёт удельной скорости микробного дыхания (qCO_2) по формуле (Звягинцев, 2005):

$$qCO_2 = БД / C_{мик}. \quad (7)$$

где, $C_{мик.}$ *– углерод микробной биомассы, мг/кг почвы.*

Содержание и фракционный состав органического вещества почвы устанавливали с использованием следующих методов:

- содержание углерода микробной биомассы ($C_{мик.}$) находили согласно уравнения (Anderson, Domsch, 1978):

$$C_{мик.} = СИД \times 40,04 + 0,37 \quad (8)$$

- содержание углерода лабильного органического вещества почвы, экстрагируемого горячей водой ($C_{эгв.}$) и 0,1 М раствором $Na_4P_2O_7$ ($C_{лов}$) по (Методы определения…, 2010);

- содержание общего органического углерода почвы методом Тюрина в модификации Никитина (ГОСТ 26213-91).

Изменение состояния азотного фонда почвы проводили при определении содержания подвижного минерального ($N\text{-}NO_3$ с дисульфофеноловой кислотой, $N\text{-}NH_4$ с реактивом Несслера), легкогидролизуемого (по методу Тюрина), трудногидролизуемого и негидролизуемого (по разности $N_{тг+нг} = N_{общ.} – N_{мин.} – N_{лг}$), общего (по методу Къельдаля) азота по прописи (Методические указания…, 1975).

Для расчета нетто-иммобилизации (N_{im}) азота в почве с растительными остатками использовали формулу (Ходжаева, 2006):

$$N_{im} = (C_0 – C_t) + (A_t – A_0) \quad (9)$$

где, A_0 *– содержание* $N_{мин.}$ *в начале инкубирования (контроль), мг/кг почвы;*
C_0 *– содержание* $N_{мин.}$ *в начале инкубирования в вариантах с соломой, мг/кг почвы;*
A_t *– содержание* $N_{мин.}$ *в срок отбора (контроль), мг/кг почвы;*
C_t *– содержание* $N_{мин.}$ *в срок отбора в вариантах с соломой, мг/кг почвы.*

Представленный модельный эксперимент в последующем был продолжен, изучением влияния вида соломы и N-удобрения на развитие проростков овса (*опыт №7*) с использованием следующей схемы:

1. Солома пшеницы; 2. Солома пшеницы + N; 3. Солома гороха; 4. Солома гороха + N.

Для эксперимента использовали сосуды, вмещающие 0,25 л абсолютно сухой дерново-подзолистой среднесуглинистой почвы. В каждый сосуд высевали по 5 предварительно пророщенных семян овса высокой репродукции. Посев производился сразу после набивки и увлажнения почвы в сосудах до 60% от ПВ. В дальнейшем полив производили 5-6 раз в неделю. Для наличия возможности проследить за развитием проростков на 15 и 45 сутки, в опыте использовали 6-ти кратную повторность. Доза азота составляла 8 мг/100 г почвы. Для оценки условий азотного питания проростков овса проводили: морфо-биометрическую (Алёшин, 2022), тканевую (Церлинг, 1990) и листовую диагностику (Михайлова и др., 2018), по определению содержания общего азота в растениях по Къельдалю.

Изучение динамики развития микробных сообществ на поверхности соломы зерновых культур на начальном этапе её разложения в почве было проведено в дополнительном лабораторном модельном эксперименте (*опыт №8*). Для этого

также использовали пластиковые сосуды, в которые помещалось 0,25 л почвы, характеристика которой приведена в таблице 2.4.

Измельченную до 2 см солому яровой пшеницы и посевного гороха заделывали в почву из расчёта по 20 шт./сосуд на глубину 5 см. Для установления влияния сапрофитных микроорганизмов соломы на динамические характеристики пула микроорганизмов и формирование его структуры, одна часть соломы подвергалась стерилизации посредством автоклавирования.

Инкубирование сосудов проводили в термостате при постоянной влажности (60% ПВ) и температуре (25±2°С). Анализ образцов соломы производили на 1, 2, 5, 15, 20 и 30 сутки при разборе сосудов в 3-х кратной повторности.

После удаления остатков почвы с поверхности соломы, её помещали в 0,1% раствор красителя (2,3,5-трифенил-тетразолий хлористый) приготовленного на 0,2% растворе глюкозы на 1 час. Затем фрагменты соломы измельчали до частиц 1,0-1,5 мм, которые помещали в пробирки Эппендорфа на 2 мл, заливали 1 мл лизирующего раствора (20% твин-80 на 45% этаноле) для экстракции формазана, образовавшегося под действием ферментов микроорганизмов (Калинина и др., 2018). Через 24 часа экспозиции производили центрифугирование содержимого пробирок (Microspin 12 «BioSan», Латвия). Надосадочную жидкость исследовали на планшетном спектрофотометре при $\lambda = 470$ нм (Benchmark plus «BioRad», США).

Изучение микробного пейзажа сообществ, формирующихся на соломе в процессе её разложения, производили с помощью микровизора (mVizo-103 "Ломо", Россия). С этой целью производили соскобы с поверхности соломы, готовили препараты типа «мазок» и «раздавленная капля». Мазки окрашивали по Граму с помощью набора реактивов «ЭКОлаб».

На основании полученных результатов производили расчёт средних значений, их стандартных ошибок (±SD) и доверительных интервалов в программе MS Excel 2010.

ГЛАВА 3. УРОЖАЙНОСТЬ ЗЕРНОВЫХ БОБОВЫХ И ЗЛАКОВЫХ КУЛЬТУР В ОДНОВИДОВЫХ И СМЕШАННЫХ АГРОЦЕНОЗАХ

Накопление значительного количества N-содержащих соединений в составе своей биомассы и урожая семян, является исключительной особенностью бобовых культур. Отчасти это обусловлено их взаимовыгодными взаимоотношениями с клубеньковыми бактериями, благодаря которым осуществляется процесс биологической фиксации азота. Вместе с этим, бобовые культуры наряду с аккумуляцией азота атмосферы испытывают ингибирующее действие повышенных доз связанного азота. В этом случае у них отмечается изменение соотношения между симбиотрофным и автотрофным типами питания азотом, изменяется относительное содержание и поступление основных элементов питания (Осмоловский, 2011; Тихонович и др., 2012; Кухарев, Кшникаткина, 2017).

Формирование растительно-микробной системы позволяет бобовым культурам в процессе возделывания преодолевать дефицит связанного азота в почве (Проворов, Воробьёв, 2013), в значительной степени или почти полностью удовлетворять свою потребность в азоте за счёт его запасов в атмосфере (Alves et al., 2003), реализовывать свой биологический потенциал продуктивности в отсутствие или при минимальном использовании азотных удобрений (Хамоков, 2002). Активность симбиотической азотфиксации бобовых зависит от генотипа растительного и бактериального партнёра (Hardarson, 1993; Проворов и др., 1994) и регуляции посредством формируемого азотного режима почвы (Schallmach et al. 2000; Brye et al., 2002).

Изменения в продукционном процессе и симбиотическом взаимодействии со стороны макросимбионтов могут быть результатом успешной агрономической практики и селекционной работы (Hetrick et al., 1993; Голопятов, 2017). Не смотря на систематическое расширение линейки сортов с обычным типом листа, они имеют целый ряд недостатков, отвечающих за снижение урожайности и качества зерна (Шелепина, 2009). Поэтому особый интерес производители сельскохозяйственной продукции проявляют к формам гороха с листьями усатого типа. Формируемая за счёт этого архитектоника растений, даёт им существенные преимущества перед обычны-

ми листочковыми формами в реализации генетического потенциала продуктивности в агроценозах и повышает технологичность возделывания (Кондыков и др., 2012). Афильные сорта гороха успешно реализуют свой биологический потенциал и имеют определённое превосходство над листочковыми в благоприятных по гидротермическому режиму условиях (Новикова Н.Е., 2009).

Во многом урожайность гороха определяется используемыми агротехнологиями, обеспеченностью почвы элементами минерального питания, штаммовой принадлежностью микроорганизмов в используемых для инокуляции семян биопрепаратах (Аленин, 2011; Кузмичева, 2011). Эффективность бактеризации определяется вирулентностью и активностью ризобий, входящих в состав биопрепаратов. Современные сорта гороха способны на генетическом уровне проявлять высокую избирательность в отношении штаммов симбиотических активно N_2-фиксирующих диазотрофов (Ferriere et al., 2001; Наумкина и др., 2012).

Однако положительного эффекта от обработки семян бактериальными препаратами может и не быть, вследствие экстремальных эдафических условий (Завалин и др., 2003), наличия в почве большого количества спонтанных симбиотических азотфиксирующих микроорганизмов (Bernal et al., 2004), низкой вирулентности используемых штаммов. Чтобы микробиологический штамм демонстрировал высокую заселяемость клубеньков, он должен устойчиво сохраняться в почве в отсутствие растения-хозяина или в период времени между вегетационными сезонами (McInnes, Haq, 2007), должен активно колонизировать ризосферу культуры и иметь возможность прикрепляться на поверхность инфицируемого корневого волоска при повторном посеве бобовой культуры (Lodeiro, Favelukes, 1999), а затем совершать инфицирование в течение относительно короткого промежутка времени (Bhuvaneswari et al., 1981). При инокуляции зернобобовых культур азотфиксирующими симбиотрофными микроорганизмами усиливается образование корневых клубеньков, увеличивается их масса, нитрогеназная активность; при этом повышается урожайность и содержание белка в вегетативной массе и семенах (Парахин, Петрова, 2012). В качестве основных критериев, для оценки эффективности взаи-

модействия бобовых культур с полезной почвенной микрофлорой, используются и биометрические параметры растений (Штарк и др., 2011).

Значительно возросший интерес к симбиотрофному питанию бобовых культур со стороны науки и производства, объясняется определяющей ролью процесса фиксации азота в азотном балансе биосферы, а также потенциальной возможностью снижения объемов применения азотных минеральных удобрений (Кадермас, 2014). Применение последних, наряду с бактериальными препаратами для инокуляции, всё чаще производится для оптимизации минерального питания гороха. Так на территории хозяйства «Дубовицкое» Орловской области, при урожайности гороха свыше 5 т/га технологией выращивания предусматривается внесение 100 кг аммиачной селитры под предпосевную культивацию и двукратная листовая подкормка комплексными удобрениями в фазах 6-7 листьев и бутонизации (Щедрин, Мирзалиева, 2016). По сообщению (Gul et al., 2006), при выращивании гороха эффективно применение полной дозы азота (80 кг/га) в форме карбамида в два срока – 25% при посеве и 75% во время цветения.

Согласно результатам исследований (Агафонов Е.В., 2001; Завалин, 2007; Каминский, 2014), внесение азота в составе минеральных удобрений повышает продуктивность растений гороха. Считается, что даже при обработке семян ризобактериями, горох нуждается в связанном техническом азоте, так как растения зачастую не в состоянии в полной мере обеспечить высокую продуктивность только за счёт симбиотического азота (Гукова, 1974). Чаще всего это наблюдается на первом этапе развития, пока формируется симбиотический аппарат. Использование так называемых «стартовых» доз азота не ограничивает развитие симбиотических взаимоотношений между партнёрами или даже стимулирует их (Шумный, Сидорова, 1991; Космынина, 2007; Фомина, 2009). В последующем, горох переходит на активное симбиотрофное питание азотом. Однако и на этом этапе развития, наблюдается эффект от поздних некорневых подкормок азотом (Новикова, 2017). Обусловлено это тем, что в период созревания семян, плоды становятся наиболее сильными аттрагирующими центрами для потока фотоассимилятов, что приводит к ослаблению поглотительной деятельности корневой системы и её азотфиксирующей способности (Дозоров, Гаранин, 2013; Но-

викова, 2018). Оптимизация азотного питания за счёт подбора комплементарных взаимодействий симбионтов и внесения удобрений позволяет минимизировать истощение содержания азота в листьях, сохранить интенсивность фотосинтеза на достаточно высоком уровне, сбалансировать биохимический и аминокислотный состав семян. Это должно учитываться при создании сортовых агротехнологий для зернобобовых культур и выступает ключевым условием реализации их биологического потенциала при максимальном вовлечении в продукционный процесс экологических ресурсов.

3.1. Сортовая отзывчивость гороха посевного на инокуляцию семян симбиотическими ризобактериями и внесение азотного удобрения

Горох посевной является основной зернобобовой культурой в России (Сельское хозяйство в России, 2021), что обусловлено дифференцированным направлением использования его посевов: укосным, зернофуражным и продовольственным. Благоприятное сочетание адаптивных, хозяйственно-ценных и полезных свойств: возможность произрастания в различных почвенно-климатических условиях, устойчивая продуктивность и скороспелость, высокое содержание протеина, незаменимых аминокислот в зелёной массе и вместе с тем крахмала зерне – обеспечивают гороху статус «флагмана» по производству растительного белка в стране (Бабушкина и др., 2016; Зотиков и др., 2016; Савельев, 2018).

На протяжении последних 5 лет посевная площадь занятая горохом составляет более 1 млн. га (https://www.fedstat.ru) с ежегодным приростом (+5,3%), что можно объяснить желанием аграриев полностью использовать потенциал зернобобовых культур и растительно-микробных систем в условиях актуального плодородия почв. В этой связи, не лишены научной новизны и практической значимости результаты полевых опытов по установлению влияния возрастающих доз азотного удобрения на фоне обработки семян биопрепаратом симбиотических ризобактерий на зерновую продуктивность гороха посевного перспективных сортов безлисточкового морфотипа Агроинтел и Вельвет (*опыт №1*).

В среднем по опыту (табл. 3.1) уровень зерновой продуктивности гороха посевного сорта Агроинтел составил от 1,88 до 2,63 т/га. Минимальная урожайность зерна была получена при отсутствии инокуляции и внесения N-удобрения. Максимальная зерновая продуктивность сорта отмечена при инокуляции семян ризобактериями и внесении азотного удобрения (N105). Однако по отдельным годам проведения исследований, наблюдались некоторые различия (прил. 19) в эффективности применяемых удобрений и сортовой отзывчивости растений гороха на эти приёмы.

Таблица 3.1. Сортовая отзывчивость гороха посевного на инокуляцию семян симбиотическими ризобактериями и дозы N-удобрения, т/га (среднее за 3 года)

Дозы азота (В)	Агроинтел		Среднее по В	Вельвет		Среднее по В
	A_0	A_1		A_0	A_1	
N0	1,88	2,07	1,98	2,41	2,86	2,70
N30	2,03	2,13	2,08	2,74	3,09	2,95
N45	2,34	2,26	2,30	2,56	2,85	2,71
N60	2,28	2,57	2,42	2,38	2,69	2,53
N75	2,23	2,33	2,28	2,31	2,58	2,45
N90	2,16	2,24	2,20	2,13	2,38	2,24
N105	2,54	2,63	2,59	1,91	1,94	1,96
N120	2,24	2,27	2,26	1,81	1,55	1,73
Среднее по А, $НСР_{05}$ для гл. эфф.	2,22	2,31	$НСР_{05}$ гл. эфф.	2,28	2,49	$НСР_{05}$ гл. эфф.
	0,12		0,20	0,20		0,18
$НСР_{05}$ для частных различий по фактору	А		0,28	А		0,36
	В		0,43	В		0,38

На сорте Вельвет, отмечено более существенное варьирование урожайности зерна – от 1,55 до 3,09 т/га (прил. 20). Это, с одной стороны, указывает на более высокий генетический потенциал продуктивности сорта Вельвет, а с другой, – на более низкую его адаптивность к условиям возделывания.

Эффект от инокуляции в среднем по сортам составил +0,14 т/га (Агроинтел) и +0,21 т/га (Вельвет) или 6,2% и 8,8% соответственно. По результатам географической сети опытов за 1980-1996 гг. (Кожемяков, Тихонович, 1998) прибавка урожая зерна гороха за счёт бактеризации была самой низкой среди бобовых культур и составляла в среднем 10,5%. В значительной мере такое положение объясняется продолжительностью культивирования этого вида бобовых культур (Проворов, 1996). Агрономическая оценка сортов гороха убедительно свидетельствует о существенном снижении способности эффективно взаимодействовать и

использовать связанный азот симбиотическим путём по мере селекции (Provorov, Tikhonovich, 2003). При этом необходимо учитывать, что различия между сортами по этому признаку, могут быть достаточно велики.

Применение биопрепаратов нередко оказывается не эффективным, что связано с высокой конкуренцией или горизонтальным переносом генов между представителями спонтанной малопродуктивной микрофлоры и штаммами инокулятов (Brockwell et al., 1995; Проворов, Воробьёв, 2010; Штарк и др., 2011). Слабая реакция бобовых растений на инокуляцию, обусловлена условиями, в которых был проведён отбор современных высокопродуктивных сортов (Provorov, Tikhonovich, 2003). Проведение селекции на высоком агрофоне минеральных удобрений и химических средств защиты растений, вызвало существенное снижение способности к интенсивному развитию за счёт симбиотрофного питания азотом, а также усиление способности развиваться благодаря усвоению связанного азота (Курчак, Проворов, 1995; Проворов, 1996). Во многом слабая эффективность взаимодействия между симбионтами, обусловлена генетическими особенностями сортов интенсивного типа, которые часто не способны к выстраиванию комплементарных отношений с полезными микроорганизмами. Растения таких сортов потеряли способность конкурировать за почвенную микрофлору и расселять её на своей корневой системе (Тихонович и др., 2011).

При инокуляции семян гороха симбиотическими ризобактериями, более высокая зерновая продуктивность растений, получена благодаря включению в состав биопрепарата эффективных высоко конкурентных штаммов микроорганизмов рода *Rhizobium*, адаптированных к использованию в различных эдафических условиях. Наиболее полная реализация их симбиотического потенциала, возможна лишь со специальными созданными ориентированными на симбиотрофный тип питания сортами растений. Они могут быть получены с использованием новых биоинженерных или традиционных генетико-селекционных подходов (Проворов, 2015). На генотипах гороха, эффективно взаимодействующих с полезной микрофлорой почвы, действие комплексной инокуляции достигает 12,4-69,8% и может быть сравнимо с применением полной дозы минеральных удобрений (Штарк и др., 2006; Парахин и др.,

2012). Биологическая азотфиксация и улучшение минерального питания инокулированных растений, могли снижать возникающий дефицит азота и ограниченный транспорт других питательных элементов.

Вместе с тем, следует отметить существенную разницу в уровне прибавки от инокуляции по сортам гороха. Более высокая отзывчивость на инокуляцию в опыте (+0,45 т/га), получена на сорте Вельвет в отсутствии внесения азотного удобрения (N0). Отзывчивость сорта Агроинтел на обработку семян ризобактериями была ниже в 2,0-2,4 раза и наряду с контрольным вариантом (+0,19 т/га), максимальная величина прибавки зерна (+0,22 т/га), наблюдалась при внесении 60 кг N/га. Согласно полученным результатам, следует сказать, что восприимчивость сортов гороха и других зернобобовых культур на бактеризацию семян перед посевом, определяется генетической ориентированностью сорта на взаимодействие с почвенной и эпифитной микрофлорой, эффективностью инфицирования корневой системы штаммами интродуцентов. Кроме того, Вельвет является сортом европейской селекции (SG-L-2651 × Mozart), поэтому более существенную прибавку урожайности от бактеризации, отчасти следует рассматривать в качестве эффекта на инокуляцию интродуцируемого растения.

Практические возможности повышения азотфиксации за счёт генетического усовершенствования макросимбионта составляют только 40%, в то время как потенциал интродукции высокоэффективных селекционных рас ризобий составляют порядка 60% (Bohlool et al., 1992). В то же время, именно растения, имеют продолжительный жизненный цикл и, соответственно, генетически более стабильные во времени, чем микроорганизмы. Благодаря этому, они являются организующим и управляющим элементом взаимовыгодной растительно-микробной системы (Provorov, Vorobyov, 2009). Вместе с этим, повышенная межсортовая изменчивость бобовых культур подавляет проявление высокой симбиотической эффективности (Проворов, Симаров, 1992). Поэтому для каждой природно-эдафической формации важно подобрать соответствующий сорт макросимбионта с целью повышения активности азотфиксации и симбиоза (Завалин, 2005), эффективности инокуляции семян клубеньковыми бактериями. Наибольшая эффективность сим-

биоза выявлена (Воробьёв, Проворов, 2008) при максимальном проявлении неаддитивных сорто-штаммовых взаимодействий, которые выступают в качестве основной меры специфичности.

К сожалению, только на современном этапе селекционной работы достаточное внимание стало уделяться повышению эффективности взаимодействия растений с почвенной полезной микрофлорой (Парахин, Петрова, 2012). Для повышения отзывчивости выводимых линий на инокуляцию, производят скрещивание используемого селекционного материала с родами, у которых наблюдается наследование признаков от родительских форм, отличающихся более высокой азотфиксирующей способностью и отзывчивостью на инокуляцию (Борисов и др., 2004). Сужение специфичности сорто-штаммового сочетания компонентов в рамках формируемой симбиотрофной системы С- и N-метаболизма, создаёт предпосылки для строго облигатной формы мутуализма (Проворов, Онищук, 2019). В эволюционной перспективе такой сценарий может привести к глубокой редукции геномов микросимбионтов и его объединению с геномами бобовых культур. Вместе с этим, за счёт снижения способности ризобий самостоятельно адаптироваться к эдафическим условиям, которое наблюдается благодаря инактивации негативных регуляторов симбиоза и утраты жизнеспособности бактероидов, будет обеспечена трансформация симбиосом в постоянные компартменты клетки и повышение интенсивности симбиотрофного питания растений азотом (Проворов 2015). Это отвечает постулатам теории симбиогенеза, сформулированной К.С. Мережковским (1909) в отношении симбиотического происхождения хлоропластов, а позже и митохондрий (Маргелис, 1983) в клетках растительных организмов (Захаров, 2009).

Использование азотного удобрения на сорте Агроинтел в стартовых дозах (N30…45 кг/га) и свыше 60 кг N/га, обуславливало снижение отзывчивости растений гороха на инокуляцию, наряду с увеличением урожайности зерна. Несколько иная тенденция отмечена на сорте Вельвет: повышение урожайности зерна наблюдалось только при внесении стартовой дозы (N30), при этом использование N-удобрения и увеличение его дозировки, сразу приводило к планомерному снижению отзывчивости растений гороха на инокуляцию семян симбиотическими ризо-

бактериями перед посевом. Прежде всего, это связано с ингибированием процесса азотфиксации со стороны N-удобрения. Так, применение азотного удобрения (N30…60) на фоне инокуляции, снижала коэффициент фиксации азота горохом в смешанных агроценозах в 1,36-2,25 раза (Завалин и др., 2003). В одновидовом посеве азотные удобрения также в большей степени влияли на азотфиксирующую способность корневых клубеньков, чем на их численность и общую массу (Литвинцев, 2007). При использовании N30 количество и масса клубеньков уменьшились на 18-19%, а применение N60 – способствовало снижению на 28-29%. Суммарная азотфиксация при этом снизилась в 2,5 и 3,8 раза соответственно.

Увеличение урожайности зерна, при внесении N-удобрения, вместе со снижением отзывчивости на инокуляцию биопрепаратом, связано с переходом растений гороха на автотрофный тип питания. Этот переход и последующее питание растений гороха связанным азотом почвы и удобрения, обусловлены меньшими затратами, как на сам процесс, так и на содержание симбиотического аппарата. Процесс восстановления биологическим путём N_2 до NH_4^+ требует затраты не менее 6 энергетических эквивалентов НАД·Н, а для восстановления потреблённого из почвы NO_3^- до NH_4^+ требуется только 4 молекул НАДФ·Н (Хелдт, 2014). Поэтому с точки зрения затрат энергии, бобовым культурам для удовлетворения потребностей в азоте, целесообразно потреблять $N\text{-}NO_3$ из почвы, чем N_2 из воздуха. Еще более экономичным, является ассимиляция $N\text{-}NH_4$ почвы и удобрений, который при поступлении в растения, имеет возможность без дополнительных преобразований быть вовлечённым в синтез аминокислот и амидов (Прянишников, 1945). Наряду с фиксацией атмосферного азота, существенный объём метаболической энергии растительного организма бобовых, затрачивается на образование и поддержание клубеньковой ткани. Аттракция корневыми системами ассимилированных за счёт фотосинтеза углеводов составляет до 42%, дополнительно бактероидам передаётся ещё 32%, в то время как надземной частью используется только 26% (Старченков, 1987 цитир. по Новикова, 2018). Меньше третьей части от поступающего количества углеводов расходуется на образование в клубеньках азотсодержащих веществ, основное же количество тратится на энергообеспечение процесса их дыхания (Кре-

тович, 1994). Низкую продуктивность суперклубеньковых мутантов связывают именно с наличием большой численности клубеньков, которые оттягивают на себя весомое количество пластических веществ (Novak et al., 1997).

Следует сказать о возможном регулировании интенсивности потребления и расходования пластических веществ и энергии на образование и обслуживание симбиотического аппарата, как со стороны бобовых растений, так и со стороны клубеньковых бактерий (Проворов, 2015). Результатом действия отбора по этому параметру, позволил реализовать стратегию дальнейшего развития в 2-х направлениях. Первая характерна для бобовых галегоидного комплекса (трибы *Vicieae, Trifolieae, Galegeae*). Они сохранили индукцию дифференцировки бактероидов, связанный с этим недетерминированный рост клубеньков, который ограничен только апикальными меристемами и амидный путь ассимиляции продуктов N_2-фиксации, сходный с ассимиляцией азотных соединений почвы. Образующиеся при этом транспортные формы азота – аспарагин и глутамин, имеют соотношение N : C = 1 : 2-3 (Scharff et al., 2003). Регулирование в этом случае, отмечается со стороны микросимбионта за счёт нитрогеназной активности, которая сопряжена с сужением специфичности взаимодействия партнёров. Стратегия для трибы *Phaseoleae*, основана на поддержании не высокой нитрогеназной активности, свойственной структурно не дифференцированным бактероидам, которые сохраняют способность к размножению, находясь в многоклеточных симбиосомах (Проворов, 2015). Эффективность симбиотических отношений в этом случае регулируется макросимбионтом, за счёт усложнения ассимиляции клубеньками фиксированного азота. Транспортными формами азота в этом случае выступают аллантоины и уреиды, в которых соотношение N : C составляет около 1. Для представителей этой группы бобовых (фасоль, соя, бобы) характерно миксотрофное питание азотом, благодаря разобщению путей ассимиляции симбиотически фиксированного и почвенного азота (Sprent, 2007). Эта физиологическая и биохимическая диверсификация способствует эффективному усвоению бобовыми культурами фиксированного азота и максимально экономному использованию растениями N_2-фиксирующего потенциала ризобий (Проворов, Онищук, 2019). В свою

очередь зарубежные исследователи (Vance, 2008) ранее заявляли, что большая сложность организации и последующего транспорта азота в составе аллантоина и аллантоидной кислоты, наряду с отсутствием возможности их непосредственного использования для ассимиляции N в тканях бобов и листьев (Winkler et al., 1988), компенсирует имеющееся преимущество C : N-отношения.

Более детально рассмотреть сортовую отзывчивость растений гороха на дозы N-удобрения, при инокуляции семян ризобиями, можно на рисунках 3.1 и 3.2.

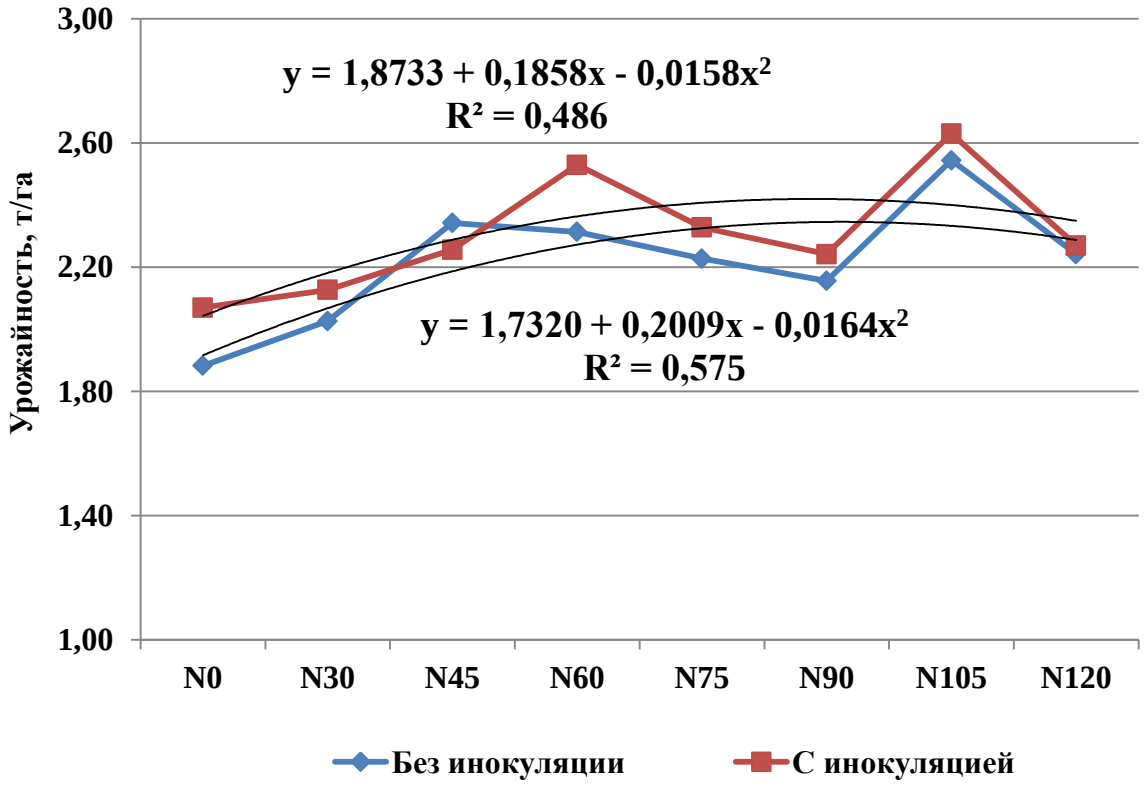


Рисунок 3.1. Потенциал урожайности гороха сорта Агроинтел в зависимости от источника азотного питания

Отзывчивость сорта Агроинтел на использование N-удобрения, в рамках изучаемого диапазона доз (N0-120), можно представить графически в виде гармонической кривой при наличии 2-х пиков урожайности. На начальном её отрезке можно наблюдать возрастающий тренд, который в обоих случаях (A_0, A_1) сменяется плавным понижением отзывчивости. Хотя при использовании инокуляции, этот переход происходит при более высокой дозировке азотного удобрения (N60). Последующее, более резкое повышение урожайности при внесении N90, сменяется также более выраженной рецессией тренда.

Обозначенная тенденция в отзывчивости растений сорта Агроинтел на N-удобрение наиболее близко аппроксимируется с экспоненциальной линией тренда. Без инокуляции семян ризобактериями можно наблюдать более тесное соотношение (R^2 = 0,57). Использование инокуляции вносит определённые коррективы в отзывчивость растений на используемое N-удобрение. По результатам исследований (Митанова и др., 2006) можно отметить, что инокуляция семян ризобиями стимулировала поглощение $N\text{-}NO_3$ проростками гороха, которое зависело от дозировки N и его концентрации в среде.

Существенное увеличение урожайности зерна гороха на 0,46 т/га и 0,43 т/га, в отсутствии инокуляции, изначально фиксировалось при использовании N-удобрения в дозах 45 и 60 кг д.в./га. При использовании инокуляции, существенное увеличение урожайности (+0,46 т/га) отмечалось только при более высокой дозе азота (N60). Последующее увеличение дозы азота (N75…90) приводит к снижению отзывчивости гороха на использование азотного удобрения. Снижение урожайности после 1-го пика указывает на: ингибирование минеральным азотом формирования и продукционного процесса симбиотического аппарата, образованного, при инокуляции интродуцируемыми штаммами, а при её отсутствии – спонтанной микрофлорой почвы; отсутствие достаточного количества азота, при внесении отмеченной дозировки удобрения (N75…90) для формирования максимальной зерновой продуктивности растений в опыте. По совокупности результатов за 2014-2016 гг. она наблюдается при внесении N105. Более высокая продуктивность растений на варианте с внесением 105 кг N/га может быть связана с переходом растений на автотрофное питание минеральным азотом. Также наличие чётко обозначенного 2-го пика урожайности у гороха сорта Агроинтел, может быть связано с проявлением синергического эффекта между инокуляцией и внесением азотного удобрения. Выражается это посредством формирования клубеньков на корнях растений в более поздние сроки, по мере снижения концентрации в почве и ингибирующего действия со стороны азота, внесённого с удобрением. Это способствует сохранению более длительной активности фотосинтетического аппарата и усвояющей способности корневой системы растений, за счёт чего наблюдается дополнительное по-

ступление азота и других элементов питания в семена, которые, на тот момент, являются более сильными аттрагирующими центрами в растениях. При последующем увеличении дозы азотного удобрения до 120 кг N/га наблюдается тенденция к снижению отзывчивости растений гороха на его внесение и урожайности зерна на 0,36 т/га (без инокуляции) и 0,20 т/га (при инокуляции), относительно предшествующего варианта (N105). Снижение эффекта может быть связано с избыточностью питания растений связанным N. В результате чего наблюдается усиленное формирование вегетативной массы в ущерб урожайности зерна.

Наряду с обозначенными тенденциями в отзывчивости растений гороха сорта Агроинтел на дозы N-удобрения, важно отметить ещё одну особенность. Так на фоне инокуляции 1-ый пик урожайности (2,53 т/га), отмечается при более низкой дозировке N-удобрения (N60), в то время как после 2-го пика (2,63 т/га) и последующем увеличении дозировки, наблюдается менее значительное снижение урожайности. По нашему мнению, это косвенно указывает на выстраивание более тесных сорто-штаммовых комплементарных взаимоотношений между симбионтами при инокуляции семенного материала гороха симбиотическими ризобактериями.

Наглядно проследить за изменением урожайности сорта Вельвет, в зависимости от рассматриваемых параметров, возможно на рисунке 3.2. Отзывчивость сорта Вельвет на использование азотного удобрения (N0…120), графически можно представить в виде не симметричной параболы, вершина которой соответствует максимальной урожайности в опыте. Это условие является правомерным в обоих случаях (A_0, A_1). На начальном отрезке представленных кривых (N30), можно наблюдать достаточно резкое увеличение урожайности на 023…0,33 т/га, которое сменяется плавным понижением отзывчивости растений. Уже при дозировке 60 кг N/га можно отметить снижение урожайности зерна ниже контрольного варианта (N0). При более высокой дозировке азотного удобрения без обработки семян (N90…105) и при их инокуляции (N75…90), наблюдается устойчивая тенденция к последующему снижению отзывчивости растений и урожайности зерна (-0,28…-0,50 т/га). Существенное снижение урожайности зерна на 0,60 т/га (A_0) и 0,92…1,31 т/га (A_1) происходит при дальнейшем увеличении дозы азотного удобре-

ния. Отзывчивости растений сорта Вельвет на N-удобрение и полученная согласно этого урожайность зерна, наиболее близко аппроксимируется с полиномиальной линией тренда. Более тесное их соотношение (R^2 = 0,98), можно наблюдать при инокуляции семян бактериальным препаратом.

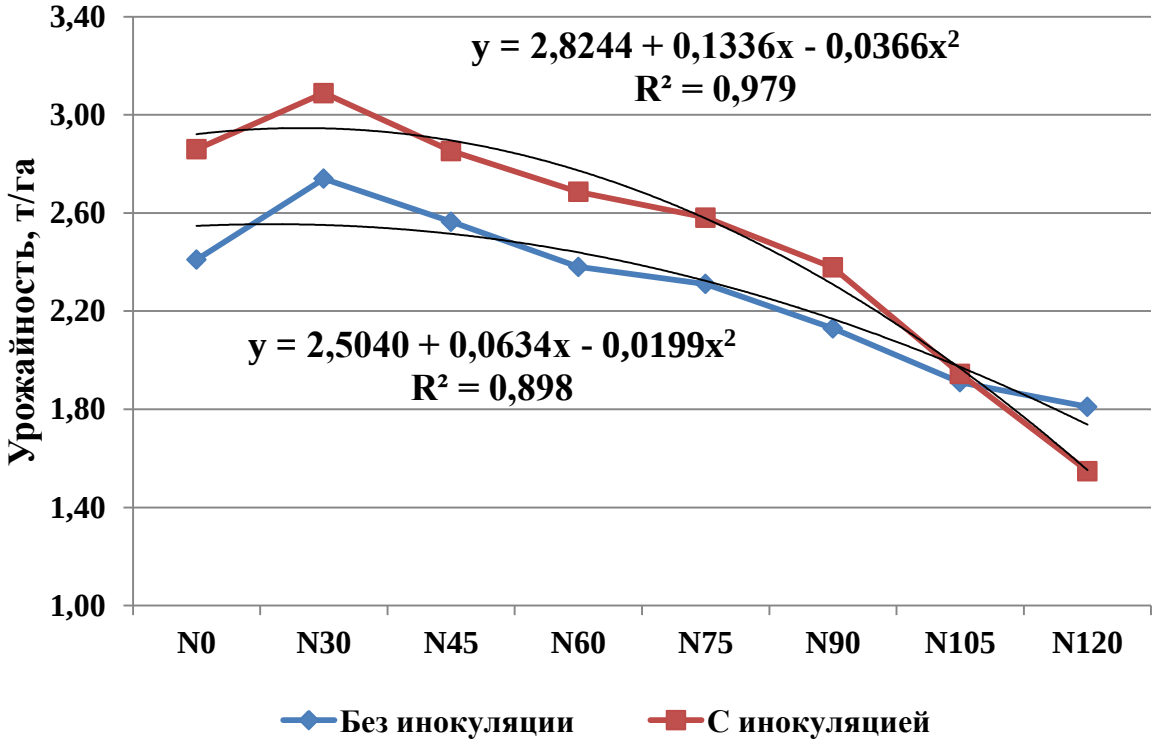


Рисунок 3.2. Потенциал урожайности гороха сорта Вельвет в зависимости от источника азотного питания

Использование интродуцированных ризобактерий способствует планомерному развитию растений гороха и формированию более высокой урожайности зерна. Обозначенный эффект наблюдается при увеличении дозировки N-удобрения до 90 кг д.в./га. Он обусловлен за счёт частичного ингибирования отзывчивости растений гороха на N-удобрение. Инокулированные растения сохраняют способность к нодуляции и симбиотрофному питанию, которое позволяет обеспечить более продолжительное функционирование корневой системы и фотоситетического аппарата гороха. Благодаря этому, происходит дополнительный отток ассимилятов в созревающие семена.

Учёт совокупности обозначенных особенностей позволяет сделать следующее заключение. Используемые штаммы симбиотических ризобий обладают высокой конкурентоспособностью и вирулентностью, что позволяет им активно инфициро-

вать корневую систему гороха, не смотря на наличие в почве значительного количества (4,15…6,13×10^5 КОЕ в 1 г почвы) спонтанных ризосферных N-фиксирующих микроорганизмов. За счёт этого наблюдается выстраивание тесных мутуалистических взаимоотношений между симбионтами, благодаря которым осуществляется регуляция автотрофного питания макросимбионта азотом из почвы и вносимого удобрения. Происходит это в умеренном (N30…60) и повышенном (N60…90) диапазоне доз азотного удобрения. При последующем увеличении дозировки азота (N105…120), происходит модуляция симбиотического ризобиального аппарата на корневой системе гороха. Установление тесного мутуалистического взаимодействия между симбионтами становится затруднительным, в связи с модификацией у бобовых растений метаболизма N-содержащих соединений. Обозначенная тенденция правомерна при уверенной рецессии тренда урожайности зерна.

Факт увеличения урожайности зерна на горохе сорта Вельвет, как в отсутствии инокуляции (+0,33 т/га), так и её использовании (+0,23 т/га), был отмечен только при внесении N-удобрения в дозе 30 кг д.в./га. Отсутствие положительной существенной разницы в отзывчивости растений на используемую дозировку N-удобрения обусловлено совокупностью обозначенных условий и параметров, приводящих к формированию высоких значений критериев $НСР_{05}$ для частных различий. Однако эффект от инокуляции подтверждается увеличением урожайности зерна следующей культурой севооборота (овса). Происходит это благодаря тому, что на фоне применения азотных удобрений в «стартовых» дозах, может наблюдаться увеличение азотфиксации на 35-40% (Кудеяров, 1989).

Под влиянием разных доз минерального азота фиксируются изменения метаболизма ризобий, что в последующем приводит к оптимизации условий для эффективного взаимодействия компонентов и повышения эффективности симбиоза (Фомичёв и др., 2003; Сытников, 2012). При действии продуцируемых диазотрофами полисахаридов, усиливаются биометрические параметры клубеньков на корневой системе бобовых, изменяется активность ферментов азотного обмена (Косенко и др., 2003). Благодаря их продуцированию наблюдается вторичное образование клубеньков на боковых корнях и удлинение периода активной N-

фиксации (Мандровська и др., 2005). Обозначенный параметр имеет важнейшее значение при возделывании гороха (Кругова и др., 2009), характеризующегося не продолжительным вегетационным периодом и сроком усвоения азота симбиотическим путём (Гурьев, Васильчиков, 2017). В случае ранней инактивации симбиотического аппарата, из-за неблагоприятного режима увлажнения, использование азотных удобрений при возделывании гороха может оказаться обязательным условием (Литвинцев, 2007).

Не высокая концентрация минерального азота в почве, способствует становлению взаимодействия между компонентами симбиотической системы (Moreau et al., 2008), что обусловлено необходимостью азота для синтеза макросимбионтом сигнальных соединений белковой природы, непосредственно задействованных в установлении симбиотических взаимоотношений. Сохранение концентрация N-NO_3^- в почве через 10 суток после внесения азотного удобрения усиливала размножение *R. meliloti* в 2 раза (Шумный и др., 1991). Это способствует достижению в ризосфере необходимой концентрации клубеньковых бактерий, которая предшествует взаимодействию симбионтов и определяется «кворум-чувствительными» сигналами, приводящими к активации *rhi*- и *nod*-гены бактерий (Soto et al., 2006). При внесении азотных удобрений происходит более активное выделение бобовыми культурами корневых экссудатов, которые используются диазотрофами в качестве питательного субстрата (Mahmood et al., 2005). Благодаря этому наблюдается увеличение численности и микробной активности ризобий, их способность к адсорбции на апикальной части корневых волосков.

По данным (Galan et al., 2001; Шабаев, 2004), только высокие дозы (N100…150) могут кратковременно подавлять азотфиксацию. Длительное время считалось, что это связано с ингибирующим действием связанного азота на ризобии. В связи с чем, производилось культивирование нитратустойчивых штаммов (Сидорова и др., 2010). Однако, азотные минеральные удобрения не оказывают отрицательного влияния на развитие ризобий *in vitro* даже в очень высоких концентрациях (до 60-80 мМ) (Кириченко и др., 1993). Внесение других азотсодержащих соединений (KNO_3, $(NH_4)_2SO_4$) в значительной концентрации (20 мМ), также не оказывали негативного влияния на

рост диазотрофов в стерильной культуре (Глянько и др., 2008), не снижая их вирулентности и симбиотической активности. Более того, азот в форме амидов и аминокислот необходим клубеньковым бактериям (Гукова, 1974), поэтому селективная питательная среда для выделения ризобий готовится на бобовом или фасолевом отваре (Теппер и др., 2004). Внесение азота в дозах, не превышающих физиологическую потребность бобовых культур, активизирует азотфиксацию и участие биологического азота в питании растений (Шотт, 2007; Завалин и др., 2019).

На сегодняшний день установлены сопутствующие аспекты азотфиксации и возможность её регуляции со стороны макросимбионта при увеличении концентрации азота в прикорневой зоне растений. Для регуляции интенсивности азотфиксации, при использовании азотных удобрений или пополнения минерального азота в почве из других источников, бобовыми культурами могут быть задействованы различные механизмы: действующие, как на этапе инфицирования ризобиями корневой системы бобовых, так и функционирования клубеньков. Так активность ризобий в ризосфере бобовых определяется количественным и качественным составом сигнальных фенольных веществ, которые синтезируются растениями в ответ на разное содержание в почве связанного азота (Dakora, 2003). Высокие дозы минерального азота в форме (NO_3^-, NH_4^+, NH_2^-) снижают содержание изофлавоноидов и флавоноидов у всех генотипов сои (Pan, Smith, 2000) и ингибируют ризобиальную nod-ген индуцированную активность корневых экссудатов в корнях у люцерны (Coronado et al., 1995) и гороха (Novak et al., 2002). Следствием этого, является снижение скорости репродукции ризобий и продуцирования ими биологически активных веществ, отвечающих за нодуляцию и формирование симбиоза (Макарова и др., 2007).

Минеральный азот, привносимый с удобрениями, оказывает непосредственное влияние на синтез всех групп гормонов в корневой системе бобовых растений. Прежде всего, это сказывается на наиболее чувствительном для этого параметра соотношении гормонов (АУК / ЦИТ). В последующем это непосредственно отражается на процессе клеточного деления, приводящего к образованию клубеньков. Высокая доза нитрат-иона снижает содержание ауксина в родительских и мутантных формах сои (Caba et al., 2000), а также усиливает синтез этилена у проростков

люцерны (Caba et al., 1998). При накоплении высокого уровня этих росторегулирующих соединений наблюдается ингибирование всех ранних реакций растения-хозяина на инфицирование корневых волосков ризобиями (Oldroyd et al., 2001), клеточного деления в кортексе и перицикле (Gresshoff, 1993) и образования клубеньков (Ferguson, Mathesius, 2003).

Внесение в почву N-удобрений усиливает активность нитрифицирующих и денитрифицирующих микроорганизмов, ответственных за образование газообразных соединений азота (N_2O, NO), отрицательно влияющих на адсорбцию и проникновение ризобий в корневые волоски бобовых (Глянько и др., 2008). NO является синхронизирующим мессенджером химической природы, отвечающим за накопление и активацию гормонов (Lamattina et al., 2003), нитратзависимый рост боковых корней и образования примордия клубеньков (Pagnussat et al., 2002). Образование NO отмечено в N_2-фиксирующей зоне бактероидов, в которых он может выполнять роль компонента, отвечающего за регуляцию переноса O_2, за счёт формирования комплексного соединения с леггемоглобином (Herouart et al., 2002).

Дополнительным аспектом негативного влияния высокой дозировки связанного азота на формирование симбиоза, является активация бобовыми культурами защитных механизмов, препятствующих инфицированию клеток корневых волосков ризобиями (Кириченко, 2001). О сходстве начальных фаз установления симбиоза и проникновения патогенных организмов, а также реакции на эти процессы со стороны растений, не однократно сообщалось в научной литературе (Vasse et al., 1993; Mergaert et al., 2006; Цыганова и др., 2009). Информацию о наличии в почве значительного количества минерального азота геном бобовой культуры получает благодаря включению защитного механизма и наличию молекул сигнальных веществ с активными формами азота и кислорода (Глянько, Васильева, 2007), фитогормонов, микро-РНК и регуляторных пептидов, которые в совокупности модулируют рост и форму корневой системы (Mohd-Radzman et al., 2013). Чувствительность бобово-ризобиального объединения к $N\text{-}NH_4^+$ ниже, чем к $N\text{-}NO_3^-$ (Bollman, Vessey, 2006), что говорит о наличии разных механизмов ингибирующего влияния со стороны отмеченных форм минерального азота в почве. При достаточной обес-

печении бобовых растений нитратным азотом, ферментативная система ризобий взамен на фиксацию N_2, может переключатся на использование и утилизацию N-NO_3^- (Глянько и др., 2009). В таком случае, допущение проявления негативного контроля образования клубеньков может быть полезным инструментом для эффективного сочетания интенсивной N_2-фиксации и потребления соединений азота из почвы (Проворов, Онищук, 2019).

3.1.1. Морфология фотосинтетического и симбиотического аппарата гороха

Для более детального понимания взаимосвязи между процессами роста растений и фиксации азота, а также установления интенсивности нодуляции и длительности сохранения способности к активной азотфиксации, при внесении N-удобрения и инокуляции семян симбиотическими ризобактериями, были рассмотрены параметры и интенсивность развития фотосинтетически активной поверхности растений гороха, и симбиотического аппарата на корневой системе (*опыт №2*).

Морфоформы гороха с листьями усатого типа способны формировать слабо- или неполегающий стеблестой с улучшенными параметрами освещения, аэрации и общего фитосанитарного состояния. На единицу их массы приходится значительно меньше единиц общего органического вещества, что повышает устойчивость растений к полеганию. Это дает им важнейшие преимущества перед обычными листочковыми формами в реализации генетического потенциала зерновой продуктивности в агроценозе и повышает технологичность их возделывания (Бугрей, Авдеенко, 2012). За счёт высокой устойчивости «усатых» сортов к полеганию обеспечивается более высокая продуктивность, снижаются потери при уборке. Благодаря сохранению архитектоники растения, листья нижних ярусов активно участвуют в ассимиляции запасающих веществ для зёрен на заключительных этапах их созревания.

Именно у гороха кардинальная перестройка архитектоники листового аппарата стала одной из основных причин стремительного прогресса селекции культуры, начавшегося в последней четверти прошлого столетия. Видоизменение листьев в усы не только способствовало решению проблемы устойчивости агроценоза к поле-

ганию, но и существенно изменило физиологический статус растений гороха. Принадлежность сортов гороха посевного к безлисточковому морфотипу, определяет формирование ими не только морфологически, но и функционально отличающихся симбиотических систем (Моисеенко и др., 2011).

Влияние инокуляции семян перед посевом и N-удобрения, с учётом сортовой принадлежности гороха (Красноуфимский 11, Вельвет), можно проследить по морфо-биометрическим параметрам фотосинтетического и симбиотического аппаратов растений и охарактеризовать следующим образом (рис. 3.3, 3.4).

1. Благодаря наличию возможности сопоставить полученные изображения, можно достаточно точно установить время начала формирования симбиотического аппарата на корнях растений гороха. К моменту появления 5-6 листа на корневой системе гороха, не зависимо от сортовой принадлежности растений, фиксировалось наличие до 40 шт. клубеньков. О их физиологической активности можно было судить по наличию бледной розовой окраски на срезе. Внесение N-удобрения (N15-45) не оттягивало времени появления клубеньков на корневой системе растений и не ограничивало их физиологической активности.

2. Форма клубеньков и их расположение на корневой системе соответствовало виду растения-хозяина. Более крупные клубеньки располагались на центральном корне. На скелетных корнях 1-2 порядка располагались единичные клубеньки с ровной, не сморщенной поверхностью, правильной и слегка удлинённой формы.

3. Сохранность структуры и функциональности клубеньков на более поздних этапах развития гороха указывает на наличие стимулирующего влияния со стороны N-удобрения. Наличие макро- и микроэлементов в почве обуславливает устойчивое функционирование корневой системы и всего растения. Благодаря этому наблюдается формирование полноценной ассимилирующей листовой поверхности. В свою очередь, это обеспечивает устойчивый приток продуктов фотосинтеза к центрам их запасания и активного использования, наличие субстрата для дыхания и энергии для функционирования ключевых механизмов в растительном организме, включая поддержание высокой активности бактероидов и собственно процесс азотфиксации.

Рисунок 3.3. Морфо-биометрические параметры фотосинтетического и симбиотического аппаратов у растений гороха сорта Красноуфимский 11 по фазам развития

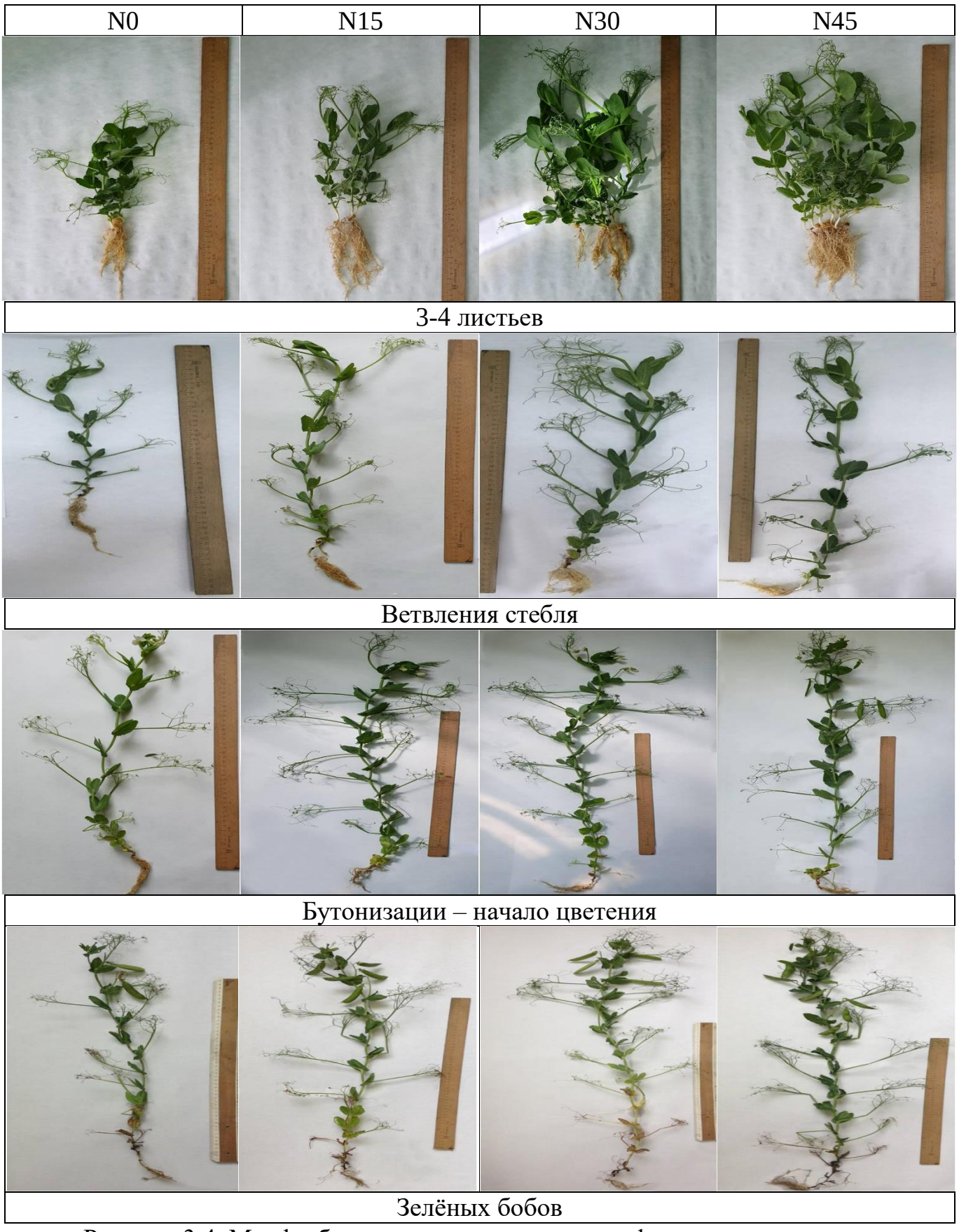


Рисунок 3.4. Морфо-биометрические параметры фотосинтетического и симбиотического аппаратов у растений гороха сорта Вельвет по фазам развития

Морфо-биометрические параметры и активность ризобиального симбиотического аппарата, формируемого на корневой системе у бобовых культур, отражает условия их минерального питания и физиологическое состояние растений. От развития клубеньковых бактерии во многом зависит азотфиксирующая способность, развитие и интенсивность функционирования фотосинтетического аппарата зернобобовых культур. Благоприятные условия для формирования симбиотического аппарата создаются при устойчивом гидротермическом обеспечении, низком или среднем содержании нитратного азота и достаточных запасах продуктивной влаги в почве перед посевом (Озякова и др. 2014).

Наиболее информативными параметрами для оценки влияния N-удобрения на фоне инокуляции семян симбиотическими ризобактериями, является общее количество активных коневых вздутий (клубеньков) и их масса в пересчёте на 1 растение (рис. 3.5).

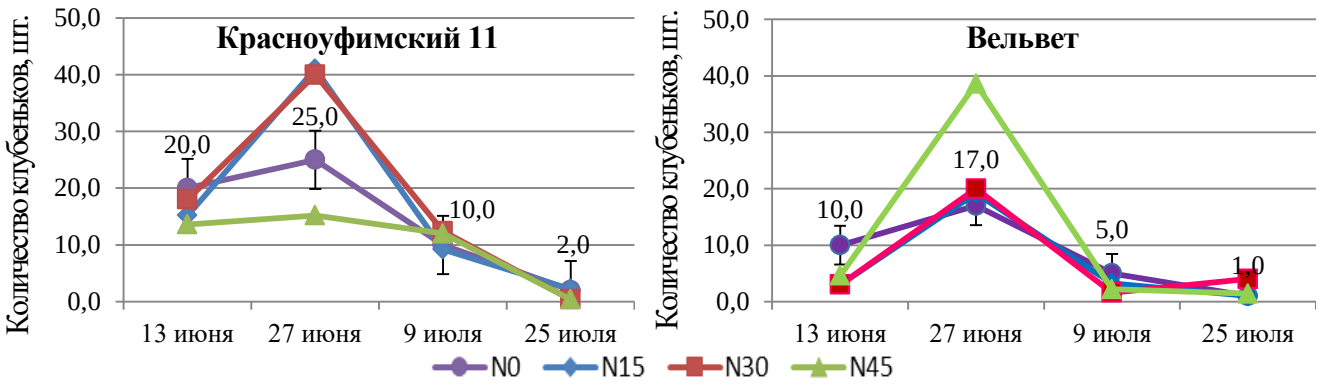


Рисунок 3.5. Влияние доз N-удобрения и инокуляции семян симбиотическими ризобактериями на количество клубеньков на корневой системе гороха

Количество клубеньков, не зависимо от сорта, достигало максимума в фазу бутонизации – начало цветения. К фазе зелёных (плоских) бобов количество клубеньков значительно уменьшилось или исчезли вовсе. Это связано с прекращением вегетативного развития, активного функционирования и последующим отмиранием корневых систем; со снижением ассимилирующей способности листового аппарата и оттока питательных веществ к корням, «старением» растения.

Менее длительный период функционирования ризобиального симбиотического аппарата и способность к последующей нодуляции зафиксировано у сорта Вельвет уже в третьей декаде июня. При этом существенного влияния азотного удобре-

ния на этот параметр отмечено не было. На сорте Красноуфимский 11, начиная с 27 июня, значения на варианте N_{15} и N_{30} соответствовали или не существенно отличались от контроля. В свою очередь, на варианте N_{45} наблюдалось значительное ингибирование формирования клубеньковых вздутий, даже на начальных этапах развития растений, что указывает на значительные различия между сортами относительно использования азота из минеральных удобрений.

П.П. Вавиловым и Г.С. Посыпановым (1981) выявлено наличие прямой корелятивной связи между величиной и активностью симбиотического аппарата, а также уровнем урожая и его качеством. Эти выводы подтверждены многочисленными последующими исследованиями с бобовыми культурами в различных экологических условиях. Интенсивность функционирования симбиотического аппарата бобовых культур зависит не только от количества корневых вздутий, но и их биометрических размеров, а также массы (рис. 3.6).

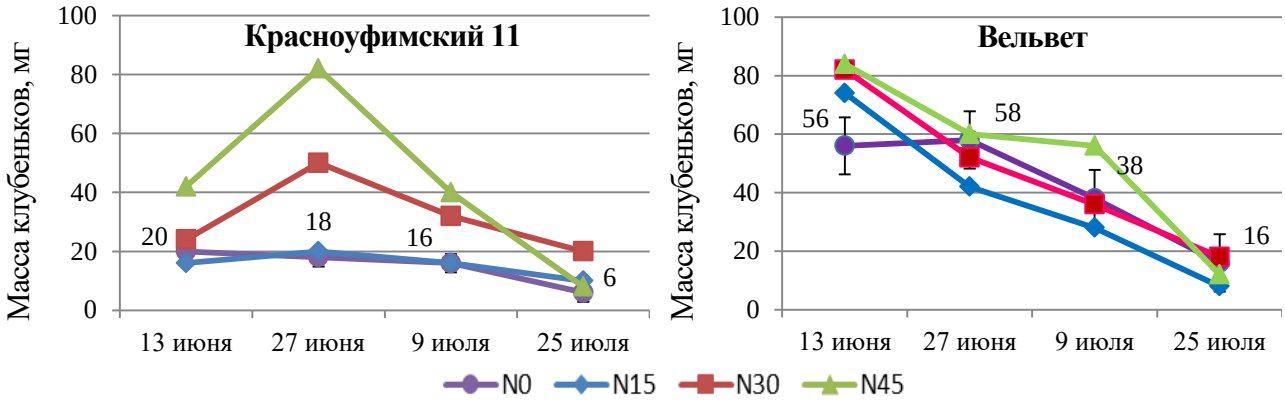


Рисунок 3.6. Влияние доз N-удобрения и инокуляции семян симбиотическими ризобактериями на массу клубеньков на корневой системе гороха

На сорте Красноуфимский 11 существенные различия в массе клубеньков на корневой системе отмечены 27 июня и 9 июля, за счёт внесения азотного удобрения в дозах 30 и 45 кг N/га. На последующем этапе развития, чётких различий отмечено не было. Существенное влияние на массивность симбиотического аппарата у сорта Вельвет оказали все изучаемые дозы азотного удобрения (N15-45) только на начальных этапах развития (13 июня).

Важной характеристикой эффективности работы симбиотического аппарата является крупность клубеньков. Большое количество мелких клубеньков, как правило, не является эффективными и чаще всего они просто паразитируют на растении (Ка-

дермас, 2014). Корневые клубеньки отдельных бобовых культур имеют совершенно разную конфигурацию и размеры. По этому критерию выделяют бобовые трибы фасолевых (*Phaseoleae*) и растения галегоидного комплекса (трибы *Fabeae, Galegae, Trifolieae*), имеющие детерминированные и недетерминированные клубеньки соответственно (Проворов и др., 2020). Для последних, характерно наличие общего пути ассимиляции почвенного и фиксированного азота (Sprent, 2007). Это достаточно серьёзно ограничивает эффективность усвоения растениями фиксированного азота и практически исключает миксотрофный тип питания (Проворов, Онищук, 2019). Для гороха характерно сохранение деления инфицированных растительных клеток только в периферической области, наряду с индукцией дифференцировки бактероидов при помощи NCR-белков (Maunoury et al., 2008). Механизм является сходным с факторами защиты растений от патогенных объектов (Mergaert et al., 2006). Это приводит к непрерывному возобновлению пула N_2-фиксирующих клеток и требует существенных затрат метаболической энергии. Рост недетерминированных клубеньков следует из постоянного увеличения числа инфицированных клеток и их размеров, поэтому клубеньки имеют удлинённую форму.

Формирование клубеньков у гороха начинается в фазу 2-4 настоящих листьев. Их основная масса расположена на местах ответвления боковых корней от центрального проводника и может принимать весьма «причудливые» формы (Посыпанов и др., 2006). Формирование мелких и неактивных клубеньков на корнях происходит в случае, когда недополучено достаточное количество углеводов, накапливаемых в процессе фотосинтеза. Важным критерием, указывающим на физиологическую активность корневых клубеньков, относительно фиксации атмосферного азота, является интенсивность цвета и характер их окраски (Посыпанов, 1991). Эти параметры связаны с заполнением цитоплазмы клеток N_2-фиксирующей зоны клубенька белком леггемоглобином, что придаёт им розовую окраску. Так, сорт клевера Дымковский на дерново-слабоподзолистой почве фиксировал минимальное количество азота атмосферы (105 кг N_2/га) из-за того, что он формировал в основном на боковых корнях мелкие клубеньки зелёного цвета. Сорт Новичок, с розовоокрашенными клубеньками и высоким содер-

жанием элементов питания в их составе, фиксировал максимальное количество азота (160 кг N_2/га) (Литвинова, 2011).

Количество розовых клубеньков достигает пика в период бутонизации – начало цветения (Кадермас, 2014). В процессе жизнедеятельности происходит снижение количества леггемоглобина и обесцвечивание бактероидной ткани (рис. 3.7, 3.8), что приводит к прекращению симбиотической азотфиксации.

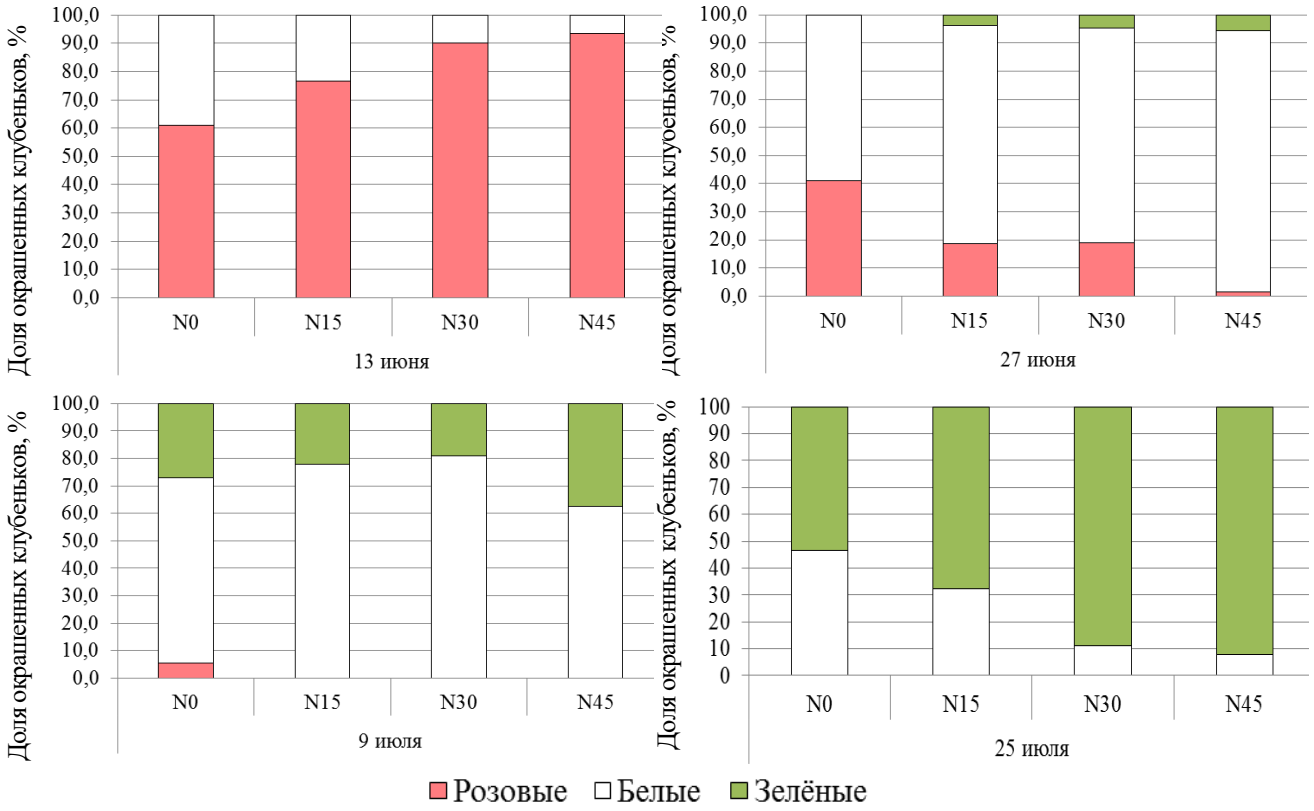


Рисунок 3.7. Влияние N-удобрения и инокуляции семян симбиотическими ризобактериями на физиологическую активность клубеньков (сорт Красноуфимский 11)

Внесение связанного азота с удобрением способствовало увеличению доли равномерно окрашенных розовых клубеньков на начальном этапе развития гороха сорта Красноуфимский 11. Однако в последующем, при внесении N-удобрения, наблюдалось более быстрое обесцвечивание бактероидной ткани. Зафиксировано отмирание и прекращение функционирования клубеньков уже через 8 недель после посева. В период с 27 июня по 9 июля происходило последующее угасание активности клубеньков и сокращение массивности симбиотического аппарата, доля обесцвеченных клубеньков по вариантам составила 62,5…80,9%. На сорте Вельвет также наблюдали увеличение доли равномерно окрашенных розовых клубеньков и быстрое обесцвечивание бактероидной

ткани в вариантах с внесением азота. Прекращение функционирования значительной части клубеньков (73,7…94,4%) зафиксировано уже через 8 недель после посева. Особенностью сорта Вельвет является сохранение части клубеньков до формирования зелёных (плоских) бобов на растениях.

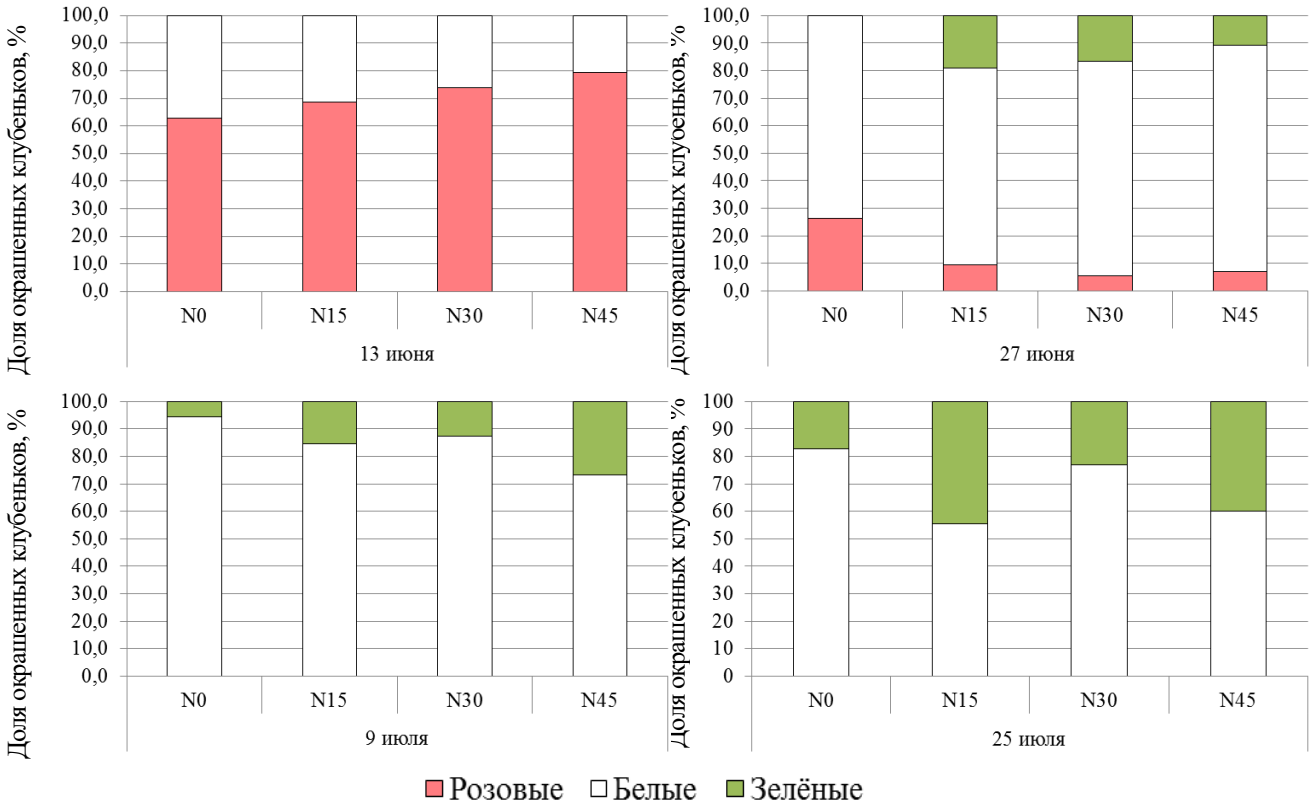


Рисунок 3.8. Влияние N-удобрения и инокуляции семян симбиотическими ризобактериями на физиологическую активность клубеньков (сорт Вельвет)

Количество клубеньков, не зависимо от сорта, достигало максимума в фазу бутонизации – начало цветения. К фазе зелёных (плоских) бобов количество клубеньков значительно уменьшилось или исчезли вовсе. Это связано с прекращением вегетативного развития, активного функционирования и последующим отмиранием корневых систем; со снижением ассимилирующей способности листового аппарата и оттока питательных веществ к корням, «старением» растения.

Менее длительный период функционирования ризобиального симбиотического аппарата и способность к последующей нодуляции зафиксировано у сорта Вельвет уже в третьей декаде июня. При этом существенного влияния азотного удобрения на этот параметр отмечено не было. На сорте Красноуфимский 11, начиная с 27 июня, значения на варианте N_{15} и N_{30} соответствовали или не суще-

ственно отличались от контроля. В свою очередь, на варианте N_{45} наблюдалось значительное ингибирование формирования клубеньковых вздутий, даже на начальных этапах развития растений, что указывает на значительные различия между сортами относительно использования азота из минеральных удобрений.

3.1.2. Реакция гороха на использование удобрений на дерново-подзолистой почве разной степени окультуренности

На соотношение автотрофного и симбиотрофного путей питания азотом у бобовых растений влияют не только генотипические особенности вида и культивируемого сорта. Значительное влияние оказывают эдафические условия, а также уровень плодородия почвы, воздействие которых отражается на нодуляции и активности симбиотических взаимоотношений (Завалин, 2011). При этом отмечается, что внешние факторы могут определять до 80% варьирования симбиотических признаков, и это влияние может быть значительно большим, чем совместное действие макро- и микросимбионта (Новикова, 2018).

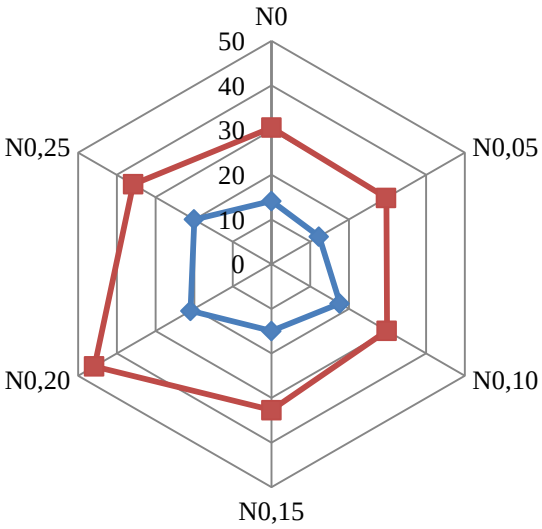
Эффективный симбиоз и азотфиксация является необходимым и первоочередным условием для интенсивного развития растений зернобобовых культур, формирования фотоассимиляционной поверхности и вегетативной массы, получения высоких и устойчивых урожаев зерна. Полноценное развитие и функционирования симбиотического аппарата на корневой системе бобовых культур снижает, а зачастую и полностью удовлетворяет их потребность в азоте. Однако при низкой эффективности азотфиксации, бобовые активно используют азот почвы и удобрений, переходя на автотрофный тип питания (Otieno et. al., 2009).

Доля участия симбиотического азота в общем его потреблении бобовыми растениями колеблется от 0 до 95%, составляя в среднем 30-40…58% в зависимости от уровня плодородия почвы (Дозоров, 2000; Alves et al., 2003; Russell, Birr, 2004; Елисеев, 2014). На низкоплодородной почве азотфиксация снижается из-за недостатка субстрата для диазотрофов. На высокоплодородной почве органического вещества достаточно для функционирования азотфиксирующей системы,

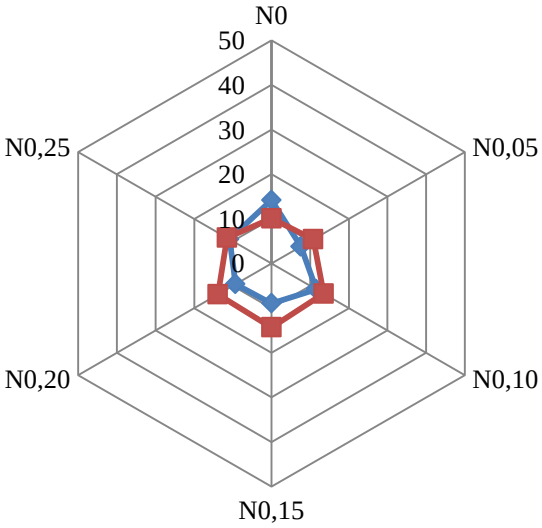
кроме того, потребность растений в азоте удовлетворяется за счет текущей минерализации (Тихонович и др., 2011). Эти положения определяют актуальность более детального изучения эффективности использования N-удобрения при инокуляции семян симбиотическими ризобактериями для повышения продуктивности и азотофиксирующей способности ризобиального симбиотического аппарата у безлисточкового сорта гороха в условиях вегетационного опыта, заложенного на дерново-подзолистой почве разной степени окультуренности (*опыт №3*).

Азотный фонд почвы является важнейшей характеристикой её плодородия. Поведение в почве легкодоступных форм минерального азота (нитратного, аммонийного) в первую очередь связано с её микробиологической и биохимической активностью, поглотительно-выделительной деятельностью растений и микроорганизмов. Это затрудняет выявление общих закономерностей в поведении соединений азота почвы (Белоусова, 2014). Обеспеченность бобовых растений азотом, является необходимым условием формирования и последующего функционирования активного бобово-ризобиального симбиоза (Oldroyd, Dixon, 2014). Для определения обеспеченности растений гороха, учитывали общее содержание минерального азота ($N_{мин.}$) в пахотном слое почвы (рис. 3.9).

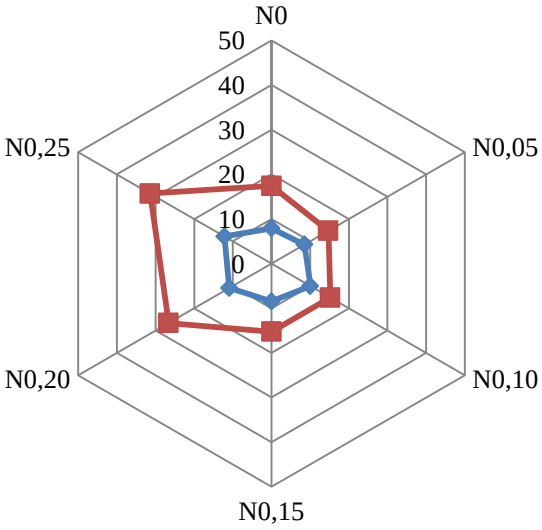
Исследование показали, что обеспеченность почвы минеральным азотом, на начальном этапе развития гороха, была повышенной. Это отчасти может быть обусловлено высокой нитрификационной способностью почвы и интенсивным вовлечением аммиачного азота в процессы окисления. Наиболее контрастные данные по содержанию минерального азота в почве получены в фазу ветвления стебля: на слабоокультуренной почве содержание минерального азота составляло от 12,3 до 20,9 мг/кг почвы, на среднеокультуренной почве – от 29,7 до 45,8 мг/кг почвы. Применение интродуцируемых штаммов ризобий при инокуляции, способствовало более интенсивному проявлению симбиотической активности, в результате чего, растения менее активно использовали почвенные запасы азота.



Ветвления стебля



Бутонизации – начало цветения



Полной спелости семян

– слабоокультуренная – среднеокультуренная

Рисунок 3.9. Динамика содержания минерального азота ($N_{мин}$, мг/кг) в дерново-мелкоподзолистой почве по фазам развития гороха

При содержании в почве 40-50 кг N/га образование розовых клубеньков на корнях клевера задерживается на 10-15 дней. При этом не происходит образование ферментного комплекса нитрогеназы и стимулирование его активности. Избыток NO_3^- в клетке тормозит образование аминокислот из кетокислот и аммиака. В результате снижается синтез леггемоглобина и переход его в активную форму. Однако на хорошо окультуренных почвах этого не происходит под действием азотных удобрений (Трепачев, 1999).

Вопрос азотного питания зернобобовых культур – один из наиболее сложных и до настоящего времени дискуссионный. Поэтому необходимо обобщение отечественного и зарубежного опыта по этому вопросу с тем, чтобы выявить рациональное сочетание при использовании азота минеральных удобрений и накопленного за счет азотфиксации из атмосферы.

При изучении влияния доз азота и инокуляции семян на урожайность зелёной массы гороха получены следующие результаты (табл. 3.2).

Таблица 3.2. Влияние доз N-удобрения и инокуляции семян симбиотическими ризобактериями на урожайность зелёной массы гороха, г/сосуд

Вариант	Срок уборки (фаза развития)			
	ветвления стебля		бутонизации – начало цветения	
	1	2	1	2
N_0	16,7	25,1	49,4	52,4
$N_{0,05}$	20,9	35,4	52,8	69,7
$N_{0,10}$	21,1	40,0	58,6	73,4
$N_{0,15}$	28,3	44,1	59,8	78,8
$N_{0,20}$	34,9	45,5	65,1	84,0
$N_{0,25}$	38,9	53,5	65,7	87,9
Среднее	26,8	40,6	58,6	74,4
$НСР_{05}$	2,36	5,18	7,32	13,10

Примечание. 1 – слабоокультуренная почва, 2 – среднеокультуренная почва, тоже и для других таблиц раздела 3.1.3. Дозы N-удобрения приведены в г N/кг абсолютно сухой почвы

На основании результатов, представленных в таблице 3.2, можно отметить, что при уборке растений гороха на зелёную массу в фазу ветвления стебля урожайность на слабо и среднеокультуренной дерново-мелкоподзолистой почве, составила 16,7…38,9 и 25,1…53,5 г/сосуд сухого вещества соответственно. В более поздний срок уборки (фаза бутонизации – начало цветения) урожайность растений по вариантам опыта увеличилась до 45,7…65,7 и 52,4…87,9 г/сосуд соответ-

ственно. Продуктивность растений на среднеокультуренной почве (в среднем по опыту) на начальной стадии развития (ветвления стебля) превышала в 1,1…1,3 раза. В фазу бутонизации – начало цветения продуктивность гороха на среднеокультуренной почве стала выше в 1,3…1,9 раза.

При возрастании дозировки азотного удобрения от N_0 до $N_{0,25}$ отмечается увеличение продуктивности растений гороха. Окупаемость азотного удобрения в условиях менее окультуренной дерново-подзолистой почвы, в рассматриваемом диапазоне доз, различалась не так существенно. В фазу ветвления стебля она была на уровне 44,0…91,0 г/г N, в фазу бутонизации – начало цветения составляла 65,2…92,0 г/г N. На среднеокультуренной почве отмечалась более существенная отзывчивость растений на использование азотного удобрения (более 100 г/г N). При этом более высокая окупаемость по фазам развития 149…206 г/г N и 210…346 г/г N соответственно, отмечена при использовании азотного удобрения в дозах 0,05 и 0,10 г N/кг почвы.

Листья, стебли, черешки, корни и клубеньки активно аккумулируют азот во время вегетативного развития вплоть до завязывания бобов. Больше всего азота накапливается в листьях. На момент формирования бобов отмечается отток азота из вегетативных органов к формирующимся семенам.

Влияние азотного удобрения и предпосевной обработки семян симбиотическими ризобактериями на содержание азота в зелёной массе растений гороха представлено в таблице 3.3.

Таблица 3.3. Влияние доз N-удобрения и инокуляции семян симбиотическими ризобактериями на содержание N в растениях гороха, %

Вариант	Срок уборки (фаза развития)			
	ветвления стебля		бутонизации – начало цветения	
	1	2	1	2
N_0	1,40	1,82	2,31	2,31
$N_{0,05}$	1,97	2,48	2,76	2,49
$N_{0,10}$	2,22	2,55	2,94	2,61
$N_{0,15}$	2,30	2,70	3,03	2,76
$N_{0,20}$	2,40	2,87	3,57	3,30
$N_{0,25}$	2,48	2,92	3,60	3,46
$НСР_{05}$	0,19	0,40	0,43	0,63

На начальном этапе развития (фаза ветвления), содержание азота в вегетативной массе гороха определялось степенью окультуренности почвы. При последующем учёте в фазу бутонизации – цветения, более высокое содержание азота отмечено на слабоокультуренной почве. Это обусловлено большей отзывчивостью растений гороха на внесение возрастающих доз N-удобрения на менее плодородной дерново-подзолистой почве. В целом по опыту можно наблюдать возрастающий тренд в содержании азота в составе вегетативной массы растений гороха относительно используемых доз азотного удобрения. Следует отметить, что зернобобовые культуры не отзывчивы на минеральный азот удобрений лишь при оптимальных агрохимических свойствах почвы (pH, содержание элементов питания) и эдафических условиях для симбиотической азотфиксации, что в рамках конкретного производства наблюдается достаточно редко.

Эффективность использования N-удобрения и инокулянта для семян, при уборке гороха на зерно, рассмотрена в таблице 3.4.

Таблица 3.4. Влияние доз N-удобрения и инокуляции семян симбиотическими ризобактериями на урожайность зерна гороха, г/сосуд

Вариант	Дерново-подзолистая слабоокультуренная почва		Среднее значение	Дерново-подзолистая среднеокультуренная почва		Среднее значение
	без инокуляции	при инокуляции		без инокуляции	при инокуляции	
N_0	5,87	7,18	6,53	6,60	8,26	7,43
$N_{0,05}$	6,67	7,92	7,30	7,01	8,77	7,89
$N_{0,10}$	4,29	5,44	4,87	6,63	8,30	7,47
$N_{0,15}$	4,68	5,91	5,30	7,06	8,85	7,96
$N_{0,20}$	5,21	7,19	6,20	7,37	9,22	8,30
$N_{0,25}$	6,38	8,29	7,34	6,76	8,46	7,61
Среднее	5,52	6,99		6,91	8,64	
$НСР_{05}$	1,10			0,45		

Согласно полученным результатам, урожайность зерна гороха на среднеокультуренной почве составила 6,91…8,64 г/сосуд, что 1,24-1,25 раза выше, чем в условиях слабоокультуренной почвы. Прибавка урожая от обработки семян гороха микробиальным препаратом перед посевом составила от 1,31 г/сосуд на слабоокультуренной почве, до 1,66 г/сосуд на среднеокультуренной почве. Эффективность инокуляции семян ризобиями была более выраженной по отдельным вариан-

там (1,66…1,85 г/сосуд) и более существенной в среднем по опыту (1,74 г/сосуд), на среднеокультуренной почве.

Влияние доз азота на зерновую продуктивность растений гороха, в условиях слабоокультуренной почвы было не однозначным. Изначально при внесении $N_{0,05}$ отмечается тенденция к увеличению урожайности зерна. В последующем в диапазоне доз от $N_{0,05}$ до $N_{0,20}$ (без инокуляции) и от $N_{0,05}$ до $N_{0,15}$ (при инокуляции посевного материала), наблюдается существенное снижение урожайности. Повышение доз N до 0,25 г/кг почвы, в обоих случаях, способствует существенному росту зерновой продуктивности гороха до 6,38 и 8,29 г/сосуд соответственно. Есть все основания предполагать, что в этих условиях растения посевного гороха, переходят на автотрофный тип питания азотом внесённого удобрения.

На основании урожайных данных, следует сказать об эффективности совместного использования инокуляции посевного материала и минерального азота, в условиях слабоокультуренной почвы при возделывании гороха на зелёную массу. При возделывании гороха на зерно, эффективна односторонняя инокуляция посевного материала микробиальным препаратом.

На почвах разной степени окультуренной, уже при внесении $N_{0,05}$ отмечается повышение урожайности. Однако, существенным уровнем прибавки можно считать только то количество (0,51 г/сосуд), которое получено при использовании инокуляции на среднеокультуренной почве, что подчёркивает необходимость данного приёма, даже в условиях старопахотных участков. Внесение азотных удобрений повышает отзывчивость посевного гороха на использование инокуляции в условия средней окультуренности почвы до уровня 1,70…1,87 г/сосуд. Минимальный уровень зерновой продуктивности, отмечен при внесении минерального азота в дозе 0,10 г/кг почвы. Последующее повышение доз до 0,20 г/кг почвы, способствует росту урожайности гороха до 7,37 г/сосуд – без инокуляции и 9,22 г/сосуд – при использовании инокуляции. Дальнейшее повышение дозы азота до 0,25 г/кг почвы приводит к повышению общей продуктивности растений в ущерб образованию урожая зерна.

Таким образом, при инокуляции посевного материала симбиотическими ризобактериями в условиях слабоокультуренной почвы, максимально высокая урожайность гороха в опыте, при уборке растений на зелёную массу и зерно, получена при внесении 0,25 г N/кг почвы. На среднеокультуренной почве, максимальная урожайность зелёной массы гороха получена также при внесении 0,25 г N/кг почвы, а при возделывании на зерно – 0,20 г N/кг почвы.

Отличительная особенность зернобобовых культур – высокое содержание азота и минеральных веществ в урожае. Влияние азотного удобрения и предпосевной обработки семян штаммами симбиотических ризобактерий на содержание азота в зерне гороха представлено в таблице 3.5.

Таблица 3.5. Влияние доз N-удобрения и инокуляции семян симбиотическими ризобактериями на элементный состав зерна гороха, %

Вариант	N		P_2O_5		K_2O	
	без инокуляции	при инокуляции	без инокуляции	при инокуляции	без инокуляции	при инокуляции
Слабоокультуренная почва						
N_0	2,85	3,07	0,96	0,98	1,17	1,14
$N_{0,05}$	3,04	3,10	0,98	0,97	1,23	1,33
$N_{0,10}$	3,11	3,15	0,92	0,95	1,34	1,23
$N_{0,15}$	3,12	3,16	1,04	0,93	1,24	1,15
$N_{0,20}$	3,14	3,14	1,07	1,02	1,29	1,27
$N_{0,25}$	3,18	3,17	1,01	1,03	1,28	1,29
$НСР_{05}$	0,18		0,12		0,31	
Среднеокультуренная почва						
N_0	3,05	3,23	1,02	0,90	1,27	1,15
$N_{0,05}$	3,20	3,26	1,04	0,96	1,36	1,27
$N_{0,10}$	3,28	3,31	1,08	0,99	1,30	1,19
$N_{0,15}$	3,31	3,36	1,05	1,02	1,25	1,21
$N_{0,20}$	3,32	3,35	1,06	1,03	1,21	1,29
$N_{0,25}$	3,37	3,41	1,01	1,07	1,26	1,21
$НСР_{05}$	0,15		$F_{факт.} < F_{теор.}$		0,32	

С увеличением доз N-удобрения, во все фазы вегетации у гороха возрастало накопление биомассы, абсолютное содержание (концентрация) азота в ней и его накопление растениями. Эта тенденция сохранялась в фазу полной спелости зерна (соломы), а также по выносу азота биологическим урожаем. За счёт инокуляции симбиотическими ризобактериями наблюдалось увеличение накопления азота в зерне на 0,22% (слабоокультуренная почва) и 0,18% (среднеокультуренная почва). За счёт инокуляции, как правило, происходило более интенсивное накопление

азота в зерне и при внесении N-удобрения. По результатам исследований (Завалин, Пасынков, 2007) за счёт использования для инокуляции семян гороха ризобактерий, повышается возможность использования азота в период налива зерна и при использовании возрастающих доз N-удобрения.

Горох относится к культурам со средним потреблением фосфора: 15-17 кг Р/т зерна (Завалин и др., 2019). Важность и необходимость фосфора в питании бобовых культур обусловлена его участием в реакциях окислительного фосфорилирования, которые протекают с образованием АТФ – универсального источника энергии для процесса азотфиксации. В клубеньках бобовых содержится в 2,5 раза больше P_2O_5, чем в корнях (Трепачев, 1999). Инокуляция семян гороха ризобактериями не повлияла на накопление фосфора в составе зерна. Можно лишь сказать о слабой тенденции к увеличению содержания фосфора, при повышении дозировки азотного удобрения. Это можно связать с активизацией физиологических и ростовых процессов, которые сопровождают увеличение продуктивности растений.

Для формирования 1 тонны зерна горох использует 19-31 кг K_2O, соломы – 8-10 кг K_2O. Больше калия в растениях содержится в молодых тканях (Завалин и др., 2019). Участие в регуляции углеводного обмена делает калий причастным к ассимиляции CO_2 и симбиотической азотфиксации бобовыми растениями. Его содержание в зерне находилось в диапазоне от 1,14% до 1,36%. Степень окультуренности дерново-подзолистой почвы и использование инокуляции для предпосевной обработки семян, существенно не повлияло на накопление калия в составе зерна гороха. Использование N-удобрения косвенно отразилось на накоплении калия в зерне и не имела прямой зависимости с рассматриваемым интервалом дозировок.

Использование удобрений и других агротехнических приёмов должным образом отражается на урожайности не только основной, но и побочной продукции сельскохозяйственных культур (табл. 3.6). Выход сухой массы соломы в среднем по опыту составил 5,85…7,09 г/сосуд. За счёт увеличения уровня окультуренности почвы урожайность соломы, учитывая всю совокупность значений, увеличилась на 0,90 г/сосуд или 14,9%. Инокуляция также способствовала существенному

увеличению урожайности соломы гороха. На слабоокультуренной почве прибавка составила 0,26 г/сосуд, на среднеокультуренной почве – 0,49 г/сосуд.

Таблица 3.6. Влияние доз N-удобрения и инокуляции семян симбиотическими ризобактериями на массу соломы гороха, г/сосуд

Вариант	Дерново-подзолистая слабо-окультуренная почва		Среднее значение	Дерново-подзолистая среднеокультуренная почва		Среднее значение
	без инокуляции	при инокуляции		без инокуляции	при инокуляции	
N_0	4,65	4,91	4,78	5,56	6,05	5,81
$N_{0,05}$	5,09	5,27	5,18	6,34	6,72	6,53
$N_{0,10}$	5,49	5,79	5,64	6,66	6,90	6,78
$N_{0,15}$	6,17	6,54	6,36	7,04	7,29	7,17
$N_{0,20}$	6,52	6,73	6,63	7,38	7,71	7,55
$N_{0,25}$	7,15	7,81	7,48	7,35	7,89	7,62
Среднее	5,85	6,76		6,72	7,09	
$НСР_{05}$	0,23			0,34		

При использования азотного удобрения (в дозах 0,05-0,20 г N/кг) на слабоокультуренной почве, урожайность соломы, на фоне инокуляции семян симбиотическими ризобактериями, увеличилась на 0,18…0,66 г/сосуд. На более окультуренной почве прибавки от инокуляции, на фоне азотного удобрения, составляли 0,24…0,54 г/сосуд. Использование активных штаммов ризобактерий способствовало формированию симбиотического аппарата и активизации процесса N-фиксации. Это определённым образом отобразилось на индуцировании ростовых процессов и нарастание вегетативной массы, сопровождаемое увеличением ассимиляционной поверхности растений.

Применение азотного удобрения также оказывало стимулирующее влияние на развитие и урожай соломы гороха. На дерново-подзолистой слабоокультуренной почве прибавки урожайности составили 0,44…2,50 г/сосуд. Использование инокулянта усилило отдачу от N-удобрения до 0,36…2,90 г/сосуд. На почве среднего уровня окультуренности прибавки урожайности от N-удобрения составили 0,78…1,79 г/сосуд. За счёт использования микробиального препарата для инокуляции семян, наблюдалось снижение отзывчивости растений гороха на N-удобрение. На основании представленных результатов, можно сказать о наблюдаемом синергическом эффекте от внесения N-удобрения на фоне инокуляции семян гороха перед посевом ризобиями, в условиях слабоокультуренной дерново-подзолистой почвы.

С ростом и развитием растений происходит изменение не только биометрических размеров, но и химического состава развивающихся органов. Снижение физиологической активности процессов в их составе по мере созревания, сопровождается уменьшением концентрации элементов и питательных веществ. Вместе с этим, общей характерной чертой для гороха является значительное накопление азота, фосфора, калия не только в зерне, но и соломе. Результаты по влиянию азотного удобрения и предпосевной обработки семян симбиотическими ризобактериями на элементный состав соломы гороха в фазу полной спелости семян представлены в таблице 3.7.

Таблица 3.7. Влияние доз N-удобрения и инокуляции семян симбиотическими ризобактериями на элементный состав соломы гороха, %

Вариант	N		P_2O_5		K_2O	
	без инокуляции	при инокуляции	без инокуляции	при инокуляции	без инокуляции	при инокуляции
Слабоокультуренная почва						
N_0	1,13	1,29	0,55	0,68	0,93	1,02
$N_{0,05}$	1,31	1,37	0,51	0,60	1,15	0,97
$N_{0,10}$	1,47	1,42	0,53	0,66	1,18	0,98
$N_{0,15}$	1,49	1,55	0,54	0,67	1,16	1,09
$N_{0,20}$	1,58	1,57	0,57	0,69	1,19	1,14
$N_{0,25}$	1,57	1,52	0,63	0,66	0,96	1,11
$НСР_{05}$	0,17		0,10		0,19	
Среднеокультуренная почва						
N_0	1,37	1,44	0,59	0,67	1,31	1,27
$N_{0,05}$	1,45	1,56	0,69	0,73	1,32	1,34
$N_{0,10}$	1,51	1,54	0,65	0,75	1,35	1,43
$N_{0,15}$	1,62	1,55	0,55	0,64	1,36	1,38
$N_{0,20}$	1,61	1,44	0,70	0,84	1,35	1,46
$N_{0,25}$	1,72	1,41	0,63	0,55	1,28	1,38
$НСР_{05}$	0,13		0,14		0,24	

По результатам наших исследований было установлено, что содержание азота в соломе варьировало от 1,13% до 1,58% на слабоокультуренной почве и от 1,37% до 1,72% на среднеокультуренной почве. Предпосевная инокуляция семян ризобиями не оказала существенного влияния на содержание азота в соломе. Хотя в отсутствии внесения N-удобрения на слабо и среднеокультуренной почве отмечается тенденция к увеличению накопления азота в урожае побочной продукции.

Содержание фосфора (P_2O_5) в соломе в соответствии с уровнем плодородия почвы изменяется соответственно от 0,50% до 0,69% и от 0,55% до 0,75% на сла-

бо и среднеокультуренной почве. При использовании биопрепарата отмечалось существенное увеличение содержания фосфора в соломе на 0,12…0,13% при отсутствии N-удобрения и внесении 0,10-0,20 г N/кг почвы на менее окультуренной почвенной разности. На среднеокультуренной почве следует отметить схожую тенденцию. Однако существенного увеличения содержания фосфора в соломе при использовании инокулянта, отмечено не было.

Содержание калия в соломе, с учётом степени окультуренности почвы, варьировало от 0,93…1,19% до 1,27…1,46%. Более высокая обеспеченность почвы подвижным калием, обуславливала его интенсивное использование растениями гороха и накопление в урожае побочной продукции. Влияние инокуляции ризобактериями на содержание калия в соломе было достаточно опосредованным, существенного увеличения накопления калия, отмечено не было.

Внесение возрастающих доз N-удобрения отразилось не однозначно на элементном составе урожая побочной продукции. Следует сказать о существенном увеличении накопления азота в соломе гороха на 0,48-0,59% в условиях среднеокультуренной почвы при внесении $N_{0,15-0,20}$ в отсутствии инокуляции. При использовании бактериального препарата, таких «не производственных» издержек азота отмечено не было. Применение инокулянта способствует более интенсивному накоплению N-содержащих соединений в растениях гороха и их последующему более полному оттоку в созревающие семена. Влияние азотного удобрения также было отмечено на накоплении содержания K_2O в соломе в условиях слабоокультуренной почвы.

Проведение исследований в условиях вегетационного опыта позволяют произвести оценку влияния рассматриваемых приёмов на развитие корневой системы гороха и выявить некоторые тенденции (табл. 3.8). Накопление массы сухого вещества корневых остатков в опыте наблюдалось до момента полного созревания культуры. Более интенсивное развитие корневой системы гороха, при других равных условиях, наблюдалось на среднеокультуренной почве. Прежде всего, это определялось интенсивностью развития растений и только потом, количеством и доступностью элементов питания в почве.

Таблица 3.8. Влияние доз N-удобрения и инокуляции семян симбиотическими ризобактериями на выход корневых остатков гороха, г/сосуд

Вариант	Срок уборки (фаза развития)							
	ветвления стебля		бутонизации – начало цветения		полной спелости			
	при инокуляции				без инокуляции		при инокуляции	
	1	2	1	2	1	2	1	2
N_0	2,33	2,67	3,96	4,48	4,16	5,32	4,83	5,76
$N_{0,05}$	3,00	3,42	4,78	5,37	5,23	7,55	5,36	7,89
$N_{0,10}$	3,73	4,24	4,87	5,52	5,62	7,72	6,71	8,09
$N_{0,15}$	3,91	4,47	5,33	6,01	5,77	7,90	7,23	8,64
$N_{0,20}$	4,48	5,11	5,47	6,18	7,50	8,26	7,83	8,93
$N_{0,25}$	4,73	5,39	5,40	6,07	7,74	8,93	8,42	9,05
Среднее	3,70	4,22	4,97	5,61	6,00	7,61	6,73	8,06
$НСР_{05}$	0,40		0,53		1,12		0,86	

Обработка семян бактериальным препаратом способствует увеличению выхода сухой массы корневых остатков гороха. На почве слабой степени окультуренности, в отсутствии внесения N-удобрения, прибавка массы корневых остатков гороха составила 16,1%. При использовании азотного удобрения $N_{0,05-0,15}$ прибавка от инокуляции сохранялась на уровне 19,4…25,3%. Последующее увеличение дозировки ($N_{0,20-0,25}$) привело к сокращению прибавки до 4,4…8,8%. На среднеокультуренной почве, в отсутствии внесения N-удобрения, прибавка от использования бактериального препарата была существенно ниже – 8,3%. В этих условиях внесение N-удобрения не обеспечивало более интенсивного развития корневой системы гороха даже за счёт использования инокуляции, а при более высокой дозировке ($N_{0,25}$) даже ограничивало её развитие.

За счёт внесения в почву азотного удобрения, у гороха наблюдается усиление ростовых процессов. Эти изменения фиксируются по морфо-биометрическим параметрам не только надземной части растений, но и корневых систем. За счёт использования N-удобрения при инокуляции семян ризобиями, наблюдается более активное формирование вторичной корневой системы и увеличение массы корневых остатков гороха. Прибавки в выходе сухой массы корневых систем, в фазу ветвления стебля, от использования азотного удобрения на слабоокультуренной почве составили 0,67…2,40 г/сосуд, на среднеокультуренной – 0,75…2,72 г/сосуд. Отмеченная тенденция наблюдалась и при последующем развитии гороха. В фазу бутонизации – начало

цветения прибавки в массе корневых систем растений, в соответствии с окультуренностью почвы составили 0,82…1,51 г/сосуд и 0,89…1,70 г/сосуд соответственно. Максимальные прибавки в опыте (3,59 г/сосуд и 3,29 г/сосуд), в фазу полной спелости зерна, были отмечены на слабо и среднеокультуренной почве от внесения $N_{0,25}$.

По мере созревания урожая гороха наблюдалось снижение концентрации N, P_2O_5, K_2O в соломе и других вегетативных частях растений. Особенно резкое снижение было отмечено по азоту, калию и меньше по фосфору. Обозначенная тенденция была правомерна и относительно элементного состава корневой системы гороха (табл. 3.9).

Таблица 3.9. Влияние доз N-удобрения и инокуляции семян симбиотическими ризобактериями на содержание N в корневых остатках гороха, %

Вариант	Срок уборки (фаза развития)							
	ветвления стебля		бутонизации-начало цветения		полной спелости			
	при инокуляции				без инокуляции		при инокуляции	
	1	2	1	2	1	2	1	2
N_0	1,58	1,67	1,12	1,27	0,97	1,09	1,11	1,15
$N_{0,05}$	2,18	1,85	1,45	1,29	1,13	1,10	1,30	1,10
$N_{0,10}$	2,40	2,06	1,60	1,32	1,20	0,99	1,45	1,24
$N_{0,15}$	2,34	2,21	1,63	1,38	1,28	1,01	1,21	1,17
$N_{0,20}$	1,99	2,18	1,56	1,35	1,14	0,89	1,19	1,12
$N_{0,25}$	1,81	2,45	1,21	1,39	0,95	1,12	1,13	1,05
$НСР_{05}$	0,33		0,18		0,17		0,12	

В фазу ветвления стебля содержание азота в корневой системе на слабоокультуренной почве изменяется от 1,58 до 2,40%, на среднеокультуренной – от 1,67 до 2,45%. Наименьшее накопление азота в биомассе корней 1,58 и 1,67% отмечается в отсутствии N-удобрения. Более высокое накопление азота на слабоокультуренной почве было получено при внесении 0,10 г N/кг почвы, на среднеокультуренной почве – 0,25 г N/кг.

С появлением аттрагирующих центров в растениях, которыми к фазе бутонизации – начало цветения являются клубеньки на корневой системе гороха, а к моменту созревания – семена, наблюдается выраженный отток питательных веществ. Накопление азота, с учётом окультуренности почвы, снизилось на 0,46…0,80% (слабоокультуренная) и 0,40…1,06% (среднеокультуренная). К моменту созревания гороха нисхо-

дящий тренд накопления азота в составе корневой системы сохранился. Более отчётливо это прослеживалось в отсутствии инокуляции семян.

Влияние инокуляции семян симбиотическими ризобактериями на содержание N в корневой системе гороха было следующим. При бактеризации наблюдалось накопление N в корнях при созревании зерна. Это указывает на более высокую активность и сохранение функционирования корневой системы, что положительно сказывается на поступлении и накоплении N в формирующихся зёрнах. Сохранность активного физиологического состояния корневой системы находится в тесной координации с работой фотосинтетического аппарата бобовых культур, от действия которого зависит не только поток ассимилятов к плодам, но и возможности симбиотрофного питания азотом.

Использование N-удобрения стимулировало работу и развитие корневой системы, накопление в её составе азота. В фазу ветвления стебля на 0,18…0,82%, бутонизации – начало цветения на 0,02…0,51%, полной спелости в среднем по опыту на 0,05…0,07%. Однако, зачастую эта тенденция сменялась снижением количества азота в корнях, при превышении условного порога в дозировке N-удобрения. Наибольшее содержание азота в корневых остатках гороха посевного в опыте (2,05…2,07%), независимо от доз азотного удобрения и инокуляции биопрепаратом, наблюдается в фазу ветвления стебля и совпадает с наиболее активным периодом в процессе формирования симбиотического аппарата. По мнению А.А. Завалина и др. (2019), содержание азота в бобово-ризобиальном комплексе может оставаться на низком уровне в результате быстрого переноса азотсодержащих веществ из бактероида в ткани растения, даже не смотря на высокую азотфиксирующую активность. Благодаря этому, в системе поддерживается высокая активность нитрогеназы, что обеспечивает экологическую целесообразность взаимодействия организмов. Существенных различий по содержанию азота в составе корневых остатков, в зависимости от уровня окультуренности дерново-мелкоподзолистой почвы и используемых доз азота в опыте, не было отмечено.

По развитию надземной массы растений гороха и её соотношения с пожнивными и корневыми остатками можно судить о сбалансированности мине-

рального питания растений, эффективности расходования основных элементов в процессе их выращивания (табл. 3.10).

Таблица 3.10. Соотношение вегетативных частей растений гороха «надземная масса : ПКО» по фазам вегетации

Вариант	Ветвления стебля		Бутонизации – начало цветения	
	1	2	1	2
N_0	7,2	9,4	12,5	11,7
$N_{0,05}$	7,0	10,4	11,0	13,0
$N_{0,10}$	5,7	9,4	12,0	13,3
$N_{0,15}$	7,2	9,9	11,2	13,1
$N_{0,20}$	7,8	8,9	11,9	13,6
$N_{0,25}$	8,2	9,9	12,2	14,5
Среднее	7,2	9,6	11,8	13,2

Соотношение между надземной вегетативной массой растений и корневой системой имело возрастающий тренд на почве слабой и средней степени окультуренности. Варьирование этого показателя на слабоокультуренной почве в фазу ветвления стебля составило 1,2 единицы, против 1,5 единицы на среднеокультуренной почве. К фазе бутонизации – начало цветения отмечался рост соотношения и увеличение варьирования признака. Так, на слабоокультуренной почве диапазон соотношения составил 11,0…12,5, против 11,7…14,5 на среднеокультуренной почве. Выраженной зависимости между дозами азота и соотношением «надземная масса : пожнивно-корневые остатки» по фазам развития не было отмечено. Исключением можно считать тенденцию к увеличению рассматриваемого соотношения при внесении N-удобрения на среднеокультуренной почве в фазу бутонизации – начало цветения.

Использование N-удобрения при инокуляции семян приводит к изменению направленности ростовых процессов и распределения пластических веществ к моменту созревания культуры (табл. 3.11). В случае уборки гороха на зерно, соотношение основной и побочной продукции становится ещё более тесным. Зависит это от количества формируемого зерна на растениях и нарастания вегетативной массы, развития корневой системы. На все эти параметры однозначно влияет внесение азотного удобрения и инокуляция семян симбиотическими ризобактериями.

Таблица 3.11. Соотношение основной и побочной продукции в фазу полной спелости зерна гороха

Вариант	Зерно : солома				Зерно : солома + ПКО			
	без инокуляции		при инокуляции		без инокуляции		при инокуляции	
	1	2	1	2	1	2	1	2
N_0	1,26	1,46	1,19	1,37	0,67	0,70	0,64	0,70
$N_{0,05}$	1,31	1,50	1,11	1,31	0,65	0,62	0,60	0,60
$N_{0,10}$	0,78	0,94	1,00	1,20	0,39	0,40	0,50	0,55
$N_{0,15}$	0,76	0,90	1,00	1,21	0,39	0,41	0,49	0,56
$N_{0,20}$	0,80	1,07	1,00	1,20	0,37	0,48	0,48	0,55
$N_{0,25}$	0,89	1,06	0,92	1,07	0,43	0,50	0,43	0,50
Среднее	0,97	1,16	1,03	1,23	0,48	0,52	0,52	0,58

Следует заметить, что более широкое соотношение между зерном и соломой (1,11…1,50), а также между зерном и суммарным количеством побочной продукции (0,60…0,70), получено в отсутствии внесения N-удобрения или использовании минимальной дозировки ($N_{0,05}$) в опыте. Наблюдаемое снижение обозначенного соотношения, при внесении N-удобрения, означает более существенное увеличение зерновой продуктивности растений, наряду с отмеченным ростом выхода соломы и пожнивно-корневых остатков.

На основании средних значений по опыту, следует сказать, что при инокуляции посевного материала гороха биопрепаратом наблюдается увеличение соотношения между зерном и соломой на слабо и среднеокультуренной почве. Сорта с пониженным отношением соломы к зерну, низким стеблем и крупным озернённым колосом, с мощной корневой системой, скороспелые, устойчивые к полеганию и засухе, и иммунные к болезням и вредителям, в большей степени отвечают рациональному использованию минеральных удобрений (Мерзликин, Абрамкина, 2011). Для более полной реализации этих возможностей нужно повсеместно применять сортовую агротехнику, как обязательный элемент системы земледелия.

По утверждению (Цыбулько и др., 2017) «Система применения азотных удобрений в <…> агроландшафтах должна быть дифференцированной и адаптированной к разным типам земель, обеспечивая минимальные потери азота и эффективное его использование». Эти требования к применению N-удобрений, при возделывании зернобобовых культур, могут быть реализованы при детальной оценке выноса N и его баланса с учётом биологического и сортового потенциала

культур, термо-гидрологических особенностей территории и степени окультуренности почв (Семенов, 1999).

Анализ содержания азота в отдельных частях растений посевного гороха и динамики формирования надземной биомассы в онтогенезе показал, что основная часть N потребляется культурой в период от всходов до фазы бутонизации – начало цветения (табл. 3.12).

Таблица 3.12. Влияние доз N-удобрения и инокуляции семян симбиотическими ризобактериями на вынос N зелёной массой и ПКО гороха, мг/сосуд

Вариант	Срок уборки (фаза развития)					
	ветвления стебля			бутонизации – начало цветения		
	зелёной массой	ПКО	$К_{хоз.}$	зелёной массой	ПКО	$К_{хоз.}$
Слабоокультуренная почва						
N_0	58,5	36,8	0,61	228,2	44,4	0,84
$N_{0,05}$	102,9	65,4	0,61	291,5	69,3	0,81
$N_{0,10}$	117,1	89,5	0,57	344,6	77,9	0,82
$N_{0,15}$	162,7	91,5	0,64	362,4	86,9	0,81
$N_{0,20}$	209,4	89,2	0,70	464,8	85,3	0,84
$N_{0,25}$	241,2	85,6	0,74	473,0	65,3	0,88
Среднее	148,6	76,3	0,65	360,7	71,5	0,83
Среднеокультуренная почва						
N_0	114,2	44,6	0,72	242,1	56,9	0,81
$N_{0,05}$	219,5	63,3	0,78	347,1	69,3	0,83
$N_{0,10}$	255,0	87,3	0,74	383,1	72,9	0,84
$N_{0,15}$	297,7	98,8	0,75	435,0	82,9	0,84
$N_{0,20}$	326,5	111,4	0,75	554,4	83,4	0,87
$N_{0,25}$	390,6	132,1	0,75	608,3	84,4	0,88
Среднее	267,2	89,6	0,75	428,3	75,0	0,85

Внесение N-удобрения способствовало существенному увеличению выноса азота с надземной биомассой гороха посевного. Так, применение $N_{0,05\text{-}0,25}$ перед посевом гороха на слабоокультуренной почве, повысило величину потребления N растениями в фазу стеблевания в 1,8-4,1 раза, на среднеокультуренной почве – 1,9-3,4 раза. Благодаря этому, индекс хозяйственного использования азота ($К_{хоз.}$) соответственно увеличился на 0,03…0,13 и 0,03…0,06 единицы.

Последующее развитие гороха, с учётом предпосевной инокуляции семян симбиотическими ризобактериями, сопровождалось интенсивным потреблением N растениями. При внесении $N_{0,20\text{-}0,25}$ на слабоокультуренной почве вынос азота суммарно превысил 500 мг N/сосуд. На среднеокультуренной почве, потребления N

растениями в фазу бутонизации – начало цветения было ещё более активным. Более чётко это прослеживалось для формирующейся надземной зелёной массы при внесении N-удобрения. В соответствии с этим, происходило увеличение коэффициента полезного использования N до 0,83-0,88.

При наступлении фазы формирования бобов происходит резкое изменение направленности физиолого-биохимических процессов во всех органах растений. Наиболее сильными аттрагирующими центрами становятся семена. Большая часть симбиотически усвоенного азота и других питательных веществ зернобобовые культуры направляют на их формирование. К моменту полного созревания зерна (соломы) наблюдалось снижение интенсивности потребления азота растениями (табл. 3.13).

Таблица 3.13. Влияние доз N-удобрения и предпосевной инокуляции семян симбиотическими ризобактериями на вынос N зерном, соломой и ПКО гороха, мг/сосуд

Вариант	Без инокуляции				При инокуляции			
	зерном	соломой	ПКО	$К_{хоз.}$	зерном	соломой	ПКО	$К_{хоз.}$
Слабоокультуренная почва								
N_0	167,3	52,5	40,4	0,64	220,4	63,3	53,6	0,65
$N_{0,05}$	202,8	66,7	59,1	0,62	245,5	72,2	69,7	0,63
$N_{0,10}$	133,4	80,7	67,4	0,47	171,4	82,2	97,3	0,49
$N_{0,15}$	146,0	91,9	73,9	0,47	186,8	101,4	87,5	0,50
$N_{0,20}$	163,6	103,0	85,5	0,46	225,8	105,7	93,2	0,53
$N_{0,25}$	202,2	112,3	73,5	0,52	263,6	118,7	95,1	0,55
Среднее	169,2	84,5	66,6	0,53	218,9	90,6	82,7	0,56
Среднеокультуренная почва								
N_0	201,3	76,2	58,0	0,60	266,8	87,1	66,2	0,63
$N_{0,05}$	224,3	91,9	83,1	0,56	285,9	104,8	86,8	0,60
$N_{0,10}$	217,5	100,6	76,4	0,55	274,7	106,3	100,3	0,57
$N_{0,15}$	233,7	114,0	79,8	0,55	297,4	113,0	101,1	0,58
$N_{0,20}$	244,7	118,8	73,5	0,56	308,9	111,0	100,0	0,59
$N_{0,25}$	227,8	126,4	100,0	0,50	288,5	111,2	95,0	0,58
Среднее	224,9	104,7	78,5	0,55	287,0	105,6	91,6	0,59

Вынос азота зерном, в большинстве вариантов, превосходил его накопление в соломе и пожнивно-корневых остатках гороха. Наиболее чётко это отмечалось на контроле (N_0) и при внесении $N_{0,05}$. Использование биопрепарата с ризобактериями оказало влияние на накопление и распределение потреблённого азота между основной и побочной продукцией растений. При инокуляции семян гороха, в зерне было дополнительно аккумулировано 38,0…65,5 мг N /сосуд. Аналогичная тенденция наблюдалась для соломы и ПКО, вынос N увеличился на 3,7…31,4

мг/сосуд. Не зависимо от степени окультуренности почвы, наблюдалось увеличение индекса $К_{хоз.}$ для выноса N биологическим урожаем на всём рассматриваемом диапазоне доз N-удобрения. По сообщению (Тихонович и др., 2011), при использовании биопрепаратов на слабо- и высоко плодородной почвах, происходит повышение доли азота удобрения в зерне от общего его накопления в растениях и снижается его количество в побочной продукции и корнях.

Коэффициенты хозяйственного использования N достаточно тесно коррелируют (r = 0,56-0,99) с соответствующими значениями, отражающими соотношение зерно : солома + ПКО. Это указывает на то, что биологический вынос N горохом на 66,1-98,2% на слабоокультуренной и на 31,0-82,4% на среднеокультуренной дерново-подзолистой почве, определяется продуктивностью растений. Различия в объёмах потребляемого и накапливаемого отдельными частями растений N, в соответствии со степенью окультуренностью почвы, не существенны и имели различную тенденцию.

ПКО и солома гороха являются основной составляющей в объёме поступления свежего органического вещества в почву, которое после минерализации выступает не только источником элементов питания, но и субстратом для питания почвенных микроорганизмов, активатором симбиотической азотфиксации для ризобий, основой для продуцирования и эмиссии $C\text{-}CO_2$ и $N\text{-}N_2O$. Даже клубеньки, поступающие в почву в течение периода вегетации гороха, не зависимо от их активности, влияют на микробоценоз почвы, что выражается посредством увеличения накопления минеральных форм N и микробной биомассы (Назарюк, Калимуллина, 2016).

Величина относительного участия N почвы и удобрений в выносе этого элемента урожаем возделываемых культур существенно зависит от ряда условий. Принято считать, что чем выше окультуренность почвы, тем ниже доля участия азота соответствующих удобрений в общем выносе N урожаем (Bowen, Zapata, 1991). В условиях разной степени окультуренности и эродированности почвы, доля почвенных запасов N в структуре выноса элемента с урожаем, обычно выше, чем из удобрений, и может достигать 84-85% (Цыбулько и др., 2008).

Азотфиксация является важным условием в жизнеобеспечении зернобобовых культур. Условия протекания этого процесса отражаются на урожайности и элементном составе растений. В исследованиях Е.П. Трепачёва (1999) азотфиксация у клевера первого года жизни повышалась на 6,8% по сравнению с фоном при внесении 30 кг N/га на слабоокультуренной почве, тогда как на хорошо окультуренной – снижалась на 12,2%. При внесении 60 кг N/га азотфиксация в 1-й год жизни на слабоокультуренной почве снижалась на 21,9%, во 2-ой год – на 21,0%. Сильнее ингибировалась азотфиксация во второй год жизни (30,6%) на хорошо окультуренной почве. Повышение плодородия дерново-подзолистой почвы приводило к снижению азотфиксации и использования азота атмосферы на 2,5…16,9% в абсолютных значениях, при внесении N-удобрения.

Азотфиксирующая способность зернобобовых культур во многом зависит от сохранения численности и активности клубеньковых бактерии. Использование биопрепаратов на основе штаммов азотфиксирующих бактерий, зарубежными и отечественными авторами (Brkić et al., 2004; Geneva et al., 2006; Mfilinge et al., 2014; Baba et al., 2015; Habete, Buraka, 2016) называется одним из наиболее значимых условий, которое влияет на формирование и эффективность функционирования симбиотического аппарата гороха. Поэтому их использование для инфицирования корневых систем растений гороха афильных сортов, является обязательным приёмом современных агротехнологий (Кузмичева, 2011; Кондыков и др., 2012). Вместе с тем известно, что и азотные соединения влияют на симбиотический аппарат бобовых на всех этапах его формирования. Действие проявляется на функционировании самого механизма симбиоза, начиная с образования микробного пула ризосферы и клубеньков, и заканчивая процессом активной азотфиксации (Агафонов и др., 2001; Гурьев, 2014; Телекало, 2014). Припосевное внесение N20-60 кг/га на мощном выщелоченном черноземе не только не подавляло процесс образования клубеньковых бактерий на корнях люцерны, но и стимулировали его (Ригер и др., 2017). Наиболее приемлемыми параметрами для рассмотрения и последующей оценки влияния изучаемых факторов на развитие симбиотического аппарата, является общее количество активных коневых вздутий (клубеньков) и их суммарный вес в пересчёте на 1 растение (табл. 3.14).

Таблица 3.14. Влияние N-удобрения и инокуляции семян активным штаммами ризобактерий на формирование симбиотического аппарата на корнях гороха

Степень окультуренности дерново-подзолистой почвы	Дозы азота	Срок уборки (фаза развития)					
		ветвления стебля		бутонизации – начало цветения		зелёных (плоских) бобов	
		шт.	мг	шт.	мг	шт.	мг
Слабая	N_0	8	34	15	203	4	14
	$N_{0,05}$	-	-	43	125	5	18
	$N_{0,10}$	-	-	4	11	-	-
Средняя	N_0	32	154	36	746	-	-
	$N_{0,05}$	11	108	21	594	3	27
	$N_{0,10}$	13	103	68	382	5	76

На дерново-мелкоподзолистой слабоокультуренной почве формирование симбиотического аппарата в фазу ветвления стебля отмечено только в случае отсутствия дополнительного внесения минерального азота. В условиях среднеокультуренной почвы формирование симбиотического аппарата при внесении минерального азота происходило более активно, увеличивалось общее количество клубеньков и их масса. Показатели масса и количество клубеньков, не зависимо от степени окультуренности почвы, достигают максимума в фазу бутонизации – начала цветения. К моменту появления на растениях бобов, выполняющих роль более сильных аттрагирующих центров для накопления питательных веществ, количество и масса клубеньков значительно уменьшается или исчезают вовсе. Наблюдается ограниченный отток питательных веществ к корням растений, что приводит к прекращению их активного функционирования и последующему отмиранию.

Наряду с использованием инокуляции и азотного удобрения, главным эдафическим фактором, ограничивающим активность симбиоза бобовых культур и азотфиксирующих почвенных микроорганизмов, в том числе на территории Пермского края, является повышенная кислотность почвы (Evans, 2005). Этот показатель особенно важен для сохранения численности пула ризобий в период между посевами зернобобовых культур. Так для почв с pH <5,0 численность *R. leguminosarum bv. viciae* не превышала $3{,}0\times10^2$ КОЕ/1 г почвы, быстро снижалась в отсутствие бобового растения-хозяина и практически исчезала по прошествии 3 лет (Ballard et al., 2004). В этих условиях будет проявляться высокая эффектив-

ность применения инокуляции. Вместе с тем, на кислых почвах уменьшается поглотительная способность корневой системы, увеличивается опробковение внешних тканей перицикла, что существенно осложняет образование корневых волосков и их последующее инфицирование. По мнению ряда авторов (Хакимова и др., 2017; Roumiantseva, Muntyan, 2015) в кислой почве клубеньковые бактерии снижают свою вирулентность и активность, существенно снижается их выживаемость и интенсивность инфицирования корневых волосков (Herridge, 2008). При этом степень влияния кислотности почвы изменяется в зависимости от штаммовой разновидности ризобий. По результатам наших исследований наблюдается снижение массы и количество клубеньков на сильнокислой слабоокультуренной почве по сравнению со слабокислой более окультуренной почвенной разностью. Данный фактор с высокой долей вероятности привел к получению более низкой урожайности на слабоокультуренной почве во все сроки уборки (табл. 3.2, 3.4).

Следует отметить разную отзывчивость растений гороха в условиях разной окультуренности почвы на дозы минерального азота. На слабоокультуренной почве, формирование симбиотического аппарата не происходит должным образом с увеличением дозы азота свыше 0,05 г/кг почвы. На среднеокультуренной почве данный уровень превышен в 4 раза (0,20 г/кг). Применение более высоких доз азота полностью подавляет процесс формирования симбиотического аппарата на корневой системе гороха. Происходит переход растений на автотрофное потребление азота почвы и последующее его накопление в составе вегетативной массы и зерна. Единовременное внесение более высоких доз азотного удобрения оказывают угнетающее действие на развитие симбиотического аппарата, формирующегося на корневой системе, что в последующем отражается на продолжительности активного функционирования ассимилирующей поверхности растений гороха посевного в условиях слабо и среднеокультуренной почвы.

Фиксация атмосферного азота клубеньковыми бактериями в симбиозе с бобовыми культурами начинается примерно на 15-20-й день после появления всходов, но в начале вегетационного периода N из атмосферы потребляется медленно (Завалин, 1998). Продолжается этот процесс до созревания семян и последующего старения

растений, а заметная его активность наблюдается в фазе бутонизации – начало цветения. Об этом косвенно можно судить по морфо-биометрическим параметрам самих клубеньков и их элементному составу (табл. 3.15). Согласно полученным результатам, можно отметить, что наибольшее накопление азота в клубеньках гороха наблюдается в фазу бутонизации – начало цветения. В условиях слабоокультуренной почвы содержание азота варьировало от 4,35% до 4,91%. На более окультуренной почвенной разности накопление азота было выше на 19,3…36,3%.

Таблица 3.15. Влияние N-удобрения и инокуляции семян активным штаммами ризобактерий на содержание N в клубеньках по фазам развития, %

Степень окультуренности дерново-подзолистой почвы	Доза азота	Фазы уборки		
		ветвления стебля	бутонизации – начало цветения	зелёных (плоских) бобов
Слабая	N_0	2,35	4,41	1,57
	$N_{0,05}$	-	4,91	2,58
	$N_{0,10}$	-	4,35	-
Средняя	N_0	2,73	5,32	-
	$N_{0,05}$	3,24	5,86	1,62
	$N_{0,10}$	3,38	5,93	2,93

За счёт использования азотного удобрения в условиях среднеокультуренной почвы наблюдалась тенденция к увеличению накопления азота в составе клубеньков. Это может свидетельствовать о высокой активности происходящих физиологических процессов, связанных с усвоением атмосферного азота, а также включении механизма со стороны макросимбионта, который ограничивает последующее усвоение азота биологическим путём. Последующее развитие гороха и его симбиотического аппарата, сопровождается снижением накопления азота в клубеньках на 47,5…64,4% и 50,6…72,4% соответственно.

3.2. Влияние азотного удобрения на урожайность гороха посевного в одновидовом и смешанных агроценозах с пшеницей яровой

В условиях Пермского края в 2021 году яровые зерновые культуры посеяны на 223,4 тыс. га пахотных сельхозугодий. В структуре посева преобладают традиционные злаковые культуры: пшеница 102,7 тыс. га, ячмень 65,4 тыс. га, овёс 48,7

тыс. га. Сегменту зернобобовых культур, из которых основная доля приходится на горох, отводится только 1,6% зернового клина или 3,5 тыс. га (https://agro.permkrai.ru). Из этого количества, все посевы вики посевной и вики озимой, а также большая часть посевов гороха представлена смешанными агроценозами. Совместное возделывание зерновых бобовых и злаковых культур в смешанных агроценозах, имеет дифференцированный и, в то же время, универсальный характер использования (Huňady, Hochman, 2014). При наличии в хозяйстве смешанных посевов зерновых культур, имеется возможность их уборки на зелёную массу, сенаж, зерносенаж и зерно. Популярность для научных исследований и хозяйств региона представляют посевы гороха, вики и люпина с ячменём, овсом (Осокин и др., 2002; Захарова и др., 2006; Елисеев и др. 2009, 2014; Макарова и др., 2010; Ренева и др., 2013; Матолинец и др., 2014; Биянова, Ренев, 2018). Особого внимания заслуживают агроценозы разных по морфологии и направлению использования сортов зернобобовых культур (Елисеев, 2002, 2014; Eliseev et al., 2014; Петрухина, 2015; Ренёв, Биянова, 2017; Алёшин, Михайлова, 2020). Продуктивность культур в смешанных посевах во многом определяется биологическими особенностями конкретного вида и сортовой принадлежность совместно высеваемых культур, соотношением компонентов в высеваемых смесях и формируемых агроценозах. Большое влияние также оказывают почвенно-климатические условия и применяемые удобрения.

Зерносенаж. На основании полученных результатов следует отметить, что большей пластичностью к климатическим и почвенным условиям при возделывании на зерносенаж, среди изучаемых видов, характеризовалась яровая пшеница. Без удобрений её урожайность по годам составила 6,0…7,6 т/га. Горох, при тех же равных условиях, формировал урожайность на уровне 5,3…6,6 т/га. Более высокий уровень урожайности 7,0…12,8 т/га, во все годы исследований (прил. 21), был получен в смешанных посевах. Выращивание бобовых и злаковых культур в смешанных агроценозах отличается меньшей генетической (Neamatollahi et al., 2013) и экологической уязвимостью (Dyer et al., 2012) со стороны вредных объектов (болезней, вредителей, сорных растений); более устойчивым уровнем урожайности по годам, благо-

даря возможности компенсирующего развития компонентов посева, при возникновении трудностей на одном из этапов онтогенеза и последующем процессе формировании урожая одной из культур.

Гидротермические условия в периоды вегетации обусловили существенные различия в продуктивности одновидовых и смешанных агроценозов, и их отзывчивости на уровни азотного питания по годам проведения полевых исследований. Более существенное преимущество в уровне урожая смешанных ценозов, относительно одновидовых посевов, было зафиксировано в 2012 г. По итогу вегетационного периода этого года урожайность в одновидовом посеве была выше у гороха, в остальные годы (2013, 2014 гг.), выше урожайность была у пшеницы. Возрастающий уровень азотного питания, как по годам проведения исследований, так и в среднем за 3 года (табл. 3.16), был условием повышения и соответствующего дифференцирования урожайности агроценозов.

Таблица 3.16. Урожайность зерносенажной массы одновидовых и смешанных агроценозов пшеницы и гороха при влажности 55%, т/га (среднее за 3 года)

Состав агроценоза (фактор А)		Дозы азота (фактор В)			Среднее по А
		N0	N30	N60	$НСР_{05}$ гл. эфф. = 2,3
Пшеница 100 %		5,9	6,5	7,6	6,7
Пшеница 75 % + горох 25 %		7,0	7,6	8,4	7,6
Пшеница 50 % + горох 50 %		8,3	9,6	10,8	9,6
Пшеница 25 % + горох 75 %		9,2	10,8	12,1	10,7
Горох 100 %		5,3	5,9	7,1	6,1
Среднее по В, $НСР_{05}$ гл. эфф. = 0,3		7,1	8,1	9,2	
$НСР_{05}$ для частных различий по фактору	А	4,0			
	В	0,8			

В среднем за годы проведения исследований за счёт увеличения доли гороха (25%-50%-75%) в высеваемой смеси, происходило увеличение урожая зерносенажной массы на 0,9, 2,9 и 4,0 т/га соответственно. Однако существенные различия в уровне урожая, только при увеличении присутствия бобового компонента в смеси до 50% и выше. Более высокая урожайность зерносенажа среди изучаемых смешанных агроценозов (8,3-10,8…9,2-12,1 т/га), не зависимо от уровня азотного питания, получена при равном соотношении компонентов (пшеница 50% + горох 50%) и при преобладании бобового сегмента (пшеница 25% + горох 75%) в смеси.

В отмеченных агроценозах доказана эффективность использования обеих доз (N30, N60) азотного удобрения.

Увеличение уровня азотного питания (N0→N30→N60) сопровождалось выраженным действием во все годы проведения исследований. В среднем за 3 года прибавки составили 1,0 и 2,1 т/га соответственно. Отзывчивость одновидовых посевов на внесение азота в дозах 30 и 60 кг/га составила 0,6…1,7 т/га (пшеница) и 0,6…1,8 т/га (горох). Отклик злакового компонента на использование N-удобрения обусловлен биологическими особенностями развития злаковых культур и зачастую выступает в качестве фактора, лимитирующего уровень их продуктивности на дерново-подзолистых почвах Предуралья (Косолапова и др., 2017). Растения посевного гороха способны не менее эффективно использовать азот почвы и минеральных удобрений в процессе вегетации (Титова, Малышева, 2017). При этом может наблюдаться частичный или даже полный отказ представителей данного семейства от симбиотрофного типа питания азотом атмосферы (Назарюк, Калимуллина, 2016). В свою очередь, азот минеральных удобрений (особенно в нитратной форме) уже через 7 часов способен оказывать ингибирующее действие на развитие симбиотического ризобиального аппарата бобовых культур (Akinori et al., 2014). По результатам исследований (Oldroyd et. al., 2011; Cao et. al., 2017), на последующем этапе развития бобовые культуры могут самостоятельно регулировать количество клубеньков на корнях и степень развития ризосферных симбионтов, в зависимости от обеспеченности почвы доступными для питания формами азота и характера взаимоотношений, прежде всего степени проявления конкуренции, в рамках одно- и поливидовых посевов.

Отзывчивость смешанных агроценозов на внесение N-удобрения была ещё более высокой (0,7-1,6…1,5-2,9 т/га), что связано с более интенсивным потреблением и использованием азота удобрения. В подтверждение полученных данных, можно привести результаты исследований (Пасынкова, 2010), в которых указывается на более интенсивное (в 1,88…2,76 раза) поглощение азота пшеницей и викой в смешанных посевах на протяжении всего периода вегетации относительно одновидовых посевов.

Увеличение доли гороха в составе смешанных посевов с 25% до 50% и далее до 75% соответственно, приводит к повышению их отзывчивости на дозы азота: N30 с 0,7 до 1,3 и 1,6 т/га; N60 с 1,5 до 2,5 и 2,9 т/га. Данное положение можно объяснить снижением видовой конкуренции между культурами, относительно использования доступного количества азота почвы и удобрений (Li et al., 2011; Мищихина, Михайлова, 2017), которая наблюдается благодаря снижению доли злакового компонента в составе посева; последующим переводом и выстраиванием взаимоотношений в рамках агроценоза по типу протокооперации на основании принципов комплементарности (Agegnehu et. al., 2006; Кононов и др., 2017). Проявление этих принципов между компонентами смешанных агроценозов пшеницы и гороха связано с развитием корневых систем и архитектоникой надземной массы. Разница в морфологическом строении корневой системы способствовала охвату большего объёма почвы и равномерному расходованию питательных элементов. Прочная соломина, а в последующем и колос яровой пшеницы, исполняли роль поддерживающего компонента, благодаря которому происходило чёткое вертикальное ориентирование стеблей гороха. Данная особенность позволила бобовому компоненту в последующем занять максимальное количество свободного межрядового пространства в посеве, обеспечивая большую ассимилирующую поверхность листового аппарата.

Учитывая совокупность воздействия изучаемых факторов, следует отметить, что наибольшая урожайность (12,1 т/га) была получена при возделывании пшеницы и гороха в смеси (пшеница 25% + горох 75%) при внесении N60. Смешанный агроценоз, формируемый при посеве указанным рецептурным составом, отличался выстроенной и последовательной отзывчивостью на уровни азотного питания (N30 +1,6 т/га; N60 +2,9 т/га) благодаря фенологической, морфологической совместимости культур, их отношению к почвенно-климатическим условиям и обеспеченности почвы элементами питания. Агрофон, созданный при внесении N-удобрения, обуславливал интенсивность питания культур, снижение напряжённости во взаимодействии и конкурентных отношениях между видами. Отмечено существенное удлинение межфазных периодов и затягивание момента перехода к развитию генеративных частей растений

(особенно у бобовой культуры). Наблюдалось формирование более высокорослых и облиственных растений, что является одним из ключевых критериев при уборке посевов для заготовки объёмистых кормов.

Зерно. Семенная продуктивность одновидовых и смешанных агроценозов, их отзывчивость на уровни азотного питания по годам исследований, имели некоторые различия, ввиду отличных между собой гидротермических условий в периоды вегетации 2012-2014 гг. (прил. 22). Интенсивному развитию растений, формированию полноценного ассимиляционного фотосинтетического аппарата и урожайности зерна (табл. 3.17), проявлению эколого-генетического потенциала выращиваемых сортов, способствовала теплая погода при отсутствии резких перепадов температуры в течение суток, с достаточным, а порою и с несколько избыточным уровнем осадков.

Таблица 3.17. Урожайность зерна одновидовых и смешанных агроценозов пшеницы и гороха, т/га (среднее за 3 года)

Состав агроценоза (фактор А)		Дозы азота (фактор В)			Среднее по А, $НСР_{05}$ гл. эфф. = 0,40
		N0	N30	N60	
Пшеница 100 %		2,42	2,78	3,02	2,74
Пшеница 75 % + горох 25 %		2,77	3,00	3,42	3,07
Пшеница 50 % + горох 50 %		3,00	3,21	3,27	3,16
Пшеница 25 % + горох 75 %		2,65	2,68	2,30	2,54
Горох 100 %		2,39	2,34	1,99	2,24
Среднее по В, $НСР_{05}$ гл. эфф. = 0,14		2,65	2,80	2,80	
$НСР_{05}$ для частных различий по фактору	А	1,03			
	В	0,32			

В отсутствии внесения азотного удобрения урожайность одновидовых посевов яровой пшеницы и гороха посевного по годам составила 1,74-3,46 и 2,07-2,71 т/га соответственно. Изменение уровня питания за счёт внесения азотного удобрения не однозначно отразилось на величине семенной продуктивности опытных культур. Учитывая видовые особенности развития и созревания урожая, связанные с периодом потребления элементов питания и функционированием корневых систем, механизмами, отвечающими за накопление и последующий отток ассимилятов, развитие симбиотического ризобиального аппарата (бобовой культуры), изменения урожайности в рамках применяемого диапазона доз N для яровой пшеницы имеют прямой линейный характер (R^2 = 0,99; y = 0,298 × X + 2,143) и обратный линейный (R^2 =

0,85; y = -0,198 × X + 2,637) для посевного гороха. Отзывчивость культур на дозы N-удобрения, приводила к соответствующему изменению урожайности компонентов и в смешанных агроценозах.

Варьирование урожайности смешанных посевов за 3 года составило в среднем 0,28…0,79 т/га (табл. 3.17). За счёт увеличения доли пшеницы (25%-50%-75%) в рецептуре смесей, происходило увеличение урожая зерна на 0,30 – 0,92 – 0,83 т/га соответственно. Существенные отличия в уровне урожая получены при увеличении доли злакового компонента в смеси свыше 25%. По урожайности зерна смешанный посев пшеница 50% + горох 50% превосходил одновидовые агроценозы пшеницы в 2013-2014 гг., гороха во все годы проведения исследований. Растения пшеницы, высеянные половинной нормой, в полном объёме справляются с ролью поддерживающего компонента в составе смешанного посева. Создаются благоприятные условия для протекания в почве симбиотической азотфиксации, формирования урожая зерна гороха и его последующей механизированной уборки.

Видовая принадлежность культур определяла степень и характер отзывчивости одновидовых агроценозов на уровни азотного питания. Среди одновидовых посевов высокой отзывчивостью на внесение N-удобрения отметились агроценозы пшеницы, прибавка урожайности составила 0,36 (N30)…0,60 (N60) т/га. За счёт увеличения уровня азотного питания увеличивалась облиственность растений, происходила закладка большего количества колосков и зёрен в соцветиях яровой пшеницы, наряду с увеличением числа и продуктивности плодоносящих узлов у гороха. Зафиксировано затягивание момента перехода к развитию генеративных частей растений. Указанный параметр наиболее отчётливо прослеживался при развитии гороха. Его растения в монопосеве, не менее интенсивно использовали азот из почвы и удобрения. Наблюдалось значительное затягивание межфазных периодов (до 10-12 дней), избыточный рост вегетативной массы, неравномерность созревания бобов на растениях, сильное (порою до полного) полегание посевов, наличие большого числа зелёных горошин в составе зернового вороха. Итогом увеличения уровня азотного питания в посеве гороха являлось снижение урожайности. Учитывая обозначенные параметры, морфо-биологические особенности роста и специфику архитектоники

гороха, возникает чёткое понимание необходимости его совместного возделывания на зерно в агроценозах с поддерживающими культурами.

Долевое соотношение компонентов в составе смесей определяло степень и характер отзывчивости агроценозов на дозы азотного удобрения. Для культур смешанных агроценозов были характерны общие тенденции с одновидовыми посевами и частные различия:

- смешанный агроценоз пшеница 75% + горох 25% отличался выстроенной и последовательной отзывчивостью на уровни азотного питания (N30 +0,23 т/га; N60 +0,65 т/га) благодаря доминированию яровой пшеницы в составе посева и снижению напряжённости в рамках конкурентного взаимодействия между компонентами;

- в случае равного соотношения компонентов в составе смеси (пшеница 50% + горох 50%) увеличения урожайности, при внесении возрастающих доз N-удобрения питания, не было отмечено. Это можно объяснить возрастающей конкуренцией между культурами за источники азотного питания, при отсутствии в почве достаточного количества минерального азота; последующим переводом взаимоотношений компонентов агроценоза от комплементарных к конкурентным, при более агрессивном использовании азота почвы и удобрений со стороны злакового компонента;

- в смешанном посеве с преобладанием бобового компонента (пшеница 25% + горох 75%) наблюдалось снижение урожайности (-0,35 т/га) при внесении N60. Созданный агрофон обуславливал избыточное азотное питание культур в рамках смешанного ценоза. Наблюдалось формирование высокорослых и облиственных растений гороха в ущерб семенной продуктивности. Недостаточное количество растений пшеницы, выполняющих роль поддерживающего компонента в составе травостоя, наряду с интенсивным развитием вегетативной массы гороха, обуславливали сильное полегание растений (58-74%) и связанные с этим явлением потери и недобор значительной части урожая. Снижение урожайности гороха при внесении N-удобрения (Jensen, 1996) объясняет снижением нодуляции и симбиотической активности азотфиксирующих микроорганизмов, инфицирующих корневую систему гороха на начальных этапах вегетации. Выраженное ингибирующее действие N-удобрения на развитие корневого ризобиального аппарата гороха отчасти

связано с отсутствием интенсивного потребления азота за счёт снижения доли пшеницы в смешанном посеве.

Окупаемость 1 кг привнесённого азота прибавкой урожая в смешанном посеве пшеница 75% + горох 25% составила 7,7-10,8 кг/кг; при равном соотношении компонентов (пшеница 50% + горох 50%) – 7,0-4,5 кг/кг; в случае превалирования гороха (пшеница 25% + горох 75%) – 1,0 кг/кг и только при внесении N30. Более высокая окупаемость 1 кг N (10,8 кг/кг) и, как следствие урожайность зерна (3,42 т/га), отмечена в посеве пшеница 75% + горох 25%, при внесении азота в дозе 60 кг/га.

Долевое соотношение компонентов является ключевым параметром при конструировании гетерогенных агроценозов. Возможность регулирования этого параметра на этапе приготовления высеваемой смеси позволяет увеличить адаптивность формируемого агроценоза к абиотическим и технологическим условиям возделывания, регулировать качество получаемого урожая.

Данные по долевому участию рассматриваемых компонентов в составе получаемого зернового вороха, в зависимости от рецептуры высеваемых смесей и уровня азотного питания, представлены в таблице 3.18.

Таблица 3.18. Долевое соотношение зерна пшеницы и гороха в общем урожае смешанных агроценозов, % (среднее за 3 года)

Состав агроценоза (фактор А)	Дозы азота (фактор В)			Среднее по дозам
	N0	N30	N60	
Пшеница 75 % + горох 25 %	71,5 + 28,5*	73,3 + 26,7	74,8 + 25,2	73,2 + 26,8
Пшеница 50 % + горох 50 %	42,5 + 57,5	41,6 + 58,4	43,6 + 56,4	42,6 + 57,4
Пшеница 25 % + горох 75 %	28,3 + 71,7	29,8 + 70,2	30,9 + 69,1	29,7 + 70,3

Примечание: * – доля компонентов в урожае представлена в следующей последовательности: пшеница + горох.

В среднем за 3 года долевое соотношение зерна отдельных компонентов в общем урожае по вариантам варьировало не столь значительно (S_t, ± 6,3…14,5%) и отражало изначальную рецептуру смеси, используемую для посева. Результаты, полученные по годам исследований (прил. 23), отличаются большим интервалом варьирования значений (S_t, ± 13,8…25,4%) в связи с отличающимися гидротермическими условиями по фазам развития растений в отдельные годы исследований.

Более постоянное долевое соотношение компонентов в урожае, как по годам исследований, так и в среднем за 3 года, характерно для посева с половинны-

ми посевными нормами (пшеница 50% + горох 50%). При этом составе высеваемой смеси, не зависимо от уровня азотного питания, наблюдается преобладание (+12,8…16,8%) зерна гороха в составе получаемого урожая. При преобладании одной из культур в составе высеваемой смеси (пшеница 75% + горох 25%, пшеница 25% + горох 75%), наблюдается увеличение конкурентоспособности со стороны другого компонента смешанного агроценоза. Об этом свидетельствует повышение доли (на 3,3…5,9% пшеницы и на 0,2…3,5% гороха) в итоговом урожае зерна относительно высеваемого рецептурного соотношения. Однако, существуют и определённые отличия в «поведении» субмиссивного компонента в составе формируемого агроценоза. Так при увеличении уровня азотного питания (N0→N30→N60), наблюдается устойчивая тенденция к повышению конкурентоспособности и соответственно доли пшеницы (+1,5…2,6%) и напротив, – её снижение (-1,8…3,3%) у гороха. Пшеница и горох по-разному реагируют на изменение уровня азотного питания, не только когда оказываются в роли вспомогательного компонента посева, но и в случае доминирования культуры в составе высеваемой смеси. Менее напряженные конкурентные взаимоотношения относительно потребления азота, независимо от внесения доз N-удобрения наблюдаются в составе смешанного агроценоза – пшеница 50% + горох 50%.

Изменение уровня азотного питания за счёт применения соответствующего удобрения, способно изменить долевое соотношение компонентов в составе конечного урожая. Данное изменение является следствием возросшей агрессивности и конкурентоспособности со стороны одного или обоих компонентов за питательные вещества почвы (Cowden et al., 2020). Яровая пшеница в составе смешанных посевов с посевным горохом является более конкурентоспособной только в случае увеличения уровня азотного питания (Алёшин, 2020).

Степень проявления конкурентоспособности связана с уровнем интенсивности поглощения азота корневой системой изучаемых культур в вегетационный период, а также тем обстоятельством, что горох, в условиях смешенного агроценоза способен наращивать объёмы фиксируемого азота атмосферы. Именно агрессивность и высокая конкуренция со стороны злакового сегмента смешанного

посева, относительно потребления азота почвы и вносимых удобрений, «подталкивает» бобовую культуру к наращиванию и проявлению в полном объёме своего биологического потенциала (Wenxue et al., 2005).

Долевое соотношение компонентов является ключевым параметром при конструировании гетерогенных агроценозов. Возможность его регулирования на этапе приготовления высеваемой смеси позволяет увеличить адаптивность формируемого агроценоза к абиотическим и технологическим условиям возделывания, регулировать качество получаемого урожая.

3.3. Влияние азотного удобрения на урожайность вики озимой в одновидовом и смешанных агроценозах с тритикале озимой

В сегменте кормовых культур особое место отводится культурам с озимым типом развития. В 2020 году на территории РФ посевная площадь занятая озимыми зерновыми культурами составила порядка 19 млн. га. На основании прогнозных данных министерства сельского хозяйства, озимые зерновые культуры под урожай 2021 года в условиях Пермского края посеяны на 19 тыс. га, что на 27% превосходит уровень 2019 года (http://zerno.ru/; https://agro.permkrai.ru).

Вика мохнатая (озимая) – одна из наиболее ценных по кормовым достоинствам и универсальным возможностям технологического использования однолетних бобовых трав (Бедило и др., 2019). Благодаря своим биологическим особенностям и протеиновой составляющей, является незаменимым компонентом для промежуточных озимых посевов зерновых культур (Майсак, Волошин, 2013), в различного видового состава травосмесях зеленого конвейера (Краснопёров, Буянкин, 2019), приготовления объемистых консервированных кормов (Скамарохова, 2020). Озимая вика по праву занимает особое место среди зерновых бобовых культур. По своим биологическим и хозяйственным свойствам она является лучшим и, по сути, единственным компонентом для смешанных посевов с озимыми зерновыми культурами (Курочкин, 2006; Нурлыгаянов и др., 2017).

Наиболее полно вопросы использования вики мохнатой в составе травосмесей различного состава изучались в западной (Коконов, 2012; Фигурин, 2012 Майсак, Волошин, 2013, 2016) восточной (Романов, Романова, 1985) и Южной (Хамидуллин, 2006) части Предуралья, в центральном Нечерноземье (Золотарёв, Серёгин, 2012; Лапшин, Быркановa, 2014), в лесостепной (Коренев, Житин, 1984; Лаханов, Парахин, 2002) и засушливой степной зоне Центрально-Черноземного региона (Чухлебова, Донец, 2017), а также Северном Кавказе (Маркин, 1994), степной зоне Приморского края (Волошина, 2018) и Калининградской области (Краснопёров, Буянкин, 2016). На основании представленных результатов можно отметить, что продуктивность озимой викой в смешанных посевах во многом зависит от состава и соотношения компонентов в формируемых агроценозах. Также большое влияние оказывают почвенно-климатические условия, биологические особенности вида и сортовая принадлежность совместно высеваемых культур.

Зерносенаж. Зелёная масса, получаемая из травосмесей вики мохнатой с другими культурами, кроме непосредственного скармливания (зелёная масса и пастбищный корм) может использоваться для приготовления консервированного сочного корма (сенажа, силоса), грубого корма (сена), искусственно высушенного концентрированного корма (травяной муки, брикетов и гранул, травяной резки), обладающих высокой энергетической и биологической питательностью. В основе этой питательности лежит высокое содержание белка и его сбалансированность по незаменимым аминокислотам, а также углеводов и минеральных веществ. Этот корм хорошо поедается и усваивается различными сельскохозяйственными животными, обеспечивая высокую экономическую эффективность (Зиновенко, Коробко, 2013; Капаева и др., 2014).

Большей продуктивностью и пластичностью к условиям произрастания, при возделывании в монопосеве на зерносенаж, характеризовалась озимая вика (табл. 3.19). При отсутствии азотной подкормки её урожайность по годам составила 10,5…11,7 т/га. Урожайность зерносенажной массы озимой тритикале была выше чем озимой вики в одновидовом посеве только в 2015 году, что связано с сильным избытком осадков (более 300% от нормы) и значительным полеганием одновидо-

вых посевов бобовой культуры (Рыбникова, 2010). По окончанию вегетационного периода это стало основанием для снижения всхожести, существенного ухудшения состояния и выживаемости растений более чувствительного к таким условиям злакового компонента в осенний период и последующей перезимовке. По озимой вике напротив, во все годы в период осенней вегетации наблюдалось планомерное снижение интенсивности физиолого-биохимических процессов для последующего формирования устойчивости растений к воздействию неблагоприятных условий перезимовки и обеспечения достаточно быстрой интенсификации ростовых процессов с возобновлением весенней вегетации.

Таблица 3.19. Урожайность зерносенажной массы одновидовых и смешанных озимых агроценозов тритикале и вики, т/га при влажности 55% (среднее за 3 года)

Состав агроценоза (фактор А)		Дозы азота (фактор В)				Среднее по А $НСР_{05}$ гл. эфф. = 3,8
		N_0	N_{30}	N_{45}	N_{60}	
Тритикале 100 %		6,0	8,5	10,3	11,2	9,0
Тритикале 75 % + вика 25 %		11,6	13,2	15,0	16,1	14,0
Тритикале 50 % + вика 50 %		12,7	13,9	16,4	15,9	14,7
Тритикале 25 % + вика 75 %		12,9	13,8	15,8	12,8	13,9
Вика 100 %		11,0	11,8	10,7	9,4	10,7
Среднее по В, $НСР_{05}$ гл. эфф. = 0,6		10,8	12,2	13,6	13,1	
$НСР_{05}$ для частных различий по фактору	А	7,6				
	В	1,4				

В годы проведения исследований (прил. 24) достаточно высокий уровень урожайности зерносенажа в среднем (11,2…16,7 т/га), получен в смешанных посевах. Это стало возможно благодаря формированию различного габитуса и облиственности у злаковой и бобовой культур в смешанных агроценозах (Lithourgidis et al., 2006; Майсак, Волошин, 2016), за счёт выраженной вертикальной ярусности надземной массы и корневых систем. Корневая система растений в травосмесях за счёт различий в морфологическом строении охватывает больший объем почвы, более равномерно расходует почвенную влагу и питательные элементы, что в дальнейшем приводит к их аккумуляции в ризосферной зоне (Dhima et al., 2007; Зотиков и др., 2012). Злаковый компонент в смеси выполняет роль «опоры» для зернобобовых культур, имеющих легко полегающий стебель (Серегин, 2019). В годы с избытком осадков, смешанные посевы являются единствен-

ным доступным способом получения кондиционных семян вики и гороха (Samarah, 2005; Золотарев, 2015; Безгодов, 2020).

Основным фактором, обеспечивающим повышения продуктивности посевов злаковых видов на 40-65%, являются минеральные азотные удобрения. При возделывании зернобобовых культур, должно обеспечиваться оптимальное сочетание биологического и минерального азота, что является обязательным условием высокой продуктивности растений (Шпаков, Брансникова, 2011). Своевременное использование азотной подкормки позволяет повысить содержание минерального азота в почве к фазе кущения озимых злаковых культур в среднем на 45…50%, тем самым обеспечить их доступными формами минерального азота во все последующие фазы развития (Неволина, 2012). Эффект от N-подкормки выражен посредством увеличения урожайности озимой тритикале на 0,61 т/га. Подкормка азотом способствовала увеличению продуктивности злакового и бобового компонентов в составе смешанных и одновидовых ценозов как по годам проведения исследований и в среднем за 3 года.

В среднем за годы проведения исследований за счёт включения вики (25%) и увеличения её доли (до 50% и 75%) в составе высеваемой смеси происходило повышение урожайности зерносенажной массы на 5,0, 5,7 и 4,9 т/га относительно одновидового посева тритикале. При этом существенных различий в уровне урожая между смесями отмечено не было. По урожайности зерносенажа смешанные посевы любого из изучаемых компонентных составов имели преимущество относительно одновидового посева тритикале. Только смешанный посев с равным сочетанием компонентов (тритикале 50% + вика 50%), превосходил по продуктивности зерносенажной массы одновидовой посев озимой вики.

Увеличение уровня азотного питания (N0→N30→N45→N60) сопровождалось выраженным действием по годам проведения исследований (2014 и 2016 гг.) и в целом по опыту. В среднем за 3 года прибавки урожайности зерносенажа составили 1,4, 2,8 и 2,3 т/га соответственно. Отзывчивость одновидовых посевов на внесение N30-60 составила 2,4…5,2 т/га (тритикале) и -1,5…+0,8 т/га (вика). Отклик злакового компонента на применение N-удобрения в подкормку

был закономерно более высоким. За счёт этого растения тритикале сильней кустились, формировалась большая ассимиляционная поверхность листьев, интенсивнее накапливалась вегетативная биомасса. Однако внесение азота в качестве подкормки вызывало интенсификацию линейного роста не только у тритикале, но и вики. При этом наблюдалось полегание посевов, снижение фактически убираемой урожайности зерносенажной массы за счёт отмерших листьев нижних междоузлий побегов, которые покрывались плесенью. В связи с этим, при возделывании озимой вики на кормовые цели в одновидовом посеве, не рекомендуется внесение N-удобрений (Alemu et al., 2007; Горковенко и др., 2014). Другое дело возделывание вики в составе вико-злаковых смесей, в которых рекомендовано использование небольших стартовых доз N (15-30 кг/га) для стимулирования ростовых процессов (Бедило, Скамарохова, 2020). В составе смешанного агроценоза злаковый компонент, ввиду высокой конкурентоспособности, «оттягивает на себя» большую часть азота, вносимого с удобрением, способствует формированию более структурированного травостоя с точки зрения его архитектоники, существенно облегчая механизацию уборки. Бобовая культура, в свою очередь, за счет симбиотической деятельности, улучшает азотное питание злаковых компонентов в смесях, что способствует увеличению урожайности и содержанию протеина в их биомассе. Таким образом, наблюдается схожий эффект, как и при внесении азотных удобрений. Констатируя изменения в протекании физиологических процессов и биохимическом составе получаемого урожая, можно сказать о реализации принципа комплементарности во взаимодействии компонентов смешанного посева.

В смешанных агроценозах наблюдалось интенсивное потребление и использование азота удобрения. Отзывчивость растений на внесение N-удобрения была на уровне 0,9-1,6…2,9-3,7…3,2-4,6 т/га. Следует отметить, что индивидуальная отзывчивость на применение удобрений и продуктивность растений в смеси, часто не совпадает с урожайностью формируемого ими агроценоза. Так, накопление сухого вещества у озимой вики осуществляется в большем количестве и наиболее высокими темпами в её одновидовом посеве. Данное преимущество сохраняется

до фазы бутонизации – начало цветения. Последующее развитие вики, при отсутствии в составе агроценоза злаков (монопосев), сопровождается сильным полеганием культуры (4,5-4,7 балла). Полёглость посевов неразрывно связана с отмиранием листьев на нижних и средних ярусах побегов, значительным ухудшением условий для их функционирования и снижением биологической продуктивности. По результатам исследования (Левитский, 2003) рост урожайности культур в смешанном посеве и усвоение ими элементов питания идёт гораздо интенсивнее (в 1,25…1,67 раза), нежели в одновидовых посевах.

По каждому долевому сочетанию компонентов в составе смеси отмечено повышение урожайности при внесении в подкормку азотного удобрения. Смешанный посев с преобладанием тритикале (тритикале 75% + вика 25%) отличался линейной возрастающей отзывчивостью на использование в подкормку N-удобрения в рамках рассматриваемого диапазона доз (N30…45…60). Смешанный агроценоз с равным долевым участием компонентов (тритикале 50% + вика 50%) отличался выраженной отзывчивостью на применение N45 с последующим выходом на плато при внесении N60. Отзывчивость посева с превалированием озимой вики (тритикале 25% + вика 75%) на применение азотного удобрения, была схожа с предыдущим вариантом смеси (тритикале 50% + вика 50%), однако при внесении N60 наблюдалось снижение урожайности.

Увеличение доли вики в составе смешанных посевов с 25% до 50% и далее до 75% соответственно, приводит к снижению их отзывчивости на дозы азота: N30 с 1,6 до 0,9 т/га; N45 с 3,4 до 2,9 т/га; N60 с 4,6 до -0,1 т/га. Данное положение можно объяснить; угнетением симбиотического аппарата бобовой культуры, не адаптированного к функционированию в условиях обеспеченности почвы минеральным азотом (Курчак, Проворов, 1995; Новикова, 2018) и возросшей конкуренцией со стороны злакового компонента, относительно использования азота почвы и удобрения (Bingöl et al., 2007; Арефин, Нурлыгаянов, 2019), которая наблюдается благодаря снижению его доли в составе посева. Детально это можно проследить по развитию корневой системы и симбиотического аппарата у растений озимой вики в одновидовом и смешанных агроценозах (рис. 3.10).

Тритикале 75 % + вика 25 %	Тритикале 50 % + вика 50 %	Тритикале 25 % + вика 75 %	Вика 100 %

А

N0	N30	N45	N60

Б

Рисунок 3.10. Морфо-биометрические параметры корневой системы и симбиотического аппарата у растений озимой вики в смешанных (А) и одновидовом (А-Б) агроценозах при использовании азотного удобрения (Б)

При посеве в годы с достаточным уровнем влагообеспеченности (2013-2014 гг.) первые признаки нодуляции на корнях озимой вики появлялись уже через 2 недели после наступления фазы полных всходов. Термические условия на начальном этапе вегетации несколько сдерживали развитие клубеньковых бактерий несмотря на то, что их рост по данным (Парахин, Петрова, 2006) начинается при 4-6ºС. По мнению (Воробьев, 1998) при пониженном температурном режиме задерживается процесс перехода бактерий в состояние бактероидов. При этом клубеньки, формирующиеся при пониженных температурах, на протяжении более продолжительного времени остаются физиологически более молодыми с низкой способностью к азотфиксации (Фарниев, 1997).

Ограниченное развитие симбиотического аппарата на корневой системе озимой вики осенью неотъемлемо связано с относительно небольшим ростом корневой системы. Клубеньки, образующиеся в посевах вики мохнатой осенью, могут перезимовать и начать фиксацию N_2 во время весеннего возобновления роста посевов (Sprent, 1982). С возобновлением ростовых процессов в весенний период отмечался активный рост корневой системы, который в 3,7-4,3 раза превосходил по накоплению сухого вещества развитие надземной вегетативной массы. Наряду с этим, происходило наращивание интенсивности формирования симбиотического ризобиального аппарата.

Более интенсивное формирование симбиотического аппарата у растений озимой вики зафиксировано в фазу бутонизации – начало цветения, затем темпы развития, а, следовательно, и азотфиксации снижались. Физиологическая активность клубеньков оценивалась по продолжительности сохранения розовой окраски бактероидной ткани на срезе. В зависимости от дозы азотного удобрения и состава агроценоза она сокращалась с 1,5 месяцев (N0) до 2-3 недель (N45-60). Образовавшиеся в весенне-летний период клубеньки различались и по внешнему виду. Симбиотически активные клубеньки кроме розоватой окраски имели более крупную форму, наряду с гладкой и плотной текстурой поверхности. При отсутствии азотного удобрения в верхней части ответвлений боковых корней наблюдались скопления клубеньков гроздевидной формы. Клубеньки, расположенные на центральном

корне, в наиболее аэрируемом слое почвы 0…10 см, отличались более высоким (2,34…2,57%) содержанием азота. На вариантах с внесением азотного удобрения (N30-60) можно было наблюдать увеличение числа более мелких клубеньков, расположенных на периферической части корневой системы растений. Большое количество этих бактероидов, даже до перехода озимой вики к генеративному этапу развития, имели зелёную окраску и неровную структуру поверхности.

Количество клубеньков также зависело от биометрических параметров корневой системы растений симбионта (длины центрального корня, количества боковых корней) и сопутствующих условий, определяющих интенсивность ростовых процессов корней. После появления бобов на нижних междоузлиях растений наблюдалось снижение физиологической активности клубеньков. Происходила потеря ими розовой окраски, превалировали серые и зелёные оттенки на срезах. По результатам исследования (Голощин, 2003) по истечению 3-5 дней после изменения окраски клубеньки отмирают, обогащая почву биологическим азотом. Результаты морфо-биометрической характеристики (количество, окраска на срезе, расположение, форма, размер) формирующегося на корнях растений озимой вики ризобиального аппарата, в сравнении с одновидовыми посевами гороха, свидетельствуют о низкой интенсивности спонтанной инокуляции в естественных почвенных условиях региона и преобладании малоактивных и неактивные форм среди аборигенных штаммов клубеньковых бактерий. Однако, это может являться всего лишь внутривидовой особенностью культуры. За счёт поверхностных растительных остатков и развития в период вегетации мощной корневой системы, которая на лёгких почвах достигает длины 1 м, при уборке урожая озимой вики в почву поступает от 3 до 5 т/га органических соединений. В дополнение к этому количеству, годовой объём корневых выделений может составлять 2-3 т/га. По сообщению (Яценко, Исаев, 1999), с таким количеством пожнивных и корневых остатков в почву поступает от 65 до 110 кг/га биологического азота. При запашке в условиях Предуралья пожнивно-корневых остатков озимых вико-злаковых травосмесей, в почву поступает до 5,1 т/га органического вещества (на а.с.в.), в котором содержится 101 кг/га N, 36 кг/га P_2O_5 и 69 кг/га K_2O (Волошин, Майсак, 2006).

Вместе с тем, достаточно высокорослые растения озимой тритикале (1,37-1,64 м) с учётом значительной их облиственности (35-38%) и количества стеблей (162-258 шт./м^2) в агроценозе с преобладанием вики (тритикале 25% + вика 75%) в полной мере не справляются с ролью поддерживающего компонента, благодаря которому должно сохранятся вертикальное ориентирование всего травостоя. В этом случае урожайность определялась не только продуктивностью растений, но и их количеством на 1 м^2. Достижение оптимального соотношения этих составляющих продукционного процесса возможно за счёт подбора норм посева и соотношение компонентов в составе высеваемой смеси при учёте почвенно-климатических условий произрастания. По результатам исследований (Парахин и др., 2010) высокий урожай вико-злаковых смесей может быть получен в том случае, когда к уборке на 1 м^2 будет до 150-170 хорошо развитых растений вики озимой при равномерном их распределении в убираемой массе. При этом травостой должен состоять из равного количества растений вики озимой и злакового компонента или вики – до 60-70%. Последующее увеличение доли вики в смеси до 80% приводит к угнетению злака, выполняющего функцию опорного компонента в посеве и полеганию травостоя.

Учитывая совокупность воздействия изучаемых факторов, следует отметить, что наибольшая урожайность зерносенажа в опыте (16,4 т/га) была получена в смеси с равным долевым участием компонентов (тритикале 50% + вика 50%) и внесении N45. Смешанный агроценоз, формируемый при посеве указанным рецептурным составом, отличался выстроенной и последовательной отзывчивостью на уровни азотного питания благодаря морфо-фенологической совместимости видов. Созданный при внесении N-удобрения фон минерального питания способствовал замедлению протекания онтогенеза растений, накоплению в тканях растений большего количества ценных в питательном отношении веществ, удлинению срока использования посевов озимых культур для заготовки объёмистых кормов.

Зерно. Смешанные агроценозы озимой вики могут быть использованы для обеспечения отрасли животноводства не только зелёным кормом и зерносенажом, но и фуражным зерном (Кочурко, 2005). Это позволит увеличить долю зернобобо-

вых культур в общем объёме зерна, производимого на кормовые цели, а также количество концентратов в структуре кормов и их сбалансированность по протеину (Косолапов и др., 2009).

Использование зерна вики мохнатой для приготовления концентрированных кормов может стать другим важным направлением работы с этой культурой. Семена озимой вики содержат небольшое количество антипитательных веществ (от 10,1 до 17,5 мг/100 г ингибитора трипсина) и не содержат цианогенных гликозидов (Булучевский, 2005). Такая характеристика позволяет использовать зерно озимой вики в качестве белкового компонента комбикормов и непосредственного включения в рацион животных.

Урожайность зерна и отзывчивость одновидовых и смешанных агроценозов на уровни азотного питания отличались по годам исследований (прил. 25). Развитие озимых культур растянуто во времени, вследствие чего, помимо возможности формирования большей продуктивности, подвержено влиянию значительного количества факторов. Полноценное генеративное развитие озимой вики (цветение, оплодотворение и плодообразование на побегах разных ярусов) растянуто во времени, поэтому проходит при разных гидротермических условиях вегетационного периода и состоянии растений (Скамарохова и др., 2020). Устойчивость озимых зерновых к неблагоприятным условиям перезимовки и степень их восприимчивости к вредителям и болезням, определяется интенсивностью развития корневой системы и надземной части растений (Тураева, Жирных, 2015). При этом, управлять продукционным процессом и формированием элементов структуры урожая – густотой стеблестоя, озернённостью колоса и массой 1000 зерен можно за счет целенаправленного внесения азотных удобрений (Кшникаткина и др., 2009).

Урожайность зерна в одновидовых посевах озимой тритикале и озимой вики, в отсутствии внесения азотного удобрения, по годам составила 2,11…2,70 т/га и 1,04…1,52 т/га соответственно. Внесение азотного удобрения не однозначно сказалось на величине семенной продуктивности культур. Формирование урожая зерна у тритикале и вики обусловлено рядом особенностей: нарастанием вегетативной массы, продолжительностью периода активного потребления элементов питания,

сохранением физиологической активности корневой системы, наличием центров аттрагирования накопленных ассимилятов, развитием симбиотического ризобиального аппарата на корневой системе зернобобовой культуры. Поэтому для озимой тритикале изменения урожайности в рамках применяемого диапазона доз N имеют прямой линейный характер (R^2 = 0,98; y = 0,357 × X + 2,004) и обратный линейный (R^2 = 0,89; y = -0,198 × X + 1,319) для озимой вики. Другими словами, возрастающие дозы N-удобрения увеличивали урожайность зерна озимой тритикале и снижали урожайность озимой вики. Соответствующие изменения урожайности компонентов наблюдались и в смешанных агроценозах (табл. 3.20).

Таблица 3.20. Урожайность зерна одновидовых и смешанных агроценозов озимой тритикале и озимой вики, т/га (среднее за 3 года)

Состав агроценоза (фактор А)		Дозы азота (фактор В)				Среднее по А
		N_0	N_{30}	N_{45}	N_{60}	$НСР_{05}$ гл. эфф. = 0,51
Тритикале 100 %		2,32	2,74	3,14	3,38	2,90
Тритикале 75 % + вика 25 %		2,92	3,25	3,91	3,62	3,43
Тритикале 50 % + вика 50 %		2,43	3,16	3,18	2,78	2,89
Тритикале 25 % + вика 75 %		2,20	1,93	1,72	1,49	1,83
Вика 100 %		1,20	0,80	0,72	0,57	0,82
Среднее по В, $НСР_{05}$ гл. эфф. = 0,25		2,21	2,38	2,53	2,37	
$НСР_{05}$ для частных различий по фактору	А	1,02				
	В	0,57				

Варьирование урожайности смешанных посевов за 3 года составило в среднем 15,1…23,4%. Увеличение урожайности зерна на 1,01 – 2,06 – 2,60 т/га соответственно происходило при увеличении в рецептуре смеси доли тритикале с 25% до 50% и 75%. По урожайности зерна смешанный посев тритикале 75% + вика 25% превосходил одновидовые агроценозы тритикале в 2015-2016 гг., а вики – во все годы проведения исследований. Растения озимой тритикале в составе смешанного агроценоза с озимой викой в полной мере справляются с ролью поддерживающего компонента, только при посеве $^3/_4$ от нормы в одновидовом посеве. При снижении нормы высева тритикале до ½ наблюдается тенденция к снижению урожайности зерна даже в год (2016) с умеренным количеством осадков (ГТК = 0,79) за весенне-летний период вегетации.

Степень и характер отзывчивости одновидовых агроценозов на уровни азотного питания также определяла видовая принадлежность культур. Высокой отзыв-

чивостью на внесение N-удобрения, среди одновидовых посевов, характеризуются агроценозы тритикале. Прибавка урожайности зерна составила 0,42 (N30)…0,39 (N45)…0,25 (N60) т/га. За счёт увеличения уровня азотного питания увеличивалось количество продуктивных стеблей, происходила закладка большего количества колосков и зёрен в соцветиях озимой тритикале, возрастала масса 1000 семян. Наряду со стимулированием роста злакового компонента, на растениях вики наблюдалось увеличение числа побегов, их длины и облиственности. В годы с умеренным или избыточным количеством осадков (2013-2015 гг.) происходило снижение семенной продуктивности вики из-за израстания и сильного полегания растений, что негативно сказалось на процессах опыления, формировании бобов и семян. В этих условиях отмечалось проявление грибных болезней, что приводило к увеличению влажности убираемой массы и затруднениям при уборке. Итогом увеличения уровня азотного питания вики в монопосеве и смеси с её преобладанием (тритикале 25% + вика 25%) являлось снижение урожайности. Эти обстоятельства указывают на необходимость возделывания озимой вики для получения семян и фуражного зерна в смешанных агроценозах со злаковыми культурами, имеющими схожий по продолжительности и наличию фенологических фаз период вегетации. Развитие растений вики в посевах с тритикале проходило одновременно, благодаря чему период накопления биомассы и переход к генеративному развитию вики совпадал с началом фазы колошения тритикале. Стеблестой в смешанных посевах отличался структурностью и выравненностью.

От соотношения компонентов в составе смесей зависела общая отзывчивость агроценозов на дозы азотного удобрения, которую можно охарактеризовать следующим образом:

- смешанный посев с преобладанием злака (тритикале 75% + вика 25%) отличался более высокой отзывчивостью на применение азотного удобрения в дозах 45 и 60 кг д.в./га. Прибавка урожайности зерна составила 0,99 т/га и 0,70 т/га соответственно. Наблюдалось преобладание растений озимой тритикале в посеве и его семян в составе зернового вороха. Благодаря более высокой конкурентоспособности и даже некоторой «агрессивности в поведении», наблюдалось домини-

рованию злака в посеве и интенсивное потребление значительного количества азота, поступающего в почву с удобрением. За счёт этого, отмечалось снижение ингибирующего действия со стороны N-удобрения на развитие симбиотического аппарата на корневой системе озимой вики и более полная реализация её биологического потенциала;

- при равном соотношении компонентов в составе смеси (тритикале 50% + вика 50%) существенное увеличение урожайности зерна (+0,73…0,75 т/га) отмечено при внесении N30 и N45. Более высокая доза азотного удобрения (N60) приводила к частичному полеганию посева (1,8…2,3 балла) и снижению фактически убираемой урожайности зерна;

- в смешанном агроценозе с преобладанием бобовой культуры (тритикале 25% + вика 75%) при внесении N-удобрения наблюдалось снижение фактически убираемой урожайности зерна на 0,27…0,71 т/га. При этом увеличивалась общая биологическая продуктивность растений обоих компонентов. Такое влияние азотного удобрения связано с формированием высокорослых и облиственных растений склонных к полеганию. К тому же полнота стеблестоя злакового компонента при посеве ¼ доли от полной посевной нормы не способна к сохранению необходимого габитуса растений и архитектоники обоих компонентов травостоя смешанного ценоза.

Окупаемость 1 кг N удобрения прибавкой урожая зерна в смешанном агроценозе тритикале 75% + вика 25% составила 10,9…22,0 кг/кг; при равном соотношении компонентов (тритикале 50% + вика 50%) – 5,8…24,4 кг/кг; в случае превалирования вики (тритикале 25% + вика 75%) – прибавка урожайности отсутствовала. Более высокая окупаемость 1 кг N (24,4 кг/кг) отмечена в смешанном посеве тритикале 50% + вика 50%, при внесении N30.

Долевое соотношение компонентов в рецептуре высеваемой смеси является ключевым параметром для получения урожая зерна при возделывании злаковых и бобовых культур в составе смешанных агроценозов. От этого зависит структура формируемого агроценоза, биохимический состав и питательная ценность получаемого урожая. Подбор оптимального долевого соотношения культур для сме-

шанного агроценоза должен производится в соответствии с видом планируемого урожая (зелёный корм, зерносенаж, зерно и т.п.), биологическими особенностями культур и их совместимостью в посеве. Данные по долевому участию компонентов в урожае зернового вороха, в зависимости от рецептуры высеваемой смеси и доз азотного удобрения, представлены в таблице 3.21.

Таблица 3.21. Долевое соотношение зерна тритикале и вики в общем урожае зерна смешанных агроценозов, % (среднее за 3 года)

Состав агроценоза (фактор А)	Дозы азота (фактор В)				Среднее по дозам
	N0	N30	N45	N60	
Тритикале 75% + вика 25%	89,0 + 11,0*	92,7 + 7,3	94,3 + 5,7	95,7 + 4,3	92,9 + 7,1
Тритикале 50% + вика 50%	78,3 + 21,7	83,7 + 16,3	87,3 + 12,7	91,0 + 9,0	85,1 + 14,9
Тритикале 25% + вика 75%	62,7 + 37,3	66,3 + 33,7	73,3 + 26,7	78,0 + 22,0	70,1 + 29,9

Примечание: * – доля компонентов в урожае представлена в следующей последовательности: тритикале + вика.

Результаты, представленные в среднем за 3 года, достаточно точно отражают тенденции по изменению долевого соотношения зерна компонентов в урожае, выявленные по годам исследований (прил. 26). Долевое соотношение зерна озимой тритикале и озимой вики в урожае только отчасти отражало изначальную рецептуру высеваемой смеси. Сохранялась общая для обоих компонентов тенденция, связанная с повышением (понижением) количества зерна в урожае при увеличении (снижении) его доли в посевной норме. Наиболее высокой зерновой продуктивностью в составе любой смеси отличались растения злакового компонента. Даже в случае преобладания в составе посевной нормы семян вики (тритикале 25% + вика 75%), наблюдалось превышающее в 1,7…3,5 раза количество зерна тритикале в урожае, что обусловлено потенциально низкой семенной продуктивностью бобовой культуры. При внесении возрастающих доз азотного удобрения (N30…45…60), также отмечено снижение количества семян вики в урожае смешанных агроценозов на 6,7…15,3%. Это связано с высокой функциональной активностью всех клеточных структур на уровне тканей и всего организма растений, которая продолжалась даже после вступления растений вики в фазу генеративного развития (Дебелый и др., 2011). Некоторое снижение активности физиолого-биохимических процессов наблюдалось с переходом к репродуктивной фазе развития, однако оно не меняет направление вектора в общем развитии растений.

Характер этих изменений соответствует селекционному направлению, реализуемому при создании сортов этой зернобобовой культуры (Золотарев, 2016). Его целью является получение максимального урожая вегетативной массы, используемой для самостоятельного стравливания или приготовления кормов. Усиления репродуктивной функции растений озимой вики можно добиться за счёт выведения сортов зернофуражного направления, которые будут отличаться ограниченным линейным ростом побегов, переориентированной системой донорно-акцепторных отношений между вегетативными и репродуктивными частями растения, увеличением аттрагирующей способности со стороны созревающих семян.

Тритикале и вика по-разному реагируют на изменение уровня азотного питания, как в роли вспомогательного компонента посева (< 50%), так и в случае доминирования культуры в смеси. В последнем случае, наблюдалась устойчивая тенденция к повышению конкурентоспособности и соответственно роста доли тритикале на 3,7…6,7% за счёт увеличения уровня азотного питания. Наиболее устойчивое долевое соотношение зерна компонентов в урожае, как по годам исследований, так и в среднем за 3 года, получено в посеве с превалированием злака (тритикале 75% + вика 25%).

ГЛАВА 4. БИОХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ КАЧЕСТВА УРОЖАЯ ЗЕРНОВЫХ КУЛЬТУР В ОДНОВИДОВЫХ И СМЕШАННЫХ АГРОЦЕНОЗАХ

По данным Министерства агропромышленного комплекса Пермского края, за последние пять лет на долю зерновых культур приходилось в среднем 35,6…39,6% общей площади посевов. В их структуре большую часть клина зернобобовых (81,0…82,3%) занимает горох, но его посевы сокращаются. В сложившейся ситуации возникает недостаток белкового сырья, происходит снижение продуктивности животных и птицы, наблюдается значительный перерасход кормов (Шпаков, 2001).

Универсальным решение проблемы кормового белка и производства кормов, видится за счет разработки научных основ формирования смешанных агроценозов зернобобовых культур с целью оптимизации продукционного процесса и управления качеством получаемых объёмистых кормов и зернового вороха (Султанов и др., 2011; Колесникова, Жирнова, 2016; Чухлебова, Донец, 2016; Коконов, 2018). В правильно сформированном смешанном агрофитоценозе происходит наиболее полное использование биологического потенциала бобовых культур (Салова, 2013; Pierreux et al., 2014; Tosti et al., 2014; Артемьев и др., 2015; Заець и др., 2016; Couëdel et al., 2018). Также способствует этому оптимизация минерального питания зернобобовых культур, которая осуществляется путем сбалансированного применения минеральных и бактериальных удобрений (Otieno et al., 2009; Mfilinge et al., 2014; Baba et al., 2015; Алферов и др., 2016; Хамоков, 2017). Отдача от всех этих приемов заключается не только в увеличении урожайности вегетативной массы и зерна, но и в изменении биохимического состава и питательности получаемых кормов, остающихся в почве корневых и пожнивных остатков (Михайлова и др., 2016). Введение одновидовых и смешанных посевов в состав кормовых севооборотов, позволяет увеличить накопление энергии и выход кормовых единиц с урожаем (Елисеев, 2015).

4.1. Биохимический состав и технологические свойства крупы из зерна гороха при инокуляции семян ризобактериями и внесении азотного удобрения

Источником накопления пластических веществ в семенах является фотосинтез, корневое питание в период налива семян, а также реутилизация веществ, аккумулированных в вегетативных органах в предшествующий период (Новицкая и др., 2014). Дополнительным источником поступления азота, а также условием, индуцирующим процессы фотосинтеза и потребления элементов питания из почвы, является азотфиксация – исключительное свойство бобовых культур, позволяющее восполнять недостаток минерального азота в почве (Егоров, Плотникова, 2000) и формировать продуктивность растений.

Прибавка урожая является не единственным критерием эффективности азотфиксации. Наиболее тесная зависимость отмечена (Кожемяков, Тихонович, 1998) между содержанием или накоплением белка в растениях и величиной фиксируемого азота. Дополнительное накопление протеина в урожае инокулированных зернобобовых культур существенно увеличивается и составляет порядка 20-35%. В связи с изменением интенсивности потребления элементов питания и увеличением концентрации N-содержащих веществ в составе растений гороха и особенно зерна, можно ожидать и других изменений в составе получаемого урожая. Результаты исследования по влиянию обработки посевного материала микробным препаратом симбиотических ризобактерий и уровня азотного питания на биохимический состав зерна афильных сортов гороха представлены в таблицах 4.1-4.6 и приложениях 27-30.

Среди питательных веществ в составе зерна наиболее значимым является сырой протеин (табл. 4.1), именно ему принадлежит основная роль в полнорационном питании животных. Их жизнедеятельность и продуктивность неразрывно связана с образованием и распадом аминокислот и белковых веществ, поэтому требуется постоянный приток протеина с кормом (Терехов, Гусманов, 2004). Высокоценные усатые сорта гороха отличаются повышенным содержанием протеина в зерне, поэтому помимо основного компонента в составе – крахмала, при переработке можно

получать и низкий по себестоимости растительный белок. Из-за содержания альбуминов и глобулинов, которые легко усваиваются животными, белок гороха считается хорошим протеиновым компонентом для балансировки кукурузных рационов по аминокислотному составу (Кондыков и др., 2010).

Таблица 4.1. Содержание сырого протеина в зерне сортов гороха, г/кг сухого вещества (среднее за 3 года)

Дозы азота (В)	Агроинтел		Среднее по В	Вельвет		Среднее по В
	A_0	A_1		A_0	A_1	
N0	202,0	217,7	209,8	191,7	196,3	194,0
N30	226,6	225,6	226,1	212,9	203,0	208,0
N45	216,2	219,5	217,8	214,7	211,8	213,2
N60	217,7	210,5	214,1	221,4	223,6	222,5
N75	210,1	212,9	211,5	209,8	238,0	223,9
N90	210,8	208,0	209,4	210,9	221,3	216,1
N105	201,2	207,1	204,2	198,4	217,2	207,8
N120	193,3	190,2	191,7	185,4	185,6	185,5
Среднее по А,	209,7	211,4	$НСР_{05}$ гл. эфф.	205,6	212,1	$НСР_{05}$ гл. эфф.
$НСР_{05}$ для гл. эфф.	16,3		10,2	7,5		8,3
$НСР_{05}$ для частных различий по фактору	А		26,2	А		21,2
	В		14,4	В		11,7
Нормы для 1 / 2 / 3 класса качества зерна гороха по ГОСТ Р 54630-2011	не менее 250 / 220 / 200					

Согласно полученным результатам, содержание сырого протеина в зерне гороха сорта Агроинтел составило 209,7…211,4 г/кг, сорта Вельвет 205,6…212,1 г/кг. Увеличение содержания сырого протеина в зерне, благодаря инокуляции семян гороха бактериальным препаратом, в среднем по опыту составило на сорте Агроинтел 1,7 г/кг, Вельвет – 6,5 г/кг. Эффективность инокуляции симбиотическими ризобактериями резко изменялась по отдельным вариантам. Существенная прибавка от инокуляции семян препаратом ризобактерий (28,3 г/кг), получена только на сорте Вельвет, при использовании N-удобрения в дозе 75 кг д.в./га. Благодаря этому получено зерно, соответствующее норме для 2 класса качества (не менее 220 г/кг зерна).

На обоих сортах гороха изначально наблюдается достаточно резкое увеличение содержания сырого протеина при внесении возрастающих доз N-удобрения. Максимальное содержание в опыте на сорте Агроинтел (225,6-226,6 г/кг) отмечено при внесении N30. На сорте Вельвет более высокое содержание отмечено в отсутствия инокуляции при дозе N60 (221,4 г/кг) и N75 (238,0 г/кг) при обработке семян.

При последующем увеличении дозировки N-удобрения, наблюдается снижение содержания. В среднем по опыту, при внесении 120 кг N/га получено существенное снижение содержания сырого протеина в зерне гороха. Возможно, что основной причиной этому послужило интенсивное нарастание вегетативной массы растений и затягивание перехода к генеративному периоду развития. Важно отметить разницу в сортовой отзывчивости гороха на использование азотного удобрения. Существенное увеличение содержания сырого протеина в зерне у сорта Агроинтел, отмечалось только при внесении N30 и N60 в отсутствии инокуляции. В то время как на сорте Вельвет, в отсутствии инокуляции биопрепаратом, существенное увеличение содержания сырого протеина на 18,0…29,6 г/кг наблюдалось в диапазоне доз (N30-90). При использовании бактериального препарата, существенное увеличение содержания сырого протеина в зерне на 15,5…41,7 г/кг отмечено в более высоком диапазоне доз (N45-105).

Синергический эффект от совместного использования инокуляции посевного материала и минерального азота в отношении накопления сырого протеина в зерне зафиксирован только на сорте Вельвет при внесении от 75 до 105 кг N/га. Есть все основания предполагать, что существенному росту содержания сырого протеина в составе зерна гороха способствует оптимизация условий минерального питания азотом.

По содержанию сырой клетчатки зерно гороха несколько превосходит голозёрные сорта остальных яровых зерновых культур (табл. 4.2). Её концентрация в зерне была 62,8-77,6% и превышала по обоим сортам норму даже для 2 класса качества зерна по ГОСТ Р 54630-2011 «Горох. Технические условия». Учитывая качество и переваримость волокон в составе клетчатки, она находит применение в пищевой промышленности (Шелепина, 2007). Благодаря бактеризации семян, в основном наблюдалось снижение содержания сырой клетчатки в зерне гороха. В среднем по опыту можно сказать о тенденции (-0,8 г/кг) на сорте Агроинтел и существенном снижении (-2,1 г/кг) на сорте Вельвет. По отдельным вариантам на сорте Вельвет действие инокуляции симбиотическими ризобактериями было ещё более выражен-

ным. Отмечено существенное снижение содержания сырой клетчатки на 7,8…8,7 г/кг при использовании N-удобрения в дозах 75, 105 и 120 кг д.в./га.

Таблица 4.2. Содержание сырой клетчатки в зерне сортов гороха, г/кг сухого вещества (среднее за 3 года)

Дозы азота (В)	Агроинтел		Среднее по В	Вельвет		Среднее по В
	A_0	A_1		A_0	A_1	
N0	63,6	67,9	65,7	69,0	72,0	70,5
N30	68,6	66,9	67,7	71,8	73,4	72,6
N45	68,5	65,7	67,1	73,0	77,6	75,3
N60	64,8	63,8	64,3	72,2	71,0	71,6
N75	64,4	69,6	67,0	75,3	66,6	70,9
N90	70,4	70,2	70,3	71,9	72,0	71,9
N105	72,3	65,6	69,0	74,9	66,2	70,5
N120	67,0	62,8	64,9	74,7	66,9	70,8
Среднее по А, $НСР_{05}$ для гл. эфф.	67,4	66,6	$НСР_{05}$ гл. эфф.	72,8	70,7	$НСР_{05}$ гл. эфф.
	2,4		2,9	0,9		3,4
$НСР_{05}$ для частных различий по фактору	А		6,7	А		2,5
	В		4,1	В		4,8
Нормы для 1 / 2 / 3 класса качества зерна по ГОСТ Р 54630-2011	не более 50 / 60 / 80					

Влияние N-удобрения на содержание сырой клетчатки в зерне гороха резко отличалось на вариантах без инокуляции и с использованием инокуляции. При внесении N-удобрения на сорте Агроинтел, в отсутствии обработки семян симбиотическими ризобактериями, наблюдалась тенденция увеличения содержания сырой клетчатки в зерне. В отдельных вариантах (N30, N45, N90, N105) фиксировались существенные различия (+4,8…8,7 г/кг). Отзывчивость сорта Вельвет по данному показателю была схожей: существенное увеличение содержания сырой клетчатки на 5,7…6,3 г/кг, в отсутствии инокуляции биопрепаратом, наблюдалось при внесении N75, N105 и N120. В тоже время инокуляция семян симбиотическими ризобактериями на этих вариантах, способствовало снижению содержания сырой клетчатки в зерне на 5,1…5,8 г/кг.

Исследования (Шелепина, Щуров, 2010) показали, что масличность зерна большинства изученных сортов гороха составляет от 1,32 до 2,46%. По результатам проведённого эксперимента нами получено более высокое содержание сырого жира в зерне гороха, что следует увязать с почвенно-климатическими условиями возделывания и применяемыми агротехнологиями (табл. 4.3).

Таблица 4.3. Содержание сырого жира в зерне сортов гороха, г/кг сухого вещества (среднее за 3 года)

Дозы азота (В)	Агроинтел		Среднее по В	Вельвет		Среднее по В
	A_0	A_1		A_0	A_1	
N0	42,3	41,6	42,0	44,5	40,9	42,7
N30	46,3	46,8	46,5	43,0	41,7	42,4
N45	43,0	41,3	42,2	42,7	42,2	42,5
N60	40,2	42,2	41,2	45,0	41,7	43,3
N75	41,7	42,3	42,0	42,5	43,4	43,0
N90	47,8	41,6	44,7	46,4	51,1	48,7
N105	40,8	39,9	40,4	41,3	42,0	41,7
N120	44,1	47,7	45,9	42,2	41,9	42,1
Среднее по А, $НСР_{05}$ для гл. эфф.	43,3	42,9	$НСР_{05}$ гл. эфф. 3,6	43,5	43,1	$НСР_{05}$ гл. эфф. 3,3
	2,6			2,0		
$НСР_{05}$ для частных различий по фактору	A		7,3	A		5,6
	B		5,1	B		4,7
Нормы для 1 / 2 / 3 класса качества зерна по ГОСТ Р 54630-2011	не нормируется					

Количество сырого жира в зерне обоих сортов гороха варьировало не значительно (~1%). При бактеризации семян ризобактериями, значимых изменений не отмечено. Существенное увеличение содержания сырого жира получено только по отдельным вариантам, как на основании главных эффектов, так и частных различий по фактору В. Это указывает на отсутствие чёткой зависимости между изучаемыми факторами и содержанием сырого жира в зерне гороха.

Содержание сырой золы в зерне гороха является незначительным – в пределах 2,56…2,96%, что позволяет увеличить выход наиболее ценных продуктов – азотсодержащих компонентов и белка, безазотистых экстрактивных веществ и крахмала (табл. 4.4). Изменений в содержании сырой золы в зерне гороха сорта Агроинтел, при использовании изучаемых в опыте удобрений не отмечено. В свою очередь на сорте Вельвет, наблюдалось существенное увеличение содержания сырой золы (+0,5…2,2 г/кг) при инокуляции семян бактериальным препаратом и внесении N-удобрения в любой из используемых дозировок. Эти изменения являются фиксируемым результатом усиления фотосинтетической и ассимилирующей активности, индукции метаболических процессов синтеза в бобовой культуре при поступлении азота в процессе симбиотической азотфиксации и с удобрением (Игнатов, 1998).

Таблица 4.4. Содержание сырой золы в зерне сортов гороха, г/кг сухого вещества (среднее за 3 года)

Дозы азота (В)	Агроинтел		Среднее по В	Вельвет		Среднее по В
	A_0	A_1		A_0	A_1	
N0	26,9	27,1	27,0	27,1	27,4	27,2
N30	28,1	26,3	27,2	27,7	29,6	28,7
N45	28,2	27,4	27,8	27,5	28,4	27,9
N60	26,2	26,5	26,3	27,0	28,4	27,7
N75	26,6	27,0	26,8	27,6	28,4	28,0
N90	27,2	25,8	26,5	29,2	28,9	29,0
N105	27,3	25,6	26,4	27,5	27,9	27,7
N120	26,4	27,1	26,8	27,9	28,4	28,1
Среднее по А, $НСР_{05}$ для гл. эфф.	27,1	26,6	$НСР_{05}$ гл. эфф.	27,7	28,4	$НСР_{05}$ гл. эфф.
	0,6		1,4	1,1		0,7
$НСР_{05}$ для частных различий по фактору	А		1,7	А		3,3
	В		2,0	В		1,0
Нормы для 1 / 2 / 3 класса качества зерна по ГОСТ Р 54630-2011	не более 35 / 40 / 45					

Несмотря на это, полученное в одновидовых агроценозах обоих сортов зерно, соответствовало 1 классу качества согласно ГОСТ Р 54630-2011 «Горох кормовой. Технические условия», поэтому может быть использовано в качестве высокобелковой добавки в составе полнорационного комбикорма для КРС, свиней, овец и птицы.

Безазотистые экстрактивные вещества (БЭВ) составляют основу биохимического состава зерна обоих сортов гороха (табл. 4.5).

Таблица 4.5. Содержание БЭВ в зерне сортов гороха, г/кг сухого вещества (среднее за 3 года)

Дозы азота (В)	Агроинтел		Среднее по В	Вельвет		Среднее по В
	A_0	A_1		A_0	A_1	
N0	665,2	645,7	655,5	667,7	663,4	665,5
N30	630,5	634,4	632,5	644,5	652,3	648,4
N45	644,1	646,0	645,1	642,2	639,9	641,0
N60	651,1	657,1	654,1	634,4	635,3	634,8
N75	657,2	648,2	652,7	644,8	623,6	634,2
N90	643,7	654,4	649,1	641,7	626,7	634,2
N105	658,4	661,7	660,0	657,9	646,7	652,3
N120	669,2	672,1	670,7	669,9	677,2	673,5
Среднее по А, $НСР_{05}$ для гл. эфф.	652,4	652,5	$НСР_{05}$ гл. эфф.	650,4	645,6	$НСР_{05}$ гл. эфф.
	15,9		11,5	3,4		10,1
$НСР_{05}$ для частных различий по фактору	А		45,1	А		9,7
	В		16,3	В		14,2
Нормы для 1 / 2 / 3 класса качества зерна по ГОСТ Р 54630-2011	не нормируется					

Именно в составе крахмала и других легкогидролизуемых углеводов сосредоточена наиболее весомая часть обменной энергии корма, которую организм животного использует для обеспечения жизнедеятельности и образования сельскохозяйственной продукции. Содержание БЭВ в зерне гороха сорта Агроинтел имело положительную тесную зависимость от дозировки N-удобрения (r = 0,82), при использовании для предпосевной обработки семян микробного препарата с ризобактериями. В отсутствии инокуляции семян отмечено снижение количества БЭВ в зерне гороха этого сорта, на 21,1 г/кг, 21,5 г/кг и 34,7 г/кг соответственно, при внесении азотного удобрения в дозах 30, 45 и 90 кг N/га. Снижение содержания БЭВ в зерне гороха сорта Вельвет было отмечено на преобладающем количестве изучаемых вариантов в опыте и определялось соответствующим повышением содержания сырого протеина и сырой золы. Особенно чётко это прослеживается при увеличении дозировки азотного удобрения свыше 75 кг д.в./га на фоне инокуляции семян симбиотическими ризобактериями.

Зерно гороха прежде всего служит источником белка, поэтому добавки на его основе являются обязательной составляющей полнорационного комбикорма. Если в зерне кукурузы, ячменя, овса в 1 к.ед. содержится соответственно 59, 70 и 83 грамма перевариваемого протеина (при норме 105-110 г), то в зерне гороха его концентрация составляет 143-170 г (Зотиков, 2016). Зерно бобовых культур и в частности гороха, является отличной альтернативой более дорогого животного белка, а для Нечернозёмной зоны Предуралья и белка сои. Это делает его идеальными компонентами для улучшения рациона всех видов сельскохозяйственных животных. Доля гороха в составе комбикорма для птицы может достигать 10-20% (Тунгусков, 2017). Пригодность зерна гороха для скармливания и приготовления комбикормов оценивается по содержанию основных переваримых компонентов: протеин, клетчатка, жир, БЭВ, и расчёта на их основе величины обменной энергии (табл. 4.6). Национальный стандарт ГОСТ Р 54630-2011 «Горох кормовой. Технические условия» предполагает разделение кормового зерна гороха на классы качества по содержанию обменной энергии, в зависимости от того, для какой из трёх групп животных (крупно рогатый скот и овцы, свиньи, птица) предназна-

чается зерно. В большинстве изучаемых в опыте вариантов, зерно гороха сорта Агроинтел соответствовало норме для 2 класса качества. Значение обменной энергии в зерне гороха сорта Вельвет – строго соответствовало 1 классу качества. Отличие по величине обменной энергии зерна гороха сорта Вельвет, от зерна сорта Агроинтел, обусловлено более высоким содержанием сырого протеина, низкой концентрации сырой клетчатки и БЭВ.

Таблица 4.6. Содержание ОЭ в зерне сортов гороха, МДж/кг сухого вещества (среднее за 3 года)

Дозы азота (В)	Агроинтел		Среднее по В	Вельвет		Среднее по В
	A_0	A_1		A_0	A_1	
N0	13,02	13,09	13,05	14,33	14,34	14,34
N30	13,17	13,20	13,19	14,62	14,41	14,52
N45	13,06	13,13	13,09	14,64	14,51	14,58
N60	13,13	13,09	13,11	14,77	14,79	14,78
N75	13,08	13,03	13,05	14,52	15,09	14,81
N90	13,02	12,99	13,01	14,59	14,78	14,68
N105	12,88	13,04	12,96	14,34	14,76	14,55
N120	12,91	12,95	12,93	14,13	14,23	14,18
Среднее по А, $НСР_{05}$ для гл. эфф.	13,03	13,07	$НСР_{05}$ гл. эфф.	14,49	14,62	$НСР_{05}$ гл. эфф.
	0,19		0,10	0,14		0,13
$НСР_{05}$ для частных различий по фактору	А		0,54	А		0,39
	В		0,14	В		0,19
Нормы для 1 / 2 / 3 класса качества зерна по ГОСТ Р 54630-2011	не менее 13,5 / 13,0 / 12,0*					

Примечание: * – нормы для 1 / 2 / 3 класса качества зерна по содержанию обменной энергии, МДж/кг сухого вещества для КРС и овец. Тоже для таблиц 4.16, 4.19, 4.25, 4.28.

Использование биопрепарата для обработки семян и азотного удобрения способствовало дополнительному увеличению обменной энергии в зерне сорта Вельвет. Благодаря этому в 1 кг сухого вещества зерна гороха сорта Вельвет содержится 1,62…1,85 кормовые единицы. Полученные результаты подчёркивают генетический потенциал этого сорта, ориентированный в направлении использования для кормовых целей. Активность антипитательных веществ (трипсина, химотрипсина) в зерне усатых форм гороха (Шелепина, 2014) находится на низком уровне и составляет в среднем 9,93…11,98 мг/г. Сбалансированный состав и выполненность зерна гороха по протеину, позволяет рекомендовать его включение в состав концентрированных кормов и комбикормов для птицы и сельскохозяйственных животных.

Оценка показателей качества гороховой крупы и её кулинарных достоинств. Бобовые растения по праву можно рассматривать в качестве универсальных культур, так как они обладают не только высоким кормо-продукционным, но и пищевым потенциалом. С учётом физиологической спелости растений, в пищу используют целые растения на начальных этапах развития и их отдельные части (соцветия, листья, зелёные бобы). Зерно гороха обладает хорошими вкусовыми качествами, высокой разваримостью и питательностью. Семена гороха сохраняют свои пищевые и вкусовые качества в течение 10-12 лет, что определяет высокую ценность культуры для создания продовольственных резервов (Елисеева, 2017). Мука из зерна гороха пригодна для включения в рецептуру хлебобулочных и макаронных изделий, колбасных продуктов, жиросодержащих и мясоконсервных изделий (Батурина и др., 2013). Она рассматривается в качестве перспективного сырья для создания продуктов функциональной направленности и представляет интерес для лечебно-диетического питания, выполняя функцию пребиотиков (Зеленов и др., 2012; Шелепина, 2016). При термопластической обработке высокоамилазного горохового крахмала методом экструзии можно получать пластмассоподобные, но биологически рециклируемые до CO_2 и H_2O материалы (Frische et al., 1994). Рассматривается возможность их последующего использования при производстве лаков, бумаги, текстильных изделий, пленок и упаковочных материалов. Высокоамилозный крахмал из зерна гороха применяют в фармакологии при производстве специальных оболочек для лекарств (Dureja et al., 2011).

Основными показателями качества продовольственного зерна гороха, кроме содержания белка, являются развариваемость и товарность семян (Елисеева, Банкрутенко, 2016). У высокоценных сортов гороха содержание белка в созревших семенах составляет не менее 24%. Белок зерна бобовых культур, в отличие от белка злаковых, содержит повышенное количество (в 1,5…1,7 раза) незаменимых аминокислот (треонин, валин, изолейцин, лейцин, фенилаланин, лизин, триптофан). Только зерно бобовых является донором дефицитной НАК – лизина в комбикормах. По составу незаменимых аминокислот белки зерна гороха близки к белкам молока и мяса, их усвояемость достигает 83-87%. Среди зернобобовых

культур горох выделяется высоким содержанием крахмала, которое у зерновых сортов может достигать 50% (Павловская, 2010). Содержание витаминов в зерне гороха составляет, мг %: B_1 – 1; B_2 – 0,2; РР – 2; Е – 8.

Для отдельных вариантов исследования в соответствии с ГОСТ 13586.3-83 производился отбор пробы зернового материала гороха и их последующая переработка на специальном технологическом оборудовании. Результаты экспертизы по установлению соответствия качественных показателей гороха целого шлифованного требованиям действующих нормативных документов представлены в таблицах 4.7 и 4.8.

Таблица 4.7. Технологические характеристики крупы «Горох целый шлифованный» из зерна сорта Агроинтел

Наименование показателя	Требования ГОСТ 6201-68	Без инокуляции			При инокуляции		
		N0	N45	N60	N0	N45	N60
Цвет	жёлтый, зелёный	жёлтый, однотонный					
Вкус	нормальный, свойственный гороху, без посторонних вкусов, не кислый, не горький	соответствует					
Запах	нормальный, свойственный гороху, без затхлого, плесенного или иного постороннего запаха	соответствует					
Влажность, %	не более 15	12,4	11,5	12,5	11,2	10,9	11,7
Сорная примесь, %	не более 0,4 (I сорт) и 3,0 (II сорт)	0,80	0,94	1,05	0,74	0,68	0,93
Выход крупы, %	–	54	56	57	58	61	62
Крупность, мм	–	6,5	6,7	6,8	6,8	7,3	7,5
Выравненность, %	–	79,0	81,7	77,8	80,5	81,4	85,3

С учётом цвета семян и ботанических признаков горох посевной подразделяют на продовольственный и кормовой. Зерно продовольственного гороха чаще всего имеет светлую оболочку. Кормовой горох имеет оболочку с различными оттенками семядолей, иногда с пятнами (Пронин, 2012). В зависимости от цвета, семена гороха подразделяют на типы и подтипы. Однородность семян по цвету указывает на их принадлежность к одному сорту, наличие одинаковых потребительских свойств. Жёлтый цвет семян у сортов Агроинтел и Вельвет, с просвечивающимися через семенную оболочку семядолями, согласно ГОСТ 28674-2019 «Горох. Технические условия», указывает на принадлежность к 1 подтипу I типа. Для переработки в крупу

используют продовольственный горох I типа, 1-го и 2-го подтипов. Горох II типа обладает невысокими пищевыми свойствами, трудно разваривается, после варки имеет темную окраску и неприятный вкус.

Таблица 4.8. Технологические характеристики крупы «Горох целый шлифованный» из зерна сорта Вельвет

Наименование показателя	Ограничительные требования по ГОСТ 6201-68	Без инокуляции			При инокуляции		
		N0	N30	N90	N0	N30	N90
Цвет	жёлтый, зелёный	жёлтый, однотонный					
Вкус	нормальный, свойственный гороху, без посторонних вкусов, не кислый, не горький	соответствует					
Запах	нормальный, свойственный гороху, без затхлого, плесенного или иного постороннего запаха	соответствует					
Влажность, %	не более 14-15	12,0	12,5	13,3	10,7	10,4	12,5
Сорная примесь, %	не более 0,4 (I сорт) и 3,0 (II сорт)	0,93	0,85	0,56	0,88	0,75	1,00
Выход крупы, %	–	43	45	48	47	52	51
Крупность, мм	–	6,5	6,8	6,6	7,0	7,2	7,4
Выравненность, %	–	80,3	83,5	84,2	79,7	85,4	86,7

Качественный продовольственный горох должен быть чистым, созревшим, цельным, сухим, не поврежденным вредителями. У обоих сортов зерно соответствовало этим критериям и лишено посторонних запахов (затхлый, солодовый, плесневый), а также горького или кислого привкуса и посторонних примесей (земля, семена сорных растений). Зерно, не отвечающее этим требованиям, не допускается для последующей переработки в шлифованный горох (крупу), предназначенный для пищевых целей.

Получаемая после переработки зерна крупа, в большинстве своём наследует морфологические признаки семян. В нашем случае отмечалось сохранение однотонного жёлтого цвета и нормального, свойственного гороху, вкуса и запаха. По этим критериям вся получаемая крупа, не зависимо от сортовой принадлежности и используемых в опыте удобрений, соответствовала ГОСТ 6201-68 «Горох шлифованный. Технические условия». Последующее установление принадлежности вырабатываемой гороховой крупы к конкретному виду основано на способе его обработки, сорту – на основании физико-химических показателей.

Содержание гигроскопической влаги в шлифованном горохе в зависимости от сорта и применяемых удобрений варьировало в диапазоне от 10,4…10,9% до 12,5…13,3% и соответствовало норме (14,0%) для сухой крупы. При такой влажности она подходит, как для текущего потребления, так и для длительного хранения и досрочного завоза. Величина показателя влияет на вес при закупке любой зерновой продукции, а также определяет содержание сухого вещества, т.е. концентрацию всех питательных веществ. Влажность зерна гороха влияет на результаты переработки в крупу. Так, при переработке очень сухого зерна существенно повышается выход колотой фракции крупы из-за высокой хрупкости ядра. Сорная примесь в пробах крупы из семян гороха сорта Агроинтел не превышала 0,68…1,05%, сорта Вельвет – 0,56…1,00%. Большая часть этой фракции была представлена испорченными семенами за время хранения. По количеству сорной примеси семена обоих сортов, не зависимо от используемой дозировки азотного удобрения и применения инокулянта, можно отнести к 2 сорту.

Помимо крупы, продуктами переработки зерна гороха являются мука, мучка и шрот, суммарный выход которых составляет 76-78%. Из этого количества, выход целого гороха после лущения составляет только 34-60% (Шелепина, 2014). Из зерна гороха сорта Агроинтел выход целой крупы второго сорта в отсутствии инокуляции семян ризобактериями составил от 54…57%. Использование бактериального препарата способствовало увеличению выхода шлифованного гороха на 4-5%. Выход крупы из зерна гороха сорта Вельвет был существенно ниже – 43…52%. На этом сорте также можно отметить эффективность инокуляции семян ризобактериями. Выход целого шлифованного гороха увеличился на 3-7%. Использование азотного удобрения на обоих сортах в большинстве своём имело тенденцию к увеличению выхода крупы. Базисной нормой выхода целого шлифованного гороха при переработке, согласно «Правила организации …, 1990», считается 47%.

Для осуществления технологических процессов переработки современные сорта гороха должны иметь семена с определенными морфометрическими признаками. К наиболее важным технологическим показателям зерна гороха, помимо равномерности окраски семядолей, относятся крупность и выравненность.

Именно эти параметры определяют пригодность зерна гороха I типа к переработке (Шелепина, 2009). При остатке на соответствующих ситах не менее 80% семян, партию относят к сортированной. Сортированный горох, в зависимости от номера сита, на котором находится преобладающий остаток, относят к одному из трёх классов: I класс – горох крупный, II класс – горох средний, III класс – горох мелкий. Зёрна обоих сортов в составе крупы были крупного размера (6,5…7,5 мм). Инокуляция семян симбиотическими ризобактериями и внесение N-удобрения не способствовало проявлению существенных различий по этому признаку. Крупные семена являются более ценными в технологическом отношении, так как в них содержится меньше оболочек, а, следовательно, и больше питательных веществ. При поставке гороха на крупозаводы, содержание мелкого гороха не должно быть более 5%, а содержание изъеденных и поврежденных гороховой зерновкой и листоверткой семян, не более 1,0%. Проход через сито с отверстиями размером 5 мм (мелкие семена) составил 0,1-0,4%. Зараженных вредителями хлебных запасов и изъеденных семян обнаружено не было, что характеризует крупу из зерна изучаемых сортов как пригодную для пищевых целей.

Выравненность, или однородность зерна по размеру, является важным показателем качества. Чем однороднее зерно по размеру, тем меньше потерь фиксируется при переработке и лучше качество вырабатываемой крупы. Выравненность зёрен крупы у сорта Агроинтел составила от 79,0% до 85,3%, у сорта Вельвет – от 80,7% до 86,7%. Наличие таких параметров у зерна значительно облегчает процесс его переработки и позволяет увеличить выход наиболее питательной части – семядолей. Мелкое зерно плохо шелушится, по своим размерам оно близко к готовой крупе. При попадании мелкого зерна в крупу ухудшается её качество.

Результаты кулинарной оценки с учётом сортовой принадлежности зерна гороха и используемых удобрений приведены в таблицах 4.9 и 4.10. Коэффициент разваримости является технологическим показателем, под которым понимают отношение объема каши к объему крупы, взятой для варки (Шелепина, 2007). В зависимости от сортовых особенностей сырья, способов его обработки,

биохимического состава и свойств коллоидов коэффициент разваримости для целого шлифованного гороха колеблется в пределах от 2,0 до 3,0 единиц. Если полученный коэффициент для зерна гороха свыше 2,4, в пределах от 2,0 до 2,4 или ниже 2,0, то оно получает оценку отлично, хорошо или средней развариваемости соответственно.

Таблица 4.9. Технологические параметры и кулинарная оценка крупы из зерна гороха сорта Агроинтел

Наименование показателя	Без инокуляции			При инокуляции		
	N0	N45	N60	N0	N45	N60
Коэффициент разваримости	2,3	2,4	2,4	2,2	2,3	2,3
Время варки, мин	134	127	130	129	132	127
Кулинарная оценка, балл	4,4	4,1	4,1	4,3	4,2	4,3

Таблица 4.10. Технологические параметры и кулинарная оценка крупы из зерна гороха сорта Вельвет

Наименование показателя	Без инокуляции			При инокуляции		
	N0	N30	N90	N0	N30	N90
Коэффициент разваримости	2,5	2,6	2,6	2,7	2,8	2,9
Время варки, мин	110	114	114	116	108	112
Кулинарная оценка, балл	4,1	4,0	4,1	4,3	4,4	4,2

У крупы, полученной из зерна гороха сорта Агроинтел, коэффициент разваримости варьировал от 2,2 до 2,4 единиц, что является хорошим показателем. Влияния инокуляции ризобактериями и азотного удобрения не отмечено. Коэффициент разваримости у крупы из зерна сорта Вельвет, был несколько выше – от 2,5 до 2,9. Следует отметить положительную тенденцию относительно увеличения этого показателя на 0,2-0,3 и 0,1-0,2 единицы, при использовании бактериального препарата и N-удобрения соответственно.

Развариваемость семян считается равномерной, если после варки более 95% зёрен крупы легко разжёвываются и имеют мягкую консистенцию, не смотря на целостность оболочек к моменту готовности. Сваренной считается крупа совершенно мягкая, но не деформированная, которая при раздавливании между стеклами не имеет мучнистых не проваренных частиц.

Продолжительность варки крупы из зерна гороха сорта Агроинтел составила порядка 127…134 минут, при этом существенного влияния со стороны используемых удобрений на этот показатель не отмечено. Времени для варки крупы,

полученной из зерна гороха сорта Вельвет, было затрачено существенно меньше – на 11,8…17,9%. Использование азотного удобрения, при отсутствии инокуляции, увеличивало продолжительность варки. Обратная тенденция фиксировалась при инокуляции симбиотическими ризобактериями – наблюдалось сокращение времени варки на 4-8 мин. при использовании N-удобрения.

Оценка кулинарные достоинства сваренной крупы включала технологические (продолжительность варки, увеличение массы и объёма), органолептические (цвет, вкус, запах) параметры, а также структуру и консистенцию сваренной каши.

Кулинарная оценка сваренной крупы гороха из зерна сорта Агроинтел находилась в диапазоне от 4,1 до 4,4 баллов. Отмечается снижение органолептических параметров на 0,3 единицы при внесении азотного удобрения без инокуляции семенного материала перед посевом. Более высокая кулинарная оценка (4,2…4,4) для крупы гороха из зерна сорта Вельвет, получена при инокуляции семян перед посевом микробным препаратом. Влияния на этот показатель N-удобрения не отмечено.

4.2. Влияние азотного удобрения на биохимический состав корма гороха посевного в одновидовом и смешанных агроценозах с пшеницей яровой

Благодаря наличию возможности уборки смешанных агроценозов на зелёную массу, сенаж, зерносенаж и зерно, у сельхозтоваропроизводителей появляется определённая вариативность при формировании составов севооборотов. Это обстоятельство позволяет более чётко учитывать потребность поголовья в кормах, продуктивность других культур и типов сельскохозяйственных угодий, слагающих зелёный кормо-сырьевой конвейер. В этом случае возделывание смешанных посевов зернобобовых и злаковых культур может иметь дифференцированный и, в то же время, универсальный характер.

Отсутствие в севооборотах в должном количестве одновидовых и смешанных агроценозов зернобобовых культур может привести к недостатку протеина в производимых кормах, снижению продуктивности животных, значительному пе-

ерасходу концентрированных (зерно, комбикорма), сочных (силос, зелёная масса), грубых (сенаж, зерносенаж, сено) и других видов кормов в хозяйствах (Парахин и др., 2010). В настоящее время доля зернобобовых культур в структуре зернофуража не превышает 3-5%, тогда как для балансирования корма по протеину и аминокислотам необходимо иметь их не менее 13-15% (Хализова, Зыков, 2019). Для обеспечения полноценного кормления объёмистые корма должны иметь среднюю энергетическую питательность (ОЭ) не менее 10,0 МДж (0,80 корм. ед.) в 1 кг сухого вещества вместо 8,0-8,5 МДж ОЭ в настоящее время, при содержании свыше 14% сырого протеина (Косолапов, 2019).

Зерносенаж, приготовленный из однолетних бобово-злаковых культур, характеризуется высоким содержанием энергии в сухом веществе, богат протеином и каротином, содержит оптимальное количество клетчатки, благодаря чему хорошо поедается животными. Перечень определяемых показателей обусловлен требованиями национального стандарта ГОСТ Р 58145-2018 «Зерносенаж. Технические условия», на основании которых происходит определение питательности полученного корма и составление рационов для высокопродуктивных животных.

Результаты по влиянию состава агроценоза и уровня азотного питания на биохимический состав зерносенажной массы одновидовых и смешанных посевов посевного гороха и яровой пшеницы представлены в таблицах 4.11-4.13 и приложениях 31-34.

Зерносенажная масса, полученная в одновидовых посевах пшеницы и гороха, существенно отличается по биохимическому составу. Корм, полученный в смешанных посевах, чаще занимает промежуточное значение, определяемое соотношением и видовой принадлежностью преобладающего компонента в составе высеваемой смеси. Построение и последующее культивирование горохо-пшеничных агроценозов может служить одним из примеров «доукомплектования» получаемого урожая недостающим количеством белка и аминокислот, что достаточно часто можно наблюдать при возделывании злаковых и бобовых видов в монопосеве. В зерносенажной массе, полученной в смешанных агроценозах, содержание сырого протеина было на уровне 89,8…148,8 г/кг (табл. 4.11).

Таблица 4.11. Содержание сырого протеина и сырой клетчатки в зерносенаже, г/кг сухого вещества (среднее за 3 года)

Состав агроценоза (фактор А)		Сырой протеин			Среднее по А	Сырая клетчатка			Среднее по А
		N0	N30	N60		N0	N30	N60	
Пшеница 100%		76,8	82,0	91,5	83,4	302,8	289,9	306,9	299,9
Пшеница 75% + горох 25%		89,8	98,2	104,5	97,5	266,9	258,4	256,5	260,6
Пшеница 50% + горох 50%		107,2	114,2	112,8	111,4	258,8	274,5	266,2	266,5
Пшеница 25% + горох 75%		139,3	147,9	148,8	145,3	247,8	263,2	271,3	260,8
Горох 100%		178,2	179,7	182,3	180,1	230,4	238,7	248,4	239,1
Среднее по В, $НСР_{05}$ гл. эфф.		118,3	124,4	128,0	$НСР_{05}$ гл. эфф. 24,0	261,4	265,0	269,8	$НСР_{05}$ гл. эфф. 34,0
		9,5				15,2			
$НСР_{05}$ для частных различий по фактору	А	41,6				58,9			
	В	21,3				33,9			
Нормы для 1 / 2 / 3 класса качества зерносенажа по ГОСТ Р 58145-2018		не менее 120 / 100 / 80				не более 250 / 270 / 290			

Более высокие значения этого показателя (139,3-148,8 г/кг корма), получены для посева пшеница 25% + горох 75%. Величина прибавки, в зависимости от доз N-удобрения, составила +57,3…65,9 г/кг. Корм в этом случае соответствует 1 классу качества (не менее 120 г/кг корма). Биологические особенности развития зернобобовых культур предусматривают накопление и более высокое содержание азотсодержащих соединений в составе не только зерна, но и вегетативных частей (стеблях, листьях, побегах) растений. Смешанные посевы имели преимущество перед одновидовыми посевами пшеницы, только при равном сочетании компонентов (пшеница 50% + горох 50%) и превалировании гороха в составе высеваемой смеси (пшеница 25% + горох 75%). Однозначное преимущество среди изучаемых смесей, по уровню содержания сырого протеина (145,3 г/кг – 1 класс качества), имел посев с долей гороха 75%.

При изменении уровня азотного питания ($N_0 \rightarrow N_{30} \rightarrow N_{60}$) существует устойчивая тенденция повышения содержания сырого протеина (118,3→124,4→128,0 г/кг) в зерносенажной массе. Существенное увеличение содержания сырого протеина на 9,7 г/кг до уровня 1 класса, происходило только при внесении более высокой дозы (N60) азотного удобрения.

Содержание сырой клетчатки (табл. 4.11) отражает степень расщепления полимерных структурных углеводистых соединений и полноту последующего из-

влечения заключённой в них энергии, определяет структурность и переваримость получаемого корма (Кашеваров и др., 2017). Накопление сырой клетчатки по мере созревания зерновых культур ограничивает проведение уборки в более поздние сроки, когда фиксируется накопление большего количества сухого вещества (Айрих, Дускаев, 2013).

В зерносенажной массе, полученной в смешанных агроценозах яровой пшеницы и посевного гороха, содержание сырой клетчатки было на уровне 247,8…274,5 г/кг. Более низкие значения этого показателя (247,8 г/кг корма), характерны для посева пшеница 25% + горох 75% без внесения азота удобрения. Увеличение долевого присутствия гороха в составе смешанных посевов способствовало снижению количества сырой клетчатки в полученной зерносенажной массе, что будет способствовать лучшей переваримости корма. Смешанные посевы имели преимущество, относительно монопосева пшеницы, в случае преобладания одного из компонентов в составе высеваемой смеси – пшеница 75% + горох 25% и пшеница 25% + горох 75%. Зерносенажная масса, полученная в смешанных агроценозах, по величине рассматриваемого признака соответствовала 2 классу качества (не более 270 г/кг). Ключевым условием, наряду с включением гороха, для этого являлось снижение количества соломистой части растений пшеницы, в общем объёме получаемой зерносенажной массы. Повышение содержания сырой клетчатки (261,4→265,0→269,8 г/кг), при увеличении уровня азотного питания, можно рассматривать на уровне тенденции.

Содержание сырого жира в зерносенаже обычно не превышает 4% от сухого вещества. Колебания в пределах 20-70 г/кг сухого вещества корма могут наблюдаться с учётом видовой принадлежности трав в убираемой массе (табл. 4.12). Порядка 50% от общего количества липидных соединений в свежей сенажной массе поступает из ненасыщенной линоленовой кислоты (С18 : 3), оказывающей непосредственное влияние на жирно-кислотный профиль молочного жира и продуктов, полученных на его основе (Кирилов и др., 2009). Количество сырого жира в составе зерносенажа (табл. 4.12) за счёт изменения состава смешанных агроценозов и уровня азотного питания, варьировало в пределах – 10,8…91,4 и 5,5…19,1% соответ-

ственно. Смешанные посевы имели преимущество, относительно одновидового посева пшеницы, только в случае превалирования гороха в составе высеваемой смеси (пшеница 25% + горох 75%). Нормирование данного параметра согласно ГОСТ Р 58145-2018 не предусмотрено.

Таблица 4.12. Содержание сырого жира и сырой золы в зерносенаже, г/кг сухого вещества (среднее за 3 года)

Состав агроценоза (фактор А)		Сырой жир			Среднее по А	Сырая зола			Среднее по А
		N0	N30	N60		N0	N30	N60	
Пшеница 100%		14,7	17,5	16,9	16,3	18,7	19,4	20,7	19,6
Пшеница 75% + горох 25%		20,4	22,7	18,7	20,6	28,3	26,3	27,7	27,5
Пшеница 50% + горох 50%		23,6	22,3	20,5	22,2	35,7	37,3	37,4	36,8
Пшеница 25% + горох 75%		28,1	25,9	25,5	26,5	42,4	46,4	41,0	43,3
Горох 100%		26,1	27,0	29,6	27,6	45,1	50,0	53,7	49,6
Среднее по В, $НСР_{05}$ гл. эфф.		22,6	23,1	22,2	$НСР_{05}$ гл. эфф. 8,3	34,0	35,9	36,1	$НСР_{05}$ гл. эфф. 7,0
		2,2				3,3			
$НСР_{05}$ для частных различий по фактору	А	14,5				12,0			
	В	5,0				7,3			
Нормы для 1 / 2 / 3 класса качества зерносенажа по ГОСТ Р 58145-2018		не нормируется				не более 60 / 80 / 100			

Содержание сырой золы (табл. 4.12) входит в перечень ключевых показателей, которые определяют класс качества зерносенажа по ГОСТ Р 58145-2018 «Зерносенаж. Технические условия». Более высоким содержанием сырой золы в зерносенажной массе характеризуются смешанные и одновидовой агроценозы бобовой культуры. Преимущество среди изучаемых смесей, по уровню содержания сырой золы (36,8 и 43,3 г/кг – 1 класс качества), имели варианты со следующим сочетанием компонентов: пшеница 50% + горох 50% и пшеница 25% + горох 75%. Аналогичные изменения, в содержании обсуждаемого признака, зафиксированы на основании частных различий по фактору А. Содержание сырой золы в зерносенаже смешанных посевов не зависимо от их состава и уровня азотного питания, не превышало нормы для 1 класса (не более 60 г/кг). Данная особенность связана с тем, что однолетние злаковые и бобовые культуры, относительно многолетних представителей своих видов, отличаются более низким содержанием минеральных соединений в их составе. Кроме этого, в составе получаемого корма отсутствовали частицы почвы и другие минеральные примеси.

Фракция безазотистых экстрактивных веществ (БЭВ) включает в себя органические вещества (крахмал, легкогидролизуемую часть лигнина и целлюлозы, пектиновые вещества, органические кислоты), не учтённые в получаемой зерносенажной массе при определении сырого протеина, сырой клетчатки и сырого жира (табл. 4.13).

Таблица 4.13. Содержание безазотистых экстрактивных веществ (БЭВ, г) и обменной энергии (ОЭ, МДж) в зерносенаже, кг сухого вещества (среднее за 3 года)

Состав агроценоза (фактор А)		БЭВ			Среднее по А	Обменная энергия			Среднее по А
		N0	N30	N60		N0	N30	N60	
Пшеница 100%		476,1	480,3	449,7	476,5	7,97	8,12	8,26	8,12
Пшеница 75% + горох 25%		490,2	490,1	488,3	489,5	8,35	8,56	8,69	8,53
Пшеница 50% + горох 50%		470,3	447,3	458,9	458,8	8,73	8,83	8,82	8,79
Пшеница 25% + горох 75%		438,1	412,3	409,1	419,8	9,43	9,57	9,54	9,51
Горох 100%		415,9	400,4	381,7	399,3	10,31	10,29	10,30	10,30
Среднее по В, $НСР_{05}$ гл. эфф.		459,5	447,4	439,5	$НСР_{05}$ гл. эфф. 16,7	8,96	9,07	9,12	$НСР_{05}$ гл. эфф. 0,57
		16,5				0,21			
$НСР_{05}$ для частных различий по фактору	А	29,0				0,99			
	В	36,9				0,47			
Нормы для 1 / 2 / 3 класса качества зерносенажа по ГОСТ Р 58145-2018		не нормируется				не менее 9,20 / 8,60 / 8,10*			

Примечание: * – нормативные требования по содержанию обменной энергии в зерносенаже представлены для КРС и овец согласно (Методические указания…, 2002). Тоже для таблицы 4.22.

Существенное снижение количества БЭВ на 17,7 и 56,7 г/кг сухого вещества корма, относительно одновидового ценоза пшеницы, отмечено при увеличении доли гороха в составе высеваемых смесей до 50 и 75% соответственно (табл. 4.13). Схожие изменения в содержании БЭВ получены при внесении N-удобрения. При внесении N30 количество БЭВ снизилось на 12,1 г/кг корма и на 20,0 г/кг корма, при внесении N60. Данное снижение весьма закономерно, так как увеличение уровня азотного питания компонентов в посеве за счёт внесения азотного удобрения и повышения доли гороха в составе смешанных посевов, приводит к существенному увеличению содержания сырого протеина в составе получаемой зерносенажной массы (Цвирков, Босак, 2013). Изменения содержания БЭВ имеют тесную отрицательную корреляционную зависимость относительно увеличения долевого присутствия гороха в составе высеваемой смеси (r = -0,93) и дозами N-удобрения (r = -0,99).

Зерносенажная масса одновидовых посевов пшеницы и гороха существенно отличалась по величине обменной энергии (табл. 4.13). Зерносенажная масса горохового агроценоза превосходила злаковый на 2,18 МДж/кг. Если в случае с одновидовым посевом гороха количество обменной энергии не претерпевает видимых изменений (10,29…10,31 МДж/кг) при внесении N-удобрения, то для посева яровой пшеницы, отмечена тенденция повышения содержания обменной энергии с 7,97 до 8,12 и 8,26 МДж/кг в зерносенажной массе. Повышение содержания обменной энергии (8,96→9,07→9,12 МДж/кг), при увеличении уровня азотного питания, в целом по опыту, можно рассматривать на уровне слабой тенденции к росту.

Биохимический состав зерна. Разница в биохимическом составе зерносенажа в смешанных посевах прослеживается не только из-за видовой принадлежности культур, хотя это условие бесспорно является определяющим. Различия в составе фиксируются в связи с преобладанием в корме отдельных частей растений (стеблей, листьев, соцветий), контрастом их биохимического состава (зерна – соломы, бобов – стеблей) в общей массе зерносенажа. При возделывании смешанных агроценозов для получения зерна, разница в составе зернового вороха обусловлена только различиями биохимического состава. Данные по влиянию состава агроценоза и уровня азотного питания на биохимический состав зерна пшеницы представлены в таблицах 4.14-4.16 и приложениях 35-38, гороха в таблицах 4.17-4.19 и приложениях 39-42.

Питательность и ценность использования концентрированных кормов на основе фуражного зерна определяется содержанием сырого протеина. Зерно пшеницы, полученное в смешанных посевах, отличалось более высоким содержанием сырого протеина относительно её одновидового посева (табл. 4.14). При увеличении доли гороха в составе агроценозов (до 25%, 50% и 75%) происходило планомерное увеличение содержания сырого протеина на 5,1, 14,3 и 8,2 г/кг соответственно. Более высокое содержание сырого протеина в зерне (127,1…135,3 г/кг), которое соответствует норме для 2 класса качества (120-140 г/кг), получили при равном долевом участии компонентов (пшеница 50% + горох 50%) или с превалированием гороха (пшеница 25% + горох 75%) в составе высеваемой смеси.

Таблица 4.14. Содержание сырого протеина и сырой клетчатки в зерне пшеницы, г/кг сухого вещества (среднее за 3 года)

Состав агроценоза (фактор А)		Сырой протеин			Среднее по А	Сырая клетчатка			Среднее по А
		N0	N30	N60		N0	N30	N60	
Пшеница 100%		103,7	108,0	111,4	107,7	25,4	23,5	21,8	23,6
Пшеница 75% + горох 25%		109,2	114,2	115,0	112,8	26,1	24,9	22,2	24,4
Пшеница 50% + горох 50%		122,7	126,5	132,2	127,1	26,7	24,0	21,6	24,1
Пшеница 25% + горох 75%		131,8	135,2	138,8	135,3	26,3	22,7	21,8	23,6
Среднее по В, $НСР_{05}$ гл. эфф.		116,8	121,0	124,3	$НСР_{05}$ гл. эфф. 1,82	26,1	23,8	21,8	$НСР_{05}$ гл. эфф. 0,97
		2,10				0,35			
$НСР_{05}$ для частных различий по фактору	А	3,15				1,67			
	В	4,20				0,70			
Нормы для 1 / 2 / 3 класса качества зерна пшеницы по ГОСТ Р 54078-2010		>140 / 120-140 / <120				<25 / 25-35 / >35			

При внесении азотного удобрения (N0→N30→N60) зафиксировано устойчивое повышение содержания сырого протеина (116,8→121,0→124,3 г/кг) в зерне. В смешанном (пшеница 75% + горох 25%) и одновидовом посеве пшеницы, увеличение содержания сырого протеина в зерне на 5,0 и 4,3 г/кг соответственно наблюдалось при внесении N30. В посевах с равным соотношением компонентов (пшеница 50% + горох 50%) и при превалировании гороха (пшеница 25% + горох 75%), увеличение сырого протеина в зерне пшеницы (на 9,5 и 7,1 г/кг соответственно) отмечено только при внесении N60. Каждый кг N в зависимости от сочетания компонентов в составе смешанных агроценозов, обеспечил повышение содержания сырого протеина на 0,10…0,17 г. Отмеченная тенденция связана с оптимизацией азотного питания яровой пшеницы за счёт внесения азота с удобрением и межкультурного взаимодействия компонентов в смешанном посеве. Увеличение пула доступного для питания растений азота происходит благодаря наращиванию объёма биологической азотфиксации, усиления использования азота почвы и удобрений, что приводит к более высокой продуктивности ценозов и содержанию N в зерне, по сравнению с одновидовыми посевами (Cowden et al., 2020).

Количество сырой клетчатки в зерне пшеницы (табл. 4.14) было связано с его выполненностью и крупностью, содержанием отрубянистых оболочек в составе. В зерне яровой пшеницы, полученном в одновидовом и смешанных агроценозах не прослеживались существенные изменения в содержании сырой клетчат-

ки на основании главных эффектов и частных различий по фактору А. Общее количество сырой клетчатки в составе зерна составляло 2,16…2,67%. Более низкие значения в опыте (23,8-21,8 г/кг), зафиксированы в случае увеличения уровня азотного питания. Существенное снижение содержания сырой клетчатки на 2,3 и 2,0 г/кг, до уровня 1 класса качества (менее 25 г/кг), происходило при внесении N в дозе 30 и 60 кг/га. Качественные изменения содержания сырой клетчатки в зерне яровой пшеницы при увеличении уровня азотного питания были получены во всех агроценозах. Увеличение доз N-удобрения в смешанных посевах пшеницы и гороха, способствовало снижению количества сырой клетчатки в полученной зернофуражной массе на 1,23-3,55…0,95-2,65 г/кг, что в дальнейшем будет способствовать лучшей переваримости корма.

Количество сырого жира в зерне пшеницы изменялось как от состава агроценоза, так и доз азотного удобрения и находилось на уровне 15,3…19,7 г/кг зерна и варьировало не значительно (табл. 4.15). Увеличение содержания сырого жира на 1,3 г/кг было при внесении N30 и снижалось на 1,6 г/кг при внесении N60. Обозначенная тенденция достаточно чётко прослеживалась во всех агроценозах. Не смотря на значимость данного показателя с точки зрения разнообразия и выполненности биохимического состава, нормирование данного параметра для зерна пшеницы, согласно ГОСТ Р 54078-2010 «Пшеница кормовая. Технические условия» не предусмотрено.

Таблица 4.15. Содержание сырого жира и сырой золы в зерне пшеницы, г/кг сухого вещества (среднее за 3 года)

Состав агроценоза (фактор А)		Сырой жир			Среднее по А	Сырая зола			Среднее по А
		N0	N30	N60		N0	N30	N60	
Пшеница 100%		17,8	19,1	17,5	18,1	22,2	23,9	24,8	23,6
Пшеница 75% + горох 25%		17,8	19,6	18,3	18,6	23,0	24,9	25,8	24,5
Пшеница 50% + горох 50%		17,5	18,3	18,3	18,0	25,0	25,0	25,7	25,2
Пшеница 25% + горох 75%		18,0	19,7	15,3	17,7	25,9	26,5	28,4	27,0
Среднее по В, $НСР_{05}$ гл. эфф.		17,8	19,2	17,3	$НСР_{05}$ гл. эфф. 1,09	24,0	25,1	26,2	$НСР_{05}$ гл. эфф. 0,42
		0,79				0,63			
$НСР_{05}$ для частных различий по фактору	А	1,90				0,73			
	В	1,59				1,25			
Нормы для 1 / 2 / 3 класса качества зерна пшеницы по ГОСТ Р 54078-2010		не нормируется				<18 / 18-22 / >22			

Варьирование содержания сырой золы в зерне пшеницы было существенным и определялось составом агроценоза и уровнем азотного питания (табл. 4.15). Более высокое содержание сырой золы в зерне получено в смешанных агроценозах с включением бобовой культуры. Происходило планомерное увеличение количества сырой золы на 0,9, 1,6 и 3,4 г/кг соответственно при возрастании доли гороха (25%→50%→75%) в составе высеваемой смеси. При изменении доз N-удобрения (N0→N30→N60) отмечено повышение содержания сырой золы (24,0→25,1→26,2 г/кг) в составе зерна пшеницы. Данные изменения связаны с усилением метаболизма и процессов синтеза в растительном организме, в результате дополнительного поступления азота. Существенное увеличение содержания сырой золы в составе зерна пшеницы (на 1,7 и 1,9 г/кг соответственно), при внесении N30, было отмечено в одновидовом посеве пшеницы и смешанном агроценозе – пшеница 75% + горох 25%. При превалировании гороха в составе посева (пшеница 25% + горох 75%), наблюдалось увеличение количества сырой золы в зерне пшеницы (на 2,5 г/кг) при внесении N60. Не смотря на описанные изменения содержания сырой золы в зерне от изучаемых факторов, её количество по всем вариантам значительно превышало пороговое значение нормы для 3 класса качества (более 22 г/кг), при отсутствии частиц почвы и других минеральных примесей в составе. Согласно поправке, опубликованной в ИУС №10-2012, класс зерна кормовой пшеницы определяют по нормам, прописанным в ГОСТ Р 54078-2010 «Пшеница кормовая. Технические условия», по наихудшему значению одного из показателей.

Основная часть сухой массы зерна злаковых растений представлена крахмалом (56-72%). Именно крахмал и некоторое количество легкорастворимых и легкогидролизуемых углеводистых соединений, составляют основу безазотистых экстрактивных веществ (БЭВ) в зерне пшеницы (Ненайденко, 2018). В представленном эксперименте их количество имело обратную зависимость от уровня азотного питания ($r = -0,92$) и доли гороха в составе смеси и формируемого агроценоза ($r = -0,99$). Снижение количества БЭВ на 7,3, 21,4 и 30,5 г/кг зерна соответственно (табл. 4.16), обусловлено повышением количества сырого протеина и сы-

рой золы в зерне пшеницы по мере увеличения долевого присутствия гороха в составе высеваемой зерновой смеси с 25% до 50% и 75%.

Таблица 4.16. Содержание безазотистых экстрактивных веществ (БЭВ, г) и обменной энергии (ОЭ, МДж) в зерне пшеницы, кг сухого вещества (среднее за 3 года)

Состав агроценоза (фактор А)		БЭВ			Среднее по А	Обменная энергия			Среднее по А
		N0	N30	N60		N0	N30	N60	
Пшеница 100%		830,9	825,5	824,6	827,0	12,61	12,66	12,69	12,65
Пшеница 75% + горох 25%		823,9	816,5	818,7	819,7	12,63	12,68	12,71	12,67
Пшеница 50% + горох 50%		808,1	806,2	802,3	805,5	12,72	12,79	12,87	12,79
Пшеница 25% + горох 75%		798,0	795,8	795,6	796,5	12,79	12,87	12,87	12,84
Среднее по В, $НСР_{05}$ гл. эфф.		815,2	811,0	810,3	$НСР_{05}$ гл. эфф. 3,09	12,69	12,75	12,78	$НСР_{05}$ гл. эфф. 0,02
		2,07				0,02			
$НСР_{05}$ для частных различий по фактору	А	5,35				0,03			
	В	4,14				0,04			
Нормы для 1 / 2 / 3 класса качества зерна пшеницы по ГОСТ Р 54078-2010		не нормируется				> 13 / 12-13 / < 12			

Отмеченный параметр достаточно чётко прослеживается не только на основании главных эффектов, но и частных различий по фактору А. Существенными являются различия не только относительно одновидового агроценоза пшеницы, но и между каждым последующим вариантом схемы (A_0-A_1-A_2-A_3) по мере увеличения долевого присутствия гороха (5,9-9,1…10,3-16,4…6,7-10,3 г/кг), независимо от уровня азотного питания. За счёт внесения N30 происходило снижение количества безазотистых экстрактивных веществ (крахмала, сахаров, пектиновых веществ и др.) в зерне на 4,2 г/кг. Последующее увеличение дозы (N60), приводило к не существенным изменениям. Нормирование по данному показателю не предусмотрено.

Зерно пшеницы, полученное в смешанных посевах, существенно отличалось по величине обменной энергии (табл. 4.16). При увеличении долевого присутствия гороха в составе высеваемой смеси, разница в отношении одновидового посева злака, по содержанию обменной энергии в зерне яровой пшеницы составила 0,02…0,19 МДж/кг, что связано с увеличением содержания в зерне сырого протеина. Аналогичные изменения в уровне содержания обменной энергии (0,02…0,09-0,16…0,07-0,08 МДж/кг) характерны и для частных различий по фактору А. Увеличение количества обменной энергии на 0,06 МДж/кг происходило при внесении N30 и на 0,09 МДж/кг при внесении N60. Обозначенная тенденция достаточно чёт-

ко прослеживалась во всех агроценозах. Зерно пшеницы, полученное в смешанных посевах, не зависимо от соотношения компонентов в составе высеваемой смеси и уровня азотного питания, по содержания обменной энергии соответствовало 2 классу качества ГОСТ Р 54078-2010.

Зерно яровой пшеницы, полученное в смешанных агроценозах, за исключением содержания сырой золы, соответствует нормам национального стандарта ГОСТ Р 54078-2010 «Пшеница кормовая. Технические условия» и МУ по оценке качества и питательности кормов (Методические указания …, 2002), а также значительно превосходит по содержанию сырого протеина зерно, полученное в одновидовом посеве яровой пшеницы. Эти изменения связаны с формированием комплементарных и донорно-акцепторных связей между компонентами смешанных агроценозов. Проявление и выраженность данных взаимодействий, в случае смешанных агроценозов яровой пшеницы и посевного гороха обусловлена за счёт: экзоосмоса азотистых веществ из клеток корней бобового растения (1), более интенсивного использования минерального азота почвы и удобрений, при наблюдаемой экспрессии в процессе азотфиксации бобовой культурой (2); высокой усваивающей способности корневой системы гороха и последующей аккумуляции питательных элементов в ризосфере (3); характера корневых экссудатов и связанного с ним видового разнообразия микробного пула ризосферной зоны (4).

В рамках представленного исследования, с учётом долевого соотношения компонентов в составе смешанных агроценозов и доз азота, наблюдалось изменение не только биохимического состава зерна пшеницы, но и зерна гороха (табл. 4.17-4.19). Включение зерна гороха (1-2 кг) в корм лактирующим коровам приводит к повышению удоев и качества молока. В рационе свиней на откорме наблюдается улучшение качества мяса и формирование зернистого шпика. Горох добавляют в кормосмеси для молодняка КРС при сокращении в рационе норм цельного молока (http://www.zivotnovodstvo.ru/). В смешанных агроценозах содержание сырого протеина (табл. 4.17) в зерне гороха было на уровне 198,5…231,1 г/кг, при этом в смесях (пшеница 75% + горох 25%, пшеница 50% + горох 50%), существенно уступало одновидовому посеву гороха. Более высокое содержание сыро-

го протеина (222,3…231,1 г/кг), которое соответствует норме для 2 класса качества (не менее 220 г/кг), получено в посеве с превалированием гороха (пшеница 25% + горох 75%) в составе высеваемой смеси. Увеличение доли гороха в смешанных агроценозах с 25% до 50% и 75%, при внесении азотного удобрения в дозе 30 и 60 кг д.в./га, сопровождалось увеличением содержания сырого протеина в зерне на 11,6…12,3 и 10,4…17,3 г/кг соответственно.

Таблица 4.17. Содержание сырого протеина и сырой клетчатки в зерне гороха, г/кг сухого вещества (среднее за 3 года)

Состав агроценоза (фактор А)		Сырой протеин			Среднее по А	Сырая клетчатка			Среднее по А
		N0	N30	N60		N0	N30	N60	
Пшеница 75% + горох 25%		198,5	201,5	206,9	202,3	36,9	38,1	39,2	38,0
Пшеница 50% + горох 50%		214,6	213,8	218,5	215,6	44,8	49,0	47,9	47,2
Пшеница 25% + горох 75%		222,3	231,1	228,9	227,4	48,8	55,7	58,7	54,4
Горох 100%		234,3	230,7	228,2	231,0	56,1	60,3	62,7	59,7
Среднее по В, $НСР_{05}$ гл. эфф.		217,4	219,3	220,6	$НСР_{05}$ гл. эфф.	46,6	50,8	52,1	$НСР_{05}$ гл. эфф.
		2,41			4,50	0,82			0,18
$НСР_{05}$ для частных различий по фактору	А	7,80				0,31			
	В	4,83				1,65			
Нормы для 1 / 2 / 3 класса качества зерна гороха по ГОСТ Р 54630-2011		не менее 250 / 220 / 200				не более 50 / 60 / 80			

При изменении уровня азотного питания (N0→N30→N60) в целом по опыту, повышение содержания сырого протеина в зерне гороха можно рассматривать только на уровне тенденции (217,4→219,3→220,6). Выявленный характер изменений связан с оптимизацией минерального и, прежде всего, азотного питания бобовой культурой за счёт полноценной реализации своего биологического потенциала (Германович, Царук, 2009). В тоже время в одновидовом посеве, при более высоком уровне азотного питания (N60), зафиксировано снижение количества сырого протеина на 6,1 г/кг.

Количество сырой клетчатки в зерне гороха (табл. 4.17) было несколько выше, чем в зерне пшеницы. Величина показателя связана с количеством семенных оболочек в составе зерна, содержание которых, по результатам исследований (Шелепина и др., 2013) варьирует от 7,7 до 12,5%. Химический состав этих оболочек представлен крахмалом (2,6%), пентозанами (16,3%), уроновыми кислотами (16,7%), лигнином (5,8%), пектиновыми веществами (2,1%), протеином (4,8%). В

составе пищевых волокон зерна гороха присутствуют полисахариды: целлюлоза (34,0%), гемицеллюлоза (20,5%) и лигнин (31,0%).

В зерне гороха смешанных агроценозов содержание сырой клетчатки было на уровне 36,9…58,7 г/кг. Более низкие значения (36,9 г/кг корма), были характерны для ценоза пшеница 75% + горох 25% в отсутствии внесения N-удобрения. Увеличение долевого присутствия гороха в составе смешанных посевов (25%→50%→75%) обуславливало повышение количества сырой клетчатки в зерне. По содержанию сырой клетчатки смешанные посевы имели преимущество относительно монопосева гороха. Зерно, полученное в смешанных ценозах, соответствовало 1 (пшеница 75% + горох 25%, пшеница 50% + горох 50%) и 2 (пшеница 25% + горох 75%) классу качества. Более высокое содержание сырой клетчатки в зерне гороха (50,8-52,1 г/кг), получено при увеличении уровня азотного питания. При внесении N-удобрения содержание увеличилось на 4,2 г/кг и в последующем на 1,3 г/кг, до уровня 2 класса качества (не более 60 г/кг). Изменения, отмеченные в целом по опыту, были характерные для всех агроценозов (1,95…2,73-1,68…2,65 г/кг) на основании частных различий.

В зависимости от состава агроценоза и уровня азотного питания количество сырого жира в зерне гороха составляло 33,0…42,4 г/кг (табл. 4.18). Наиболее существенные из фиксируемых изменений, были выявлены при изменении состава агроценоза. Более высокое содержание сырого жира (37,2…40,6 г/кг) было получено в смешанных посевах. Количество сырого жира увеличивалось на 2,0→1,5→1,9 г/кг при снижении доли гороха (75%→50%→25%) в составе высеваемых смесей. Схожая тенденция прослеживалась по каждой из доз азота.

Влияние N-удобрения на содержание сырого жира в зерне гороха было не однозначным. Содержание жира снижалось на 5,2 г/кг при внесении N30 и увеличивалось в последующем на 2,3 г/кг, при внесении N60. Обозначенная тенденция чётко прослеживалась по всем смешанным агроценозам. Не смотря на весомость данного показателя при расчёте количества обменной энергии в зерне гороха, нормирование данного параметра согласно ГОСТ Р 54630-2011 «Горох кормовой. Технические условия», не предусмотрено.

Таблица 4.18. Содержание сырого жира и сырой золы в зерне гороха, г/кг сухого вещества (среднее за 3 года)

Состав агроценоза (фактор А)		Сырой жир			Среднее по А	Сырая зола			Среднее по А
		N0	N30	N60		N0	N30	N60	
Пшеница 75% + горох 25%		41,3	38,9	41,5	40,6	41,6	43,5	46,2	43,8
Пшеница 50% + горох 50%		42,1	34,5	39,3	38,7	46,0	46,9	47,9	46,9
Пшеница 25% + горох 75%		42,4	32,2	36,9	37,2	46,3	47,9	48,6	47,6
Горох 100%		36,8	35,8	33,0	35,2	50,6	51,4	52,7	51,6
Среднее по В, $НСР_{05}$ гл. эфф.		40,6	35,4	37,7	$НСР_{05}$ гл. эфф. 0,39	46,1	47,4	48,8	$НСР_{05}$ гл. эфф. 0,55
		0,35				0,72			
$НСР_{05}$ для частных различий по фактору	А	0,68				0,96			
	В	0,71				1,43			
Нормы для 1 / 2 / 3 класса качества зерна гороха по ГОСТ Р 54630-2011		не нормируется				не более 35 / 40 / 45			

Количество сырой золы является одним из 4 показателей, согласно которых определяется класс качества зерна гороха по ГОСТ Р 54630-2011. Более высоким содержанием сырой золы в зерне гороха (47,6 г/кг) отличался смешанный агроценоз с превалированием в составе бобовой культуры (пшеница 25% + горох 75%), а также одновидовой посев гороха (51,6 г/кг). С увеличением доли пшеницы в составе высеваемой смеси и формируемого по факту посева, содержание сырой золы в зерне гороха снижалось на 0,7 и 3,1 г/кг. При отсутствии на поверхности семенных оболочек горошин частиц почвы и прочей минеральной примеси в составе зернового вороха, большая часть зерна, по этому показателю не соответствовала даже 3 классу качества, что говорит о возможности его использования только на технические цели. Норме для 3 класса качества (не более 45 г/кг) соответствовало зерно в смешанном агроценозе пшеница 75% + горох 25% на фоне N0 и N30. Высокое содержание сырой золы в зерне было характерным для обоих компонентов в составе смешанных и одновидовых посевов. На наш взгляд это связано с высоким фоном минерального питания.

По утверждению эксперта в области сертификации зерна в системе ГОСТ Р, главного технолога ФГБУ «Федеральный центр оценки безопасности и качества зерна и продуктов его переработки» (Золоева, 2014), в действующих стандартах «…могут быть завышенные нормы по содержанию клетчатки и зольности зерна, что подтверждается данными справочной литературы…». Согласно информации от специалистов ЦНИИ агрохимического обслуживания сельского хозяйства (Ме-

тодические указания …, 2002), «…концентрированные корма должны быть нормального цвета и запаха, характерных для каждой культуры, содержание сырой золы не должно превышать 12%. В среднем для зерновых кормов содержание сырой золы составляет около 4% на сухое вещество…».

Зерно бобовых культур отличает высокое содержание сырого протеина (20-40%), незначительное количество легкорастворимых и легкогидролизуемых углеводов (30-50%) (Завалин, 2019). Содержание безазотистых экстрактивных веществ имеет тесную отрицательную корреляционную зависимость относительно увеличения долевого присутствия гороха в составе посева (r = -0,98) и дозами N-удобрения (r = -0,96). При включении пшеницы (25%) и последующем увеличении её сегмента в состав высеваемой зерновой смеси до 50% и 75%, наблюдалось увеличение содержания БЭВ на 11,0 г/кг, 29,2 г/кг и 52,9 г/кг в зерне гороха соответственно (табл. 4.19). Данное изменение обусловлено понижением количества сырого протеина и сырой золы в зерне гороха по мере снижения его долевого присутствия (75%→50%→25%) в смешанных агроценозах. Отмеченный параметр прослеживается на основании главных эффектов и частных различий по фактору А. Относительно одновидового посева гороха и каждым последующим вариантом схемы (A_4-A_3-A_2-A_1) разница составила 12,3…29,2 г/кг при N0, 11,4…22,6 г/кг при N30, 19,5…19,8 г/кг при N60.

Таблица 4.19. Содержание безазотистых экстрактивных веществ (БЭВ, г) и обменной энергии (ОЭ, МДж) в зерне гороха, кг сухого вещества (среднее за 3 года)

Состав агроценоза (фактор А)		БЭВ			Среднее по А	Обменная энергия			Среднее по А
		N0	N30	N60		N0	N30	N60	
Пшеница 75% + горох 25%		681,8	677,9	666,3	675,3	13,14	13,11	13,12	13,12
Пшеница 50% + горох 50%		652,6	655,8	646,5	651,6	13,11	13,00	13,07	13,06
Пшеница 25% + горох 75%		640,2	633,2	626,9	633,4	13,12	13,03	12,98	13,04
Горох 100%		622,1	621,8	623,5	622,5	13,04	12,94	12,85	12,94
Среднее по В, $НСР_{05}$ гл. эфф.		649,2	647,2	640,8	$НСР_{05}$ гл. эфф. 4,58	13,10	13,02	13,00	$НСР_{05}$ гл. эфф. 0,03
		2,54				0,03			
$НСР_{05}$ для частных различий по фактору	А	7,93				0,06			
	В	5,08				0,05			
Нормы для 1 / 2 / 3 класса качества зерна гороха по ГОСТ Р 54630-2011		не нормируется				не менее 13,5 / 13,0 / 12,0			

В целом по опыту, при внесении N30 количество БЭВ снижалось не значительно (-2,0 г/кг). Последующее увеличение дозировки (N60), привело к уже суще-

ственным изменениям (-6,4 г/кг). Снижение содержания БЭВ в зерне гороха при оптимизации уровня азотного питания является закономерным (Девтерова, 2017).

Национальный стандарт ГОСТ Р 54630-2011 «Горох кормовой. Технические условия» предполагает разделение кормового зерна гороха на классы качества по содержанию обменной энергии, в зависимости от того, какой из трёх групп животных (крупно рогатый скот и овцы, свиньи, птица) предназначается зерно. Зерно гороха, полученное в смешанных посевах пшеницы и гороха, отличается более высоким содержанием обменной энергии (12,98...13,14 МДж/кг). Снижение величины обменной энергии и питательности зерна наблюдалось при увеличении доли гороха в составе агроценоза и уровня азотного питания. Отмеченные изменения связаны с накоплением сырого протеина (при соответствующем снижении количества БЭВ) в зерне гороха при внесении N-удобрения и снижении доли более конкурентоспособного злакового компонента в составе высеваемой смеси и формируемого агроценоза. Более высокое содержание обменной энергии в зерне гороха (13,00…13,14 МДж/кг), соответствующее 2 классу качества, получено в смешанных агроценозах с преобладанием злака (пшеница 75% + горох 25%) и равным соотношении компонентов (пшеница 50% + горох 50%) в смеси.

Зерно гороха, полученное в смешанных агроценозах, значительно превосходит по биохимическому составу и питательности корм в одновидовом посеве. Для переработки на комбикорма и скармливания сельскохозяйственным животным и птице пригодно зерно, полученное только в смешанном агроценозе пшеница 75% + горох 25%, при внесении N30 или без N-удобрения. В остальных случаях зерно гороха пригодно только для технических целей и переработки на крахмал, амилозу, белковые продукты и т.д.

4.3. Влияние азотного удобрения на биохимический состав корма вики озимой в одновидовых и смешанных агроценозах с тритикале озимой

При конструировании смешанных злаково-бобовых посевов озимых зерновых культур (озимой ржи, озимой тритикале) особое место среди зерновых бобовых по праву занимает озимая вика (Зеленский и др., 2005; Хамидуллин, 2005;

Серегин, 2016; Нурлыгаянов и др., 2017; Скамарохова, 2018). Биологический потенциал этой культуры способствует обеспечению зернового компонента посева азотом за счёт аминокислот корневых выделений (Ратнер, Ухина, 1961). По своим биологическим и хозяйственным свойствам озимая вика является лучшим и, по сути, единственным компонентом для единовременного создания смешанных агроценозов (Гетман, Бовсуновская, 2017).

Сочетание таких параметров, как адаптивность к условиям возделывания, отличная перезимовка, высокая урожайность и качество получаемого корма (Трофимов и др., 2010; Майсак и др., 2014), позволяет предположить, что возделывание озимой вики в смешанных агроценозах позволит исключить или существенно снизить необходимое количество азотных удобрений, поможет в решении вопроса обеспечения отрасли животноводства не только зелёными, но и грубыми кормами высокого качества (Кочурко и др., 2005; Лапшин, 2016). По итогу проведённых исследований было отмечено, что при возделывании озимой тритикале и озимой вики в составе смешанных агроценозов происходит определённое сглаживание различий в биохимическом составе, как самих растений, так и конечного урожая.

Зерносенаж. Наиболее качественные объёмистые корма из травосмесей озимой вики по содержанию протеина и клетчатки обеспечивается при заготовке в ранние фазы генеративного развития растений (бутонизации – начало цветения) (Бедило и др., 2019; Скамарохова и др., 2020). По содержанию сырого протеина и энергетической питательности смеси в эти фазы вегетации равноценны или незначительно уступают одновидовым посевам люцерны и заметно превосходят клевер луговой первого укоса в фазе бутонизации (Булатов и др., 2016). Вместе с тем, при уборке в эту фазу валовый сбор протеина еще существенно уступает величине этого показателя в период цветения – образования первых бобов у озимой вики (Парахин и др., 2010). Оптимальным сроком уборки для злаков, является переход от фазы молочной к восковой спелости (Зиновенко, Коробко, 2013а; Левахин и др., 2013; Волкова и др., 2018).

Вместе с тем, продуктивность растений и их биохимический состав в смеси определяется скоростью и условиями протекания физиологических процессов, ре-

зультат которых во многом зависит от условий вегетационного периода. Кроме долевого соотношения тритикале и вики, на качество и химический состав кормов, получаемых в смесях, прямое влияние оказывает внесение удобрений. Этот агротехнический приём способствует не только увеличению продуктивности растений, но и повышению их кормовой ценности за счет увеличения содержания в урожае белка, интенсификации синтеза ценных в питательном отношении соединений в корме.

Данные по влиянию состава агроценоза и уровня азотного питания на биохимический состав зерносенажной массы одновидовых и смешанных посевов озимой тритикале и озимой вики представлены в таблицах 4.20-4.22 и приложениях 43-46. Основным оценочным показателем, характеризующим биологическую питательность зерносенажа, является содержание в нём сырого протеина (табл. 4.20), которое в смешанных агроценозах было на уровне 124,9…154,7 г/кг.

Таблица 4.20. Содержание сырого протеина и сырой клетчатки в зерносенаже, г/кг сухого вещества (среднее за 3 года)

Состав агроценоза (фактор А)		Сырой протеин				Среднее по А	Сырая клетчатка				Среднее по А
		N0	N30	N45	N60		N0	N30	N45	N60	
Тритикале 100%		97,1	108,5	113,7	120,1	109,9	286,3	294,4	306,4	289,1	294,1
Тритикале 75% + вика 25%		111,8	120,1	130,6	137,0	124,9	291,7	293,6	287,1	272,2	286,1
Тритикале 50% + вика 50%		132,9	139,7	148,0	155,0	143,9	294,3	293,8	276,5	254,2	279,7
Тритикале 25% + вика 75%		144,0	153,0	157,8	164,0	154,7	276,9	257,1	257,6	241,1	258,1
Вика 100%		162,2	166,6	171,3	175,1	168,8	246,4	256,6	257,9	252,0	253,2
Среднее по В, $НСР_{05}$ гл. эфф.		129,6	137,6	144,3	150,2	$НСР_{05}$ гл. эфф. = 12,1	279,1	279,1	277,1	261,7	$НСР_{05}$ гл. эфф. = 11,3
		2,6					8,1				
$НСР_{05}$ для частных различий по фактору	А	24,3					22,7				
	В	5,9					18,1				
Нормы для 1 / 2 / 3 класса качества зерносенажа по ГОСТ Р 58145-2018		не менее 120 / 100 / 80					не более 250 / 270 / 290				

Более высокие значения этого показателя (144,0-164,0 г/кг корма), в зерносенажной массе, были характерны для посева с превалированием бобового компонента – тритикале 25% + вика 75%. Это обусловлено особенностями развития зернобобовых культур, которое сопряжено с более интенсивным накоплением азотсодержащих соединений в биомассе надземных частей растений (листьях, стеблях), зерна и корневых систем (Дозоров, Гаранин, 2013). Полученный в ози-

мых смешанных вико-тритикалевых посевах зерносенаж, по содержанию сырого протеина соответствует 1 классу качества (не менее 120 г/кг корма). Исключение составила травосмесь тритикале 75% + вика 25% без внесения азотного удобрения (N0), в котором корм соответствовал норме 2 класса качества (не менее 100 г/кг). Смешанные посевы имели преимущество по данному показателю только перед одновидовым посевом тритикале. Потому что зерносенаж, полученный в монопосеве озимой вики, превосходил по содержанию сырого протеина смешанные и одновидовой посев тритикале на 14,1…43,9 г/кг и 59,0 г/кг соответственно.

Величина прибавки содержания сырого протеина от доз N-удобрения в среднем по опыту составила +8,0…20,6 г/кг. При увеличении уровня азотного питания ($N_0 \rightarrow N_{30} \rightarrow N_{45} \rightarrow N_{60}$) было зафиксировано последовательное повышение содержания сырого протеина (129,6→137,6→144,3→150,2 г/кг) в зерносенажной массе. Полученные результаты превышали пороговое значение для отнесения корма к 1 классу качества на 9,6…30,2 г/кг.

Большинство исследователей сходятся во мнении, что при характеристике питательной ценности кормовых культур важно учитывать не только общее содержание сырого протеина, но и экстрактивность отдельных частей белкового комплекса. По результатам исследований (Гальчинская, 1953), доля водорастворимых фракций белковых веществ в листьях вики мохнатой достигает 90%. Также эта бобовая культура отличается непрерывным образованием новых ярусов листьев, которое происходит на протяжении всей вегетации, в связи с чем, переваримость белков у неё с прохождением фенофаз изменяется в гораздо меньшей степени по сравнению со злаковыми культурами (Романенко, Тютюнников, 1999).

Сырая клетчатка необходима для нормализации пищеварения животных, однако её избыточное содержание в корме, которое имеет место при поздних сроках уборки кормовых растений, находящихся в фазе плодоношения, снижает его переваримость и общую питательность (Зиновенко, 2015б). Переваримость сырой клетчатки, наряду с другими компонентами корма, зависит от её структуры, которая представлена собственно целлюлозой, гемицеллюлозой и такими инкрустирующими веществами как лигнин, суберин, кутин (Зиновенко, Коробко, 2013б).

Следует отметить, что улучшение азотного питания злаковых растений в травосмесях за счет внесения соответствующих удобрений и симбиотической деятельности бобовых культур способствует не только увеличению содержания протеина в корме, но и лучшей переваримости клетчатки. Объясняется это тем, что в условиях улучшенного азотного питания злаковых растений в них уменьшается количество лигнина, от количества которого в составе клеточных стенок зависит степень переваримости сырой клетчатки (Скамарохова, 2020).

В зерносенажной массе, полученной в смешанных озимых вико-тритикалевых агроценозах, содержание сырой клетчатки было на уровне 258,1…286,1 г/кг (табл. 4.20). Более низкие значения этого показателя (241,1 г/кг корма), были характерны для посева тритикале 25% + вика 75% при внесении азотного удобрения в дозе 60 кг/д.в. га. Увеличение доли озимой вики в смешанных агроценозах способствует снижению содержания сырой клетчатки в полученной зерносенажной массе и повышению переваримости корма. Смешанные посевы имели преимущество, относительно посева тритикале, в случае преобладания бобового компонента в составе высеваемой смеси – тритикале 25% + вика 75% (2 класс) и равного соотношения компонентов в высеваемой смеси тритикале 50% + вика 50% (3 класс). Наряду с включением озимой вики в состав смеси, ключевым условием для снижения содержания сырой клетчатки в зерносенажной массе является увеличение доли зерна в общем объёме получаемого корма. Снижение содержания сырой клетчатки в зерносенаже (279,1→277,1→261,7 г/кг), при увеличении уровня азотного питания, можно рассматривать только на уровне тенденции.

Наряду с обозначенными изменениями биохимического состава следует заметить, что в вико-тритикалевых травосмесях более продолжительное время сохраняется высокая кормовая ценность злакового компонента. По мнению (Парахин и др., 2010) это происходит за счет выделения бобовой культурой корневых экссудатов, содержащих соединения азота, фосфора и физиологически активных веществ. При данном типе взаимодействия компонентов в вико-злаковых посевах происходит снижение содержания питательных веществ в тканях растений вики и увеличение их в биомассе злаковых культур, особенно переваримого протеина.

Показатель сырого жира отражает содержание в корме жирных кислот, воска, смол, пигментов, фосфатидов, и других соединений липоидной природы, которые необходимы для роста и развития животных, нормального протекания процесса обмена веществ (табл. 4.21).

Таблица 4.21. Содержание сырого жира и сырой золы в зерносенаже, г/кг сухого вещества (среднее за 3 года)

Состав агроценоза (фактор А)		Сырой жир				Среднее по А	Сырая зола				Среднее по А
		N0	N30	N45	N60		N0	N30	N45	N60	
Тритикале 100%		17,6	18,4	18,6	17,8	18,1	47,1	49,4	50,5	48,8	49,0
Тритикале 75% + вика 25%		18,1	19,7	18,2	18,5	18,6	63,3	64,8	67,5	68,5	66,0
Тритикале 50% + вика 50%		19,2	21,4	21,3	19,7	20,4	67,1	69,0	75,4	69,5	70,3
Тритикале 25% + вика 75%		20,1	22,1	21,6	20,0	21,0	74,0	79,2	79,8	82,2	78,8
Вика 100%		23,6	21,7	21,8	21,6	22,2	89,5	96,8	99,5	93,1	94,7
Среднее по В, $НСР_{05}$ гл. эфф.		19,7	20,7	20,3	19,6	$НСР_{05}$ гл. эфф. = 1,8	68,2	71,8	74,5	72,4	$НСР_{05}$ гл. эфф. = 9,3
		1,8					3,3				
$НСР_{05}$ для частных различий по фактору	А	3,6					18,6				
	В	4,1					7,3				
Нормы для 1 / 2 / 3 класса качества зерносенажа по ГОСТ Р 58145-2018		не нормируется					не более 60 / 80 / 100				

За счёт изменения состава агроценозов и уровня азотного питания количество сырого жира в составе зерносенажа (табл. 4.21) варьировало в пределах – 2,8…22,7% и 0,5…5,1% соответственно. Смешанные посевы имели преимущество, относительно одновидового посева тритикале, только в случае равного сочетания компонентов (тритикале 50% + вика 50%) или превалирования озимой вики в составе высеваемой смеси (тритикале 25% + вика 75%). Нормирование данного параметра на основании ГОСТ Р 58145-2018 не предусмотрено.

Минеральные вещества, представленные макро- и микроэлементами в составе кормов, объединены показателем сырая зола. Они выполняют роль структурных элементов тканей, активаторов ферментов, осмотически активных веществ в организме. Содержание сырой золы в кормах зависит от почвенно-климатических условий произрастания растений, физиологических факторов и видовых особенностей убираемых растений (Бедило, Скамарохова, 2020а). Уровень минеральных веществ серьёзно изменяется в процессе старения растений. Поэтому заготовка объемистых кормов должна производится в ранние фазы развития растений. Также

следует заметить, что для такого корма как зерносенаж, содержание сырой золы (табл. 4.21) служит критерием качества проводимой уборки и входит в перечень показателей, которые определяют класс зерносенажа по ГОСТ Р 58145-2018 «Зерносенаж. Технические условия». Более высоким содержанием сырой золы в зерносенаже, характеризуются одновидовой и смешанные агроценозы бобовой культуры. Преимущество по уровню содержания сырой золы (49,0 г/кг – 1 класс качества) имел одновидовой посев тритикале. Зерносенаж полученный в смешанных агроценозах на основании средних значений по опыту соответствует 2 классу качества (не более 80 г/кг).

В группу безазотистых экстрактивных веществ объединяют легкопереваримые углеводы (сахар, крахмал, органические кислоты, глюкозиды, часть гемицеллюлозы), которые являются одним из основных источников энергии в рационах животных (Зиновенко, 2015а). Более высокое содержание БЭВ относительно одновидового ценоза озимой вики, получено в смешанных и одновидовом посевах тритикале (табл. 4.22). Прежде всего это происходит за счёт увеличения содержания сырого протеина в составе получаемой зерносенажной массы при повышении доли вики в составе высеваемой смеси и формируемых смешанных посевов.

Таблица 4.22. Содержание безазотистых экстрактивных веществ (БЭВ, г) и обменной энергии (ОЭ, МДж) в зерносенаже, кг сухого вещества (среднее за 3 года)

Состав агроценоза (фактор А)		БЭВ				Среднее по А	Обменная энергия				Среднее по А
		N0	N30	N45	N60		N0	N30	N45	N60	
Тритикале 100%		434,4	405,1	386,7	400,1	406,6	8,43	8,64	8,71	8,89	8,66
Тритикале 75% + вика 25%		389,2	375,8	369,2	382,6	379,2	8,71	8,87	9,10	9,28	8,99
Тритикале 50% + вика 50%		364,2	354,0	358,0	374,5	362,7	9,13	9,27	9,49	9,71	9,40
Тритикале 25% + вика 75%		360,9	364,5	359,2	368,6	363,3	9,41	9,66	9,75	9,95	9,69
Вика 100%		354,2	334,3	325,5	334,2	337,0	9,89	9,93	10,02	10,12	9,99
Среднее по В, $НСР_{05}$ гл. эфф.		380,6	366,7	359,7	372,0	$НСР_{05}$ гл. эфф. = 19,1	9,11	9,27	9,41	9,59	$НСР_{05}$ гл. эфф. = 0,2
		9,2					0,05				
$НСР_{05}$ для частных различий по фактору	А	38,3					0,55				
	В	20,6					0,12				
Нормы для 1 / 2 / 3 класса качества зерносенажа по ГОСТ Р 58145-2018		не нормируется					не менее 9,20 / 8,60 / 8,10				

Достаточное количество сахара в корме и его отношение к сумме водорастворимых фракций протеина, способствует увеличению содержания уксусной кислоты

в рубце лактирующих коров, целлюлозолитической активности микрофлоры (Дмитроченко, 1962). Также усиливается синтез витамина B_{12}, повышается резервная щелочность крови, уменьшается количество кетоновых тел в крови и молоке.

Изменения в содержании БЭВ, отмеченные при внесении N-удобрения, имели дифференцированный характер. При внесении N30 количество БЭВ снизилось на 13,9 г/кг корма и на 20,9 г/кг корма, при внесении N45. Изменения в уровне содержания БЭВ имеют отрицательную корреляционную зависимость относительно увеличения долевого присутствия вики в составе высеваемой смеси (r = -0,96) и дозами N-удобрения (r = -0,61).

Зерносенаж, полученный в одновидовых посевах озимой вики и тритикале, существенно отличался по величине обменной энергии (табл. 4.22). Зерносенажная масса, полученная в агроценозе злаковой культуры, уступала по энергетической ценности бобовой на 1,33 МДж/кг. Поэтому увеличить общую питательность и накопление обменной энергии в урожае возможно за счёт введения в севооборот смешанных посевов злаков с зернобобовыми культурами. Так, при включении и повышении доли озимой вики в высеваемой смеси, наблюдалось увеличение содержания обменной энергии в зерносенаже, до нормы 2 класса качества (не менее 8,60 МДж/кг), а в последующем (25%→50%) и 1 класса качества. Повышение содержания обменной энергии, при увеличении долевого присутствия бобового компонента в составе смеси и азотного питания, можно рассматривать в целом по опыту на уровне устойчивого положительного тренда.

Биохимический состав зерна. При возделывании озимых зерновых культур в смешанных агроценозах для получения зерна, разница обусловлена только различиями биохимического состава зернового вороха. Данные по влиянию состава агроценоза и уровня азотного питания на биохимический состав зерна тритикале представлены в таблицах 4.23-4.25 и приложениях 47-50, вики в таблицах 4.26-4.28 и приложениях 51-54. Среди питательных веществ концентрированных кормов на основе зерна наиболее значимым является сырой протеин (табл. 4.23), которому принадлежит решающая роль в полноценном питании животных. Их жизнедеятельность и продуктивность неразрывно связана с образованием и распадом ами-

нокислот и белковых веществ, поэтому требуется постоянный приток протеина с кормом (Ригер и др., 2016).

Таблица 4.23. Содержание сырого протеина и сырой клетчатки в зерне озимой тритикале, г/кг сухого вещества (среднее за 3 года)

Состав агроценоза (фактор А)		Сырой протеин				Среднее по А	Сырая клетчатка				Среднее по А
		N0	N30	N45	N60		N0	N30	N45	N60	
Тритикале 100%		117,2	130,2	136,5	143,4	131,8	51,9	50,7	48,0	45,4	49,0
Тритикале 75% + вика 25%		131,1	141,2	147,6	151,8	142,9	46,7	46,0	44,9	37,8	43,8
Тритикале 50% + вика 50%		141,0	148,5	156,3	162,7	152,1	36,0	40,7	42,7	37,9	39,3
Тритикале 25% + вика 75%		150,6	155,8	160,1	164,4	157,7	35,4	35,1	34,8	34,2	34,9
Среднее по В, $НСР_{05}$ гл. эфф.		135,0	143,9	150,1	155,6	$НСР_{05}$ гл. эфф. = 14,3	42,5	43,1	42,6	38,8	$НСР_{05}$ гл. эфф. = 14,9
		3,2					3,6				
$НСР_{05}$ для частных различий по фактору	А	28,7					29,7				
	В	7,4					7,1				
Нормы для 1 / 2 / 3 класса качества зерна тритикале по ГОСТ Р 53899-2010		> 130 / 120-130 / < 120					не нормируется				

Зерно озимой тритикале, полученное в смешанных посевах с озимой викой, отличалось более высоким содержанием сырого протеина (табл. 4.23). При увеличении доли вики в составе агроценозов (до 25%, 50% и 75%) происходило планомерное увеличение содержания сырого протеина на 11,1, 20,3 и 25,9 г/кг соответственно. Более высокое содержание сырого протеина в зерне (150,6…164,4 г/кг), которое соответствует норме для 1 класса качества (более 130 г/кг), получили при превалировании вики (тритикале 25% + вика 75%) в составе высеваемой смеси. Наиболее низкого качества зерно по содержанию сырого протеина (117,2 г/кг), получено в одновидовом посеве тритикале без внесения азотного удобрения. Использование в подкормку 30 кг/га азота обеспечивает получение зерна, соответствующего норме для 1 класса качества.

При внесении азотного удобрения (N0→N30→N45→N60) в целом по опыту зафиксировано устойчивое повышение содержания сырого протеина (135,0→143,9→150,1→155,6 г/кг) в зерне озимой тритикале. При внесении N30 отмечено существенное увеличение содержания сырого протеина практически во всех агроценозах. Исключение составил посев с превалированием вики (тритикале 25% + вика 75%), повышение содержания сырого протеина в зерне тритикале (на 9,5 и 13,8 г/кг соответственно) отмечено только при внесении N45 и N60.

Окупаемость каждого кг N в одновидовом посеве тритикале, независимо от используемой дозировки азота, составила 0,43…0,44 г сырого протеина. В смешанных посевах окупаемость составила от 0,58…0,80 до 0,79…1,29 г сырого протеина на 1 кг N.

Повышение долевого присутствия озимой вики в составе высеваемой смеси способствует повышению содержания сырого протеина в зерне озимой тритикале и не уступает по эффективности использованию азотной подкормки. Это связано с оптимизацией азотного питания злаковой культуры в смешанном посеве за счёт межвидового взаимодействия компонентов и увеличения количества доступного для питания растений азота. В смешанном агроценозе, благодаря конкуренции, происходит более активное использования азота почвы и вносимого с удобрением при проведении подкормки. В результате происходит увеличение продуктивности агроценозов и содержания N в зерне, по сравнению с одновидовым посевом.

Наряду с высокой потенциальной зерновой продуктивностью, содержанием в зерне белка и превосходящим другие злаковые культуры количеством лимитирующих аминокислот, озимая тритикале отличается низким содержанием сырой клетчатки (Изместьев, Максимова, 2015). В зерне озимой тритикале, полученном в одновидовом и смешанных агроценозах не прослеживались существенные изменения в содержании сырой клетчатки на основании главных эффектов и частных различий по фактору А (табл. 4.23). Общее количество сырой клетчатки в составе зерна составляло 3,42…5,19%. В среднем по опыту, снижение содержания сырой клетчатки в зерне озимой тритикале на 3,8 г/кг и более низкие значения по данному показателю во всех агроценозах (34,2…45,4 г/кг), зафиксированы при внесении более высокой дозы азотного удобрения (N60).

Количество сырого жира в зерне озимой тритикале варьировало не значительно. В зависимости от состава агроценоза и доз азотного удобрения изменения в содержании составили 2,6…4,1 г/кг и 9,4…18,7 г/кг зерна соответственно (табл. 4.24). При увеличении доз азотного удобрения наблюдалась тенденция к повышению рассматриваемого признака (19,0→20,8→21,3→22,5 г/кг). Обозначенная тенденция в среднем по опыту, чётко прослеживалась во всех смешанных агроценозах. Согласно

ГОСТ Р 53899-2010 «Тритикале кормовая. Технические условия» разделение зерна озимой тритикале по классам, на основании данного показателя, не предусмотрено.

Таблица 4.24. Содержание сырого жира и сырой золы в зерне озимой тритикале, г/кг сухого вещества (среднее за 3 года)

Состав агроценоза (фактор А)		Сырой жир				Среднее по А	Сырая зола				Среднее по А
		N0	N30	N45	N60		N0	N30	N45	N60	
Тритикале 100%		21,8	21,3	20,1	22,5	21,4	18,9	19,5	18,6	20,3	19,3
Тритикале 75% + вика 25%		19,5	19,7	20,8	22,2	20,6	19,5	21,5	21,1	21,2	20,8
Тритикале 50% + вика 50%		16,7	21,5	22,2	22,6	20,7	19,8	20,7	21,6	20,7	20,7
Тритикале 25% + вика 75%		17,9	20,5	22,3	22,8	20,9	21,1	21,9	22,2	22,3	21,9
Среднее по В, $НСР_{05}$ гл. эфф.		19,0	20,8	21,3	22,5	$НСР_{05}$ гл. эфф. = 2,8	20,4	20,4	20,9	21,1	$НСР_{05}$ гл. эфф. = 4,3
		1,9					1,2				
$НСР_{05}$ для частных различий по фактору	А	5,7					8,6				
	В	3,7					2,5				
Нормы для 1 / 2 / 3 класса качества зерна тритикале по ГОСТ Р 53899-2010		не нормируется					< 15 / 15-20 / > 20				

Варьирование содержания сырой золы в зерне тритикале было более значительным и определялось составом агроценоза и уровнем азотного питания (табл. 4.24). Более высокое содержание сырой золы в зерне тритикале (20,8…21,9 г/кг), получено в смешанных агроценозах с бобовой культурой. При увеличении дозы N-удобрения (N0→N30→N45→N60) также отмечалась тенденция к повышению содержания зольных веществ (20,4→20,9→21,1 г/кг) в зерна тритикале. Данные изменения являются фиксируемым результатом усиления метаболических процессов синтеза в растительном организме злакового компонента при поступлении азота с удобрением. За счёт этого, полученное в смешанных агроценозах зерно соответствовало только 3 классу качества, а сам показатель содержания сырой золы, стал тем «наихудшим значением» одного из параметром, на основании которого определяют класс зерна кормовой тритикале по ГОСТ Р 53899-2010 «Тритикале кормовая. Технические условия». Норме 2 класса качества соответствовало зерно тритикале, полученное в одновидовом посеве, а также в смеси, при условии отсутствия азотного удобрения, что серьёзно ограничивает уровень семенной продуктивности культуры и посева в целом, снижает выход сырого протеина с гектарной площади.

Безазотистые экстрактивные вещества составляют основу биохимического состава зерна тритикале (72,3-79,0%). Именно в составе крахмала и других легкогидролизуемых углеводов сосредоточена наиболее весомая часть обменной энергии корма, которую организм животного использует для обеспечения жизнедеятельности и образования сельскохозяйственной продукции. Содержание БЭВ в зерне озимой тритикале имело отрицательную тесную зависимость от доли озимой вики в составе рецептуры высеваемой смеси (r = -0,98) и дозы вносимого азотного удобрения (r = -0,99). Снижение количества БЭВ в зерне тритикале на 6,6, 11,3 и 13,8 г/кг соответственно (табл. 4.25), обусловлено повышением содержания сырого протеина и сырой золы при увеличении доли озимой вики в составе высеваемой зерносмеси с 25% до 50% и 75%.

Таблица 4.25. Содержание безазотистых экстрактивных веществ (БЭВ, г) и обменной энергии (ОЭ, МДж) в зерне озимой тритикале, кг сухого вещества (среднее за 3 года)

Состав агроценоза (фактор А)		БЭВ				Среднее по А	Обменная энергия				Среднее по А
		N0	N30	N45	N60		N0	N30	N45	N60	
Тритикале 100%		790,2	778,2	776,9	768,4	778,4	12,41	12,53	12,63	12,71	12,57
Тритикале 75% + вика 25%		781,1	773,6	765,6	767,0	771,8	12,56	12,68	12,74	12,88	12,71
Тритикале 50% + вика 50%		786,5	768,6	757,2	756,1	767,1	12,80	12,81	12,84	12,98	12,86
Тритикале 25% + вика 75%		774,9	766,6	760,6	756,4	764,6	12,88	12,93	12,98	13,03	12,96
Среднее по В, $НСР_{05}$ гл. эфф.		783,2	771,8	765,1	762,0	$НСР_{05}$ гл. эфф. = 13,8	12,66	12,74	12,80	12,90	$НСР_{05}$ гл. эфф. = 0,35
		5,8					0,07				
$НСР_{05}$ для частных различий по фактору	А	27,5					0,70				
	В	11,6					0,13				
Нормы для 1 / 2 / 3 класса качества зерна тритикале по ГОСТ Р 53899-2010		не нормируется					> 13,0 / 12,0-13,0 / < 12,0				

Снижение этого показателя на 13,8 г/кг прослеживается только на основании главных эффектов по фактору А. Существенными являются различия только между одновидовым агроценозом тритикале и смешанным посевом с максимальной долей вики (тритикале 25% + вика 75%). За счёт внесения азотного удобрения в дозе 30 и 45 кг д.в./га происходило снижение содержания БЭВ в зерне тритикале на 11,4 и 18,1 г/кг соответственно. Последующее увеличение дозы (N60), приводило к изменению признака на уровне тенденции к снижению.

Полученное в смешанных посевах зерно озимой тритикале характеризуется по величине обменной энергии (табл. 4.25), за счёт более высокого содержания сырого

протеина и низкого содержания сырой клетчатки. При увеличении в смеси доли озимой вики (25%→50%→75%), разница в отношении одновидового посева злака, по содержанию обменной энергии в его зерне составила +0,15…0,39 МДж/кг. Аналогичные по характеру, но более значимые изменения в содержании обменной энергии в зерне тритикале (+0,08…0,24 МДж/кг) наблюдались при внесении азотного удобрения. Обозначенная тенденция достаточно чётко прослеживалась по всем агроценозам и применяемым дозам азотного удобрения. Более насыщенное обменной энергией (13,03 МДж/га) и соответствующее по данному показателю норме для 1 класса качества зерно озимой тритикале получено в смеси тритикале 25% + вика 75% при внесении азотного удобрения в дозе 60 кг д.в./га.

Полученное в смешанных агроценозах зерно озимой тритикале, соответствует нормам 1 класса качества по содержанию сырого протеина и 2 классу – по количеству обменной энергии. За счёт установленных норм по содержанию сырой золы, зерно тритикале в смешанных посевах соответствует только 3 классу качества национального стандарта ГОСТ Р 53899-2010 «Тритикале кормовое. Технические условия».

При использовании азотной подкормки в одновидовом и смешанных посевах озимых наблюдалось изменение биохимического состава зерна не только тритикале, но и вики (табл. 4.26-4.28). На современном этапе развития кормопроизводства важнейшими параметрами кормов для КРС является общее содержание протеина в сухом веществе и его способность к расщеплению в рубце (Матяев, Андин, 2015). Согласно современной классификации кормов по данному признаку, биомасса из вико-злаковых травосмесей, а также размолотые семена озимой вики, относятся к кормам первой группы, так как показатель расщепляемости сырого протеина в рубце превышает 80%.

Более высокое содержание сырого протеина в зерне озимой вики (266,0 г/кг) было зафиксировано в одновидовом посеве (табл. 4.26). Использование азотного удобрения в рамках одновидового агроценоза, приводило к снижению данного показателя. Основным условием, с которым связана эта тенденция, является снижение интенсивности развития симбиотического аппарата на корневой системе озимой вики (см. раздел 3.3). Ингибирование процесса нодуляции и последующего формиро-

вания полноценного симбиотического аппарата на корневой системе озимой вики наблюдалось при использовании азотного удобрения и наличии более высокого содержания минерального азота в почве. В смешанных посевах этот эффект был сглажен за счёт присутствия злака и использования тритикале азота почвы и вносимого удобрения. Наличие в смешанных агроценозах озимой тритикале стимулировало процесс симбиотической азотфиксации у озимой вики и накопление азотсодержащих соединений в составе урожая. Таким образом, внесение азотного удобрения снижало возможность озимой вики к симбиотрофному питанию и самообеспечению азотом. Тогда как возделывание в смеси, способствовало более полной реализации биологического потенциала связанного с симбиотическим усвоением азота воздуха.

Таблица 4.26. Содержание сырого протеина и сырой клетчатки в зерне озимой вики, г/кг сухого вещества (среднее за 3 года)

Состав агроценоза (фактор А)		Сырой протеин				Среднее по А	Сырая клетчатка				Среднее по А
		N0	N30	N45	N60		N0	N30	N45	N60	
Тритикале 75% + вика 25%		233,2	240,0	245,2	232,9	237,8	64,3	62,8	59,5	54,7	60,3
Тритикале 50% + вика 50%		241,6	239,7	239,6	234,2	238,8	58,6	57,9	58,5	52,7	56,9
Тритикале 25% + вика 75%		261,2	254,4	246,5	238,7	250,2	59,4	58,4	57,0	55,1	57,5
Вика 100%		278,2	270,1	261,4	254,4	266,0	57,8	59,8	60,6	59,8	59,5
Среднее по В, $НСР_{05}$ гл. эфф.		254,4	254,0	255,7	250,9	$НСР_{05}$ гл. эфф. = 16,1	60,0	59,7	58,9	55,6	$НСР_{05}$ гл. эфф. = 14,0
		8,0					4,6				
$НСР_{05}$ для частных различий по фактору	А	32,3					27,9				
	В	16,0					9,2				
Нормы для 1 / 2 / 3 класса качества зерна вики по ГОСТ Р 54631-2011		не менее 330 / 300 / 250					не более 55 / 60 / 65				

Уменьшение доли вики в смешанных агроценозах с 75% до 50% и 25%, сопровождалось снижением содержания сырого протеина в зерне на 11,4 и 12,4 г/кг. Содержание сырого протеина в зерне озимой вики в смешанных агроценозах было на уровне 232,9…261,2 г/кг. При этом в смесях (тритикале 75% + вика 25%, тритикале 50% + вика 50%), существенно уступало одновидовому посеву вики. Норме 3 класса качества (не менее 250 г/кг) соответствовало зерно озимой вики, полученное в одновидовом или смешанном посеве с превалированием вики (тритикале 25% + вика 75%) в составе высеваемой смеси.

При внесении азотного удобрения в дозе 30 и 45 кг д.в./га не наблюдалось существенных изменений в содержании сырого протеина в зерне озимой вики.

Тогда как при внесении N60 изменение признака можно рассматривать только на уровне тенденции к снижению.

Содержание сырой клетчатки в зерне озимой вики (табл. 4.26) было несколько выше, чем в зерне озимой тритикале. В смешанных агроценозах значение показателя было на уровне одновидового посева и составляло 52,7…64,3 г/кг. Более низкие значения (52,7…55,1 г/кг корма), были характерны для смесей, при внесении максимального количества N-удобрения в опыте. Это связано со стимулированием ростовых процессов и снижением темпов протекания фаз онтогенеза. Считается, что чем физиологически старше растение, тем ниже содержание в его тканях ценных в питательном отношении веществ и соединений, и наоборот (Буракевич и др., 2012). Полученное в смешанных посевах зерно озимой вики, соответствовало норме 2 класса качества по содержанию сырой клетчатки (не более 60 г/кг). Исключение составил посев с преобладанием злакового компонента (тритикале 75% + вика 25%) при отсутствии или внесении N-удобрения в дозе 30 кг д.в./га.

Количество сырого жира в зерне озимой вики составляло от 13,0 до 21,9 г/кг (табл. 4.27) и, прежде всего, варьировало от состава агроценоза.

Таблица 4.27. Содержание сырого жира и сырой золы в зерне озимой вики, г/кг сухого вещества (среднее за 3 года)

Состав агроценоза (фактор А)		Сырой жир				Среднее по А	Сырая зола				Среднее по А
		N0	N30	N45	N60		N0	N30	N45	N60	
Тритикале 75% + вика 25%		13,0	14,7	14,0	13,5	13,8	29,7	27,8	29,4	28,9	28,9
Тритикале 50% + вика 50%		13,5	15,2	14,8	16,8	15,1	30,0	30,2	33,0	32,4	31,4
Тритикале 25% + вика 75%		18,1	20,7	20,8	15,3	18,7	33,8	33,3	36,9	34,1	34,5
Вика 100%		20,1	21,9	21,7	19,9	20,9	35,0	34,0	34,0	35,1	34,5
Среднее по В, $НСР_{05}$ гл. эфф.		16,2	18,1	17,8	16,4	$НСР_{05}$ гл. эфф. = 3,3	32,1	31,3	33,3	32,6	$НСР_{05}$ гл. эфф. = 7,8
		2,0					1,3				
$НСР_{05}$ для частных различий по фактору	А	6,7					15,5				
	В	4,0					2,6				
Нормы для 1 / 2 / 3 класса качества зерна вики по ГОСТ Р 54631-2011		не нормируется					не более 30 / 35 / 40				

Более высокое содержание сырого жира (18,7…20,9 г/кг) было получено в одновидовом и смешанном посеве вики (тритикале 25% + вика 75%). При увеличении доли вики в составе высеваемых смесей (25%→50%→75%) и формируемого по факту посева, количество сырого жира в её зерне увеличивалось на 1,3 и 4,9

г/кг. Схожая тенденция прослеживалась на основании частных различий по каждой из доз азота. При внесении азотного удобрения (N30) содержание сырого жира в зерне озимой вики увеличивалось на 1,9 г/кг, а при последующем увеличении дозировки (N45 и N60) – снижалось на 0,3 и 1,7 г/кг соответственно. Нормирование этого показателя согласно ГОСТ Р 54631-2011 «Вика кормовая. Технические условия», не предусмотрено.

По количеству сырой золы зерно озимой вики соответствовало уровню признака (около 4% на сухое вещество) для концентрированных кормов на основе зерна (табл. 4.27). Первому классу качества по ГОСТ Р 54631-2011 соответствовало зерно вики, которое было получено в смеси тритикале 75% + вика 25%, не зависимо от уровня азотного питания. С увеличением доли вики в составе высеваемой смеси, наблюдалось повышение количества сырой золы в зерне вики на 2,5 и 4,6 г/кг. При этом зерно соответствовало 2 классу качества. Более высокое содержание сырой золы в зерне озимой вики (36,9 г/кг), получено в смешанном агроценозе тритикале 25% + вика 75% при внесении N45.

По биологической и энергетической питательности семян, озимая вика стоит в одном ряду с такими распространёнными зернобобовыми культурами как горох посевной, вика посевная, чина и чечевица (Бедило, Скамарохова, 2020б). За энергонасыщенность зерна вики отвечает комплекс безазотистых экстрактивных веществ. Их содержание имеет тесную корреляционную зависимость относительно увеличения доли вики в составе посева (r = -0,95) и дозами N-удобрения (r = 0,80). Если первый результат весьма ожидаем, и имеет достаточно простое объяснение, которое продиктовано увеличением количества азотсодержащих соединений в составе зерна вики, а, следовательно, снижением количества БЭВ. Так, при включении тритикале (25%) и последующем увеличении её доли в высеваемой смеси до 50% и 75% соответственно, наблюдалось повышение содержания БЭВ в зерне озимой вики на 20,0 г/кг, 38,8 г/кг и 40,0 г/кг (табл. 4.28). Однако второе значение, характеризующее прямую тесную взаимосвязь между содержанием БЭВ и дозами азотного удобрения, можно постараться объяснить тем, что в отличие от зернобобовых культур прошедших длительный период окультуривания и

селекции на высоком агрофоне (горох, вика посевная), у озимой вики по прежнему преобладает симбиотрофный тип питания азотом. Последний, в свою очередь, очень сильно лимитируется при использовании азотных минеральных удобрений и накоплении нитратного азота в почве. При внесении азотного удобрения содержание БЭВ в зерне озимой вики характеризовалось на уровне тенденции к повышению. Существенные изменениям в уровне признака (+17,3 г/кг) зафиксированы только при увеличении дозировки удобрения до 60 кг д.в./га.

Таблица 4.28. Содержание безазотистых экстрактивных веществ (БЭВ, г) и обменной энергии (ОЭ, МДж) в зерне озимой вики, кг сухого вещества (среднее за 3 года)

Состав агроценоза (фактор А)		БЭВ				Среднее по А	Обменная энергия				Среднее по А
		N0	N30	N45	N60		N0	N30	N45	N60	
Тритикале 75% + вика 25%		659,7	654,8	651,9	670,0	659,1	13,10	13,21	13,27	13,24	13,20
Тритикале 50% + вика 50%		656,4	657,0	654,1	664,0	657,9	13,25	13,24	13,20	13,25	13,23
Тритикале 25% + вика 75%		627,5	633,2	638,8	656,8	639,1	13,38	13,35	13,26	13,23	13,30
Вика 100%		609,0	614,2	622,3	630,9	619,1	13,54	13,47	13,38	13,31	13,42
Среднее по В, $НСР_{05}$ гл. эфф.		638,1	639,8	641,8	655,4	$НСР_{05}$ гл. эфф. = 21,1	13,32	13,32	13,28	13,26	$НСР_{05}$ гл. эфф. = 0,35
		8,7					0,11				
$НСР_{05}$ для частных различий по фактору	А	42,3					0,71				
	В	17,5					0,22				
Нормы для 1 / 2 / 3 класса качества зерна вики по ГОСТ Р 54631-2011		не нормируется					не менее 12,5 / 12,0 / 11,5				

По утверждению (Фицев и др., 2007) истинная питательность кормов – показатель, который складывается на основании потребления, переваримости и эффективности использования корма при образовании животноводческой продукции. Последний параметр принято оценивать по содержанию обменной энергии. Соответствующая градация, с учётом видовой принадлежности животных, для которых предназначено зерно, приведена в национальном стандарте ГОСТ Р 54631-2011 «Вика кормовая. Технические условия». Зерно озимой вики, полученное в смешанных агроценозах с озимой тритикале, отличается более низким содержанием обменной энергии (13,10...13,38 МДж/кг). Несмотря на это, оно соответствовало норме 1 класса качества и может быть рекомендовано для скармливания сельскохозяйственным животным и птице с целью снижения перерасхода концентратов на производство продукции животноводства и повышения белковости концентрированных кормов.

ГЛАВА 5. НАКОПЛЕНИЕ СВЕЖЕГО ОРГАНИЧЕСКОГО ВЕЩЕСТВА И БИОЛОГИЧЕСКОГО АЗОТА В ПОЧВЕ В ОДНОВИДОВЫХ И СМЕШАННЫХ АГРОЦЕНОЗАХ ЗЕРНОБОБОВЫХ КУЛЬТУР

Клубеньки на корневой системе зернобобовых культур обычно составляют менее 5% от их общей биомассы, несмотря на это, они могут обеспечивать поглощение более 100 кг N/га каждый год. Во всем мире ежегодно симбиотически фиксируется около 60-90 Тг N_2, что является поразительным количеством, учитывая, что в катализе участвует всего несколько кг микробного фермента нитрогеназы (Delwiche, 1970). На восстановление 1 моля молекулярного азота симбиотические N_2-фиксаторы тратят 8 электронов, 16 молей АТФ, образующейся в результате окисления молекул органических соединений растений-хозяев (Семенов, 2020). Суммарные затраты энергии составляют 730-960 кДж (Игнатов, 1998) или 13…28-30% общей продукции фотосинтеза (Денисов и др., 2017). Клубеньковыми бактериями за весь физиологически активный период вегетации используются до 23% из общего количества ассимилятов произведённых бобовыми растениями, из которых непосредственно на синтез и трансформацию азота приходится 21-52% (Vasilyeva, Kostov, 2001; Лапинскас, Пяулокайте-Мотузене, 2010). На каждый миллиграмм фиксированного азота растение расходует 10,3 мг углеводов. Общие биологические затраты углерода на обслуживание симбиотической фиксации N_2 существенно выше, чем те, что получены на основании теоретических расчётов. Это связано со сложностью строения и функционирования симбиотической системы, которая кроме непосредственной фиксации азота включает затраты на рост и поддержание физиологического состояния клубеньков, а также метаболизм N и C в растении (Vance, 2008).

Метаболизм углерода тесно связан с фиксированием азота ризобиями в клубеньках корней бобовых. Прямые измерения содержания углеводов в составе клубеньков в сочетании с изотопными исследованиями $^{14}CO_2$ показали, что сахароза, полученная посредством фотосинтеза, является наиболее распространенным сахаром (0,6…0,9%), присутствующим в корневых клубеньках (Streeter, 1980). Её наличие, после маркировки листьев $^{14}CO_2$, можно было обнаружить в клубеньках

уже по прошествии 15 минут (Gordon et al., 1985), а меченные атомы ^{14}C, впоследствии фиксировались в органических кислотах и аминокислотах клубеньков. Содержание последних (Udvardi, Day, 1997), соответственно в 3…10 раз и в 10…21 раз выше в фиксирующих азот клубеньках (Fix+). Особенно чётко, по результатам исследований (Vance et al., 1997), эта тенденция прослеживается по аспарагину, концентрация которого в активных N_2-фиксирующих клубеньках составляет 15,5 г × моль/г массы, что выше значения для (Fix-) в 77,5 раза. Органические кислоты, полученные в результате фиксации CO_2 и метаболизма сахарозы, играет центральную роль. В первых, они являются необходимым субстратом, для выработки бактероидами АТФ, которая требуется для поддержания активности нитрогеназы (Vance, 2008). Во-вторых, органические кислоты выступают в качестве углеродной основы для ассимиляции NH_4^+, полученного при фиксации азота бактероидами и последующего превращения в аминокислоты (Schulze et al., 2002).

Таким образом, очевидна тесная взаимосвязь между процессами ассимиляции углерода (фотосинтез) и азота (азотфиксация). При этом азотфиксирующие (Fix+) симбиотические корневые клубеньки можно считать высоко интегрированными растительными компартментами для метаболизма углерода и азота, имеющими решающее значение для биогеохимических циклов этих элементов, экологической устойчивости экосистемы, роста и развития бобовых культур.

5.1. Азотфиксирующая способность сортов гороха посевного при инокуляции семян симбиотическими ризобактериями и внесении азотного удобрения

Потенциальные размеры симбиотической азотфиксации для основных зернобобовых культур (горох, вика) могут достигать в Нечернозёмной зоне 140-160 кг N/га (Завалин, Соколов, 2016). Дополнительное количество азота попадает непосредственно в почву во время старения клубеньков и отмирания корневых волосков (Giller, 2001; Назарюк, 2002). Это сказывается на накоплении минеральных форм азота и азотном режиме почвы. Увеличивается количество азота в микробной био-

массе, которая, обладая пролонгированным действием, оказывает непосредственное влияние на продуктивность последующей культуры (Назарюк и др., 2009).

Размеры фиксации азота атмосферы горохом изменяются от погодных условий (Царева, 2008; Лысенко и др., 2017; Идимешев, Кадычегов, 2018). Наиболее сильно (в 4,6 раза) снижалась фиксация азота растениями на фоне применения минеральных азотных удобрений, что по мнению (Трепачев, 1999) было связано с усилением процессов аммонификации и нитрификации, и накоплением минерального азота в почве.

Положительное действие на N_2-фиксирующую способность гороха проявляется при инокуляции семян симбиотическими ризобактериями. Устойчивая положительная реакция растений была отмечена при относительно высокой потребности растений в фиксированном N, низком количестве нитратов в почвах, недостаточном уровне нодуляции корневой системы растений присутствующими в почве штаммами (Vessey, 2004; Литвинцев, 2007). По мнению автора, инокуляция штаммами ризобий целесообразна, даже если в конкретной почве уже существует популяция способных к инфицированию ризобий. При интродукции клубеньковых бактерий прибавка в накоплении биологического азота составляет порядка 30-50% (Азаров, 1995). А.А. Завалин (2011) оценивает увеличение накопления биологического азота в урожае за счёт инокуляции семян в 2,3-6,5 раз. При этом снижается напряжённость баланса N, обеспечивается более существенное поступление в почву пожнивно-корневых остатков, по итогу минерализации которых в почву поступает 1,2-1,4 т/га гумуса. Следует учитывать, что роль бобовых далеко не исчерпывается накоплением азота, так как они оказывают многостороннее положительное влияние на фитосанитарное состояние почвы, её физико-химические свойства, способствуют увеличению биоразнообразия агроценозов, осуществляют средообразующую и экологическую функции (Беседин и др., 2009).

При возделывании гороха посевного на зерно в одновидовых агроценозах, произведён учёт количества симбиотически фиксированного азота и поступающего в почву с ПКО свежего органического вещества. По обоим сортам урожайность соломы и выход пожнивно-корневых остатков в сумме, практически втрое пре-

вышает урожайность зерна гороха. При достаточно высокой для региона урожайности основной продукции, это обусловлено интенсивным развитием надземной массы и корневой системы. Сорта гороха усатого морфотипа отличаются кардинальной перестройкой архитектоники листового аппарата, которая стала одной из основных причин возросшего спроса со стороны сельхозтоваропроизводителей и стремительного развития селекции культуры. На единицу массы усов, благодаря их большей численности, приходилось значительно меньшее количество общей биомассы, что позволяло растениям этих сортов лучше удерживать стебли в вертикальном положении, уверенно противостоять ветру, дождям и другим факторам, способствующим полеганию. Это в свою очередь, является основой для сохранения активности фотосинтетического аппарата и наращиванию продуктивности растений. Индуцирование развития надземной биомассы неразрывно связано с наращиванием объёма корневой системы, формированием активной усваивающей поверхности и ризобиального симбиотического аппарата. Результаты исследований по сорту Агроинтел представлены в таблице 5.1, по сорту Вельвет – таблице 5.2. В связи с этим, обсуждение результатов будет последовательным.

На сорте Агроинтел без инокуляции более высокая урожайность зерна (2,19 т/га) и соломы (2,84 т/га), а, следовательно и выход ПКО (3,52 т/га), получены при внесении 105 кг N/га. При инокуляции более высокие урожаи основной (2,18…2,26 т/га) и побочной (2,83…2,94 т/га) продукции, накопление ПКО (3,50…3,64 т/га) получены при внесении не только 105, но и 60 кг N/га. За счёт бактеризации семян и внесения азотного удобрения, создавались благоприятные условия для минерального питания и формирования урожая. Накопление общего азота в урожае зерна и соломы гороха без инокуляции составило 84,0…111,9 кг/га, при инокуляции – 92,6…120,0 кг/га.

В составе ПКО в почву поступило от 46,1…62,3 кг/га до 50,7…64,4 кг/га общего N соответственно. Учитывая полученные результаты, следует сказать о значительном количестве N поступающем в почву с соломой и пожнивно-корневыми остатками при последующей обработке почвы. Без инокуляции оно эквивалентно внесению 15,0…20,8 т/га, при инокуляции – 16,3…21,9 т/га навоза или соответственно 1,63…2,25 ц/га и 1,76…2,38 ц/га мочевины.

Таблица 5.1. Накопление С и N в урожае основной и побочной продукции гороха сорта Агроинтел при возделывании на зерно в составе одновидового агроценоза (среднее за 3 года)

Показатель	Инокуляция ризобактериями / дозы азота															
	без инокуляции								при инокуляции							
	N0	N30	N45	N60	N75	N90	N105	N120	N0	N30	N45	N60	N75	N90	N105	N120
Урожайность зерна, т/га	1,62	1,74	2,01	1,99	1,92	1,85	2,19	1,93	1,78	1,83	1,94	2,18	2,00	1,93	2,26	1,95
Урожайность соломы, т/га	2,11	2,27	2,62	2,59	2,49	2,41	2,84	2,51	2,31	2,38	2,52	2,83	2,60	2,51	2,94	2,54
Выход ПКО, т/га	2,61	2,80	3,24	3,20	3,08	2,98	3,52	3,10	2,86	2,94	3,12	3,50	3,22	3,10	3,64	3,14
Накопление общего N, кг/га																
В зерне	52,3	63,2	69,7	69,3	64,4	62,5	70,4	59,6	62,0	66,0	68,2	73,3	68,2	64,2	75,0	59,4
В соломе	29,1	31,5	34,5	37,4	33,8	33,3	41,5	33,1	30,6	33,5	33,8	41,0	38,0	34,8	45,0	36,4
В ПКО	46,1	49,6	57,4	56,7	54,6	52,8	62,3	54,9	50,7	52,1	55,3	62,0	57,0	54,9	64,4	55,6
В биомассе гороха	127,5	144,3	161,5	163,4	152,8	148,7	174,2	147,6	143,3	151,7	157,3	176,3	163,3	153,9	184,4	151,4
Накопление фиксированного N, кг/га																
В биомассе гороха	72,7	82,3	92,1	93,2	87,1	84,7	99,3	84,2	81,7	86,4	89,7	100,5	93,1	87,7	105,1	86,3
в т.ч. в соломе и ПКО	42,9	46,2	52,4	53,6	50,4	49,1	59,2	50,2	46,3	48,8	50,8	58,7	54,2	51,1	62,4	52,4
Поступление в почву после распашки, т/га																
Свежего ОВ с соломой и ПКО	4,71	5,07	5,86	5,79	5,57	5,39	6,36	5,61	5,18	5,32	5,65	6,33	5,83	5,61	6,58	5,68
Накопление органического С, кг/га																
В зерне	728,7	784,3	906,7	895,5	862,2	834,4	984,5	867,7	801,0	823,2	873,3	979,0	901,1	867,7	1017,9	878,5
В соломе и ПКО	2155,7	2320,3	2682,3	2649,4	2550,7	2468,4	2912,7	2567,1	2369,6	2435,5	2583,6	2896,2	2665,9	2567,1	3011,4	2598,9
Отношение С : N в поступающем ОВ	28,7	28,6	29,2	28,2	28,8	28,7	28,1	29,2	29,1	28,4	29,0	28,1	28,0	28,6	27,5	28,3
Дополнительный объём С-CO_2 поступающий в почву при азотфиксации, кг/га	-	164,6	526,6	493,7	394,9	312,7	757,0	411,4	213,9	279,7	427,9	740,5	510,1	411,4	855,7	443,2
Количество С расходуемое на фиксацию 1 кг N, кг	-	2,7	7,7	7,1	6,1	4,9	10,2	6,5	3,5	4,3	6,4	9,9	7,3	6,3	10,9	6,9

При использовании азотного удобрения наблюдалось увеличение накопления общего N в урожае на 5,0…27,5% за счёт роста продуктивности растений гороха и содержания азота в их составе. Доля симбиотически фиксированного азота в составе соломы и ПКО от общего его количества в биомассе гороха составила 56,2…60,8%. В натуральном выражении, прибавка по этому показателю от инокуляции семян бактериальным препаратом составила 2,0…5,1 кг/га. За счёт использования азотного удобрения накопление фиксированного азота в соломе и ПКО увеличилось на 2,5…16,3 кг/га.

Поступление в почву азота происходило в составе биомассы органического вещества (ОВ) пожнивных и корневых остатков. Используемые в опыте удобрения увеличивали количество ОВ, поступающее в почву после распашки.

Благодаря инокуляции семян симбиотическими ризобактериями, увеличилась общая продуктивность растений гороха, за счёт чего в среднем по опыту поступление побочной продукции и корневой массы в почву возросло на 0,22 т/га. При использовании азотного удобрения, более существенная прибавка ОВ (0,36…1,65 т/га), поступающего в почву после уборки гороха, получена в отсутствии инокуляции посевного материала.

Содержание углерода в составе растений в меньшей степени подвержено изменениям под влиянием абиотических и антропогенных факторов (Шеуджен и др., 2006). Поэтому поступление С в почву с соломой и ПКО, определялось прежде всего уровнем продуктивности культуры по вариантам опыта. За счёт инокуляции семян симбиотическими ризобактериями и внесения азотного удобрения объёмы поступления углерода увеличились на 31,8…246,8 кг/га.

Соотношение С : N в составе поступающего в почву ОВ, определяет его качество, степень проявления и направленность микробиологических процессов связанных, как с разложением биомассы растительных остатков, так и превращениями азота в почве. Побочная продукция и корневая масса бобовых культур, благодаря более высокому содержанию в их составе азота, отличаются удобрительной ценностью. Поэтому их можно заделывать под любую сельскохозяйственную культуру без риска иммобилизации азота почвы и проявления азотного

голодания у растений. Применение бактериального препарата ризобактерий и N-удобрения не оказало значимого влияния на рассматриваемый показатель. В среднем по опыту соотношение C : N составило 27,5…29,2. При таком соотношении углерода к азоту будет наблюдаться не продолжительная нетто-иммобилизация азота (Ходжаева, 2006), которая не оказывает выраженного ингибирующего действия на ростовые процессы растений, даже на начальных этапах их развития. Количество поступающих в почву растительных остатков и их качество (отношение C : N) оказывает существенное влияние на численность ризобий в почве и их активность в формируемых бактероидах на корневой системе бобовых (Шабаев, 2004). При заделке в почву 1 т соломы зерновых культур, дополнительно фиксируется в среднем до 5 кг атмосферного азота (Щапова, 2004).

Продукты фотосинтеза растения-хозяина являются основным источником энергии при формировании урожая и в процессе становления симбиотической системы (Новикова, 2018). При бобово-ризобиальном симбиозе элементы питания и углеводы необходимы для роста и размножения бактерий, а также фиксации ими азота атмосферы. Активация у бобовых культур азотфиксации при помощи биопрепаратов и удобрений, ведёт к увеличению оттока ассимилятов из надземных частей растения и усилению фотосинтеза. При наличии на корневой системе бобовых культур клубеньков и активном протекании азотфиксации, интенсивность фотосинтеза увеличивается на 15-30% (Посыпанов, 1991). За счёт перехода и последующего доминирования симбиотрофного питания у бобовых культур, существенно повышается ассимилирующая способность листьев в отношении C-CO_2 и содержание в них углеводов (Пигарева, 1990). На каждый миллиграмм фиксированного азота растение расходует 10,3 мг углеводов. Недостаточное поступление азота из корневой системы в надземную биомассу негативно сказывается на фотосинтезе, ускоряет процессы старения листьев, сокращает время их активного функционирования (Behairy, 1988 цитир. по Новикова, 2018). В свою очередь, растения, получающие азот на начальном этапе развития, более интенсивно формируют фотосинтетический аппарат. Усиление процессов фотосинтеза обеспечи-

вает приток подвижных форм азота к корням растений, стимулируя этим деятельность микроорганизмов-азотфиксаторов (Парахин и др., 2012).

Благодаря сопряженности азотфиксации с фотосинтезом можно эффективней использовать возобновляемые ресурсы биосферы, что позволяет снизить затраты при производстве азотных удобрений и антропогенную нагрузку на окружающую среду (Тихонович, Завалин, 2016). Дополнительная экологическая функция самого процесса азотфиксации и средообразующее действие на агроэкосистемы бобовых культур, обусловлено тем, что в процессе их возделывания будет наблюдаться секвестрация дополнительного объёма $C\text{-}CO_2$ в почве.

В отсутствии инокуляции дополнительный объём $C\text{-}CO_2$ секвестируемый в почве при азотфиксации, с учётом дозировки азотного удобрения, составил 164,6…757,0 кг/га. На фоне инокуляции биопрепаратом можно было наблюдать увеличение азотфиксирующей способности и продуктивности растений гороха. При этом количество потребляемого дополнительно $C\text{-}CO_2$ увеличилось до 374,3…1144,9 кг/га, тем самым обеспечив сток в почву 279,7…855,7 кг/га. Чистый эффект от инокуляции семян гороха ризобактериями составил порядка 213,9 кг $C\text{-}CO_2$/га.

По мнению (Романов, 1985) бобовые растения на каждый 1 мг усвоенного бактериями азота расходуют 5-7 мг углерода. Согласно произведённым расчётам, на каждый мг фиксируемого ризобиями азота, дополнительно усваивалось от 2,7…10,2 мг (без инокуляции) до 4,3…10,9 мг (при инокуляции) углерода.

Сорт Вельвет (табл. 5.2) отличался более высокой продуктивностью относительно сорта Агроинтел на контроле (+0,45 т/га) и при бактеризации семян ризобактериями (+0,68 т/га). За счёт одностороннего использования бактериального препарата создавались благоприятные условия для минерального питания и формирования урожая растениями гороха. Вносимая с инокуляцией микрофлора более продуктивна с точки зрения усвоения атмосферного азота и конкурентоспособна в отношении инфицирования корневой системы гороха, чем аборигенные местные штаммы ризобий в почве. Вместе с тем, активность процессов фиксации азота и продуктивность растений, обусловлены генотипом сорта бобовой культуры и её отзывчивостью на используемые удобрения (Прудников, 2011).

Таблица 5.2. Накопление C и N в урожае основной и побочной продукции гороха сорта Вельвет при возделывании на зерно в составе одновидового агроценоза (среднее за 3 года)

Показатель	Инокуляция ризобактериями / дозы азота															
	без инокуляции								при инокуляции							
	N0	N30	N45	N60	N75	N90	N105	N120	N0	N30	N45	N60	N75	N90	N105	N120
Урожайность зерна, т/га	2,07	2,36	2,21	2,05	1,99	1,83	1,64	1,56	2,46	2,66	2,45	2,31	2,22	2,05	1,67	1,33
Урожайность соломы, т/га	2,69	3,06	2,87	2,66	2,58	2,38	2,14	2,02	3,20	3,45	3,19	3,00	2,89	2,66	2,17	1,73
Выход ПКО, т/га	3,34	3,79	3,55	3,29	3,20	2,95	2,64	2,50	3,96	4,28	3,95	3,72	3,57	3,29	2,69	2,14
Накопление общего N, кг/га																
В зерне	63,6	80,3	75,7	72,5	66,7	61,8	52,2	46,2	77,3	86,3	83,1	82,7	84,5	72,4	58,1	39,5
В соломе	37,6	44,3	39,1	37,9	38,9	34,4	31,8	27,7	45,4	52,7	46,2	43,0	41,8	39,0	31,8	25,0
В ПКО	59,0	67,1	62,8	58,3	56,6	52,2	46,8	44,3	70,1	75,7	69,9	65,8	63,2	58,3	47,6	37,9
В биомассе гороха	160,3	191,7	177,6	168,7	162,2	148,4	130,8	118,2	192,7	214,6	199,3	191,5	189,6	169,7	137,6	102,5
Накопление фиксированного N, кг/га																
В биомассе гороха	91,4	109,3	101,3	96,1	92,4	84,6	74,5	67,4	109,9	122,3	113,6	109,2	108,1	96,7	78,4	58,4
в т.ч. в соломе и ПКО	55,1	63,5	58,1	54,8	54,4	49,3	44,8	41,1	65,8	73,1	66,2	62,0	59,9	55,4	45,3	35,9
Поступление в почву после распашки, т/га																
Свежего ОВ с соломой и ПКО	6,03	6,86	6,41	5,96	5,78	5,33	4,78	4,53	7,16	7,73	7,14	6,72	6,46	5,95	4,86	3,87
Накопление органического C, кг/га																
В зерне	932,7	1060,4	992,3	921,2	894,1	824,3	739,2	700,5	1106,8	1195,5	1104,0	1039,7	999,1	920,6	752,5	599,1
В соломе и ПКО	2759,2	3137,0	2935,6	2725,2	2645,0	2438,7	2186,8	2072,3	3274,4	3536,7	3266,2	3075,9	2955,6	2723,4	2226,3	1772,4
Отношение C : N в поступающем ОВ	28,5	28,2	28,8	28,3	27,7	28,2	27,8	28,8	28,4	27,6	28,1	28,3	28,1	28,0	28,0	28,2
Дополнительный объём C-CO_2 поступающий в почву при азотфиксации, кг/га	-	377,8	176,4	-	-	-	-	-	515,2	777,5	507,0	316,6	196,4	-	-	-
Количество C расходуемое на фиксацию 1 кг N, кг	-	5,9	3,0	-	-	-	-	-	7,8	10,6	7,7	5,1	3,3	-	-	-

Поэтому Sessitsch et al. (2002), Парахин и др. (2010) предполагают, что при отборе ризобиальных штаммов необходимо учитывать не только видовую, но и сортовую принадлежность бобовых культур. В свою очередь, одна из причин снижения симбиотической активности у современных сортов зернобобовых культур связана с тем, что селекция новых сортов проводилась часто при достаточном или избыточном обеспечении почвы азотом (Тихонович, Проворов, 2003). В этих условиях происходил отбор генотипов, активно усваивающих почвенный азот, в ущерб симбиотической фиксации. Сорта интенсивного типа на генетическом уровне часто не способны к эффективному взаимодействию с микроорганизмами из группы PGPR, потому что растения потеряли способность конкурировать за почвенную микрофлору и расселять её на своей корневой системе.

При внесении азотного удобрения в дозах свыше 45 кг д.в./га, в отсутствии инокуляции, наблюдалась снижение урожайности зерна (-0,03…-0,52 т/га), соломы (-0,03…-0,67 т/га) и выхода ПКО (-0,04…-0,83 т/га). По мнению (Coronado et al., 1995), безазотистая среда выступает в качестве основного драйвера бобово-ризобиального симбиоза. При отсутствии в почве избыточного количества минерального азота физиологическое состояние и метаболизм бобовой культуры в наибольшей степени готов к симбиотическому взаимодействию с комплементарными штаммами ризобий. Тоже самое можно сказать и относительно реакции микросимбионта. Наличие в ризосфере определённых концентраций минерального азота блокирует развитие симбиотического взаимодействия между компонентами, а также функциональную активность образованных ранее клубеньков.

Присутствие в ризосфере бобовых культур N-содержащих вещества, природного или антропогенного происхождения, может оказывать негативное влияние на симбиотическое взаимодействие симбионтов. Усиление в почве активности нитрифицирующих и денитрифицирующих микроорганизмов, наблюдаемое (Scibe et al.,1993) при внесении в почву N-удобрений, ведёт к образованию газообразных соединений азота (NO, N_2O). Глянько и др. (2008) отмечено негативное действие со стороны нитрит-иона (NO_2^-) на рост *Rh. leguminosarum* в культуре *in vitro* и NO экзогенного происхождения на адгезию и проникновение ризобий в структуру корне-

вых волосков гороха. Отрицательное влияние этих соединений (NO, NO_2^-) может проявляться уже в ризосфере, по результату которого диазотрофы могут терять способность взаимодействия с макросимбионтами. При наличии в ризосфере в достаточном количестве экзогенного N-NO_3, ферментативная система клубеньковых бактерий ингибирует работу нитрогеназы (Caba et al., 1990), благодаря чему наблюдается переключение с усвоения N_2 на использование NO_3^- в качестве источника энергии и его последующая утилизация (Шумный и др., 1991).

Превышение дозировки азотного удобрения в 45 кг д.в./га при инокуляции, способствовало ещё более интенсивному снижению урожайности основной и побочной продукции, а также выхода биомассы корневых остатков. Это указывает на ингибирование развития симбиотического аппарата при внесении минерального азота с удобрением. Известно, что применяемые в качестве удобрений азотные соли (KNO_3, $(NH_4)_2SO_4$), даже в концентрации 20…60-80 мМ не оказывают отрицательного влияния на рост ризобий в чистой культуре (Глянько и др., 2008; Кириченко и др., 1993). Негативное влияния высоких доз азота проявляется на установлении симбиотического взаимодействия между партнёрами, за счёт «включения» макросимбионтом защитных реакций, препятствующих инфицированию клеток ризобиями (Глянько и др., 2009). Такое поведение бобовых растений является оправданным с точки зрения затрат энергии и пластических веществ на N_2-фиксацию и формирование симбиотического аппарата (Кретович, 1994). О том, что ключевая роль в этом вопросе принадлежит макросимбионту, заявляют большинство современных исследователей (West et al., 2002; Kiers et al., 2003; Назарюк, 2007; Проворов, Онищук, 2019). Информацию о присутствии высокого содержания минерального азота в почве геном растения-хозяина получает благодаря сигнальным молекулам активных форм азота (NO_3^-, NO_2^-, NO), способных модулировать метаболизм растительных организмов (Глянько, Васильева, 2007). Так, NO может выступать в качестве химически синхронизирующего мессенджера, активизирующего работу гормонов (ауксина, цитокинина, этилена), связанную с формированием и функционированием симбиотической системы «бобовая культура-ризобии» (Lamattina et al., 2003; Волобуева, 2020); регулирующего перенос

O_2 в бактероиды, благодаря возможности образования комплекса с леггемоглобином (Herouart et al., 2002).

Вместе с тем, следует сказать о положительном значении для становления симбиоза и последующего выстроенного взаимодействия между участниками этого процесса, так называемых «стартовых» доз минерального азота (Персикова и др., 2003; Алёшин, Завалин, 2021). Растения, получающие азот на начальном этапе развития, более интенсивно формируют фотосинтетический аппарат. Усиление процессов фотосинтеза индуцирует азотфиксацию, обеспечивает приток подвижных форм азота к корням растений, стимулируя этим деятельность диазотрофов (Парахин и др., 2012). Поэтому «стартовые» дозы с учётом внутренних и внешних условий будут несколько отличаться для отдельных видов и сортов бобовых культур. Отмеченная реакция сорта Вельвет на инокуляцию семян ризобактериями и применение возрастающих доз азотного удобрения, имела определяющее значение при последующих расчётах.

Накопление общего азота в урожае зерна и соломы гороха сорта Вельвет без инокуляции составило 73,8…124,6 кг/га, при инокуляции – 64,6…138,9 кг/га. В составе ПКО в почву поступило от 44,3…67,1 кг/га до 37,9…75,7 кг/га общего N соответственно. Уборка гороха на зерно производилось с одновременным измельчением и расстилом соломы по поверхности поля, которая в процессе последующей обработки также поступала в почву. При использовании N-удобрения можно наблюдать изменяющуюся тенденцию. При внесении N30 происходило изначальное увеличение накопления общего N в урожае на 13,2…23,1%, прежде всего за счёт увеличения продуктивности растений гороха и в меньшей степени – от повышения содержания азота.

Доля симбиотически фиксированного азота в составе соломы и ПКО от общего его количества в биомассе гороха составила 55,4…61,4%. Прибавка от инокуляции семян ризобиями по этому показателю, в натуральном выражении, не превышала 0,5…1,7 кг/га или вовсе отсутствовала. За счёт использования азотного удобрения, существенного накопления фиксированного азота в соломе и ПКО также не наблюдалось. Причиной этому являлось снижение урожайности гороха сорта Вельвет при использовании изучаемых в опыте средств химизации.

После выращивания гороха сорта Вельвет в почву с биомассой корней и пожнивных остатков поступало 3,87…7,73 т/га свежего органического вещества. За счёт инокуляции семян симбиотическими ризобактериями, происходило увеличение общей продуктивность растений гороха и поступающего в почву органического вещества (+1,13 т/га). При использовании только азотного удобрения, увеличение количества поступающего в почву ОВ (+0,38…+0,83 т/га), отмечено при дозировке 30 и 45 кг N/га. Эффект от совместного использования инокулянта и азотного удобрения составил +0,43…+1,70 т/га органического вещества в составе растительного материала.

Благодаря заделке в почву соломы, объём углерода, поступающий в почву с побочной продукцией и корневыми остатками, составил порядка 1,8…3,5 т/га, что в 2,7-2,9 раза превышают отчуждаемое количество с зерном. Это указывает на преимущества и значимость зернобобовых культур, обладающих не высокой зерновой продуктивностью, в кадастре углекислого газа и ассимиляции углерода в почву.

Поступающие в почву после посева гороха сорта Вельвет растительные остатки имели достаточно узкое соотношение C : N = 26,7…28,7, при котором наблюдается умеренно-продолжительная нетто-иммобилизация азота микроорганизмами в почве. Кроме того, узкое соотношение C : N послеуборочных растительных остатков гороха стимулирует рост и развитие пула бактерий в почве, новообразование гумуса, меняет качественный его состав (Ladd et al., 1995).

В отсутствии инокуляции ризобактериями, происходило поступление дополнительного объёма C-CO_2 в почву (176,4…377,8 кг/га) за счёт азотфиксации, только при внесении N30-45. На фоне инокуляции биопрепаратом можно было наблюдать увеличение азотфиксирующей способности и продуктивности растений гороха. При этом количество потребляемого дополнительно C-CO_2 увеличилось до 262,8…1040,3 кг/га только при использовании N30-75, благодаря чему обеспечив сток в почву 196,4…777,5 кг C-CO_2/га. Чистый эффект от инокуляции семян гороха симбиотическими ризобактериями составил порядка 515,2 кг C-CO_2/га. При этом на каждый мг фиксируемого ризобиями азота, дополнительно усваивалось 6,3 мг углерода, что соотносится с результатами исследований отечественных учёных.

5.2. Азотфиксирующая способность гороха посевного в одновидовом и смешанных агроценозах с пшеницей яровой

Организационно-хозяйственная и технологическая привлекательность смешанных агроценозов злаковых и бобовых культур для сельхозтоваропроизводителей, продиктована целым рядом агрономически ценных критериев. Одним из таких ключевых параметров является возможность бобового компонента к азотфиксации. По словам (Пономарева, 2006), при правильном подборе видов и сортов, бобово-злаковые смеси нуждаются в меньшем (на 30-60 кг/га) количестве минерального азота удобрений благодаря фиксации соответствующего количества N из воздуха бобовыми растениями. Увеличение площадей занятых смешанными посевами с участием зернобобовых культур, является одним из первоочередных способов обеспечения ведущих сельскохозяйственных культур азотом, обеспечивающим более полное использование их потенциала (Завалин, Кашукоев, 1998).

Бобовые культуры обогащают почву азотом, действие которого проявляется в течение 2-3 лет, дают продукцию для питания человека и кормления животных, богатую белком. Вместе с тем за счёт растительных остатков бобовых культур происходит обогащение почвы свежим органическим веществом, по химическому составу наиболее полно удовлетворяющим условиям интенсивной гумификации и минерализации (Завалин, Пасынков, 2002; Азаров и др., 2008). Данные условия способствуют оптимизации пищевого режима почвы, улучшению её физико-химических свойств, играют ведущую роль в создании эффективного плодородия.

Результаты оценки вклада биологического азота гороха в азотный баланс почвы, при возделывании в составе горохо-пшеничных смесей и одновидовом посеве, в зависимости от вида конечной продукции (зерносенаж, зерно), представлены в таблицах 5.3 и 5.4.

Зерносенаж. При детальном рассмотрении, следует отметить, что количество пожнивно-корневых остатков существенно выше, чем урожайность отчуждаемой хозяйственно-востребованной части урожая (табл. 5.3).

Таблица 5.3. Накопление N и C в растительных остатках гороха при возделывании на зерносенаж в одновидовом и смешанных агроценозах (среднее за 3 года)

Показатель	Состав агроценоза / дозы азота											
	пшеница 75% + горох 25%			пшеница 50% + горох 50%			пшеница 25% + горох 75%			горох 100%		
	N0	N30	N60	N0	N30	N60	N0	N30	N60	N0	N30	N60
Урожайность, т/га	3,10	3,42	3,77	3,76	4,34	4,88	4,13	4,86	5,45	2,39	2,67	3,18
Выход ПКО, т/га	3,33	3,67	4,05	4,04	4,67	5,24	4,44	5,22	5,86	2,57	2,87	3,41
в т.ч. за счёт гороха	0,83	0,92	1,01	2,02	2,33	2,62	3,33	3,91	4,39			
Накопление общего N, кг/га												
В урожае	44,5	53,7	63,1	64,4	79,4	88,0	92,1	114,9	129,8	68,1	76,8	92,6
в т.ч. за счёт гороха	15,5	17,1	18,9	37,6	43,4	48,8	62,0	72,9	81,8			
В ПКО	43,5	50,1	59,7	60,7	72,2	85,4	75,6	90,3	104,7	48,7	54,9	66,4
в т.ч. за счёт гороха	15,8	17,6	19,7	38,3	44,6	51,0	63,3	74,9	85,5			
В биомассе гороха	37,9	42,2	47,2	91,9	107,1	122,1	151,7	179,7	204,7	116,8	131,8	159,1
Накопление фиксированного N, кг/га												
В биомассе гороха	24,7	27,4	30,7	59,7	69,6	79,4	98,6	116,8	133,1	66,6	75,1	90,7
в т.ч. в ПКО	10,3	11,4	12,8	24,9	29,0	33,1	41,1	48,7	55,6	27,8	31,3	37,9
Накопление органического C, кг/га												
В урожае	1395,2	1539,0	1697,6	1690,2	1954,8	2194,4	1859,6	2186,3	2453,0	1074,6	1202,9	1429,7
В ПКО	1538,1	1696,6	1871,5	1898,6	2195,9	2465,1	2127,8	2501,6	2806,7	1252,0	1401,4	1665,7
в т.ч. за счёт гороха	406,4	448,3	494,5	984,6	1138,8	1278,4	1625,0	1910,5	2143,5			
Отношение C : N в ПКО	35,4	33,9	31,4	31,3	30,4	28,9	28,2	27,7	26,8	25,7	25,5	25,1
Дополнительный объём C-CO_2, поступающий в почву в посевах гороха, кг/га	251,8	271,6	207,8	612,3	770,8	801,3	841,5	1076,6	1142,9	588,9	674,0	831,1
Количество C расходуемое на фиксацию 1 кг N, кг	18,6	18,0	12,0	18,6	20,2	18,4	15,3	16,7	15,5	5,9	6,2	6,6

Прежде всего, это связано с достаточно интенсивным развитием корневой системы растений, особенно периферийной её части, которая сложно поддаётся прямому учёту. Количество пожнивных и корневых остатков гороха в составе общей биомассы ПКО определялось рецептурным соотношением компонентов в составе высеваемой смеси.

Накопление общего количества N в составе ПКО напрямую связано с продуктивностью агроценозов и содержанием азота в составе зерносенажа. В свою очередь, величина данных параметров была продиктована соотношением компонентов в составе агроценозов и уровнем азотного питания. В составе урожая агроценоза с преобладанием пшеницы (пшеница 75% + горох 25%) накопление общего азота на 29,9…34,8% было обеспечено за счёт бобового компонента. Увеличение долевого присутствия гороха в составе высеваемых смесей до 50% и 75% способствовала наращиванию количества азота, полученному за счёт гороха до 55,4…58,3% и 63,0…67,3% соответственно. Вынос азота с урожаем зерносенажной массы в одновидовом посеве составил 68,1…92,6 кг/га и чётко зависел от внесения N-удобрения. Соотношение между количеством азота в урожае зерносенажа и в составе ПКО смесей составило 1,02…1,27. В вариантах с монопосевом гороха наблюдается обратная тенденция – соотношение составило 0,92…0,94.

Общее количество азота в составе биомассы гороха в смешанных агроценозах было представлено равными долями между надземной убираемой частью урожая и массой корневых систем с сопряженной с ними частью соломы. С ПКО бобовой культуры в почву поступало от 15,8…19,7 кг/га (пшеница 75% + горох 25%) до 38,3…51,0 кг/га (пшеница 50% + горох 50%) и 63,3…85,5 кг/га (пшеница 25% + горох 75%) общего азота. В зависимости от урожайности и состава, горохо-пшеничные смеси накапливали от 45 до 130 кг/га общего азота в вегетативной массе и от 44 до 105 кг/га. В пожнивно-корневых остатках гороха, при возделывании в составе смесей, накапливалось от 10 до 56 кг/га азота воздуха. Следует отметить, что смешанный посев пшеница 25% + горох 75% на 26,9…38,3 кг/га превосходил одновидовой посев гороха по количеству общего азота в составе ПКО. По величине же фиксированного азота воздуха, указанный смешанный посев в 1,5-1,6 раза превосходил монопосев гороха.

При сопоставлении величин по накоплению фиксированного азота с эквивалентным количеством азотного удобрения (аммиачной селитрой) получили следующие результаты. В посевах с минимальным долевым присутствием гороха (25%) накопление биологического азота в составе ПКО эквивалентно внесению $N_{аа}$ в дозе 30-37 кг. В посевах с равным соотношением компонентов (50% + 50%), соответственно 73-95 кг/га. В агроценозе с преобладанием гороха (пшеница 25% + горох 75%) количество накопленного фиксированного азота в ПКО (41,6-54,8 кг/га) соответствует минимальной рекомендуемой дозе внесения аммиачной селитры (120-160 кг/га) при возделывании яровых зерновых культур (пшеница, ячмень, овёс) в Предуралье (Михайлова, 2015).

Количество углерода, поступающего в почву с пожнивными и корневыми остатками, определялось величиной урожайности. Для смешанных посевов было характерным поступление большего количества углерода в почву. Объёмы поступления свыше 2 тонн С на гектар зафиксированы при равном сочетании компонентов (пшеница 50% + горох 50%) и преобладании гороха (пшеница 25% + горох 75%) в составе высеваемой смеси. Количество углерода, поступившее в почву с ПКО, превышает количество С, отчуждаемое с урожаем зерносенажа.

Качество органического вещества ПКО, скорость их разложения и минерализации определяется содержанием общего азота и соотношением углерода к азоту (C : N). Чем уже отношение C : N в составе ПКО, тем выше их удобрительная способность, и наоборот (Vigil, Kissel, 1991). По мере повышения соотношения C : N усиливается иммобилизация азота растительных остатков. Органическая масса пожнивно-корневых остатков в которой содержание общего азота в расчёте на абсолютно сухой вес более 2% (пшеница 25% + горох 75%, горох 100%) и отношение C : N не превышает 20, можно заделывать под любую культуру без риска проявления азотного голодания у растений. Если в остающихся в поле пожнивно-корневых остатках и соломе отношение C : N шире, чем 20, и содержание N <2,0%, то внесение такой органической массы при запашке, под яровые зерновые культуры, может способствовать снижению урожая вследствие потребления запасов азота почвы микроорганизмами (Henriksen, Breland, 1999). При увеличении доли гороха в ре-

цептуре высеваемой смеси свыше 50% наблюдается более высокое содержание азота (> 2%) в составе зерносенажной массы и ПКО, за счёт чего, достигается более узкое соотношение C : N = 26,8…28,2. Отношение C : N, обусловленное, содержание общего азота в составе фитомассы, является наиболее употребляемым показателем качества для поступающих в почву растительных остатков, характеризующим их способность к разложению (Frankenberger, Abdelmagid, 1985).

Дополнительный объём C-CO_2 секвестируемый горохом при усилении азотфиксации за счёт возделывания в составе смешанного агроценоза составил 207,8…1142,9 кг/га. При внесении азотного удобрения в смешанных агроценозах пшеница 50% + горох 50%, пшеница 25% + горох 75%, наблюдалось увеличение потребляемых объёмов C-CO_2 на 158,5…301,5 кг/га и последующий их сток в почву. На каждый мг фиксируемого ризобиями азота, в зависимости от состава агроценоза, дополнительно усваивалось от 5,9 до 20,2 мг углерода.

Зерно. Технология возделывания смешанных агроценозов гороха и пшеницы на зерно отличается по величине формируемого конечного урожая, количеству и физиологической активности поступающих в почву пожнивно-корневых остатков. Совокупность перечисленных параметров обуславливает различия в величине вклада биологического азота гороха в азотный баланс почвы (табл. 5.4).

После распашки почвы на делянках занятых одновидовым посевом гороха в почве оставалось порядка 5…6 т/га органического вещества. После смесей накапливалось от 1,61…1,76 т/га до 3,52…3,83 т/га и 3,25…3,88 т/га ПКО посевного гороха. С указанным количеством органического вещества ПКО и соломы зернобобовой культуры в почву поступило от 26,1-28,3 до 52,0-64,6 кг/га общего азота, том в числе 16,9-18,4…33,8-42,0 кг/га биологического, который будет использоваться культурами севооборота, идущими после агроценозов бобового предшественника. Фактическая масса ПКО и общего N, поступивших в почву в смешанных агроценозах, при учёте долевого присутствия злака в сформированных агроценозах, больше на 123-147…18-38%. Также важно учитывать, что яровая пшеница в смеси с горохом содержит больше азота, чем в одновидовом посеве.

Таблица 5.4. Накопление N и C в растительных остатках гороха при возделывании на зерно в одновидовом и смешанных агроценозах (среднее за 3 года)

Показатель	Состав агроценоза / дозы азота											
	пшеница 75% + горох 25%			пшеница 50% + горох 50%			пшеница 25% + горох 75%			горох 100%		
	N0	N30	N60	N0	N30	N60	N0	N30	N60	N0	N30	N60
Урожайность зерна, т/га	2,39	2,58	2,94	2,58	2,76	2,81	2,28	2,30	1,98	2,06	2,01	1,71
в т.ч. гороха	0,68	0,69	0,74	1,48	1,61	1,58	1,63	1,62	1,37			
Выход соломы и ПКО, т/га	5,49	5,94	6,77	6,02	6,45	6,55	5,35	5,40	4,64	5,98	5,85	4,99
в т.ч. гороха	1,61	1,63	1,76	3,52	3,83	3,76	3,88	3,84	3,25			
Накопление общего N, кг/га												
В урожае зерна	51,6	56,4	65,9	72,5	78,5	81,4	71,8	74,7	63,8	77,1	74,2	62,6
в т.ч. за счёт гороха	21,6	22,2	24,6	51,0	55,2	55,4	58,1	59,9	50,2			
В соломе и ПКО	58,0	62,2	69,9	76,6	82,4	85,2	76,5	72,8	62,6	103,0	97,9	84,4
в т.ч. за счёт гороха	26,1	27,8	28,3	55,6	62,4	63,7	64,6	60,5	52,0			
В биомассе гороха	47,7	50,0	52,9	106,6	117,6	119,1	122,7	120,4	102,2	180,1	172,2	147,0
Накопление фиксированного N, кг/га												
В биомассе гороха	31,0	32,5	34,4	69,3	76,5	77,4	79,7	78,3	66,4	102,7	98,1	83,8
в т.ч. в соломе и ПКО	16,9	18,1	18,4	36,2	40,5	41,4	42,0	39,4	33,8	58,7	55,8	48,1
Накопление органического C, кг/га												
В зерне	1073,3	1161,0	1324,8	1161,0	1243,6	1264,2	1025,6	1037,2	891,4	924,9	904,3	771,4
В соломе и ПКО	2542,9	2744,8	3126,6	2846,4	3052,1	3095,5	2556,1	2580,7	2215,2	2918,0	2852,9	2433,7
в т.ч. за счёт гороха	787,6	797,6	859,6	1718,9	1870,0	1835,9	1892,0	1874,7	1586,0			
Отношение C : N в ПКО	43,8	44,1	44,7	37,2	37,0	36,3	33,4	35,4	35,4	28,3	29,1	28,8
Дополнительный объём C-CO_2, поступающий в почву в посевах гороха, кг/га	395,7	284,5	450,7	699,2	591,8	419,6	408,9	120,4	-	770,8	392,6	-
Количество C расходуемое на фиксацию 1 кг N, кг	17,1	11,4	17,7	13,3	10,0	6,7	6,2	1,1	-	7,4	2,3	-

Количество N в урожае зерна, накопленное за счёт гороха, составило от 37,3…41,9% в посеве пшеница 75% + горох 25%, до 68,1…70,3% – при равном (50% + 50%) соотношении компонентов в высеваемой смеси, и 78,7…81,0% в посеве пшеница 25% + горох 75%, от общего количества азота. За счёт гороха в составе ПКО и соломы в почву поступило от 40,5…44,9% до 72,7…75,7% и 83,1…84,4% общего N. Благодаря поступлению соломы и ПКО на одном гектаре распахиваемой площади после смешанных агроценозов с равным долевым участием (пшеница 50% + горох 50%) или превалированием гороха (пшеница 25% + горох 75%) в почве накопилось 55,6…63,7 и 64,6…52,0 кг общего N. Полученные данные указывают на тесную зависимость между поступлением общего азота и урожайностью гороха в посеве (r = 0,99). Учитывая, что 1 т полуперепревшего навоза содержит 5 кг азота (Петухов и др., 1985), с пожнивно-корневыми остатками и соломой гороха в смешанных посевах в почве оставалось количество азота, эквивалентное внесению его с 5,2…5,7-10,4…12,9 т/га навоза.

В современных условиях хозяйствования, когда насыщенность органическими удобрениями в полевых севооборотах хозяйств региона составляет менее 0,8-0,9 т/га (Алёшин, Завалин, 2022), это является весомым вкладом в баланс органического вещества и азота почвы. В пересчете на минеральные удобрения это составляет 76…82-150…188 кг/га аммиачной селитры или 57…61-113…140 кг/га мочевины. За счет симбиотической азотфиксации с органическим веществом соломы и ПКО гороха на каждом гектаре в почву поступало от 17…18,5 кг до 34…42 кг биологического азота, эквивалентное количество которого содержится в 3,4…4,7-6,8…8,4 т навоза или 50,0…53,5-100…120 кг $N_{аа}$.

Накопление и последующее отчуждение углерода с урожаем зерна в смешанных посевах составило 0,89…1,32 т/га, в одновидовых – 0,77…0,92 т/га. С соломой и ПКО в смешанных агроценозах в почву поступило 2,22…3,13 т/га С органического вещества (ОВ), в одновидовом посеве – 2,43…2,92 т/га. Количество органического вещества, поступающего в почву с соломой и ПКО гороха, в соответствии с рецептурой высеваемой смеси (25%-50%-75%), составляло от 27,5…31,0% до 59,3…60,4% и 71,6…74,0%. С внесением азотного удобрения связано снижение количества накопленного углерода в органическом веществе зерна

(-20,6…-153,5 кг), соломы (-29,1…-216,4 кг) и ПКО (-36,0…-267,9 кг) одновидового посева гороха.

Поступающее в почву после смешанных посевов органическое вещество ПКО отличалось более широким соотношением C : N = 33,4…44,7 за счёт поступления в почву не только корневой системы и поверхностных пожнивных остатков, но и соломы, прежде всего злакового компонента. По результату лабораторных исследований (Ходжаева, 2006) установлены критические отношения C : N в разлагающейся фитомассе разных культур, отличающейся по физиологической зрелости. По данным автора при C : N <35 преобладает умеренно-продолжительная нетто-иммобилизация азота. Более полно удовлетворяло условиям интенсивной гумификации и минерализации (C : N = 33,4...35,4) органическое вещество ПКО после смешанного посева с превалированием гороха (пшеница 25% + горох 75%). При проведении уборки на зерно методом прямого комбайнирования, происходило измельчение соломы и её расстил по поверхности почвы в виде резки длиной 10-12 см. Солома смешанных посевов существенно отличалась от ПКО по содержанию азота и, следовательно, более широким отношением C к N (40…64). При преобладании в составе смешанного посева пшеницы (пшеница 75% + горох 25%) отношение C : N > 50, что указывает на преобладание долговременной нетто-иммобилизации азота в почве при разложении органического вещества соломы. За счёт последующей заделки соломы происходило увеличение соотношения C : N в составе поступающего в почву органического вещества на 6,5…11,1 единицы, что снижало их удобрительную способность и ценность в качестве источника для воспроизводства органического вещества почвы в агроэкосистемах. При таком широком соотношении C : N, в составе поступающего в почву органического вещества, возможно активное проявление процесса денитрификации и усиление эмиссии N_2O. В целях снижения риска проявления азотного голодания у сельскохозяйственных культур, идущих в севообороте после смешанных посевов пшеницы и гороха, перед заделкой соломы необходимо внесение 10,2…14,0 кг/га $N_{аа}$ или 1,3…1,9 т/га навозной жижи (Плотников, Иванюшин, 2014).

В посевах гороха посевного, с учётом дозировки азотного удобрения, дополнительно ассимилировалось из воздуха 120,4…770,8 кг C-CO_2/га. Более высо-

кое потребление C-CO_2 отмечено в одновидовом агроценозе гороха и смеси пшеница 50% + горох 50%. За счёт возделывания гороха в составе смешанных агроценозов с пшеницей, наблюдается усиление азотфиксации и потребление дополнительного объёма C-CO_2, который накапливается в составе органического вещества почвы. Использование азотного удобрения снижало эффективность N_2-фиксации и объёмов секвестируемого углекислого газа в процессе фотосинтеза. Согласно произведённым расчётам, на каждый мг азота, который фиксировался диазотрофами в ризосфере, дополнительно усваивалось (в среднем) 10,4 мг углерода. Полученные результаты указывают на активизацию процессов ассимиляции N_2 и CO_2, так как при нормальных условиях бобовые растения на каждый 1 мг усвоенного бактериями азота расходуют 5-7 мг углерода.

5.3. Азотфиксирующая способность вики озимой в одновидовом и смешанных агроценозах с тритикале озимой

Наряду с кормовыми достоинствами вика мохнатая обладает более высокой потенциальной способностью к эффективному симбиозу с клубеньковыми бактериями (Курчак, Проворов, 1995). Фиксируемый ризобиями газообразный азот наиболее полно используется растениями для реализации биологического потенциала и повышения продуктивности растений, по сравнению с другими видами вик (Митрофанова и др., 1998). Важной особенностью зерновых бобовых культур, является усиление их возможности к симбиотической азотфиксации при совместном возделывании со злаками (Гришин, Копылова, 1998). Ключевым условием для этого, является более высокая конкурентоспособность злаковых компонентов в отношении элементов минерального питания. Интенсивно поглощая азот, вносимый с удобрением и почвенных запасов, они тем самым стимулируют активность клубеньковых бактерий через симбиотическое взаимодействие с ними бобовых растений.

В грамотно сформированном смешанном агрофитоценозе с участием зернобобовых культур, возрастает доля биологических факторов, происходит наиболее полная реализация их потенциала, связанного с симбиотической фиксацией атмосфер-

ного азота и последующим его поступлением в почву в составе ПКО; наблюдается активация микробиологических процессов, связанных с разложением и минерализацией органического вещества в почве. Основное количество фитомассы растительных остатков бобовых (60-90%) разлагается в первый год после их заделки в почву. Растительные остатки смешанных посевов с их участием, разлагаются значительно быстрее, чем у злаков (Завалин и др., 2019).

При возделывании озимой вики на зерносенаж и зерно в одновидовом посеве и смесях с тритикале, произведён учёт количества поступающих в почву ПКО и симбиотически фиксированного азота (табл. 5.5, 5.6). При детальном рассмотрении, следует отметить, что выход пожнивно-корневых остатков превышает урожайность зерносенажной массы (табл. 5.5). Это связано с интенсивным развитием корневой системы озимых культур, особенно периферийной части и того количества, которое расположено глубже пахотного горизонта. Количество ПКО озимой вики, в общем объёме поступающих в почву растительных остатков, прежде всего, определялось рецептурой высеваемой смеси. Накопление N в урожае зерносенажа зависело от состава агроценоза, урожайности посевов, содержания азота в вегетативной массе бобового и злакового компонентов. Так, в смешанном посеве тритикале 75% + вика 25% накопление общего азота на 31,9…36,3% было обеспечено за счёт бобового компонента. Повышение содержания общего азота в урожае на 18,2…40,8 кг/га и его доли, полученной за счёт озимой вики (до 56,5…84,5%), было обусловлено увеличением количества бобового компонента в составе высеваемой смеси.

Количество общего N в урожае на 59% (R^2 = 0,59) зависело от урожайности посевов и на 41% от других факторов. В зависимости от содержания в биомассе бобового и злакового компонентов, имело линейный, но дифференцированный характер. Так, при снижении доли озимой вики в составе смесей наблюдалось увеличение содержания N в вегетативной массе тритикале. Внесение N-удобрения также вносило определённые коррективы – наблюдалось увеличение конкурентоспособности и содержания азота в вегетативной массе озимой тритикале, при этом, ингибировалась азотфиксирующую способность озимой вики. За счёт чего, вынос N с урожаем зерносенажной массы в одновидовом посеве вики, при внесении N45-60 снижался на 10,0…22,6 кг/га.

Таблица 5.5. Накопление N и C в растительных остатках при возделывании озимой вики на зерносенаж в одновидовом и смешанных агроценозах (среднее за 3 года)

Показатель	Состав агроценоза / дозы азота															
	тритикале 75 % + вика 25 %				тритикале 50 % + вика 50 %				тритикале 25 % + вика 75 %				вика 100 %			
	N0	N30	N45	N60	N0	N30	N45	N60	N0	N30	N45	N60	N0	N30	N45	N60
Урожайность, т/га	5,21	5,93	6,73	7,26	5,70	6,27	7,36	7,15	5,81	6,23	7,12	5,77	4,93	5,31	4,80	4,24
Выход ПКО, т/га	5,59	6,37	7,23	7,80	6,13	6,74	7,91	7,68	6,25	6,70	7,65	6,20	5,30	5,71	5,16	4,56
в т.ч. за счёт вики	1,40	1,59	1,81	1,95	3,06	3,37	3,96	3,84	4,68	5,02	5,74	4,65				
Накопление общего N, кг/га																
В урожае	93,1	114,0	140,6	159,2	121,3	140,2	174,4	177,3	133,9	152,5	179,8	151,6	128,0	141,6	131,6	118,8
в т.ч. за счёт вики	33,8	39,5	46,1	50,8	74,0	83,6	100,9	100,2	113,2	124,5	146,4	121,3				
В ПКО	83,9	103,7	122,6	138,6	100,0	116,8	142,2	143,3	110,1	123,1	145,3	121,3	100,4	111,1	103,2	93,2
в т.ч. за счёт вики	26,5	31,0	36,2	39,9	58,1	65,6	79,1	78,6	88,7	97,7	114,8	95,1				
В биомассе вики	60,3	70,5	82,3	90,7	132,1	149,2	180,0	178,7	201,9	222,2	261,3	216,5	228,5	252,7	234,9	212,0
Накопление фиксированного N, кг/га																
В биомассе вики	39,2	45,8	53,5	59,0	85,8	97,0	117,0	116,2	131,2	144,5	169,8	140,7	130,2	144,0	133,9	120,8
в т.ч. в ПКО	17,2	20,2	23,5	25,9	37,7	42,6	51,4	51,1	57,7	63,5	74,6	61,8	57,2	63,3	58,8	53,1
Накопление органического С, кг/га																
В урожае	2343	2670	3028	3268	2567	2823	3313	3218	2616	2804	3206	2599	2220	2391	2161	1909
В ПКО	2399	2735	3101	3347	2604	2865	3362	3265	2629	2819	3222	2612	2210	2381	2152	1900
в т.ч. за счёт вики	583	665	754	813	1278	1405	1649	1602	1953	2094	2394	1940				
Отношение С : N в ПКО	29	26	25	24	26	25	24	23	24	23	22	22	22	21	21	20
Дополнительный объём $C\text{-}CO_2$, поступающий в почву в посевах озимой вики, кг/га	1081	883	852	899	1286	1013	1113	818	1311	967	973	165	892	529	-	-
Количество С расходуемое на фиксацию 1 кг N, кг	56,3	40,2	33,7	32,3	30,7	21,9	20,0	15,3	20,6	14,3	12,4	3,6	14,5	8,4	-	-

Накопление общего азота в составе ПКО уступало выносу N с урожаем зерносенажа, что достаточно закономерно. Соотношение между количеством азота в урожае зерносенажа и в составе ПКО смесей составило 1,10…1,25. Для монопосева озимой вики соотношение составило 1,28. При возделывании вики в смешанных агроценозах, общее количество накопленного азота в её биомассе составляло от 60,3…90,7 кг/га до 201,9…261,3 кг/га. При внесении азотного удобрения в дозах 45 и 60 кг д.в./га, смешанный посев тритикале 25% + вика 75% превосходил по этому показателю одновидовой агроценоз вики.

В зависимости от состава агроценоза и урожайности, вико-тритикалевые смеси за счёт бобового компонента накапливали от 34 до 146 кг/га общего азота в зерносенажной массе и от 39 до 170 кг/га в пожнивно-корневых остатках. С пожнивными и корневыми остатками озимой вики в почву поступало 17,2…25,9 кг/га (тритикале 75% + вика 25%), 37,7…51,4 кг/га (тритикале 50% + вика 50%) и 57,7…74,6 кг/га (тритикале 25% + вика 75%) симбиотически фиксированного азота. После одновидового посева озимой вики, убранного на зерносенаж, в почву поступало от 53 кг (N60) до 63 кг (N30) азота. Накопление большего количества фиксированного азота в ПКО и общей биомассе озимой вики, в случае превалирования её доли в смешанном посеве (тритикале 25% + вика 75%), связано именно с усилением симбиотической азотфиксации бобового компонента при совместном возделывании в посеве со злаковой культурой. В качестве подтверждения можно привести результаты исследования (Минакова и др., 2016) в которых в ПКО смешанного посева (горох + овёс), по сравнению с ПКО гороха в одновидовом посеве, накопление симбиотического азота возрастало в 5,5-5,8 раз. При сопоставлении величины накопленного фиксированного азота с поступлением эквивалентного количества с азотным удобрением (аммиачной селитрой) получили следующие результаты. В посеве с минимальным долевым присутствием вики (25%) накопление биологического азота в составе ПКО эквивалентно внесению $N_{аа}$ в дозе 50-75 кг. При равном соотношении компонентов в посеве (50% + 50%), количество накопленного фиксированного азота в ПКО (37,7-51,4 кг/га) соответствует минимальной рекомендуемой дозе внесения аммиачной селитры (110-150 кг/га) при

возделывании яровых зерновых культур (пшеница, ячмень, овёс) в Предуралье (Михайлова и др., 2015). В агроценозе с преобладанием вики (тритикале 25% + вика 75%), количество накопленного фиксированного азота в ПКО (57,7-74,6 кг/га), эквивалентно внесению $N_{аа}$ в дозе 170-220 кг/га.

Количество углерода, поступающего в почву с ПКО, определялось уровнем урожайности зерносенажной массы. Для смешанных посевов эти объёмы составляли от 2,3 до 3,3 тонн С на гектар. Количество углерода, поступившее в почву с ПКО, только незначительно превышает количество С, отчуждаемое с урожаем зерносенажа.

Качество поступающих в почву ПКО определяется соотношением углерода к азоту (С : N) в их составе. Более высокой удобрительной ценностью отличаются ПКО бобовых культур, в которых содержание азота превышает 2% (Кузнецова и др., 2003). Этому условию соответствует биохимический состав ПКО в смешанных и одновидовом агроценозе озимой вики. Следовательно, их можно заделывать под любую культуру без риска иммобилизации азота почвы и проявления азотного голодания у растений. Не соответствует этому условию ПКО полученные в посеве с преобладанием злака (тритикале 75% + вика 25%), при дозе азота N0 и N30. Запашка таких пожнивно-корневых остатков (с содержанием азота 1,79-1,92%) под зерновые культуры без дополнительного источника азота (навоз, навозная жижа и т.п.), может являться условием недобора урожая, поскольку скорость минерализации фитомассы, снижается по мере увеличения внесенного количества при обратной зависимости с отношением С : N (Алиева, 1978). При наращивании доли озимой вики в рецептуре высеваемой смеси (25%→50%→75%) и повышении дозы азотного удобрения (N0→N30→N45→N60), наблюдается увеличение количества азота поступающего с ПКО, за счёт чего, достигается более узкое соотношение С : N = 22…24. Именно это соотношение в поступающем органическом веществе, определяет высокую скорость его разложения и последующей минерализации, качество образующегося в почве органического вещества. По предложенной на основании отношения С : N группировке (Ходжаева, 2006), поступающие в почву пожнивно-корневые остатки будут

подвергаться разложению микроорганизмами с проявлением краткосрочной и преобладании умеренно-продолжительной нетто-иммобилизации азота.

С повышением доли бобового компонента в смешанных агроценозах, наблюдалось увеличение объёма C-CO_2 (на 25-205 кг/га), дополнительно поглощаемого озимой викой и в последующем аккумулируемого в почве, при индуцировании азотфиксации. Применение возрастающих доз N-удобрения приводило к ингибированию развития симбиотического аппарата на корневой системе озимой вики и снижению количества, потребляемого C-CO_2 в среднем на 272…363 кг/га. В отсутствии азотного удобрения на каждый мг азота, усвоенного ризобиями в составе бактероидов, расходовалось порядка 3,6…56,3 мг углерода.

Зерно. Принципиальным отличием при определении величины общего и фиксированного азота, накопленного озимой викой при возделывании на зерно в одновидовом посеве и смесях, является поступление в почву не только корневых послеуборочных остатков, но и соломы.

Использование соломы злаковых и бобовых культур в качестве удобрения является важным элементом биологизации земледелия. По содержанию органического вещества 1 т соломы приравнивается к 3-4 т навоза КРС (Чекмарев, Лукин, 2014). При разложении 1 т соломы в почву поступает 15 кг N, 8 кг P_2O_5 и 30 кг K_2O и образуется 80 кг органического вещества (Тютюнов и др., 2014). Содержание углерода в соломе в 3-4 раза больше, чем в остальных органических удобрениях (Наими, 2019). Определяющим условием для соломы зерновых культур, является широкое соотношение C : N = 30-85 : 1 за счёт низкого содержания N-содержащих компонентов и высокого содержания БЭВ (Лебедева и др., 2006). При внесении и запашке в почву соломы с широким соотношением C : N, возрастает микробиологическая иммобилизация минерального азота в почве и растения могут испытывать недостаток этого элемента. В последующем это отражается на их продуктивности и качестве формируемого урожая. Обозначенные аспекты обуславливают различия в качестве поступающего в почву органического вещества в смешанных агроценозах озимой вики и величину вклада фиксируемого биологического азота в азотный баланс почвы (табл. 5.6).

Таблица 5.6. Накопление N и C в растительных остатках при возделывании озимой вики на зерно в одновидовом и смешанных агроценозах (среднее за 3 года)

Показатель	Состав агроценоза / дозы азота															
	тритикале 75 % + вика 25 %				тритикале 50 % + вика 50 %				тритикале 25 % + вика 75 %				вика 100 %			
	N0	N30	N45	N60	N0	N30	N45	N60	N0	N30	N45	N60	N0	N30	N45	N60
Урожайность зерна, т/га	2,51	2,79	3,36	3,12	2,09	2,72	2,73	2,39	1,89	1,66	1,48	1,28	1,04	0,69	0,62	0,49
в т.ч. вики	0,28	0,20	0,19	0,14	0,45	0,44	0,35	0,21	0,70	0,56	0,39	0,28				
Выход соломы и ПКО, т/га	10,71	11,29	12,46	11,95	9,83	11,13	11,16	10,45	9,42	8,94	8,58	8,17	7,66	6,94	6,81	6,54
в т.ч. вики	2,80	2,70	2,59	2,51	4,88	4,70	4,48	4,31	6,98	6,68	6,34	6,11				
Накопление общего N, кг/га																
В урожае зерна	57,2	66,4	82,4	77,5	54,4	71,1	73,0	64,6	58,0	50,1	43,4	37,0	46,1	29,6	26,0	19,9
в т.ч. за счёт вики	10,3	7,9	7,5	5,0	17,5	17,0	13,3	8,1	29,5	22,7	15,6	10,8				
В соломе и ПКО	188,3	187,4	202,7	190,9	182,5	195,2	185,9	167,4	198,7	183,8	165,8	151,7	128,6	117,2	116,4	112,5
в т.ч. за счёт вики	42,4	41,0	40,0	39,0	77,5	75,0	71,7	69,3	113,5	109,6	105,1	102,2				
В биомассе вики	52,7	48,8	47,5	44,0	95,0	92,0	85,0	77,4	143,0	132,3	120,7	113,0	174,7	146,9	142,4	132,4
Накопление фиксированного N, кг/га																
В биомассе вики	34,3	31,7	30,9	28,6	61,8	59,8	55,3	50,3	92,9	86,0	78,5	73,4	99,6	83,7	81,2	75,5
в т.ч. в соломе и ПКО	27,6	26,6	26,0	25,3	50,4	48,7	46,6	45,1	73,8	71,2	68,3	66,4	73,3	66,8	66,3	64,1
Накопление органического C, кг/га																
В зерне	1131	1258	1513	1402	940	1224	1230	1074	850	745	666	576	505	335	304	239
В соломе и ПКО	4892	5142	5668	5431	4529	5106	5105	4766	4390	4156	3967	3763	3740	3388	3325	3190
в т.ч. за счёт вики	1368	1316	1265	1226	2384	2294	2186	2104	3407	3259	3096	2982				
Отношение C : N в ПКО	26	27	28	28	25	26	27	28	22	23	24	25	29	29	29	28
Дополнительный объём $C\text{-}CO_2$, поступающий в почву в посевах озимой вики, кг/га	2565	2394	2519	2041	2203	2358	1956	1376	2063	1408	818	373	1413	640	176	-
Количество C расходуемое на фиксацию 1 кг N, кг	81,6	81,6	91,2	74,7	36,3	42,2	35,7	22,7	21,7	12,7	3,4	-	10,3	-	-	-

После одновидового посева озимой вики в почве накапливалось 6,54…7,66 т/га органического вещества. После смесей оставалось от 2,51 до 6,98 т/га соломы и послеуборочных растительных остатков, поступивших за счёт озимой вики. По мере увеличения доли зернобобового компонента в составе смеси, снижалась общая зерновая продуктивность посевов и выход ПКО. При внесении азотного удобрения наблюдалось снижение количества поступающего в почву органического вещества на 0,29…0,87 т/га в смесях и на 0,72…1,13 т/га в одновидовом посеве озимой вики. Следует сказать, что в 1 год проведения исследований (2013-2014 гг.) с озимыми зерновыми культурами предпринимались попытки определения массы корней и учёта выхода ПКО путем их механического отбора и отмывания водой (по Станкову). Однако, при использовании этого очень трудозатратного метода, были получены объективно заниженные результаты.

Последующие расчёты количества поступающего в почву с растительными остатками свежего органического вещества, произведённый по методике (Завалин и др., 2007), также не позволили получить объективные значения, при уборке одновидового и смешанных агроценозов озимой вики на зерно. Расчётное количество свежего органического вещества, которое поступало в почву с соломой и ПКО озимой вики, было существенно меньше в смешанных посевах, чем в одновидовом агроценозе. А его доля, от поступающего в почву общего количества ОВ, оставляла всего от 5,3…13,2%. При этом, полученные значения сильно различаются с цифрами, полученными при уборке посевов на зерносенаж и не близки со значениями по прибавке урожая зерна на последующей культуре (пшенице). Считаем, что существенная разница между расчётным и фактическим количеством послеуборочных растительных остатков, которое поступает в почву за счёт соломы и ПКО озимой вики, связана с очень низкой семенной продуктивностью этого растения на генетическом уровне.

А.А. Романовская (2008) в своей диссертационной работе, которая легла в основу разработки (Национальный доклад…, 2021) для учёта количества растительных остатков, поступающих в почву на пашне, использует методику, разработанную на основе анализа данных по оценке баланса питательных веществ в сево-

оборотах и количеству растительных остатков (Левин, 1977). В итоговом уравнении для установления массы корней, автором предлагается использование пересчетного коэффициента (1,2), так как, результаты опытов с ^{14}C показывают, что общее количество фотосинтетически связанного углерода, поступившее в почву в процессе роста растения, на 20-25% превышает содержание углерода в корневой массе (Кононова, 1984).

Для проведения расчётов мы также использовали уравнения регрессии для определения массы поверхностных остатков и корней по урожаю основной продукции (Рекомендации для исследования баланса…, 1984). При этом мы отказались от введения поправочного коэффициента (1,2). На наш взгляд, количество поступившего в почву в процессе роста растений фотосинтетически связанного углерода обусловлено не только углеродом корневых остатков. Прежде всего это связано с пулом корневых выделений, количество которых может составлять до 30-50% от объёма накапливаемых продуктов при фотосинтезе (Бабьева, Зенова, 1983). Всего в продуцируемых секреторных экссудатах корней зафиксировано более двух сотен молекул веществ, содержащих углерод и до 40% С, фиксация которого была произведена при фотосинтезе (Ларикова, Волобуева, 2021).

В итоге, для определения количества поступающих в почву пожнивно-корневых растительных остатков, при уборке одновидового и смешанных агроценозов озимой вики на зерно, были предложены новые формулы расчёта (см. главу 2). Уравнение для одновидового посева релевантно в диапазоне урожайности 0,5-1,5 т/га ($R^2 = 0,89$), для смешанных агроценозов – 1,2-3,4 т/га ($R^2 = 0,66$). В качестве обоснования целесообразности этого решения, можно привести следующую информацию. Н.В. Парахин и др. (2010) в монографии посвящённой озимой вике указывают на то, что система донорно-акцепторных отношений между органами растений вики мохнатой построена по принципу преимущественного обеспечения образования массы вегетативных органов в ущерб репродуктивным. У растений с неограниченным ростом, к которым относится озимая вика, даже с переходом к репродуктивной фазе развития, более сильными аттрагирующими центрами, обладающими способностью оттягивать продукты фотосинтеза и реутилизировать

вещества из отмирающих органов, являются точки роста на вегетативных почках побегов. Подтверждением этому служит очень низкая величина уборочного индекса ($К_{хоз.}$ 10-20%), характеризующая отношение массы семян ко всей биомассе растения. У современных сортов зерновых и зернобобовых культур он достигает 50%. Такой характер протекания ростовых и физиолого-биохимических процессов, направленных на обеспечение продукционной функции, соответствует эволюционной теории селекции сортов этой кормовой бобовой культуры, возделываемой в основном с целью получения максимального урожая вегетативной массы. Усиление репродуктивной функции растений озимой вики возможно за счёт создания сортов зернофуражного направления, которое должно повлечь за собой, как это имеет место у многих зернобобовых культур (вика посевная, горох, кормовые бобы и др.), изменение их физиологического состояния, ограничение линейного роста побегов, системы донорно-акцепторных отношений между вегетативными и репродуктивными органами, увеличение аттрагирующего пула семян и уборочного индекса (Курлович и др., 1995).

Наряду с учётом выхода ПКО необходимо также учитывать, что при возделывании в смешанном посеве происходит изменение биохимического состава зерна и побочной продукции, как злакового, так и бобового компонента (см. раздел. 4.3). Количество азота в урожае зерна, накопленное за счёт озимой вики в посеве тритикале 75% + вика 25%, за счёт её низкой семенной продуктивности, составило 6,5…18,0%. В посеве с равным соотношении компонентов (50% + 50%) оно увеличилось до 12,5…32,2%. В смеси с преобладанием вики (тритикале 25% + вика 75%), количество азота, накопленное бобовым компонентом в общем урожае зерна, достигло 29,1…50,8%. Благодаря запашке соломы и ПКО, на каждом гектаре пашни после смешанных агроценозов накапливалось от 151,7…198,7 до 187,4…202,7 кг общего азота. Доля озимой вики в этом количестве была от 20 до 67%. Следует сказать о наличии взаимосвязи между поступлением общего азота в составе ПКО и общей урожайностью зерна ($r = 0,69$), и её отсутствии с урожайностью зерна озимой вики в смеси ($r = 0,16$). С соломой и ПКО зернобобовой культуры в почву поступило 39,0…113,5 кг/га общего азота в смесях и 112,5…128,6

кг/га в одновидовом посеве, в том в числе 25,3…73,8 кг/га и 64,1…73,3 кг/га фиксированного посредством симбиотической азотфиксации. Последующей культурой будет использоваться не более 6,3…18,4 кг/га биологического азота, накопленного бобовым предшественником.

В смешанных посевах накопление и последующее отчуждение углерода с урожаем зерна составило 0,58…1,51 т/га, в одновидовом посеве вики 0,24-0,50 т/га, тритикале – 0,92…1,20 т/га. В смешанных агроценозах объёмы ассимиляции углерода в почве с соломой и ПКО в 3,7-6,5 раза превышают отчуждаемое количество с зерном. Наибольшая разница (3,19…3,54 т/га) отмечается в смешанном агроценозе тритикале 25% + вика 75%. Максимальное количество С (5,67 т/га и 5,43 т/га) поступает в почву в посеве тритикале 75% + вика 25%, при внесении N45 и N60.

После одновидового посева озимой вики, поступающие в почву ПКО имели соотношение C : N = 28…29, при котором наблюдается умеренно-продолжительная нетто-иммобилизация азота. Поступающее после уборки смешанных посевов органическое вещество отличалось более узким соотношением C : N = 22…28, прежде всего за счёт накопления большего количества общего азота в составе соломы и ПКО. Субстрат с соотношением C : N ≈ 20 ± 4 считается оптимальным для почвенных микроорганизмов (Семенов, 2020), так как отношение C : N в биомассе микроорганизмов варьирует от 3 до 24 (Cleveland, Liptzin, 2007). Такое качество заделываемой в почву биомассы послеуборочных остатков, исключает интенсивное поглощение микроорганизмами азота почвы и минерализуемого органического вещества (Recous et al., 1995; Семенов и др., 2002). Разница в качестве у поступающих в почву после уборки пожнивно-корневых остатков, обусловлена не только соотношением злакового и бобового компонентов в составе высеваемой смеси и формируемых агроценозов. Прежде всего изменения связаны с трансформацией биохимического состава азотно-белкового комплекса растений озимой вики, которые фиксируются на протяжении всего периода вегетации. С более высокой концентрацией азота растения озимой вики выходят из зимовки, что в основном обусловлено их сильным обезвоживанием. При возобновлении вегетации и повышении оводнённости клеток, начинает увеличиваться интенсивность азотно-белкового

обмена и снижаться концентрация азота в тканях растений. Несмотря на это, его количество неуклонно возрастает до фазы цветения вики. В этом случае, скорость образования сухого вещества превосходила темпы снижения концентраций азота в клетках и тканях (Парахин и др., 2010). Максимальная концентрация N отмечена в фазу бутонизации. На последующих этапах онтогенеза растений происходит замедление продукционного процесса на фоне все ускоряющегося снижения концентрации азота, что в совокупности вызывает уменьшение его количества в растении. Это связано со значительным превосходством темпов нарастания массы всех органов над темпами поглощения и поступления минеральных элементов в растение, т.е. происходит как бы разбавление их концентрации в клетках и тканях. Кроме того, у озимой вики, как и у многих других однолетних зерновых бобовых культур, после бутонизации наблюдается резкое снижение поглотительной способности корневой системы, а в период плодообразования и налива семян и усиление оттока к ним минеральных элементов из вегетативных органов. Это означает, что после фазы цветения хозяйственный и биологический вынос азотистых соединений с урожаем озимой вики будет неуклонно снижаться.

За счёт возделывания озимой вики в смешанных агроценозах с озимой тритикале, наблюдается усиление азотфиксации и потребление дополнительного объёма $C\text{-}CO_2$, большая часть которого накапливается в составе органического вещества почвы. В гетерогенных посевах вики дополнительно ассимилировалось из воздуха 373…2565 кг $C\text{-}CO_2$/га, в монопосеве – 176…1413 кг $C\text{-}CO_2$/га. Использование азотного удобрения снижало эффективность N_2-фиксации и объёмов секвестируемого углекислого газа в процессе фотосинтеза. При этом на каждый мг N, который фиксировался диазотрофами в ризосфере озимой вики, дополнительно усваивалось от 3,4 до 91,2 мг C, а средняя арифметическая величина равна 42,8 мг C/мг N. Исключение составил одновидовой агроценоз зернобобовой культуры при использовании азотного удобрения.

ГЛАВА 6. ЭМИССИЯ ЗАКИСИ АЗОТА В АГРОЦЕНОЗАХ ЗЕРНОВЫХ БОБОВЫХ И ЗЛАКОВЫХ КУЛЬТУР

В 2019 году в Российской Федерации вклад N_2O (59,6%) в общие сельскохозяйственные выбросы парниковых газов был выше, чем CH_4 (39,5%) и CO_2 (0,8%). Основным источником поступления N_2O являются сельскохозяйственные земли (52557,0 тыс. тонн CO_2-экв.), что соответствовало 76,5% общего выброса закиси азота от сельского хозяйства (Национальный доклад…, 2021).

Базовым параметром при расчетах эмиссии N_2O является количество азота, поступающего в агроэкосистему. Чем больше азота вовлечено в биогеохимический круговорот, тем выше объёмы его эмиссии (Кудеяров, 1999). Применение азотных удобрений в дозах 120-450 кг/га увеличивает размеры эмиссии N_2O в 1,3-23 раза, главным образом в течение 1-3 недель после внесения (McTaggart et al., 1997; Li et al., 2002) и они редко превышают 0,1-4,6% от внесённого количества (Müller et al., 1997; Abbasi, Adams, 2000; Nobre et al., 2001). Сельскохозяйственные культуры используют 35-51% азота минеральных удобрений, газообразные потери азота за счёт эмиссии составляют 22-33% (Завалин и др., 2021), при этом они не связаны с формой применяемого азотного удобрения (Clayton et al., 1997). По сообщению (Кореньков, 1999) средняя величина потерь азота удобрений составляет 24%.

Параметры, характеризующие потери азота, и условия, снижающие эффективность его использования сельскохозяйственными культурами, влияют на круговорот азота и продукцию выбросов N_2O (Mosier et al., 1998; Кудеяров, 1999; Van Moortel et al., 2000). Объёмы продуцирования N_2O напрямую зависят от средообразующих факторов и почвенных условий, таких как насыщенность водой порового пространства, наличие и концентрация O_2, pH почвы и температуры (Bateman, Baggs, 2005; Wrage et al., 2005; Loick et al., 2016; Lai et al., 2019), содержания в почвах органических и минеральных форм азота, органического углерода, внесения в почву разных форм азотных и органических удобрений, возделываемых сельскохозяйственных культур, количества вносимых растительных остатков

(Miao, Stewart, Zhang, 2011; Ding et al., 2013; Marco et al., 2013; Rapson, Dacres, 2014; Baresel et al., 2016; Bin-Feng et al., 2016; Oertel et al., 2016; Charles, 2017; Krauss et al., 2017; Rashti et al., 2017; Hoang et al., 2018). Действие почвенно-экологических и агротехнических факторов проявляется посредством изменения скорости микробиологических процессов в почве, либо соотношения газообразных продуктов трансформации азота, в результате чего почвенная эмиссия N_2O имеет отчетливый пульсирующий характер и характеризуется значительной пространственно-временной изменчивостью, варьируя от 0,02 до 17,8 кг N/га и выше (Семенов и др., 2004).

В процессе возделывания сельскохозяйственных культур продукция N_2O из почвы зависит от вида и состава агрофитоценоза (Девятова, Авксентьев, 2010). По мнению (Завалин и др., 2019) согласно объёма продуцирования N_2O сельскохозяйственные культуры можно расположить в следующем ряду: пропашные > бобовые культуры > яровые зерновые. Смешанные посевы бобовых и злаковых культур отличаются повышенной конкурентоспособностью компонентов за элементы питания и прежде всего N. Это способствует снижению концентрации и доступности подвижных соединений азота в почве для микроорганизмов (Ostonen et al., 2007; Du et al., 2013), тем самым сокращаются выбросы N_2O. Результаты исследования (Migliorati et al., 2015), указывают на снижение выбросов N_2O из почвы на 50%, при выращивании сорго в смешанном посеве с бобовыми культурами, по сравнению с сорго, выращенным в смеси со злаками. Увеличение доли бобовых культур в составе формируемого агроценоза, не повлияло на эмиссию N_2O, что обусловлено их высокой продуктивностью (Barneze et al., 2020).

Бобовые культуры, отличающиеся фиксацией атмосферного азота в процессе вегетации, заслуживают особого внимания в этом вопросе. По мнению (Bremner, 1997) за счёт симбиотической N_2-фиксации бобовые способствуют продуцированию закиси азота в почве. Прежде всего, атмосферный азот, фиксируемый бобовыми, может быть нитрифицирован и денитрифицирован таким же образом, как азот удобрений. Вместе с тем, живые симбиотические ризобии в корневых клубеньках способны денитрифицировать и производить закись азота. Однако, в соответствии

со сноской 2 главы 11 тома 4 (МГЭИК, 2006) выбросы N_2O от фиксации атмосферного азота клубеньковыми бактериями культивируемых растений (азотфиксаторов) не считаются прямым источником N_2O вследствие отсутствия доказательства значительных выбросов, происходящих в результате самой фиксации. Поэтому в региональном кадастре этот источник выбросов не рассматривается.

Потери азота биомассы бобовых растений (8-36%) в два раза меньше потерь азота минеральных удобрений, так как в зависимости от сопутствующих условий, их баланс складывается следующим образом: 18-31% используется культурой, 42-69% закрепляется в почве, 10-40% теряется в виде газообразных соединений (Завалин и др., 2019). Газообразные потери азота из растительных остатков бобовых культур могут достигать 36% от внесенного количества (Dejoux et al., 2005). Их объёмы резко снижаются или отсутствуют, при внесении ПКО бобовых культур в парующую почву совместно с пшеничной соломой, которая отличается широким соотношением углерода к азоту (C : N = 118 : 1). Отношение C : N в составе растительных остатков, является важным показателем для продуцируемого количества закиси азота, что в последующем отражается на соотношении $C_{орг.}$: $N_{мин}$ в почве. Прежде всего, за счёт более узкого соотношения углерода к азоту (C / N ≤ 25) корни бобовых трав быстрее минерализуются, чем корни злаковых видов. По данным (Oertel et al., 2016) эмиссия N_2O негативно коррелирует с величиной C : N, будучи наибольшей при C : N = 11 и наименьшей при C : N ≥ 30.

Выбросы закиси азота могут быть уменьшены за счет отдельных агротехнических приёмов, которые напрямую подавляют деятельность почвенных микроорганизмов или оптимизируют естественную способность сельскохозяйственных культур конкурировать с микробиологическими процессами, в результате которых доступный растениям азот теряется из системы почва-растение.

Согласно данным IPCC к прямым антропогенным источникам эмиссии N_2O относятся минеральные удобрения, возделывание бобовых культур, послеуборочные растительные остатки и минерализация органического вещества почвы при её обработке, на долю которых соответственно приходится 14%, 2%, 6% и 2% продукции N_2O, в рамках инициируемого человеком сельскохозяйственного производ-

ства. Объёмы суммарных антропогенных выбросов N_2O (прямых и косвенных) из обрабатываемой почвы в исследованиях с одновидовыми посевами гороха сортов Агроинтел и Вельвет представлены в таблице 6.1.

В результате внесения азотного удобрения, запашки оставшихся после уборки растительных остатков и минерализации почвенного ОВ, прямые выбросы $N\text{-}N_2O$ в посевах гороха сорта Агроинтел составили 1,44…3,35 кг/га × год, сорта Вельвет – 1,74…3,04 кг/га × год (табл. 6.1). За счёт использования азотного удобрения в отсутствии инокуляции, прямые выбросы N_2O на сорте Агроинтел увеличились на 0,49…1,83 кг $N\text{-}N_2O$/год, на сорте Вельвет изменились на 0,61…1,31 кг $N\text{-}N_2O$/год. При инокуляции семян симбиотическими ризобактериями, продуцируемое количество $N\text{-}N_2O$ в посевах сорта Агроинтел осталось на том же уровне (0,47…1,82 кг $N\text{-}N_2O$/год). На сорте Вельвет наблюдалось снижение интенсивности продукции $N\text{-}N_2O$ до 0,59…0,98 кг $N\text{-}N_2O$/год.

Внесение в почву N-удобрения в дополнение к прямым выбросам, инициирует поступление косвенных выбросов N_2O (Buendia et al., 2019) когда выщелачивающиеся или мигрирующие из почвы нитраты преобразуются в N_2 посредством денитрификации в водных объектах и когда улетучивающиеся NO_x-оксиды и аммиак повторно осаждаются на почвах и преобразуются в N_2O. Суммарные косвенные выбросы N_2O, с учётом сорта гороха составили соответственно 0,35…0,65 кг $N\text{-}N_2O$/год и 0,42…0,62 кг $N\text{-}N_2O$/год или в среднем по обоим сортам 0,39…0,64 кг $N\text{-}N_2O$/год. За счёт инокуляции семян биопрепаратом ризобий косвенные выбросы закиси азота увеличилась не значительно (+0,01…+0,04 кг $N\text{-}N_2O$/год). Вклад эмиссии в результате осаждения из атмосферы и улетучившегося из почвы азота ($N\text{-}N_2O_{(ATD)}$) составляет по сортам 8…18% (Агроинтел) и 7…20% (Вельвет) или в среднем 8…19% от общей величины косвенной эмиссии N_2O. Результаты исследований (Романовская, 2008) при апробации методологий на национальном уровне показывают, что косвенная эмиссия N_2O из почв занятых пашней сократилась за 30 лет на 50%, в связи с уменьшением объёмов внесения органических и минеральных удобрений, сокращением посевных площадей.

Таблица 6.1. Суммарная эмиссия N_2O из почвы и величина эмиссионного фактора ($ЭФ_{N_2O}$) при использовании азотного удобрения в одновидовых посевах гороха сортов Агроинтел и Вельвет, возделываемых на зерно, (среднее за 3 года)

Показатель	Инокуляция ризобактериями / дозы азота															
	без инокуляции								при инокуляции							
	N0	N30	N45	N60	N75	N90	N105	N120	N0	N30	N45	N60	N75	N90	N105	N120
$N\text{-}N_2O_{Nпоступл.}$ = прямые выбросы $N\text{-}N_2O$ в результате внесения азотного удобрения, запашки ПКО, минерализации почвенного ОВ, кг $N\text{-}N_2O$/год	1,44* 1,74	1,93 2,35	2,29 2,42	2,52 2,55	2,65 2,75	2,82 2,83	3,27 2,93	3,26 3,04	1,52 1,99	2,00 2,58	2,52 2,62	2,64 2,72	2,74 2,88	2,87 2,98	3,35 2,94	3,32 2,92
$N\text{-}N_2O_{(ATD)}$ = косвенные выбросы $N\text{-}N_2O$ в результате осаждения из атмосферы азота, улетучившегося из почвы, кг $N\text{-}N_2O$/год	0	0,03	0,045	0,06	0,075	0,09	0,105	0,12	0	0,03	0,045	0,06	0,075	0,09	0,105	0,12
$N\text{-}N_2O_{(L)}$ = косвенные выбросы $N\text{-}N_2O$ в результате вымывания и стока антропогенных азотных соединений из почвы, кг $N\text{-}N_2O$/год	0,24 0,29	0,32 0,39	0,38 0,40	0,41 0,42	0,44 0,45	0,46 0,46	0,54 0,48	0,54 0,50	0,25 0,33	0,33 0,42	0,37 0,43	0,43 0,45	0,45 0,47	0,47 0,49	0,55 0,48	0,54 0,48
Суммарная эмиссия $N\text{-}N_2O$, кг $N\text{-}N_2O$/га	1,68 2,02	2,28 2,76	2,71 2,87	3,00 3,03	3,16 3,27	3,38 3,38	3,91 3,51	3,92 3,66	1,78 2,32	2,35 3,03	2,66 3,09	3,14 3,23	3,27 3,43	3,43 3,56	4,00 3,53	3,98 3,52
Суммарная эмиссия N_2O, кг/га	2,64 3,18	3,58 4,34	4,25 4,50	4,71 4,76	4,97 5,14	5,31 5,32	6,15 5,52	6,15 5,75	2,79 3,65	3,70 4,77	4,18 4,86	4,93 5,08	5,13 5,38	5,40 5,59	6,29 5,54	6,25 5,53
Суммарная эмиссия N_2O в CO_2 эквиваленте, кг/га	785,9 946,2	1068,1 1294,5	1267,3 1342,5	1403,3 1418,6	1479,8 1532,7	1581,7 1585,0	1832,8 1644,7	1834,0 1714,5	831,4 1086,6	1101,8 1420,7	1246,9 1448,5	1469,5 1513,3	1529,3 1604,1	1608,5 1664,9	1875,1 1651,0	1863,6 1646,8
Эмиссионный фактор ($ЭФ_{N2O}$), %	- -	2,01 2,48	2,28 1,88	2,20 1,68	1,98 1,67	1,89 1,52	2,13 1,42	1,87 1,37	- -	1,92 2,38	1,97 1,72	2,27 1,52	1,99 1,47	1,84 1,37	2,12 1,15	1,84 1,00

* – в числителе представлены данные по сорту Агроинтел, в знаменателе по сорту Вельвет.

Внесение в почву N-удобрения в дополнение к прямым выбросам, инициирует поступление косвенных выбросов N_2O (Buendia et al., 2019) когда выщелачивающиеся или мигрирующие из почвы нитраты преобразуются в N_2 посредством денитрификации в водных объектах и когда улетучивающиеся NO_x-оксиды и аммиак повторно осаждаются на почвах и преобразуются в N_2O. Суммарные косвенные выбросы N_2O, с учётом сорта гороха составили соответственно 0,35…0,65 кг $N\text{-}N_2O$/год и 0,42…0,62 кг $N\text{-}N_2O$/год или в среднем по обоим сортам 0,39…0,64 кг $N\text{-}N_2O$/год. За счёт инокуляции семян биопрепаратом ризобий косвенные выбросы закиси азота увеличилась не значительно (+0,01…+0,04 кг $N\text{-}N_2O$/год). Вклад эмиссии в результате осаждения из атмосферы и улетучившегося из почвы азота ($N\text{-}N_2O_{(ATD)}$) составляет по сортам 8…18% (Агроинтел) и 7…20% (Вельвет) или в среднем 8…19% от общей величины косвенной эмиссии N_2O. Результаты исследований (Романовская, 2008) при апробации методологий на национальном уровне показывают, что косвенная эмиссия N_2O из почв занятых пашней сократилась за 30 лет на 50%, в связи с уменьшением объёмов внесения органических и минеральных удобрений, сокращением посевных площадей.

Суммарная эмиссия в пересчёте на N_2O, при использовании возрастающих доз азотного удобрения на сорте Агроинтел, увеличилась на 0,91…3,52 кг/га. На сорте Вельвет увеличение продукции N_2O, за счёт использования азотного удобрения, составило 1,12…2,58 кг/га, что составляет в среднем по обоим сортам 1,01…3,05 кг/га.

Более низкие объёмы выбросов закиси азота по сортам (2,64 и 3,18 кг N_2O/га) получены при отсутствии инокуляции и N-удобрения. Максимальное значение в опыте по сорту Агроинтел (6,29 кг N_2O/га) было получено при внесении азотного удобрения в дозе 105 кг д.в./га на фоне инокуляции семян биопрепаратом. По сорту Вельвет, аналогичное по величине значение (5,75 кг N_2O/га) зафиксировано при внесении N120 в отсутствии инокуляции семян симбиотическими ризобактериями, то есть имеют место общие закономерности изменения этого показателя.

Для сравнения вклада в парниковый эффект различных по своим свойствам газов используется показатель потенциала глобального потепления (GWF). Он пока-

зывает, во сколько раз больше изменяется температура атмосферы при выбросе какого-либо парникового газа по сравнению с эмиссией CO_2, которая принимается за единицу. Для N_2O величина GWF = 296 (Национальный доклад…, 2021). Суммарная эмиссия N_2O в CO_2 эквиваленте при возделывании сортов гороха в одновидовых агроценозах с использованием азотного удобрения превысила 1 т/га. Применение азотного удобрения в дозах от 30 до 75 кг д.в./га на сорте Агроинтел и от 30 до 60 кг д.в./га на сорте Вельвет способствовало продуцированию до 1500 кг/га CO_2 экв. Применение более высокой дозировки обеспечивало дальнейшее увеличение эмиссии в CO_2 эквиваленте на 81,7…375,1 кг/га.

Величина эмиссионного фактора ($ЭФ_{N_2O}$) в одновидовом посеве гороха сорта Агроинтел варьировала от 1,84 до 2,28%, сорта Вельвет – от 1,00 до 2,48%. Более высокие значения эмиссионного фактора на сорте Агроинтел (2,27-2,28%) получены при внесении N30 (без инокуляции) и N45 (при инокуляции). На сорте Вельвет также отличался вариант с внесением N30 (2,38-2,48%). Величина и варьирование $ЭФ_{N_2O}$ в рамках представленного исследования обусловлены продуктивностью сортов и количеством поступающих в почву пожнивно-корневых остатков, изменением их биохимического состава благодаря разной дозировке азотного удобрения и инокуляции семян ризобактериями. За счёт этих факторов можно наблюдать достаточно узкое отношение C : N в поступающем в почву с растительными остатками органическом веществе (27,5…29,2).

Полученные по сортам гороха значения $ЭФ_{N_2O}$, не зависимо от инокуляции ризобактериями и дозировки азотного удобрения, относятся к группе с высоким риском эмиссии N_2O. По величине эмиссионного фактора ($ЭФ_{N_2O}$) вносимые в почву в качестве удобрений материалы сгруппированы по «фертиклассам» (FertiClasses) с высоким, средним и низким риском эмиссии N_2O (Кудеяров, 2020):

- в группу с высоким риском эмиссии N_2O вошли такие удобрения, как навозная жижа в комбинации с минеральными азотными удобрениями ($N_{мин}$), сточные воды, жидкий навоз, совместное внесение сухого навоза с $N_{мин}$, отходы производства биогаза. Средневзвешенный $ЭФ_{N_2O}$ этой группы оценивается как 1,2%, с интервалом от 0,78% до 2,44%.

- в группу со средним риском эмиссии N_2O включено внесение в почву сухого навоза, компоста и поуборочных остатков совместно с минеральными удобрениями. Средневзвешенное значение $ЭФ_{N_2O}$ для этой группы составляет 0,75% с интервалом от 0,23% до 0,97%.

- в группу пониженного риска эмиссии N_2O входит внесение в почву бумажной пульпы совместно с растительными остатками, компоста, поуборочных остатков, жидкого навоза совместно с поуборочными остатками. Среднее значение $ЭФ_{N_2O}$ по этой группе 0,23% с интервалом 0,07-0,28%.

На основе значительного объема экспериментального материала (Shcherbak et al., 2014) разработали алгоритм расчёта для установления и прогнозирования эмиссии N_2O в зависимости от дозы N-удобрения (формула 12, см. главу 2). Предложенная математическая модель является более гибкой в смысле учёта используемых доз N, что позволяет, в отличие от стандарта IPCC, обеспечить дифференцированный адптивный подход. Использование азотного удобрения, в рамках изучаемого нами диапазона доз (N30-120), обеспечивает приращение эмиссии N_2O от 0,21 до 1,05 кг/га за год. По результатам исследований (Гантимурова, 1984), при 2-х кратном увеличении дозы N-удобрения газообразные потери вновь внесенного азота возрастают в 2,2-3,2 раза. При систематическом внесении минеральных азотных удобрений в дозе 60 кг/га, потери N достигают 25-30% и 34-43% – при дозе 120 кг/га.

Смешанные посевы. Газообразные потери являются основной причиной снижения использования азота удобрений сельскохозяйственными культурами и негативного воздействия на окружающую среду. Величины газообразных потерь азота находятся в тесной связи с процессами его трансформации в почве и биологическими особенностями возделываемых культур. Выращивание зерновых бобовых и злаковых культур в составе смешанных агроценозов является одним из приёмов, направленных на повышение эффективности использования азота из почвы и применяемых азотсодержащих удобрений. Согласно данных (Dyer et al., 2012) на протяжении двух полевых сезонов в условиях Аргентинской Пампы более высокая продукция N_2O наблюдалась в одновидовых посевах кукурузы (14,0 ±

0,7 мкг × $м^{-2}$ × $сут^{-1}$) и сои (13,5 ± 0,8 мкг × $м^{-2}$ × $сут^{-1}$), и была самой низкой (11,7 ± 0,8 мкг × $м^{-2}$ × $сут^{-1}$), за счёт более эффективного использования азота удобрений ($КИ_N$ 63…78%) в смешанных агроценозах этих культур. Huang et al. (2014), приводят результаты полевого эксперимента по сравнению выбросов N_2O при монокультуре кукурузы и кукурузно-бобовых агроценозах с арахисом, люцерной, соей и донником на Северо-Китайской равнине. Значительное снижение содержания N в почве и продуцирования N_2O в течение двух вегетационных сезонов, зафиксировано только в смешанном посеве с соей, по сравнению с монопосевом злака. По итогу долгосрочного полевого эксперимента (2013-2018 гг.) в Южном Китае (Wang et al., 2021) установлено снижение объёмов выбросов и парниковых газов и углеродного следа при возделывании кукурузы и сои в смешанных посевах (2 : 3; 2 : 4) на разных уровнях (0…300 кг N/га) азотного удобрения. Более низкие кумулятивные потоки N_2O (384 г N/га) и других парниковых газов (CO_2, CH_4) в смешанных посевах *Trifolium ambiguum M. Bieb.* в сравнении с одновидовыми агроценозами, зафиксировали (Abagandura et al., 2020).

При внесении под зерновые культуры азотных удобрений объёмы газообразных потерь составляют 19-37% от применяемой дозировки, потери азота почвы варьируют от 30 до 250 кг/га (Завалин и др., 2012). На выделение закиси азота из почв влияют дозы и формы вносимых азотных удобрений, почвенные и погодные условия вегетационного периода, а также состав формируемого агроценоза. Используемый алгоритм расчёта позволяет оценить объёмы суммарных региональных антропогенных выбросов N_2O (прямых и косвенных) из обрабатываемой почвы в исследованиях с одновидовыми и смешанными посевами яровых злаковых и бобовых зерновых культур (табл. 6.2).

В результате внесения азотного удобрения, запашки оставшихся после уборки ПКО и минерализации почвенного ОВ, прямые выбросы $N\text{-}N_2O$ в одновидовых и смешанных посевах яровых зерновых культур возделываемых на зерносенаж составили 1,34…2,13 кг/га × год и 1,52…2,63 кг/га × год (табл. 6.2).

Таблица 6.2. Суммарная эмиссия N_2O из почвы и величина эмиссионного фактора ($ЭФ_{N_2O}$) при использовании азотного удобрения в одновидовых и смешанных посевах яровых зерновых культур, (среднее за 3 года)

Показатель	Состав агроценоза / дозы азота														
	пшеница 100 %			пшеница 75 % + горох 25 %			пшеница 50 % + горох 50 %			пшеница 25 % + горох 75%			горох 100 %		
	N0	N30	N60	N0	N30	N60	N0	N30	N60	N0	N30	N60	N0	N30	N60
$N\text{-}N_2O_{Nпоступл.}$ = прямые выбросы $N\text{-}N_2O$ в результате внесения азотного удобрения, запашки ПКО, минерализации почвенного ОВ, кг $N\text{-}N_2O$/год	0,88*	1,34	1,84	1,04	1,52	2,00	1,27	1,82	2,35	1,47	2,07	2,63	1,09	1,58	2,13
	0,95	1,42	1,88	1,21	1,67	2,19	1,46	1,95	2,40	1,46	1,82	2,09	1,82	2,16	2,39
$N\text{-}N_2O_{(ATD)}$ = косвенные выбросы $N\text{-}N_2O$ в результате осаждения из атмосферы азота, улетучившегося из почвы, кг $N\text{-}N_2O$/год	-	0,03	0,06	-	0,03	0,06	-	0,03	0,06	-	0,03	0,06	-	0,03	0,06
$N\text{-}N_2O_{(L)}$ = косвенные выбросы $N\text{-}N_2O$ в результате вымывания и стока антропогенных азотных соединений из почвы, кг $N\text{-}N_2O$/год	0,14	0,22	0,30	0,17	0,25	0,33	0,21	0,30	0,39	0,24	0,34	0,43	0,18	0,26	0,35
	0,16	0,23	0,31	0,20	0,27	0,36	0,24	0,32	0,39	0,24	0,30	0,34	0,30	0,36	0,39
Суммарная эмиссия $N\text{-}N_2O$, кг $N\text{-}N_2O$/га	1,02	1,59	2,20	1,21	1,80	2,39	1,48	2,15	2,80	1,71	2,44	3,12	1,26	1,87	2,54
	1,10	1,68	2,25	1,40	1,98	2,61	1,70	2,30	2,85	1,70	2,15	2,49	2,12	2,55	2,84
Суммарная эмиссия N_2O, кг/га	1,61	2,50	3,45	1,90	2,82	3,75	2,33	3,38	4,40	2,69	3,83	4,90	1,99	2,93	3,99
	1,73	2,64	3,53	2,21	3,11	4,10	2,67	3,62	4,49	2,67	3,38	3,92	3,33	4,01	4,46
Суммарная эмиссия N_2O в CO_2 эквиваленте, кг/га	478,6	744,2	1029,5	567,4	840,9	1118,1	694,3	1006,0	1310,8	801,1	1140,6	1461,4	592,0	874,0	1189,8
	515,6	786,1	1051,4	657,3	926,9	1222,2	796,1	1077,6	1336,6	795,4	1006,0	1168,2	993,6	1193,8	1330,5
Эмиссионный фактор ($ЭФ_{N2O}$), %	-	1,89	1,96	-	1,95	1,96	-	2,22	2,19	-	2,42	2,35	-	2,01	2,13
	-	1,93	1,91	-	1,92	2,01	-	2,00	1,92	-	1,50	1,33	-	1,42	1,20

* – в числителе представлены данные при уборке агроценозов на зерносенаж, в знаменателе при уборке на зерно. Тоже в таблице 6.3.

Увеличение прямых выбросов N_2O за счёт использования азотного удобрения в дозе 30 кг д.в./га составило 0,46…0,60 кг $N\text{-}N_2O$/год, при внесении 60 кг д.в./га – 0,96…1,16 кг $N\text{-}N_2O$/год. Суммарные косвенные выбросы N_2O, не зависимо от состава агроценоза, при уборке на зерносенаж составили 0,14…0,49 кг $N\text{-}N_2O$/год. Более низкие значения (0,14…0,24 кг $N\text{-}N_2O$/год) характерны для посевов при отсутствии внесения азотного удобрения. Вклад эмиссии при вымывании соединений азота ($N\text{-}N_2O_{(L)}$) составляет в среднем 87,7% от общей величины косвенной эмиссии N_2O.

Суммарная эмиссия $N\text{-}N_2O$ значительно увеличивается при использовании азотного удобрения: +0,63 кг $N\text{-}N_2O$/га при внесении N30 и +1,27 кг $N\text{-}N_2O$/га при внесении N60. Более низкие объёмы выбросов закиси азота (1,02 кг $N\text{-}N_2O$/га) получены в одновидовом посеве пшеницы при отсутствии внесения азотного удобрения. Максимальное значение в опыте (3,12 кг $N\text{-}N_2O$/га) характерно для смешанного агроценоза пшеница 25% + горох 75% при внесении азотного удобрения в дозе 60 кг д.в./га. Выбросы по смешанным посевам пшеницы и гороха, в расчёте на N_2O, превышали значения рассчитанные для монопосевов на 0,33…0,40 кг/га.

Суммарная эмиссия N_2O свыше 1 т/га в CO_2 эквиваленте получена в опыте при возделывании зерновых культур в одновидовых и смешанных посевах и внесении N60. Наиболее высокая продукция газообразных выбросов (1006…1461 кг/га CO_2 экв.) отмечена в смешанных посевах с равным сочетанием компонентов (пшеница 50% + горох 50%) или превалированием гороха (пшеница 25% + горох 75%) в посеве, при условии внесения N30 и N60.

Величина эмиссионного фактора ($ЭФ_{N_2O}$) в одновидовых посевах бобовой культуры выше чем у злака на 0,12…0,17%. Смешанные агроценозы (пшеница 50% + горох 50%, пшеница 25% + горох 75%) отличает более высокие значения эмиссионного фактора (2,19…2,42%), относительно одновидового посевов. Величина и варьирование $ЭФ_{N_2O}$ в рамках представленного исследования обусловлено количеством поступающих в почву пожнивно-корневых остатков, изменением их биохимического состава благодаря сроку уборки, разной физиологической спелости и долевому участию компонентов (пшеница, горох) в

составе высеваемой смеси и формируемого агроценоза, а также внесением азотного удобрения. За счёт этих факторов можно наблюдать разное отношение C : N в поступающем в почву с растительными остатками органическом веществе (25,4…39,8). По всем представленным в опыте агроценозам, не зависимо от дозировки используемого азотного удобрения, полученные значения $ЭФ_{N_2O}$ относятся к группе с высоким риском эмиссии N_2O (более 0,97%).

Прямые выбросы $N\text{-}N_2O$ в одновидовых посевах яровой пшеницы и посевного гороха листочковой формы, возделываемых на зерно, составили 0,95…1,88 кг/ га × год и 1,82…2,39 кг/га × год соответственно (табл. 6.2). Прямые выбросы $N\text{-}N_2O$ в смешанных посевах этих культур составили 1,21…2,40 кг/га × год. Увеличение прямых выбросов N_2O в одновидовых агроценозах за счёт использования азотного удобрения в дозе 30 кг д.в./га составило в среднем по опыту 0,41 кг $N\text{-}N_2O$/год, при внесении N60 – 0,75 кг $N\text{-}N_2O$/год. В смешанных посевах отмечено более существенное увеличение продукции N_2O при внесении азотного удобрения. Прибавки согласно используемых в опыте доз составили соответственно 0,44 и 0,85 кг $N\text{-}N_2O$/год.

При использовании азотного удобрения суммарная эмиссия $N\text{-}N_2O$ более значительно увеличивалась (+0,58-1,15 кг $N\text{-}N_2O$/га) в одновидовом агроценозе пшеницы. В смешанных посевах пшеницы и гороха от использования N30 наблюдался рост на 0,58…0,71 кг $N\text{-}N_2O$/га, при внесении N60 суммарная продукция $N\text{-}N_2O$ увеличивалась на 0,79…1,21 кг $N\text{-}N_2O$/га. Максимально высокое значение в опыте (2,85 кг $N\text{-}N_2O$/га) получено в смешанном агроценозе пшеница 50% + горох 50% при внесении азотного удобрения в дозе 60 кг д.в./га. Косвенные выбросы в структуре общего объёма эмиссии N_2O из почвы, не зависимо от состава агроценоза и доз азотного удобрения, суммарно составили 14,1…16,4%.

Суммарная эмиссия N_2O свыше 1 т/га в CO_2 эквиваленте, получена в одновидовом посеве пшеницы и гороха, а также всех смешанных агроценозах, при использовании N60. Величина эмиссионного фактора ($ЭФ_{N_2O}$) в одновидовых посевах бобовой культуры была ниже чем у злака на 0,51…0,71%, что обусловлено не высокой зерновой продуктивностью растений гороха листочковой формы.

Смешанные агроценозы не отличались более высокими значениями эмиссионного фактора, относительно одновидового посева пшеницы. По всем представленным в опыте агроценозам, не зависимо от дозировки используемого азотного удобрения, полученные значения $ЭФ_{N_2O}$ относятся к группе с высоким риском эмиссии N_2O (более 0,97%). Величина и существенное варьирование $ЭФ_{N_2O}$ в рамках представленного исследования обусловлено количеством поступающих в почву пожнивно-корневых остатков, изменением их биохимического состава благодаря разному долевому участию компонентов (пшеница, горох) в составе высеваемой смеси и формируемого агроценоза, а также внесением азотного удобрения. За счёт этих факторов можно наблюдать разное отношение C : N в поступающем в почву с растительными остатками органическом веществе (28,3…44,7) и возникновение определённых предпосылок. С одной стороны возможно увеличение газообразных выбросов закиси азота за счёт процесса денитрификации, инициируемого избытком поступающего органического вещества и общим повышением микробной активности в почве при их разложении. Последнее может повлечь увеличение объёмов кислорода используемого из почвенного воздуха, что приводит к установлению анаэробиозиса и более благоприятным условиям для денитрификации. С другой стороны, внесение органического вещества с ПКО, наряду с низким содержанием минерального азота в почве после уборки, может существенно снизить эмиссию N_2O. Выраженность и направленность микробиологических процессов и связанных с ними выбросов закиси азота, будет зависеть не только от состава агроценозов, видовой принадлежности слагаемых их культур и используемой дозировки удобрений, но и формы используемых агрохимикатов, физических и химических свойств почвы (текстура, водопроницаемость, содержание органических азота и углерода), климатических факторов (осадки, температура, смена периодов заморозки и оттаивания).

Одним из факторов, активно влияющих на эмиссию и трансформацию азота в почве, его использование растениями, являются сроки и способы внесения азотных удобрений. Именно характер использования азота удобрения сельскохозяйственными культурами существенно влияет на размеры потерь газообразных

соединений азота. Осеннее применение азотных удобрений под яровую пшеницу разбросным способом, признаётся неэффективным из-за высоких потерь азота при образовании газообразных продуктов (Суков, 1978). Использование азота удобрения повышается по мере приближения срока внесения удобрений к периоду наиболее интенсивного потребления азота растениями, что наблюдается при проведении ранневесенних подкормок озимых культур (Завалин, Соколов, 2016). Наиболее интенсивно азот в газообразной форме теряется в первые 2-3 недели после внесения удобрений. Объёмы невозвратных потерь определяются интенсивностью микробиологических процессов и характером их конкурентных отношений с возделываемыми культурами. Существенному повышению газообразных потерь азота из используемых удобрений способствует низкая активность корневой системы растений на ранних и поздних этапах развития.

Далее представлены результаты по эмиссии N_2O (прямых и косвенных) из обрабатываемой почвы в исследованиях с одновидовыми и смешанными посевами озимых зерновых культур (табл. 6.3).

В результате использования в подкормку азотного удобрения, запашки оставшихся после уборки одновидовых и смешанных посевов озимых зерновых культур на зерносенаж ПКО и минерализации почвенного ОВ, прямые выбросы $N\text{-}N_2O$ составили 0,96…2,51 кг/га × год и 1,56…3,20 кг/га × год. Увеличение прямых выбросов $N\text{-}N_2O$ за счёт использования азотного удобрения в дозе 30 кг д.в./га составило 0,55…0,71 кг/га × год, при внесении N45 – 0,65…1,20 кг/га × год, при внесении 60 кг д.в./га – 0,72…1,57 кг/га × год. Суммарные косвенные выбросы $N\text{-}N_2O$, не зависимо от состава агроценоза, при уборке на зерносенаж составили 0,16…0,59 кг $N\text{-}N_2O$/га × год. Более низкие значения (0,16…0,32 кг $N\text{-}N_2O$/га × год) характерны для всех типов посевов при отсутствии внесения азотного удобрения. Вклад эмиссии при вымывании соединений азота ($N\text{-}N_2O_{(L)}$), в случае использования азотного удобрения, составляет в среднем 90,1% от общей величины косвенной эмиссии N_2O.

Таблица 6.3. Суммарная эмиссия N_2O из почвы и величина эмиссионного фактора ($ЭФ_{N_2O}$) при использовании азотного удобрения в одновидовых и смешанных посевах озимых зерновых культур (среднее за 3 года)

Показатель	Состав агроценоза / дозы азота																			
	тритикале 100 %				тритикале 75 % + вика 25 %				тритикале 50 % + вика 50 %				тритикале 25 % + вика 75 %				вика 100 %			
	N0	N30	N45	N60	N0	N30	N45	N60	N0	N30	N45	N60	N0	N30	N45	N60	N0	N30	N45	N60
$N\text{-}N_2O_{Nпоступл.}$ = прямые выбросы $N\text{-}N_2O$ в результате внесения азотного удобрения, запашки ПКО, минерализации почвенного ОВ, кг $N\text{-}N_2O$/год	0,96 1,00	1,67 1,52	2,11 1,81	2,48 1,98	1,56 2,99	2,24 3,39	2,71 3,81	3,13 3,85	1,78 2,91	2,42 3,50	2,98 3,57	3,20 3,53	1,92 3,13	2,51 3,34	3,02 3,30	2,89 3,31	1,79 2,17	2,34 2,43	2,44 2,62	2,51 2,77
$N\text{-}N_2O_{(ATD)}$ = косвенные выбросы $N\text{-}N_2O$ в результате осаждения из атмосферы азота, улетучившегося из почвы, кг $N\text{-}N_2O$/год	-	0,03	0,05	0,06	-	0,03	0,05	0,06	-	0,03	0,05	0,06	-	0,03	0,05	0,06	-	0,03	0,05	0,06
$N\text{-}N_2O_{(L)}$ = косвенные выбросы $N\text{-}N_2O$ в результате вымывания и стока антропогенных азотных соединений из почвы, кг $N\text{-}N_2O$/год	0,16 0,17	0,27 0,25	0,35 0,29	0,41 0,33	0,26 0,49	0,37 0,56	0,44 0,62	0,51 0,63	0,29 0,48	0,40 0,57	0,49 0,59	0,53 0,58	0,32 0,51	0,41 0,55	0,50 0,54	0,48 0,54	0,29 0,36	0,38 0,40	0,40 0,43	0,41 0,46
Суммарная эмиссия $N\text{-}N_2O$, кг $N\text{-}N_2O$/га	1,11 1,16	1,98 1,80	2,50 2,15	2,95 2,37	1,82 3,48	2,64 3,98	3,20 4,48	3,71 4,54	2,07 3,39	2,85 4,10	3,51 4,21	3,78 4,17	2,23 3,65	2,95 3,92	3,56 3,89	3,43 3,91	2,08 2,53	2,76 2,86	2,89 3,10	2,98 3,29
Суммарная эмиссия N_2O, кг/га	1,75 1,82	3,11 2,83	3,93 3,37	4,63 3,72	2,86 5,47	4,15 6,25	5,02 7,03	5,82 7,14	3,26 5,33	4,48 6,44	5,51 6,61	5,94 6,55	3,51 5,73	4,64 6,16	5,59 6,11	5,39 6,15	3,27 3,97	4,33 4,49	4,54 4,87	4,69 5,17
Суммарная эмиссия N_2O в CO_2 эквиваленте, кг/га	521,6 543,7	926,5 843,1	1172,5 1004,7	1380,9 1109,3	850,8 1630,4	1236,8 1862,2	1496,9 2095,6	1735,3 2126,5	971,0 1587,2	1334,8 1920,0	1643,3 1969,7	1771,0 1950,6	1046,6 1708,5	1381,9 1835,3	1666,9 1819,4	1606,4 1833,3	974,2 1184,4	1291,7 1337,7	1352,3 1450,5	1396,2 1540,7
Эмиссионный фактор ($ЭФ_{N2O}$), %	- -	2,88 2,13	3,09 2,19	3,06 2,13	- -	2,75 1,65	3,07 2,21	3,15 1,77	- -	2,59 2,37	3,19 1,81	2,85 1,29	- -	2,39 0,90	2,94 0,53	1,99 0,44	- -	2,26 1,09	1,79 1,26	1,50 1,27

Более низкие объёмы суммарных выбросов закиси азота (1,11 кг N-N_2O/га) получены в одновидовом посеве озимой тритикале при отсутствии внесения азотного удобрения. Максимальное значение в опыте (3,78 кг N-N_2O/га) получено в смешанном агроценозе тритикале 50% + вика 50% при внесении азотного удобрения в дозе 60 кг д.в./га. Выбросы по смешанным посевам тритикале и вики, в расчёте на N_2O, превышали значения, рассчитанные для монопосевов в среднем на 0,70…1,14 кг/га. При использовании азотного удобрения значительно увеличились объёмы суммарной эмиссии N-N_2O: +1,21 кг N-N_2O/га при внесении N30; +1,99 кг N-N_2O/га при внесении N45 и +2,36 кг N-N_2O/га при внесении N60.

Суммарная эмиссия N_2O свыше 1,5 т/га в CO_2 эквиваленте получена в опыте при возделывании озимых зерновых культур в смешанных посевах и внесении N45-60. Наиболее высокая продукция газообразных выбросов в озимых агроценозах тритикале и вики, в сравнении с яровыми посевами пшеницы и гороха, обусловлена более длительным периодом их возделывания. В качестве дополнительного условия выступает использование в посевах озимых культур азотного удобрения в подкормку, при размещении без заделки по поверхности поля.

Величина эмиссионного фактора ($ЭФ_{N_2O}$) в одновидовых посевах озимой вики меньшее чем у тритикале на 0,62…1,56%. Значение показателя $ЭФ_{N_2O}$ для смешанных агроценозов было близким с одновидовым посевом тритикале. Величина и варьирование $ЭФ_{N_2O}$ в рамках представленного исследования обусловлено количеством поступающих в почву пожнивно-корневых остатков, изменением их биохимического состава благодаря разному долевому участию компонентов (тритикале, вика) в посеве, а также внесением в подкормку азотного удобрения. За счёт этих факторов можно наблюдать разное отношение C : N (20,0…29,0) в поступающих в почву растительных остатках после одновидового и смешанных посевов озимой вики. По всем представленным в опыте агроценозам, не зависимо от дозировки используемого азотного удобрения, полученные значения $ЭФ_{N_2O}$ относятся к группе с высоким риском эмиссии N_2O.

Прямые выбросы N-N_2O в одновидовых посевах озимой тритикале и озимой вики, возделываемых на зерно, составили 1,00…1,81 кг/ га × год и 2,17…2,77 кг/га

× год соответственно (табл. 6.3). Прямые выбросы N-N_2O в смешанных посевах этих культур составили 2,91…3,85 кг/га × год. Увеличение прямых выбросов N_2O в одновидовых агроценозах за счёт использования азотного удобрения в дозе 30 кг д.в./га составило в среднем по опыту 0,39 кг N-N_2O/год, при внесении N45 увеличилось на 0,63 кг N-N_2O/год, при внесении N60 – на 0,83 кг N-N_2O/год. В смешанных посевах отмечено менее существенное увеличение продукции N_2O при внесении азотного удобрения (+0,40…0,55 кг N-N_2O/год).

При использовании азотного удобрения суммарная эмиссия N-N_2O более значительно увеличивалась (+0,64…1,28 кг N-N_2O/га) в одновидовом агроценозе тритикале. Минимальный рост продукции N-N_2O (+0,24…0,27 кг N-N_2O/га) отмечался в смешанном посеве тритикале 25% + вика 75%. Максимально высокое значение в опыте (4,54 кг N-N_2O/га) получено в смешанном агроценозе тритикале 75% + вика 25% при внесении азотного удобрения в дозе 60 кг д.в./га. Косвенные выбросы в структуре общего объёма эмиссии N_2O из почвы, не зависимо от состава агроценоза и доз азотного удобрения, суммарно составили 14,1…16,3%.

Суммарная эмиссия N_2O свыше 2 т/га в CO_2 эквиваленте, получена в смешанном агроценозе тритикале 75% + вика 25%, при внесении N45 и N60. Величина эмиссионного фактора ($ЭФ_{N_2O}$) в одновидовом посеве бобовой культуры была ниже чем у злака на 1,04…0,86%, что обусловлено низкой отзывчивостью растений озимой вики на использование N-удобрения. Смешанные агроценозы существенно различались по величине эмиссионного фактора. Смеси тритикале 75% + вика 25% и тритикале 50% + вика 50% были на уровне одновидового посева тритикале. Смешанный посев с превалированием вики (тритикале 25% + вика 75%), существенно уступал. Одновидовые и практически все смешанные агроценозы тритикале и вики, не зависимо от дозировки используемого азотного удобрения, относятся к группе с высоким риском эмиссии N_2O (более 0,97%). Посев с превалированием вики (тритикале 25% + вика 75%) по этому показателю относится к группе со средним риском эмиссии N_2O. Величина и существенное варьирование $ЭФ_{N_2O}$ в рамках представленного исследования обусловлено количеством поступающих в почву

пожнивно-корневых остатков, изменением их биохимического состава благодаря разному долевому участию компонентов (тритикале, вика) в составе посева, а также внесением в подкормку азотного удобрения. За счёт этих факторов можно наблюдать разное отношение C : N в поступающем в почву с растительными остатками органическом веществе (20…29).

Некоторое несоответствие полученных нами результатов по показателю $ЭФ_{N_2O}$, относительно приведённой ранее группировки, прежде всего, связано с использованием нами расчётного метода (МГЭИК, 2006), в то время как для определения эмиссии N_2O в рамках конкретных исследований, применяются прямые методы учёта. Рекомендуемый алгоритм расчёта эмиссии N_2O для всех видов сельскохозяйственных культур требует более детальной проработки с учётом всех особенностей и параметров этого процесса. В свою очередь, в итоговом варианте руководящих указаний (IPCC, 2019) алгоритм расчёта, построенный на прямо пропорциональном отношении «эмиссия N_2O / доза N», был подтверждён для дальнейшего использования несмотря на то, что достаточно часто подвергается критике со стороны исследователей (Lesschen et al., 2011; H'enault et al., 2012; Buchkina et al., 2013). Кроме того, коэффициент $ЭФ_{N_2O}$ IPCC одинаков для всех источников азота: будь это азот самой почвы, органических или минеральных азотсодержащих удобрений или азот растительных остатков.

Подтверждением ошибочности рекомендуемой последовательности проведения расчётов, служат результаты и наших исследований. Так, максимально высокие значения $ЭФ_{N_2O}$ в опыте (1,65…2,21%), отмечены для наиболее продуктивных агроценозов с преобладанием тритикале (тритикале 75% + вика 25%), для этого срока уборки. Полученные значения, как минимум не соответствуют результатам агрономической оценки, отражающим эффективность использования азота из почвы и применяемого азотного удобрения ($КИУ_N$ 42,7…72,8%). Экстраполяция данных, полученных в зарубежных странах зачастую не приемлемы для условий Российской Федерации. Прежде всего это касается территорий вовлечённых в сельскохозяйственное использование и имеющих смежный характер землепользования. Разнообразие почвенно-

климатических условий, производственных и технологических процессов, обуславливают различия в продуктивности сельскохозяйственных культур и всех микробиологических процессов азотного цикла в почвах. В этой связи, возникает необходимость разработки национального кадастра, основанного на возможности проведения объективных расчётов, отвечающих требованиям международного сообщества (Эдельгериев, 2021).

В этом контексте особого внимания заслуживают одновидовые и смешанные агроценозы бобовых культур, отличающиеся повышенной C-CO_2 ассимилирующей способностью при индуцировании N_2-фиксации. Способность бобовых культур к азотфиксации является исключительным свойством, позволяющим эффективно снижать объёмы применения азотных удобрений для собственных нужд и последующих культур в севообороте. Пожнивно-корневые остатки бобовых культур, не зависимо от срока уборки, имеют умеренное соотношение C : N = 20…30, благодаря чему, подвергаются в почве умеренно-продолжительной нетто иммобилизации, исключающей проявлению денитрификации и связанной с ней эмиссии N_2O. Смешанные посевы следует рассматривать в качестве экологически безопасного агротехнического приёма, индуцирующего N_2-фиксирующую активность у бобовых культур и конкурентоспособность всех растительных компонентов формируемого агроценоза с инициируемыми микробиологическим пулом процессами в ризосфере, за счёт более интенсивного использования азота и снижения его непроизводственных потерь из системы почва-растение.

ГЛАВА 7. БАЛАНС АЗОТА В ПОЧВЕ И ЭФФЕКТИВНОСТЬ ЕГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЗЕРНОВЫМИ КУЛЬТУРАМИ В ОДНОВИДОВЫХ И СМЕШАННЫХ АГРОЦЕНОЗАХ

Баланс азота в земледелии России за последние 25 лет оценивается как остро дефицитный. Это означает, что значительная доля урожая формируется за счет минерализованного азота почвы, который практически не накапливается в свободном состоянии, а быстро ассимилируется растениями и микроорганизмами (Кудеяров, 2018). По словам (Завалин, 2021), «…мы возвращаем почве только треть необходимых питательных веществ, поэтому вынужденно используем природные запасы питательных веществ почвы. Это особенно сказывается на качестве продукции». В масштабе страны уже наметилась тенденция к снижению содержания питательных веществ в пашне. В первую очередь это касается Нечерноземной зоны, где в отдельных субъектах падение степени обеспеченности почв питательными веществами снизило вероятность получения потенциально возможных урожаев зерновых культур на 5,1-7,3 ц/га (Сычев, Шафран, 2017).

Оценка состояния баланса элементов питания в системе «удобрение – почва – растение», является важной характеристикой эффективности использования удобрений, биопрепаратов и прочих агрохимикатов (Панников, Минеев, 1977). Изучение баланса элементов питания в почве позволяет систематически контролировать и управлять агрохимическими свойствами почв, повышать эффективность их плодородия (Van Der Hoek, 2010). Регулирование баланса N и, следовательно, его биологического круговорота путем оптимизации доз и соотношений питательных веществ, вносимых с удобрениями, способствует увеличению урожайности, улучшению качества основной продукции и повышению в биологической массе удельного веса хозяйственно-ценной части урожая (Лапа и др., 2013), сохранению и дальнейшему повышению плодородия почвы (Плотников, Кабдунова, 2018).

Накопленный в почве симбиотически связанный биологический азот после одновидовых и смешанных ценозов бобовых культур положительно сказывается на балансе азота в целом за севооборот. Он служит дополнительным источником азот-

ного питания растений, способствует повышению собственной урожайности и белковости получаемой растениеводческой продукции, использованию его другими культурами севооборота (Завалин, Накаряков, 2021). В результате насущной потребности земледелия нашей страны в использовании N-удобрений, наблюдается повышение урожайности бобовых, резкое увеличение одновидовых посевов или травосмесей с преобладанием бобового компонента (50-75%), а также дальнейшее расширение занятых ими площадей (Завалин и др., 2014). Выстраивание схожей стратегии наблюдается за рубежом с целью разработки более эффективной, менее загрязняющей N и безопасной продовольственной системы (Чухина, Жуков, 2014). Такой подход к возделыванию бобовых культур для воспроизводства плодородия почвы и производства кормов, позволяет уменьшить зависимость от импорта удобрений и кормов (Van Grinsven et al., 2014). Для успешной реализации Этого направления необходимо совершенствование существующей системы применения удобрений при возделывании гороха. Используемые приемы должны быть максимально эффективными для формирования урожая и накопления белка, а также не должны оказывать отрицательного влияния на способность растений фиксировать молекулярный азот симбиотическим путем. Важнейшим аспектом при этом является сохранение уравновешенного баланса азота и других элементов питания в конкретных почвенно-климатических условиях.

7.1. Эффективность потребления азота сортами гороха посевного при инокуляции семян симбиотическими ризобактериями и внесении азотного удобрения

Горох наряду с фасолью, чиной и сераделлой, потребляет минимальное количество азота (менее 150 кг N/га) (Трепачев, 1999). Основная часть азота (70-80%) поступает в растения гороха до начала налива семян и только 20-30% – в последующий период. Поэтому в репродуктивный период растения максимально используют для формирования семян собственные внутренние резервы азота, посредством мобилизации его из вегетативных органов. В зависимости от погодных условий реутилизация может обеспечить от 55 до 100% азота, необходимого развивающимся семенам.

Наиболее значителен её вклад в формирование урожая в засушливые годы по причине угнетения корневой деятельности и раннего прекращения поступления азота в растения (Новикова, Лаханов, 1993).

Отличительной особенностью современных сортов гороха, возделываемые на зерно, является относительно короткий период поглощения элементов минерального питания и вегетации, вследствие чего, размеры накопления биомассы и азота у них ограничены. В сравнении с сортами листочковой и усатой морфоформы более ранней селекции, наблюдается повышение урожайности в результате увеличения доли зерна в биомассе в 1,5-2 раза. Пропорционально с этим, происходит накопление N семенами, аккумулированного в биомассе целого растения (Новикова, 2002).

Горох относится к I группе бобовых культур по способности растений формировать урожай в основном за счёт минерального азота почвы и удобрений, а также преобладанию автотрофного типа питания (свыше 60%) в общем потреблении азота (Кожемяков, Тихонович, 1998). По мере развития растений гороха доля минерального азота (почвы, удобрения) в потребляемом объёме снижается, а доля атмосферного – возрастает, вплоть до момента их созревания. В отсутствии применения N-удобрений растения гороха к моменту созревания накапливают 74-84% азота атмосферы. При использовании азотных удобрений и повышении их дозировки, доля азота атмосферы в балансе питания культуры уменьшается до 43% (Трепачев, 1999). Снижается также и абсолютная величина фиксации атмосферного азота.

При внесении азотных удобрений (N30…60) горох использует 40-45% на дерново-подзолистой и 37-59% на серой лесной почве, 30-51% азота удобрения на оподзоленном чернозёме (Завалин и др., 2019). Уровень чувствительности нитрогеназного комплекса к содержанию минерального азота в почве зависит от почвенно-климатических условий, вида и сортовых особенностей бобового растения (Окорков и др., 2007). Среднее значение по использованию азота удобрения горохом в различных регионах России, составляет 45-59% от применяемой дозы (Кореньков, 1999; Азаров, 2003). Степень усвоения горохом азота удобрения увели-

чивается с повышением дозы N-удобрений (Верниченко, 2017). При этом горох лучше использует азот из нитратной формы удобрения.

Наряду с удобрениями существенной составляющей приходной части баланса и дополнительным источником улучшения азотного питания растений гороха служит биологический азот, фиксированный симбиотическими и ассоциативными микроорганизмами (Алферов и др., 2016). В результате увеличения посевных площадей и повышения урожайности зернобобовых культур на территории РФ, накопление биологического азота в биомассе растений, по сравнению с периодом 2005-2010 гг., увеличилось почти в два раза с 544,3 до 1025,7 тыс. тонн (Завалин, Благовещенская, 2012).

Повышению доли азота воздуха в формировании хозяйственно полезной части урожая также способствует активизация азотфиксирующей деятельности агроценозов гороха за счёт инокуляции семян Ризоторфином, которая у сорта Спартак достигала 19,7%, у сорта Темп – 25,7%, у сорта Фараон – 27,1% (Моисеенко и др., 2011). Применение биопрепаратов способствует дополнительному накоплению в урожае основных элементов питания из удобрений и повышению коэффициента их использования в 1,5-2 раза. При инокуляции семян биопрепаратами повышается накопление биологического азота в урожае в 2,3-6,5 раз, снижается отрицательный баланс азота, обеспечивается поступление в почву ПКО, в результате минерализации которых в пахотном слое накапливается 1,2-1,4 т/га гумуса (Завалин, 2011; Тихонович и др., 2011). Послеуборочные растительные остатки и оставляемая в поле побочная продукция (солома) служат источником пополнения органического вещества и запасов азота в почве, выступают в качестве основного фактора для формирования положительного баланса азота в земледелии страны.

Суммарный вынос N основной (зерно) и побочной (солома) продукции гороха определялся их урожайностью и содержанием в растениях азота (табл. 7.1). Варьирование этих показателей, обусловлено сортовыми особенностями гороха, использованием для предпосевной инокуляции семян Ризоторфина и дозами азотного удобрения.

Данные по содержанию азота в зерне и соломе гороха, по годам проведения исследования, представлены в приложениях 55, 56.

Таблица 7.1. Содержание N в зерне гороха, % на а.с.в. (среднее за 3 года)

Дозы азота (фактор В)	Агроинтел		Среднее по В	Вельвет		Среднее по В
	A_0	A_1		A_0	A_1	
N0	3,23	3,48	3,36	3,07	3,14	3,10
N30	3,63	3,61	3,62	3,41	3,25	3,33
N45	3,46	3,51	3,49	3,43	3,39	3,41
N60	3,48	3,37	3,43	3,54	3,58	3,56
N75	3,36	3,41	3,38	3,36	3,81	3,58
N90	3,37	3,33	3,35	3,37	3,54	3,46
N105	3,22	3,31	3,27	3,18	3,48	3,33
N120	3,09	3,04	3,07	2,97	2,97	2,97
Среднее по А,	3,36	3,38	$НСР_{05}$ гл. эфф.	3,29	3,39	$НСР_{05}$ гл. эфф.
$НСР_{05}$ для гл. эфф.	0,26		0,16	0,12		0,13
$НСР_{05}$ для частных различий по фактору	А		0,74	А		0,34
	В		0,23	В		0,19

Содержание N в зерне гороха сорта Агроинтел составило 3,04…3,63%, сорта Вельвет 2,97…3,81%. При инокуляции семян гороха бактериальным препаратом Ризоторфин, в среднем по опыту, наблюдалась увеличения содержания азота в зерне, на уровне слабой тенденции (+0,02%) у сорта Агроинтел и устойчивой (+0,10%), у сорта Вельвет. Прибавки от использования Ризоторфина резко отличались по отдельным вариантам опыта на обоих сортах. Существенная прибавка от инокуляции семян биопрепаратом Ризоторфин (+0,45%), зафиксирована только на сорте Вельвет, при внесении N75.

Влияние возрастающих доз азотного удобрения на содержание азота в зерне носило разнонаправленный характер. В среднем по опыту наблюдается достаточно резкое увеличение содержания азота при внесении N30 (+0,23…0,27%). Без инокуляции, прибавки по сортам были более значительными (+0,34…0,40%). При последующем увеличении дозировки N-удобрения, на сорте Агроинтел наблюдается тенденция к снижению содержания азота в зерне. На сорте Вельвет, следует отметить возрастающий тренд содержания N в зерне, при увеличении дозировки, с учётом инокуляции Ризоторфином, до N60-75, который в последующем также сменяется снижением. Основной причиной этому послужило затягивание перехода к генеративному и последую-

щему репродуктивному периоду развития, что ограничило условия для эффективного накопления N в рамках собственных внутренних резервов и последующий отток к формирующимся семенам. Существенное увеличение содержания N в зерне на сорте Агроинтел (+0,23…+0,40%), отмечалось при внесении N30-45, только в отсутствии инокуляции Ризоторфином. В свою очередь на сорте Вельвет, существенное увеличение содержания N в зерне (+0,25…+0,67%), отмечалось не зависимо от использования инокуляции Ризоторфином. Это указывает на разницу в сортовой отзывчивости гороха на использование биопрепарата Ризоторфин для предпосевной обработки семян и внесение азотного удобрения.

Посевной горох, наряду с другими бобовыми культурами, характеризуется высоким содержанием азота не только в зерне, но и побочной продукции (табл. 7.2). Содержание N в соломе гороха сорта Агроинтел составило 1,32…1,53%, сорта Вельвет 1,36…1,52%. При инокуляции семян гороха бактериальным препаратом Ризоторфин, в среднем по опыту, на уровне тенденции наблюдалась увеличение содержания азота в соломе на 0,03%. Существенного изменения содержания азота в соломе обоих сортов, при использовании Ризоторфина, на основании частных различий, также не отмечено.

Таблица 7.2. Содержание N в соломе гороха, % на а.с.в. (среднее за 3 года)

Дозы азота (фактор В)	Агроинтел		Среднее по В	Вельвет		Среднее по В
	A_0	A_1		A_0	A_1	
N0	1,38	1,32	1,35	1,40	1,42	1,41
N30	1,39	1,39	1,39	1,45	1,52	1,49
N45	1,32	1,34	1,33	1,36	1,45	1,41
N60	1,45	1,44	1,45	1,42	1,43	1,43
N75	1,36	1,46	1,41	1,51	1,45	1,48
N90	1,38	1,38	1,38	1,44	1,47	1,46
N105	1,46	1,53	1,49	1,49	1,46	1,48
N120	1,32	1,43	1,37	1,37	1,45	1,41
Среднее по А,	1,38	1,41	$НСР_{05}$ гл. эфф.	1,43	1,46	$НСР_{05}$ гл. эфф.
$НСР_{05}$ для гл. эфф.	0,08		0,07	0,04		0,05
$НСР_{05}$ для частных различий по фактору	А		0,21	А		0,12
	В		0,10	В		0,08

Влияние азотного удобрения на содержание азота в соломе гороха резко отличалось на вариантах без инокуляции и с использованием Ризоторфина. Увели-

чение содержания азота в соломе на сорте Агроинтел, наблюдалось при внесении азотного удобрения в дозе 60, 75, 105 и 120 кг д.в./га и использовании для обработки семян Ризоторфина. Положительная отзывчивость сорта Вельвет по данному показателю, в отсутствии инокуляции Ризоторфином, отмечена при внесении N75 и N105. При использовании биопрепарата, существенное увеличение содержания азота на 0,10% наблюдалось при внесении только N30.

Суммарный вынос азота урожаем основной и побочной продукцией определялся величиной формируемой урожайности и содержанием N (табл. 7.3). На сорте Агроинтел вынос азота урожаем составил 81,4…120,0 кг/га, на сорте Вельвет – 64,6…138,9 кг/га. При использовании для инокуляции семян Ризоторфина вынос N увеличился по сортам на 11,2 кг/га и 21,4 кг/га соответственно. При использовании азотного удобрения на сорте Агроинтел наблюдалось увеличении выноса N. На сорте Вельвет следует отметить начальное увеличение выноса N с урожаем на 3,0…23,4 кг/га, обусловленное ростом урожайности. При увеличении дозировки азотного удобрения свыше 75 кг д.в./га, наблюдается более значительное снижение урожайности зерна, а вместе с ним и выноса азота.

Индекс хозяйственного использования показывает эффективность потребления растениями гороха азота и оценивается по его накоплению в урожае основной продукции, относительно общего содержания. Большая часть азота, потребляемого сортами гороха за период вегетации, накапливалась в зерне ($К_{хоз.}$ = 0,63…0,64). Использование Ризоторфина и азотного удобрения не способствовало его мобилизации из вегетативных органов, существенному изменению концентрации N в зерне и соотношения объёмов, поступающих в основную и побочную часть урожая гороха. Высокоурожайные безлисточковые сорта, к которым относятся Агроинтел и Вельвет, отличаются напряженными донорно-акцепторными отношениями между вегетативными и репродуктивными органами в отношении распределения ассимилятов в период репродуктивного развития и налива семян (Новикова, 2018).

Таблица 7.3. Вынос урожаем, эффективность использования и баланс азота в почве при возделывании в одновидовых агроценозах на зерно сортов гороха Агроинтел и Вельвет (среднее за 3 года)

Сорт	Вариант															
	без инокуляции								при инокуляции							
	N0	N30	N45	N60	N75	N90	N105	N120	N0	N30	N45	N60	N75	N90	N105	N120
Вынос азота урожаем, кг/га																
Агроинтел	81,4	94,7	104,1	106,8	98,2	95,9	111,9	92,7	92,6	99,6	102,0	114,3	106,2	98,9	120,0	95,8
Вельвет	101,2	124,6	114,8	110,4	105,6	96,2	84,0	73,8	122,7	138,9	129,4	125,7	126,4	111,4	89,9	64,6
Индекс хозяйственного использования азота ($К_{хоз.}$)																
Агроинтел	0,64	0,67	0,67	0,65	0,66	0,65	0,63	0,64	0,67	0,66	0,67	0,64	0,64	0,65	0,62	0,62
Вельвет	0,63	0,64	0,66	0,66	0,63	0,64	0,62	0,63	0,63	0,62	0,64	0,66	0,67	0,65	0,65	0,61
Коэффициент использования азота из удобрения ($КИУ_N$), %																
Агроинтел	–	44,1	50,5	42,2	22,4	16,0	29,0	9,4	–	60,4	45,8	54,8	33,1	19,5	36,7	12,0
Вельвет	–	77,9	30,2	15,2	5,8	-	-	-	–	125,7	62,5	40,8	33,5	11,3	-	-
Оплата азотного удобрения прибавкой урожая зерна, кг/кг																
Агроинтел	–	4,1	8,8	6,2	4,0	2,6	5,4	2,6	–	7,0	7,1	9,3	5,1	3,4	6,1	2,8
Вельвет	–	9,5	2,9	-	-	-	-	-	–	19,5	8,5	4,0	2,0	-	-	-
Создано зерна на 1 кг потреблённого азота, кг																
Агроинтел	19,9	18,4	19,3	18,6	19,5	19,3	19,5	20,8	19,2	18,4	19,0	19,0	18,9	19,5	18,8	20,4
Вельвет	20,5	18,9	19,2	18,5	18,8	19,0	19,6	21,1	20,0	19,1	19,0	18,4	17,6	18,4	18,6	20,6
Прибавки зерна на единицу потреблённого азота, кг																
Агроинтел	–	1,3	3,8	3,5	3,0	2,5	5,1	3,3	–	2,1	3,2	4,9	3,6	3,1	5,4	3,5
Вельвет	–	2,3	1,2	-	-	-	-	-	–	4,2	2,9	1,9	1,2	-	-	-
Прибавка зерна на 1 кг азота, потреблённого из удобрения, кг																
Агроинтел	–	9,3	17,4	14,6	17,6	16,3	18,6	27,3	–	11,6	15,6	16,9	15,4	17,6	16,7	23,2
Вельвет	–	12,1	9,7	-	-	-	-	-	–	15,5	13,5	9,7	5,9	-	-	-
Потребление (вынос) азота 1 т зерна с соответствующим количеством соломы, кг/т																
Агроинтел	50,3	54,3	51,7	53,6	51,3	51,7	51,2	48,1	52,0	54,4	52,6	52,5	53,0	51,3	53,1	49,1
Вельвет	48,8	52,9	52,1	53,9	53,1	52,5	51,1	47,4	49,9	52,3	52,7	54,4	56,9	54,5	53,8	48,5
Баланс азота в почве, кг/га																
Агроинтел	-27,7	-10,3	-2,9	7,6	25,5	38,8	42,8	66,8	-36,1	-13,1	-2,0	4,1	20,5	37,4	37,3	65,6
Вельвет	-38,0	-24,1	-9,2	4,6	21,0	38,4	59,0	78,1	-51,1	-33,2	-17,8	-7,2	4,6	27,7	53,6	84,4

Более высокий коэффициент использования азота из удобрения горохом сорта Агроинтел (60,4%), зафиксирован при использовании Ризоторфина и внесении N30. При использовании N-удобрения в дозировке свыше 60 кг д.в./га, потребление растениями азота из удобрения не превышало 40%. На сорте Вельвет более активное использование азота из удобрения отмечено при внесении N30 (без инокуляции Ризоторфином) и N30-45, в случае использования биопрепарата для предпосевной инокуляции семян. Значение $КИУ_N$ (125,7%) на варианте с использованием Ризоторфина и внесением N30 объясняются потреблением растениями гороха из почвы экстра-азота, образующегося при внесении N-удобрений и дополнительном индуцировании микробиологической активности в ризосфере растений (Накаряков, 2021). Отрицательные значения $КИУ_N$ на сорте Вельвет были обусловлены снижением урожайности зерна при внесении более высоких доз (N90-120) азотного удобрения.

Более высокая агрономическая оценка азотного удобрения прибавкой урожая зерна гороха (9,5…19,5 кг/кг), получена на сорте Вельвет, при внесении N30. На сорте Агроинтел оплата прибавкой урожая составляла всего 2,6…9,3 кг/кг, однако, в отличие от сорта Вельвет, прослеживалась на протяжении всего испытываемого диапазона доз азотного удобрения. При использовании Ризоторфина окупаемость N-удобрения по сортам увеличилась на 0,2…3,1 кг/кг и 5,5…10,0 кг/кг.

На 1 кг потребленного N, в одновидовых агроценозах гороха сортов Агроинтел и Вельвет, было создано порядка 18,4…20,8 кг и 17,6…21,1 кг зерна. Варьирование показателя, с учётом использования Ризоторфина и азотного удобрения, в среднем по опыту составляло 3,2…6,6%.

Прибавка зерна на 1 кг потребленного азота по сортам гороха составила от 1,2…4,2 кг (Вельвет) до 1,3…5,4 кг (Агроинтел). При использовании Ризоторфина наблюдалось увеличение показателя на 1,8…1,9 кг и 0,1…1,4 кг соответственно. Увеличение дозировки азотного удобрения не способствовало увеличению прибавки зерна, созданного за счёт потребления 1 кг N из почвы. Более высокие значения получены при установлении уровня прибавок зерна, относительно потреблённого количества азота из внесённого удобрения. При увеличении дозировки (N30→N120) на

сорте Агроинтел, наблюдалось увеличение прибавки урожайности зерна в среднем с 10,5 кг до 25,3 кг. На сорте Вельвет наблюдалась обратная тенденция – снижение уровня прибавки в среднем с 13,8 кг до 5,9 кг. Устойчивое положительное действие на рассматриваемый показатель бактериального препарата Ризоторфин, было отмечено только на сорте Вельвет при внесении N30-75.

Потребление (вынос) азота 1 т зерна гороха с соответствующим количеством соломы по сортам варьировало от 47,7 до 56,9 кг/т. Это соответствует современным представлениям по расходу N на формирование урожая зерна гороха (Завалин и др., 2019). От использования Ризоторфина и доз азотного удобрения, значения показателя изменялись не значительно. Более отчётливым было влияние бактериального препарата Ризоторфин, при использовании которого вынос в среднем по сортам увеличивался на 1,4 кг/т. Также можно отметить, что при максимальной дозировке азотного удобрения в опыте (N120), наблюдалось незначительное снижение потребления азота горохом, что в определённой степени может быть связано с увеличением периода развития и нарастания вегетативной массы, избыточным использованием азота для формирования не включённой в хозяйственный вынос части биологического урожая.

При возделывании безлисточковых сортов гороха Агроинтел и Вельвет в одновидовых агроценозах, в отсутствии использования биопрепаратов и без внесения азотного удобрения, формируется отрицательный баланс N в почве (-27,7…-38,0 кг/га). Устойчивый положительный баланс азота (свыше 20,5…25,5 кг/га), наблюдается только при использовании азотного удобрения в дозе свыше 60 кг д.в./га. В этом случае расходная статья баланса N компенсирована приходной его частью в среднем по двум сортам – на 110…171% (прил. 57, 58). Увеличение интенсивности баланса тесно связано (r = 0,93…0,99) с повышением дозировки азотного удобрения. Выраженного действия со стороны биопрепарата Ризоторфин, на итоговое соотношение приходной и расходной частей баланса N, не наблюдалось.

Полученные результаты указывают на слабую симбиотическую активность безлисточковых сортов гороха современной селекции в отношении использования азота атмосферы. Получается, что от зерновых злаковых культур, в отношении ис-

точников азота, горох отличается только меньшим выносом азота из почвы, при формировании собственного урожая зерна. При внесении азотного удобрения он является «типичными N-потребителем», даже в случае использовании для предпосевной обработки семенного материала микробиологического препарата Ризоторфин с комплементарным штаммом ризобий. Эти эволюционные изменения у бобовых культур, являющиеся объектом возделывания на протяжении нескольких сотен или даже тысяч лет, связаны с практиковавшимся долгое время проведением селекции не при инокуляции ризобиями, а при возделывании в условиях высокого агрофона, с достаточным уровнем содержания минерального азота в почве, и/или внесением азотных удобрений (Проворов, 1996). Именно эти условия способствовали снижению симбиотической азотфиксации у бобовых культур и способности к интенсивному развитию за счёт усвоения симбиотически связанного азота. Именно по этой причине внесение азотных удобрений в почву признается во многих случаях экономически не выгодным, так как они отрицательно влияют на азотфиксирующую способность бобовых, затрагивая все этапы формирования и функционирования бобово-ризобиальных структур.

Горох посевной (*Pisum sativum L.*) относят к бобовым культурам с наиболее значительным снижением баланса между симбиотрофным и автотрофным питанием азотом (Проворов, 2013). Для бобовых растений экономичнее ассимилировать нитрат, чем N_2 для удовлетворения потребностей в азоте, так как затраты энергии при восстановлении NH_4^+ одной молекулы до N_2 требует затраты не менее шести молекул НАДН, а для восстановления NO_3^- требуется только четыре энергетических эквивалента НАДФН. Значительная метаболическая энергия затрачивается также на образование и поддержание клубеньковой ткани. Ещё более выгодным с точки зрения затрат энергии является аммонийный азот почвы и удобрений, который, поступая в растения, сразу вовлекается в синтез аминокислот и амидов (Новикова, 2018).

На основании представленной информации возникает резонный вопрос: «Нужно ли стремиться к полному «переключению» метаболизма бобовых на усвоение биологически фиксированного азота?». Снижение интенсивности автотрофного

питания гороха азотом, с целью повышения интенсивности симбиотрофного питания, нельзя считать целесообразным, так как этот процесс сопровождается снижением продуктивности растений. В то же время использование современных безлисточковых сортов, «акцентирующих своё внимание» на автотрофном питании азотом, может быть весьма целесообразным на высокообеспеченных азотом почвах (1), в случае когда инокуляция оказывается неэффективной (2), а также в смесях со злаками (3), когда высокая продуктивность бобового компонента, как менее конкурентоспособного, обеспечена только за счёт симбиотической азотфиксации, в то время, как полноценное развитие злакового компонента происходит благодаря использованию экзогенного азота удобрений и источников в почве.

По результатам исследований (Курчак, Проворов, 1995; Rengel, 2002), оптимальным для формирования урожая бобовых является сочетание инокуляции ризобиями с внесением небольших доз N-удобрений, что связано со стимуляцией нитрогеназной активности малыми дозами связанного азота (Новикова, 2018). Эффективность использования стартовых доз азота совместно с инокуляцией отмечена даже на «новых» зернобобовых культурах, при их интродукции в регионы возделывания (Петрова, 2006; Пимонов, Шелудяков, 2011; Сергалиев и др., 2014). Особого внимания в этом вопросе заслуживает предлагаемое сочетание инокуляции и азотного удобрения при возделывании основных зернобобовых культур (гороха, вика, соя) по интенсивной технологии, предусматривающей получение свыше 5 т/га зерна, благодаря внесению порядка 100 кг аммиачной селитры, использованию предпосевной инокуляции семенного материала селективными штаммами ризобий и листовой подкормки комплексными удобрениями (Gul et al., 2006; Щедрин, Мирзаалиева, 2016).

На основании представленного материала, необходимо подчеркнуть, что реализация биологического продукционного потенциала современных сортов гороха за счёт использования симбиотической азотфиксации, обладающей немалым инновационным потенциалом, не исключает наращивания объёмов применения азотных удобрений и грамотного сочетания этих приёмов.

7.2. Эффективность потребления азота горохом посевным в одновидовом и смешанных агроценозах с пшеницей яровой

Вынос N с урожаем в смешанных и одновидовых посевах определяется урожайностью зерносенажной массы и концентрацией в ней этого элемента (Чухина, Жуков, 2015). Величина этих показателей была обусловлена долей бобового компонента в агроценозе и дозами N-удобрения. Варьирование результатов по годам (прил. 59), связано с метеорологическими особенностями вегетационных периодов. Содержание N в зерносенаже агроценозов пшеницы и гороха представлено в таблице 7.4 в среднем за 3 года, что даёт возможность обсуждать полученные результаты более корректно.

Таблица 7.4. Содержание N в зерносенаже смешенных и одновидовых агроценозов яровой пшеницы и посевного гороха, % на а.с.в. (среднее за 3 года)

Состав агроценоза (фактор А)		Дозы азота (фактор В)			Среднее по А
		N0	N30	N60	$НСР_{05}$ гл. эфф. = 0,38
Пшеница 100%		1,23	1,31	1,46	1,33
Пшеница 75% + горох 25%		1,44	1,57	1,67	1,56
Пшеница 50% + горох 50%		1,72	1,83	1,80	1,78
Пшеница 25% + горох 75%		2,23	2,37	2,38	2,35
Горох 100%		2,85	2,87	2,92	2,88
Среднее по В, $НСР_{05}$ гл. эфф. = 0,15		1,89	1,99	2,05	
$НСР_{05}$ для частных различий по фактору	А	0,67			
	В	0,34			

С увеличением доли гороха в составе высеваемой смеси (25%→50%→75%) и доз азотного удобрения, увеличивалась концентрация азота в составе зерносенажной массы. На фоне N0 за счёт включения гороха происходило увеличение содержания азота на 0,21…1,00%, что соответствует тенденции, отмеченной для опыта в целом (0,23…1,02%). За счёт внесения возрастающих доз азотного удобрения, последовательное увеличение содержания N на 0,13…0,23% наблюдалось лишь в посеве пшеница 75% + горох 25%. В агроценозах с равным долевым участием компонентов в составе высеваемой смеси (пшеница 50% + горох 50%) или превалированием гороха (пшеница 25% + горох 75%), повышение содержания азота в зерносенаже на 0,11…0,14% зафиксировано только при внесении N30. Вынос N горохом в одновидовом посеве в 1,9…2,1 раза больше, чем у пшеницы (табл. 7.5).

Таблица 7.5. Вынос урожаем, эффективность использования и баланс азота в почве при возделывании яровой пшеницы и посевного гороха на зерносенаж в одновидовых и смешанных агроценозах (среднее за 3 года)

Пшеница 100%			Пшеница 75% + горох 25%			Пшеница 50% + горох 50%			Пшеница 25% + горох 75%			Горох 100%		
N0	N30	N60	N0	N30	N60	N0	N30	N60	N0	N30	N60	N0	N30	N60
Вынос урожаем, кг/га														
32,5	38,4	50,1	44,5	53,7	63,1	64,5	79,3	88,0	92,1	115,0	129,7	68,1	76,8	92,6
Коэффициент использования азота из удобрения ($КИУ_N$), %														
-	19,9	29,3	-	30,6	30,8	-	49,6	39,3	-	76,4	62,8	-	29,0	40,8
Оплата азотного удобрения прибавкой урожая зерносенажа, кг/кг														
-	9,6	13,0	-	10,7	11,2	-	19,5	18,7	-	24,3	22,0	-	9,5	13,1
Создано зерносенажной массы на 1 кг потребленного азота, кг														
81,4	76,3	68,3	69,6	63,7	59,8	58,3	54,7	55,4	44,9	42,3	42,0	35,1	34,8	34,3
Прибавки массы зерносенажа на единицу потребленного азота, кг														
-	7,5	15,6	-	5,9	10,6	-	7,4	12,7	-	6,3	10,2	-	3,7	8,5
Прибавка зерносенажной массы на 1 кг азота, потребленного из удобрения, кг														
-	48,3	44,2	-	34,8	36,2	-	39,3	47,6	-	31,8	35,0	-	32,6	32,1
Потребление (вынос) азота 1 т зерносенажа, кг/т														
12,3	13,1	14,6	14,4	15,7	16,7	17,2	18,3	18,0	22,3	23,7	23,8	28,5	28,7	29,2
Баланс азота в почве, кг/га														
-17,1	4,9	17,3	-19,4	0,3	15,9	-26,0	-9,7	8,5	-39,0	-28,0	-14,0	-24,3	-2,3	10,6
Интенсивность баланса, %														
47,3	111,1	127,9	58,4	100,5	120,5	62,6	89,4	108,0	61,2	78,6	90,8	67,0	97,4	109,4

Больше азота (92,1…129,7 кг/га) среди смешанных посевов, накопила в урожае смесь с преобладанием гороха (пшеница 25% + горох 75%). При этом составе посева, коэффициент использования азота из удобрения ($КИУ_N$) составил 62,8…76,4%. Полученные значения $КИУ_N$ превышают ранее установленные значения (Жуков, 1996), что связано с потреблением растениями из почвы экстра-азота, образующегося при внесении N-удобрений (Кореньков, 1999). В целом по опыту $КИУ_N$ возрастал при увеличении доли гороха от 25% до 50% и 75% в составе смеси на 27,3…62,1% и 54,0…59,9%. При этом, более резкое увеличение $КИУ_N$ отмечено при внесении N30.

Оплата 1 кг N прибавкой урожая зерносенажа в одновидовых посевах не превышала 9,6…13,1 кг. В смеси с равным соотношением компонентов (пшеница 50% + горох 50%) и преобладанием гороха (пшеница 25% + горох 75%), оплата 1 кг N возросла в 2,1-2,6…1,4-1,7 раза, что характерно при комплексном использовании минеральных удобрений под зерновые культуры (Алферов и др., 2017).

Эффективность потребления N культурами в посеве характеризуется количеством сформированного урожая и величиной прибавки зерносенажной массы. Прибавка урожайности зерносенажа на 1 кг потребленного N в смешанных агроценозах составила 5,9…12,7 кг, что в случае внесения N30 на одном уровне с одновидовым посевом пшеницы (7,5 кг) и существенно выше, чем в одновидовом посеве гороха (3,7 кг). Максимально эффективно использовался потребленный азот на формирование прибавки зерносенажа (12,7 кг) в смешенном посеве с равным соотношением компонентов (50% + 50%) при использовании N-удобрения в дозе 60 кг д.в./га. Величина полученных прибавок зерносенажной массы в посевах, где доля пшеницы превышает 25%, указывает на определяющее значение азота в питании и формировании урожая злаковых культур. За счёт азота, потреблённого из удобрения в смешанных посевах, дополнительно сформировано от 31,8-35,0 кг до 39,3-47,6 кг зерносенажа.

При разработке системы применения удобрений под отдельные сельскохозяйственные культуры в Предуралье (Елькина, 2008; Михайлова, Кротких, 2012) используются нормативы затрат по каждому из основных элементов питания на

получение 1 тонны основной продукции с соответствующим количеством побочной (Нормативы выноса…, 1991). Согласно этим нормативам, вынос 1 т зелёной массы (в пересчёте на абсолютно сухое вещество) яровой пшеницы и посевным горохом составляет 16,4 и 26,0 кг азота соответственно. В результате проведённого исследования было установлено, что вынос азота 1 т зерносенажной массы в посевах пшеницы составлял 12,3…14,6 кг/т, в посевах гороха 28,5…29,2 кг/т, что практически согласуется с обозначенными нормативами. Смешанные посевы занимали промежуточное значение по потреблению азота на формирование 1 тонны зерносенажа. При увеличении доли гороха в составе смеси (25%→50%→75%), вынос увеличивался на 2,1…2,8…5,1 кг (N0); 2,6…2,6…5,4 кг (N30); 2,1…1,3…5,8 кг (N60). Некоторое несоответствие выноса азота 1 т зерносенажа по сравнению с действующими нормативами, связано с возделыванием адаптивных современных сортов, которые характеризуются более высокой долей в урожае зерна и преимущественной локализацией в нём азота.

Наличие отрицательного баланса элементов питания в почве уже на протяжении двух с половиной десятков лет продолжает оставаться одной из наиболее чувствительных проблем в современном земледелии России (Кудеяров, 2018). При включении смешанных посевов пшеницы и гороха в состав севооборотов, особый интерес представляет расчёт и оценка состояния баланса азота для дерново-подзолистой почвы Предуралья.

Положительный баланс азота (+8,5…17,3 кг/га) был сформирован практически во всех смешанных и одновидовых агроценозах, при условии внесения N-удобрения в дозе 60 кг д.в./га (прил. 60). При внесении N30 баланс азота был близкий к нулевому (-9,7…+4,9 кг/га). Отмеченные параметры наблюдались в опыте за исключением посева с преобладанием гороха (пшеница 25% + горох 75%) за счёт формирования более высокой урожайности. При отсутствии внесения азотного удобрения по всем агроценозам баланс N был отрицательным (-17,1…-39,0 кг/га). При остродефицитном балансе азота значительная доля урожая формируется за счет минерализованного азота почвы. При такой ситуации остаточные количества подвижного азота удобрения в почве и его дальнейшие поте-

ри, как за счет денитрификации, так и вымывания нитратов, ничтожно малы (Кудеяров, 2020). При соотнесении результатов по балансу с данными по выносу азота урожаем зерносенажа, полученный уровень признака (-35,7…-52,7%) не соответствует требованиям к балансу элементов питания за севооборот (Ягодин, 2003) и не допустимый даже для почв с очень высоким (6 класс) содержанием элементов питания. Это указывает на необходимость использования азотных удобрений в рекомендуемых дозах (30-60 кг д.в./га) при возделывании одновидовых и смешанных агроценозов яровой пшеницы и посевного гороха в условиях Предуралья. Интенсивность баланса N в почве в смешанных агроценозах пшеницы и гороха составляла 58,4…120,5% и зависела (r = 0,98…0,99) от дозировки вносимого азотного удобрения.

Зерно. Возделывание смешанных и одновидовых агроценозов пшеницы и гороха для получения зерна, отличается величиной производимого урожая основной и побочной продукции, концентрацией азота в их составе. В свою очередь, урожайность посевов (включая солому) определялась сочетанием компонентов в составе высеваемой смеси и дозами применяемого азотного удобрения. Результаты исследований по годам представлены в приложениях 61-64. Содержание N в зерне и соломе пшеницы, в зависимости от состава агроценоза, представлено в таблице 7.6.

Таблица 7.6. Содержание N в зерне и соломе пшеницы яровой, % на а.с.в. (среднее за 3 года)

Состав агроценоза (фактор А)		Зерно			Среднее по А	Солома			Среднее по А
		N0	N30	N60		N0	N30	N60	
Пшеница 100%		1,66	1,73	1,76	1,72	0,49	0,44	0,43	0,45
Пшеница 75% + горох 25%		1,76	1,80	1,87	1,81	0,51	0,47	0,52	0,50
Пшеница 50% + горох 50%		1,96	2,02	2,11	2,03	0,55	0,42	0,44	0,47
Пшеница 25% + горох 75%		2,11	2,16	2,22	2,16	0,52	0,46	0,42	0,47
Среднее по В, $НСР_{05}$ гл. эфф.		1,87	1,93	1,99	$НСР_{05}$ гл. эфф. 0,02	0,51	0,45	0,45	$НСР_{05}$ гл. эфф. 0,03
		0,03				0,01			
$НСР_{05}$ для частных различий по фактору	А	0,04				0,06			
	В	0,06				0,03			

В смешанных агроценозах в зерне пшеницы содержание азота было выше, чем в одновидовом посеве на 0,09…0,44%. Более высокое значение этого показателя в целом по опыту (2,16%), было характерным для агроценоза пшеница 25% + горох 75%. Полученный результат подтверждает положение о том, что совместное выращивание зерновых и зернобобовых культур в смешанных посевах приводит к суще-

ственному увеличению содержания белка в зерне злакового компонента. При изменении уровня азотного питания (N0→N30→N60) наблюдалось повышение содержания азота в зерне пшеницы (+0,06…+0,12%). По результатам исследований (Завалин, Соколов, 2018) при использовании азотных удобрений растут содержание белка в зерне и продуктивность пшеницы. Повышение содержания белка в зерне происходит не в результате усиления его синтеза, а вследствие торможения отложения крахмала в эндосперме зерна, что увеличивает относительное содержание белка в зерне. Максимальное содержание азота в зерне пшеницы (2,22%) было в посеве пшеница 25% + горох 75% при внесении N60, что связано с оптимизацией азотного питания злака при увеличении общего пула поступающих посредством экзоосмоса азотистых веществ в ризосферу гороха и увеличения количества доступного для питания азота, за счёт его поступления с удобрением.

Концентрация азота в соломе пшеницы была 0,42…0,55% и не зависела от состава агроценоза. При использовании азотного удобрения наблюдалось снижение содержания N в соломе, как по отдельным ценозам (-0,04…-0,13%), так и в целом по опыту (-0,06%). По утверждению (Завалин, 2003) содержание азота в вегетативных органах злаков связано с его реутилизацией при наливе зерна. Полнота оттока зависит от сроков и условий проведения уборки, аттрагирующей способности колоса в отношении питательных веществ (Гамзикова О.И., 1994). В исследованиях (Завалин, Пасынков, 2007) с увеличением доз азотного удобрения реутилизация азота из вегетативных органов в зерно пшеницы возрастала на 25,8% при отсутствии существенных изменений у гороха. Аналогичные изменения отмечены для полноты оттока азота в зерно.

Высокое содержание азота в вегетативных частях (стеблях, листьях, побегах) и зерне бобовых культур, обусловлено биологическими особенностями развития растений. В зерне гороха, полученном в смешанных агроценозах, содержание азота было на уровне 3,24…3,64% (табл. 7.7). С повышением доли бобового компонента в составе высеваемой смеси (25%→50%→75%) отмечалось увеличение концентрации N в зерне гороха, что отчасти связано со снижением конкуренции со стороны злакового компонента в посеве. Более высокое значение этого показателя (3,70%), было характерно для одновидового посева.

Таблица 7.7. Содержание N в зерне и соломе гороха посевного, % на а.с.в. (среднее за 3 года)

Состав агроценоза (фактор А)		Зерно			Среднее по А	Солома			Среднее по А
		N0	N30	N60		N0	N30	N60	
Пшеница 75% + горох 25%		3,18	3,22	3,31	3,24	1,36	1,52	1,35	1,41
Пшеница 50% + горох 50%		3,43	3,42	3,50	3,45	1,30	1,39	1,51	1,40
Пшеница 25% + горох 75%		3,56	3,70	3,66	3,64	1,45	1,29	1,34	1,36
Горох 100%		3,75	3,69	3,65	3,70	1,48	1,37	1,41	1,42
Среднее по В,		3,48	3,51	3,53	$НСР_{05}$ гл. эфф.	1,40	1,39	1,40	$НСР_{05}$ гл. эфф.
$НСР_{05}$ гл. эфф.		0,04			0,07	0,06			0,07
$НСР_{05}$ для частных различий по фактору	А	0,12				0,13			
	В	0,08				0,12			

При внесении N-удобрения, в целом по опыту наблюдалась тенденция к повышению содержания азота в зерне. Содержание N в соломе гороха варьировало не значительно, при отсутствии чёткой зависимости от состава агроценоза и доз N-удобрения.

В одновидовом посеве гороха суммарный вынос азота урожаем в 1,6…2,5 раза выше, чем в одновидовом посеве пшеницы (табл. 7.8). Для посевов злакового компонента характерно увеличение выноса на 7,2…12,6 кг/га при внесении N-удобрения. Для гороха отмечалась обратная тенденция – снижение выноса на 6,6…22,6 кг/га. Для смешанных посевов с преобладанием пшеницы и при равном соотношении компонентов, наблюдалось увеличение выноса N пшеницей и горохом при использовании N-удобрения. В случае преобладания в смеси гороха количество N, накопленное в урожае, было близким по содержанию и по тенденции его одновидовому посеву.

Эффективность использования сельскохозяйственными культурами N оценивается по его накоплению в урожае между основной (зерно) и побочной (солома) продукцией. Потребленный растениями пшеницы и гороха N, в одновидовых и смешанных посевах, большей частью накапливался в зерне. Азотный индекс в среднем по опыту для яровой пшеницы составлял 0,77, для посевного гороха – 0,66. В зависимости от состава смеси и доз N-удобрения индекс хозяйственного использования изменялся не значительно, так как это определяется преимущественно генотипическими особенностями культур (Завалин, Соколов, 2016). Более весомый вклад в вынос азота зерном (68,1…70,3%), в смеси с равным соотношением компонентов (пшеница 50% + горох 50%), внёс горох, за счёт более высокой концентрации N в зерне. В остальных смесях преимущество было за преобладающей культурой в составе.

Таблица 7.8. Вынос урожаем, эффективность использования и баланс азота в почве при возделывании яровой пшеницы и посевного гороха на зерно в одновидовых и смешанных агроценозах (среднее за 3 года)

Вариант	Пшеница 100%			Пшеница 75% + горох 25%			Пшеница 50% + горох 50%			Пшеница 25% + горох 75%			Горох 100%		
	N0	N30	N60	N0	N30	N60	N0	N30	N60	N0	N30	N60	N0	N30	N60
Вынос урожаем, кг/га															
Пшеницей	46,7	53,9	59,3	40,3	44,7	54,9	28,8	29,1	32,4	17,6	18,7	16,7			
Горохом				33,6	35,8	37,5	76,0	84,3	86,4	89,0	87,0	73,9	116,6	110,0	94,0
Индекс хозяйственного использования ($К_{хоз.}$)															
Пшеницы	0,74	0,77	0,77	0,41	0,42	0,45	0,21	0,21	0,22	0,13	0,14	0,15			
Гороха				0,29	0,28	0,27	0,49	0,49	0,47	0,54	0,57	0,55	0,66	0,67	0,67
Коэффициент использования азота из удобрения ($КИУ_N$), %															
Пшеницей	–	24,1	21,1	–	14,5	24,3	–	1,1	5,9	–	3,4	-			
Горохом				–	7,2	6,5	–	27,7	17,4	–	-	-	–	-	-
Оплата азотного удобрения прибавкой урожая зерна, кг/кг															
Пшеницей		10,3	8,6	–	6,2	8,3	–	1,8	2,1	–	1,4	-			
Горохом				–	0,3	1,0	–	4,3	1,7	–	-	-	–	-	-
Создано зерна на 1 кг потребленного азота, кг															
Пшеницей	44,6	44,3	43,8	42,3	42,3	40,1	38,1	39,5	37,9	36,6	36,8	36,7			
Горохом				20,2	19,2	19,8	19,5	19,1	18,3	18,4	18,6	18,5	17,6	18,3	18,2
Прибавки массы зерна на единицу потребленного азота, кг															
Пшеницей	–	5,7	8,7	–	4,2	9,0	–	1,8	4,0	–	2,2	-			
Горохом				–	0,2	1,7	–	1,5	1,2	–	-	-	–	-	-
Прибавка зерна на 1 кг азота, потребленного из удобрения, кг															
Пшеницей	–	42,8	40,8	–	42,9	34,1	–	67,0	36,1	–	40,0	-			
Горохом				–	4,0	15,8	–	15,7	9,7	–	-	-	–	-	-
Потребление (вынос) азота 1 т зерна, кг															
Пшеницей	22,4	18,8	19,0	19,7	19,7	20,8	21,9	21,1	22,0	22,8	22,6	22,7			
Горохом				49,5	52,0	50,6	51,2	52,2	54,5	54,5	53,8	54,0	56,7	54,8	54,8
Баланс азота в почве, кг/га															
Общий	-31,3	-10,6	8,0	-43,6	-21,1	-8,9	-57,5	-34,6	-15,3	-53,2	-26,3	8,3	-48,2	-16,0	17,8
Интенсивность, %	32,9	82,4	111,3	43,7	76,5	91,8	48,7	72,9	89,0	53,8	78,0	107,6	62,4	87,4	115,4

Коэффициент использования растениями пшеницы азота удобрения в смеси пшеница 75% + горох 25% составлял 14,5…24,3%, что близко к уровню в одновидовом посеве. Уменьшение $КИУ_N$ на 13,4…18,4% отмечено при снижении доли пшеницы в смеси до 50%. $КИУ_N$ горохом в смеси возрастал на 20,5…10,9% при увеличении его доли в посеве с 25% до 50%. Отрицательные значения $КИУ_N$ пшеницей и горохом наблюдали в смеси пшеница 25% + горох 75%, что обусловлено снижением семенной продуктивности культур в этом посеве при внесении азотного удобрения. Аналогичная тенденция отмечена в одновидовом посеве гороха.

Более высокая оплата 1 кг N удобрения прибавкой урожая зерна, соответствующая региональным нормативам окупаемости минеральных удобрений прибавкой урожая зерновых культур (Региональные нормативы …, 2016), получена пшеницей в одновидовом посеве (8,6…10,3 кг/кг), а горохом (4,3 кг/кг) в смеси с равным сочетанием компонентов (пшеница 50% + горох 50%). Максимальная суммарная прибавка урожая зернового вороха от 1 кг N (9,3 кг), получена в смеси пшеница 75% + горох 25% при внесении N60.

Больше всего зерна (43,8…44,6 кг) на 1 кг потребленного азота было создано в одновидовом посеве пшеницы. При включении и последующем увеличении доли гороха в посеве (25%→50%→75%→100%) происходило снижение эффективности использования азота и количества зерна, созданного за счёт его потребления. Использование возрастающих доз азотного удобрения в смесях, где доля пшеницы в составе была свыше 25% и одновидовом посеве злака (пшеница 100%), способствовало снижению этого показателя на 0,5…0,9 кг.

Прибавка массы зерна на 1 кг потребленного азота в смешанных посевах не превышала значения для пшеницы (5,7…8,7 кг) и гороха (1,2…1,7 кг) в одновидовых посевах. Увеличение дозы азотного удобрения приводило к снижению количества созданного зерна на 1 кг N, потреблённого из удобрения. Больше зерна гороха на 1 кг потребленного азота (15,7…15,8 кг) создано при внесении N30 в смеси с равным долевым участием культур (пшеница 50% + горох 50%) или при внесении N60 в посеве пшеница 75 + горох 25%.

Вынос азота 1 т зерна, прежде всего, изменялся в соответствии с долевым участием гороха в составе изучаемых агроценозов и лишь потом от доз азотного удобрения. В обоих случаях наблюдался планомерный рост потребляемого количества N не только злаковой, но и бобовой культурой. При этом использование азотного удобрения определённым образом сдерживало изменение количества потреблённого азота при увеличении доли гороха в составе смешанного посева с 4,9 кг/т до 4,6 кг/т и 4,4 кг/т у пшеницы и с 7,3 кг/т до 2,8 кг/т и 4,2 кг/т у гороха. Полученные значения по выносу азота отличаются от существующих нормативов по затратам элементов питания для получения 1 т зерна с соответствующим количеством соломы (Нормативы выноса…, 1991). Это связано с тем, что нормативы были разработаны на основании опытов географической сети, проведенных в различных почвенно-климатических условиях страны с использованием существующего на тот момент селекционного материала. Современные адаптивные сорта зерновых культур используют намного меньше азота для формирования урожая.

На практике величины выноса используют для расчета баланса элементов питания в севооборотах (Сычев, 2019) и выстраивания систем применения удобрений (Кидин, 2009). Допустимый при очень высоком уровне плодородия почвы отрицательный (-8,9…-15,3 кг/га) и близкий к нулевому (+8,3…+17,8) баланс азота, получен после смешанных и одновидового агроценозов гороха (прил. 65), при условии внесения азотного удобрения в дозе 60 кг д.в./га. При отсутствии дополнительного поступления азота с удобрением, наблюдался резко отрицательный баланс азота в посевах гороха (-43,6…-57,5 кг/га), даже не смотря на поступление в почву $N_{фикс.}$ бобовой культурой. Отчуждение из почвы этого количества азота, в пересчете на подвижные формы, составляет 14…19 мг/кг почвы.

Интенсивность баланса N в почве, после возделываемых на зерно смешанных агроценозов пшеницы и гороха, изменялась в соответствии с дозировкой вносимого азотного удобрения и составляла 43,7…91,8%. Превалирование приходной части баланса N в почве (107,6%) наблюдалось внесении N60 в посеве пшеница 25 + горох 75%. Отсутствие внесения N-удобрений приводит к снижению

обеспеченности почвы азотом. Обозначенный параметр указывает на проявление слабой способности современных сортов гороха к симбиотрофному питанию азотом атмосферы. Решение данной проблемы возможно за счёт селекции (Назарюк и др., 2007), использования соответствующих микробиологических биопрепаратов (Завалин, 2005; Тихонович и др., 2005; Завалин, Алметов, 2009) и других приёмов, направленных на усиление процесса N_2-фиксации.

7.3. Эффективность потребления азота викой озимой в одновидовом и смешанных агроценозах с тритикале озимой

Озимые зерновые культуры требовательны к уровню азотного питания. Недостаток азота особенно на ранних стадиях критичен для урожая, а избыток – вреден (Воробьев, Козлова, 2021). Поэтому создание оптимальных условий питания в течение вегетации, имеет важное значение для обеспечения их высокой продуктивности. Если дозы и сроки внесения азотного удобрения подобраны грамотно, то азот, внесенный с минеральными удобрениями, хорошо усваивается растениями. В итоге растения формируют высокий урожай с хорошим качеством и большую массу растительных остатков.

Суммарный вынос азота с урожаем зерносенажной массы определялся её урожайностью и концентрацией в ней N. Варьирование этих показателей в среднем за 3 года и по годам проведения исследований, обусловлено долевым участием озимой вики в сформированных агроценозах и дозами азотного удобрения (прил. 66). Накопление N в зерносенаже, полученном в одновидовых и смешанных агроценозах тритикале и вики, в среднем за 3 года, представлено в таблице 7.9.

Концентрация азота в составе зерносенажной массы повышалась с увеличением доли озимой вики в составе высеваемой смеси (25%→50%→75%) и доз азотного удобрения (N0→N30→N45→N60). На фоне N0 за счёт включения вики происходило увеличение содержания азота на 0,17…0,98%, что соответствует тенденции, отмеченной для опыта в целом (0,23…0,93%).

Таблица 7.9. Содержание N в зерносенаже одновидовых и смешанных агроценозов озимой тритикале и озимой вики, % на а.с.в. (среднее за 3 года)

Состав агроценоза (фактор А)		Дозы азота (фактор В)				Среднее по А
		N0	N30	N45	N60	$НСР_{05}$ гл. эфф. = 0,18
Тритикале 100%		1,62	1,74	1,82	1,92	1,77
Тритикале 75% + вика 25%		1,79	1,92	2,09	2,19	2,00
Тритикале 50% + вика 50%		2,13	2,24	2,37	2,48	2,30
Тритикале 25% + вика 75%		2,30	2,45	2,52	2,62	2,48
Вика 100%		2,60	2,66	2,74	2,80	2,70
Среднее по В, $НСР_{05}$ гл. эфф. = 0,05		2,09	2,20	2,31	2,40	
$НСР_{05}$ для частных различий по фактору	А	0,37				
	В	0,10				

За счёт внесения возрастающих доз N-удобрения, наблюдалось последовательное увеличение содержания N в биомассе зерносенажа всех агроценозов. Увеличение доли озимой вики в смеси, является более весомым агротехническим приёмом по сравнению с использованием N-удобрения, для увеличения содержания N и сбора азотсодержащих протеиновых соединений с урожаем зерносенажной массы.

В составе одновидового посева озимая вика вынесла в 1,2…2,9 раза больше азота, чем тритикале (табл. 7.10). Среди смешанных посевов, больше N (133,9…179,8 кг/га) было накоплено в смеси с преобладанием бобового компонента (тритикале 25% + вика 75%). При этом соотношении компонентов, коэффициент использования N из удобрения ($КИУ_N$) составил 29,4…101,9%. В смешанном посеве с преобладанием тритикале (тритикале 75% + вика 25%) или равном долевом соотношении компонентов (тритикале 50% + вика 50%), азот использовался ещё более эффективно – на 69,7…110,1% и 63,2…118,0% соответственно. Это связано с потреблением из почвы растениями экстра-азота, образующегося при внесении N-удобрений (Завалин, Соколов, 2019). Поэтому в смешанных посевах озимой вики с рожью, пшеницей и тритикале поглощение питательных веществ происходит на 15-20% интенсивнее, чем в одновидовых посевах. Вместе с этим в биохимическом составе злаковых компонентов смесей, наблюдалось увеличение содержания белка (на 1-3%) и жира на (0,5-1,5%) (Коренев и др., 1990). Оплата 1 кг N, прибавкой урожая зерносенажа в одновидовом посеве тритикале, составляла 36,6…42,5 кг. При возделывании озимой вики положительное значение (12,7 кг/кг) получено только при внесении 30 кг N/га. При последующем увеличении дозировки азотного удобрения, отмечено снижение урожайности.

Таблица 7.10. Вынос урожаем, эффективность использования и баланс азота в почве при возделывании озимой тритикале и озимой вики на зерносенаж в одновидовых и смешанных агроценозах (среднее за 3 года)

Тритикале 100%				Тритикале 75% + вика 25%				Тритикале 50% + вика 50%				Тритикале 25% + вика 75%				Вика 100%			
N0	N30	N45	N60	N0	N30	N45	N60	N0	N30	N45	N60	N0	N30	N45	N60	N0	N30	N45	N60
Вынос урожаем, кг/га																			
43,9	66,1	84,1	96,7	93,1	114,0	140,6	159,2	121,3	140,2	174,4	177,3	133,9	152,5	179,8	151,6	128,0	141,6	131,6	118,8
Коэффициент использования азота из удобрения ($КИУ_N$), %																			
–	74,0	89,3	88,0	–	69,7	105,6	110,1	–	63,2	118,0	93,4	–	62,0	101,9	29,4	–	45,2	8,0	-15,4
Оплата азотного удобрения прибавкой урожая зерносенажа, кг/кг																			
–	36,6	42,5	38,7	–	24,3	33,8	34,3	–	19,0	36,9	24,1	–	14,0	29,1	-0,6	–	12,7	-2,9	-11,5
Создано зерносенажной массы на 1 кг потребленного азота, кг																			
61,7	57,6	55,0	52,0	55,9	52,0	47,8	45,6	47,0	44,7	42,2	40,3	43,4	40,9	39,6	38,1	38,5	37,5	36,5	35,7
Прибавки массы зерносенажа на единицу потребленного азота, кг																			
–	16,6	22,8	24,0	–	6,4	10,8	12,9	–	4,1	9,5	8,2	–	2,7	7,3	-	–	2,7	-	-
Прибавка зерносенажной массы на 1 кг азота потребленного из удобрения, кг																			
–	49,4	47,6	44,0	–	34,8	32,0	31,1	–	30,1	31,2	25,8	–	22,5	28,6	-	–	28,0	-	-
Потребление (вынос) азота 1 т зерносенажа, кг/т																			
16,2	17,4	18,2	19,2	17,9	19,2	20,9	21,9	21,3	22,4	23,7	24,8	23,0	24,5	25,2	26,2	26,0	26,6	27,4	28,0
Баланс азота в почве, кг/га																			
-30,1	-24,3	-30,3	-30,9	-65,8	-56,3	-68,3	-72,9	-77,7	-64,8	-79,8	-71,1	-74,6	-60,5	-66,9	-36,9	-69,2	-49,9	-31,5	-11,3
Интенсивность баланса, %																			
31	66	67	72	32	55	56	59	40	58	59	64	49	65	67	79	50	69	79	92

В смешанных посевах (тритикале 75% + вика 25%, тритикале 50% + вика 50%), оплата 1 кг N была на уровне 19,0…36,9 кг зерносенажной массы. При увеличении доли вики в посеве, снижалась в 1,2-1,7 раза. Отсутствие оплаты азотного удобрения прибавкой урожая при внесении N60 в посеве тритикале 25% + вика 75%, связано с повышением облиственности, сильным израстанием растений и полеганием посевов, что приводило к непроизводственным потерям урожая.

Эффективность использования азота в посевах оценивалась по количеству зерносенажной массы созданной на 1 кг потреблённого азота. В зависимости от дозы азотного удобрения, озимая тритикале на 1 кг N формировала 61,7…52,0 кг зерносенажной массы, что в 1,6-1,5 раза больше, чем создавала в одновидовом посеве озимая вика. В среднем по опыту, при увеличении доли вики в составе посева и дозы азотного удобрения, отмечалось снижение эффективности использования азота. Прибавка урожайности зерносенажа на 1 кг потребленного азота в смешанных агроценозах составила 2,7…12,9 кг. Максимально использовался потреблённый азот на формирование прибавки урожая зерносенажа (16,6…24,0 кг) в одновидовом посеве озимой тритикале. Значение признака увеличивалось пропорционально дозе азотного удобрения. За счёт азота, потреблённого из удобрения, в смешанных посевах дополнительно сформировано от 22,5…28,6 кг до 31,1…34,8 кг зерносенажа. Максимальные значения приведённых показателей в одновидовом посеве тритикале указывают на определяющее значение азота в питании и формировании урожая озимых злаковых культур. Напротив, снижение отзывчивости смешанных агроценозов на внесение возрастающих доз азотного удобрения, наблюдается в опыте при увеличении доли вики в составе высеваемой смеси и формируемого агроценоза.

Вынос азота 1 т зерносенажной массы в посеве озимой тритикале составляет 16,2…19,2 кг/т, в посеве озимой вики 26,0…28,0 кг/т, что согласуется с результатами других исследователей (Коренев, Житин, 1991; Майсак, Волошин, 2016) и существующими нормативами. Смешанные посевы занимали промежуточное значение по потреблению азота на формирование 1 тонны зерносенажа. При увеличении

доли вики в посевной норме (0%→25%→50%→75%→100%), вынос азота увеличивался на 1,7…3,4 кг, 1,8…3,1 кг, 1,6…2,8 кг и 1,4…2,9 кг соответственно.

Особый интерес представляют результаты, характеризующие поступление, расход и баланса азота в почве, при включении смешанных посевов озимой тритикале и озимой вики в состав севооборотов (прил. 67). По всем смешанным и одновидовым агроценозам наблюдался отрицательный баланс азота. Более низкие значения признака (-36,9…-79,8 кг/га) отмечены в опыте по смешанным посевам. Это связано с получением большей урожайности и, как следствие, более высоким выносом азота. Именно вынос азота с урожаем зерносенажной массы являлся основной расходной статьёй при формировании баланса азота. С увеличением дозы азота снижалась доля расходной части баланса за счёт выноса азота с урожаем. После смешанных и одновидового посева озимой вики получен отрицательный баланс азота, даже не смотря на его поступление за счёт симбиотической азотфиксации. Объёмы последней, компенсировали расходную часть баланса N только на 14,7…39,7% после смесей и на 37,6…41,0% после одновидовых посевов. Использование даже максимальной дозы азотного удобрения (N60) не позволяет приблизить полученные значения по балансу к бездефицитному уровню. При таком остродефицитном балансе азота значительная доля урожая формируется за счет минерализованного азота почвы при незначительном объёме непроизводственных потерь (Кудеяров, 2020). При соотнесении результатов по балансу с данными по выносу азота с урожаем зерносенажа, полученный уровень признака по одновидовым (-9,5…-68,7%) и смешанным (-24,3…-70,6%) посевам не соответствует требованиям к балансу азота за севооборот (Силина и др., 2017). Интенсивность баланса азота после смешанных посевов, при отсутствии внесения азотного удобрения не превышает 50%. При использовании азотного удобрения уровень признака повышается до 59…79%, но всё же очень далёк от бездефицитного. Это указывает на необходимость использования более высоких доз азотных удобрений при возделывании одновидовых и смешанных агроценозов озимой тритикале и озимой вики на зерносенаж в условиях Предуралья.

Зерно. Урожайность, биохимический и элементный состав основной и побочной продукции, при возделывании озимой тритикале и озимой вики в одновидовых и смешанных агроценозах для получения фуражного зерна, определялись сочетанием компонентов в составе агроценозов и дозами азотного удобрения. Результаты исследований по годам представлены в приложениях 68-71. Содержание N в зерне и соломе тритикале, в зависимости от состава агроценоза, представлено в таблице 7.11.

Таблица 7.11. Содержание N в зерне и соломе озимой тритикале, % на а.с.в. (среднее за 3 года)

Состав агроценоза (фактор А)		Зерно				Среднее по А	Солома				Среднее по А
		N0	N30	N45	N60		N0	N30	N45	N60	
Тритикале 100%		1,87	2,08	2,18	2,29	2,11	0,56	0,57	0,55	0,51	0,55
Тритикале 75% + вика 25%		2,10	2,26	2,36	2,43	2,29	0,55	0,52	0,52	0,51	0,52
Тритикале 50% + вика 50%		2,26	2,38	2,50	2,60	2,43	0,47	0,46	0,44	0,43	0,45
Тритикале 25% + вика 75%		2,41	2,49	2,56	2,63	2,52	0,42	0,42	0,41	0,41	0,42
Среднее по В, $НСР_{05}$ гл. эфф.		2,16	2,30	2,40	2,49	$НСР_{05}$ гл. эфф. = 0,23	0,50	0,49	0,48	0,47	$НСР_{05}$ гл. эфф. = 0,06
		0,05					0,04				
$НСР_{05}$ для частных различий по фактору	А	0,46					0,13				
	В	0,10					0,08				

В смешанных агроценозах наблюдалась оптимизация азотного питания злакового компонента, поэтому содержание азота в зерне озимой тритикале было выше, чем в одновидовом посеве на 0,18…0,41%. При внесении азотного удобрения также наблюдали изменение уровня азотного питания растений (N0→N30→N45→N60), которое сопровождалось повышением содержания азота в зерне озимой тритикале на 0,14…0,33%. При возделывании озимой тритикале в смешанном агроценозе с озимой викой (тритикале 25% + вика 75%), можно добиться более существенного увеличения содержания азота в зерне злаковой культуры, чем за счёт применения в подкормку азотного удобрения в дозе 60 кг д.в./га. При использовании азотного удобрения в смешанных посевах тритикале с викой наблюдается синергический эффект от использования этих приёмов. Поэтому более высокое значение этого показателя в целом по опыту (2,63%), было характерным для агроценоза тритикале 25% + вика 75% при внесении N60. Отмеченный эффект связан с оптимизацией азотного питания злака при увеличении общего пула поступающих посредством экзоосмоса азотистых веществ в ризосферу вики

и увеличения количества доступного для питания растений азота, за счёт его поступления с удобрением. При выращивании зерновых злаковых культур в смешанных посевах с зернобобовыми, наблюдается увеличение содержания N-содержащих компонентов в зерне и вегетативной массе злакового компонента (Corre-Hellou et al., 2006).

Концентрация азота в соломе тритикале зависела от доли вики в агроценозе и дозировки азотного удобрения. В обоих случаях наблюдалась тенденция к снижению содержания N в соломе на 0,03…0,13%. По утверждению (Завалин, 2003) содержание азота в соломе злаковых культур связано с возможностью и полнотой его реутилизацией при созревании зерна. Последняя, зависит от условий и сроков проведения уборки, аттрагирующей способности колоса тритикале в отношении питательных веществ (Гамзикова, 1994). С увеличением доз N-удобрения возрастает реутилизация азота и полнота его оттока из вегетативных органов в зерно тритикале.

В зерне озимой вики, полученном в смешанных агроценозах, содержание азота было на уровне 3,73…4,18% (табл. 7.12). С повышением доли бобового компонента в составе высеваемой смеси (25%→50%→75%) отмечалось увеличение концентрации N в зерне и соломе вики. Прежде всего это связано со снижением конкуренции со стороны злакового компонента в посеве. Более высокое значение этого показателя (4,45%), было характерно для одновидового посева при отсутствии азотного удобрения (N0).

Таблица 7.12. Содержание N в зерне и соломе озимой вики, % на а.с.в. (среднее за 3 года)

Состав агроценоза (фактор А)		Зерно				Среднее по А	Солома				Среднее по А
		N0	N30	N45	N60		N0	N30	N45	N60	
Тритикале 75% + вика 25%		3,73	3,84	3,92	3,73	3,81	1,39	1,41	1,43	1,42	1,41
Тритикале 50% + вика 50%		3,86	3,84	3,83	3,75	3,82	1,42	1,42	1,41	1,42	1,42
Тритикале 25% + вика 75%		4,18	4,07	3,94	3,82	4,00	1,45	1,45	1,43	1,42	1,44
Вика 100%		4,45	4,32	4,18	4,07	4,26	1,49	1,47	1,45	1,44	1,46
Среднее по В, $НСР_{05}$ гл. эфф.		4,06	4,02	3,97	3,84	$НСР_{05}$ гл. эфф. = 0,26	1,44	1,44	1,43	1,42	$НСР_{05}$ гл. эфф. = 0,08
		0,13					0,02				
$НСР_{05}$ для частных различий по фактору	А	0,52					0,15				
	В	0,26					0,05				

При внесении N-удобрения, в целом по опыту, наблюдалась тенденция к снижению содержания азота в зерне и соломе озимой вики. Увеличение доли злакового компонента в посеве и повышение дозы N-удобрения имели достаточно схожий вектор и

механизм действия на содержание N в зерне озимой вики. Это действие было основано на снижении самообеспеченности растений вики азотом. В случае наращивания доли злакового компонента это обуславливалось растущей конкуренцией за N почвы и вносимого удобрения. Внесение N-удобрения, оказывало ингибирующее действие на развитие симбиотического аппарата на корневой системе растений вики (см. раздел 3.3). Содержание N в соломе бобового компонента варьировало не столь значительно, при отсутствии чёткой зависимости от состава агроценоза и доз N-удобрения.

Суммарный вынос N урожаем основной и побочной продукции зависел от формируемой урожайности и содержания N в зерне и соломе озимых зерновых культур. В одновидовом посеве тритикале, вынос азота урожаем в 1,3…1,6 раза выше при использовании N-удобрения (табл. 7.13). В монопосеве вики, наблюдали обратную тенденцию. С увеличением дозы N-удобрения вынос урожаем уменьшился в 1,3…1,6 раза из-за существенного снижения урожайности зерна. Обозначенная тенденция сохранилась во всех смешанных посевах. Для смешанных посевов с преобладанием злакового компонента или равным соотношением компонентов в смеси, наблюдалось увеличение выноса N тритикале при увеличении дозировки N-удобрения до 45 кг д.в./га. В смеси тритикале 25% + вика 75% отмечалось снижение выноса N урожаем тритикале с увеличением дозы азота.

Эффективность использования сельскохозяйственными культурами азота оценивается по его накоплению в урожае между основной (зерно) и побочной (солома) продукцией. Потребленный растениями тритикале и вики азот, в одновидовых и смешанных посевах, большей частью накапливался в зерне. Азотный индекс для озимой тритикале в одновидовом посеве составлял 0,69…0,75. В смешанных посевах снижался пропорционально снижению долевого присутствия злакового компонента в смеси в среднем до 0,59, 0,53 и 0,37. В одновидовом посеве озимой вики величина азотного индекса не превышала 0,46. Соответственно и снижение показателя было более существенным (до 0,39, 0,37 и 0,32) при снижении доли вики в высеваемой смеси. Объяснение этому кроется в низкой семенной продуктивности растений озимой вики, которая обусловлена генотипическими особенностями культуры (Завалин, Соколов, 2016).

Таблица 7.13. Вынос урожаем, эффективность использования и баланс азота в почве при возделывании озимой тритикале и озимой вики на зерно в одновидовых и смешанных агроценозах (среднее за 3 года)

Вариант	Тритикале 100%				Тритикале 75% + вика 25%				Тритикале 50% + вика 50%				Тритикале 25% + вика 75%				Вика 100%			
	N0	N30	N45	N60	N0	N30	N45	N60	N0	N30	N45	N60	N0	N30	N45	N60	N0	N30	N45	N60
Вынос азота урожаем, кг/га																				
Тритикале	54,3	69,3	81,1	89,2	73,1	85,9	105,8	101,9	55,3	75,6	81,1	76,5	41,7	40,7	40,3	39,1				
Вика					18,4	14,0	13,0	9,6	31,0	30,3	23,4	15,4	51,0	39,6	30,7	21,7	99,2	76,0	70,7	61,8
Индекс хозяйственного использования азота ($К_{хоз.}$)																				
Тритикале	0,69	0,71	0,73	0,75	0,51	0,59	0,63	0,65	0,43	0,51	0,57	0,62	0,31	0,34	0,39	0,43				
Вика					0,11	0,08	0,06	0,05	0,20	0,16	0,13	0,09	0,32	0,28	0,22	0,18	0,46	0,39	0,37	0,32
Коэффициент использования азота из удобрения ($КИУ_N$), %																				
Тритикале	–	50,2	59,6	58,2	–	42,7	72,8	48,2	–	67,6	57,5	35,3	–	-	-	-				
Вика					–	-	-	-	–	-	-	-	–	-	-	-	–	-	-	-
Оплата азотного удобрения прибавкой урожая зерна, кг/кг																				
Тритикале	–	12,1	15,5	15,2	–	11,8	20,8	12,4	–	21,3	16,7	8,9	–	-	-	-				
Вика					–	-	-	-	–	-	-	-	–	-	-	-	–	-	-	-
Создано зерна на 1 кг потребленного азота, кг																				
Тритикале	36,8	34,0	33,3	32,6	30,6	30,2	30,0	29,2	29,6	30,1	29,4	28,4	28,3	27,0	26,9	25,5				
Вика					15,0	14,7	14,7	14,1	14,6	14,7	14,8	13,9	13,8	14,1	12,9	13,0	10,4	9,0	8,8	7,9
Прибавки зерна на единицу потребленного азота, кг																				
Тритикале	–	5,2	4,2	2,4	–	4,1	8,8	7,3	–	8,5	9,2	7,0	–	-	-	-				
Вика					–	-	-	-	–	-	-	-	–	-	-	-	–	-	-	-
Прибавка зерна на 1 кг азота, потребленного из удобрения, кг																				
Тритикале	–	24,1	26,1	26,1	–	27,6	28,6	25,8	–	31,5	29,0	25,3	–	-	-	-				
Вика					–	-	-	-	–	-	-	-	–	-	-	-	–	-	-	-
Потребление (вынос) азота 1 т зерна, кг																				
Тритикале	27,2	29,4	30,1	30,7	32,7	33,1	33,4	34,2	33,8	33,2	34,0	35,2	35,3	37,0	37,1	39,1				
Вика					66,5	68,1	68,2	70,8	68,5	68,2	67,7	71,7	72,3	71,1	77,7	77,1	95,8	110,8	113,6	126,4
Баланс азота в почве, кг/га																				
Общий	-22,4	-6,2	-3,9	0,3	-20,6	-2,5	-7,0	9,4	0,1	10,1	18,6	37,7	14,9	48,7	65,1	81,9	25,9	65,2	80,4	96,8
Интенсивность, %	40	89	94	100	67	97	93	110	100	112	120	144	120	169	198	231	143	233	266	316

Только в смешанном посеве с преобладанием озимой вики (тритикале 25% + вика 75%) индекс $К_{хоз.}$ азота был близким по значению для обоих компонентов, за счёт снижения доли злака и более высокой концентрации N в зерне бобовой культуры.

Более высокий коэффициент использования азота из удобрения у растений тритикале был в смешанных посевах (тритикале 75% + вика 25%, тритикале 50% + вика 50%). В первом случае, максимальное значение $КИУ_N$ (72,8%) внутри смеси тритикале 75% + вика 25% было при внесении N45. Во втором случае, при увеличении доли вики (тритикале 50% + вика 50%) максимум (67,6%) был при внесении N30. Отрицательные значения $КИУ_N$ у тритикале, наблюдались в смеси тритикале 25% + вика 75%. Это было обусловлено снижением общей семенной продуктивности посева и конкретно культуры в этом посеве из-за сильного полегания посева при внесении азотного удобрения. Во всех смешанных и одновидовом посеве озимой вики фиксировалось снижение семенной продуктивности растений при внесении азотного удобрения. Причинно-следственная связь этого аспекта подробно рассмотрена ранее по тексту работы.

Более высокая оплата азотного удобрения прибавкой урожая зерна тритикале (20,8 кг/кг и 21,3 кг/кг), получена в смешанных посевах при максимально высоких $КИУ_N$. Наибольшая суммарная (тритикале + вика) прибавка урожая зерна (21,0 кг) от 1 кг N, внесённого в качестве ранневесенней подкормки, получена в смеси тритикале 50% + вика 50% при внесении N30.

Больше всего зерна (32,6…36,8 кг) на 1 кг потребленного азота было создано в одновидовом посеве озимой тритикале. При включении и последующем увеличении доли вики в агроценозе (25%→50%→75%) эффективность использования азота злаковым компонентом снижалась на 1,2…1,4…2,8 кг. Аналогичное снижение на 0,4…0,7…1,8 кг прослеживалось при использовании азотного удобрения. Количество зерна, созданное при потреблении 1 кг азота в смешанных и одновидовом посеве озимой викой, варьировало от 7,9 до 15,0 кг.

Прибавка зерна на 1 кг потребленного тритикале азота в одновидовом посеве составила от 5,2 кг (N30) до 2,4 кг (N60). В смешанных посевах (тритикале 75% + вика 25%, тритикале 50% + вика 50%) значения признака для тритикале были

выше на 3,2…5,1 кг. При увеличении дозы азота наблюдалось снижение общего количества зерна созданного на 1 кг N потреблённого из удобрения. Для зернобобовой культуры получены отрицательные значения признака.

Вынос азота с 1 т зерна тритикале прежде всего изменялся от доз азотного удобрения и лишь потом от соотношения компонентов в посеве. По озимой вике напротив, более существенное варьирование показателя (σ± 2,7%) отмечено при изменении состава агроценоза. Важно отметить, что при оптимизации азотного питания тритикале, за счёт внесения азотного удобрения и наращивания доли бобового компонента в посеве, наблюдалось увеличение выноса азота 1 тонной зерна с соответствующим количеством соломы с 27,2…30,7 кг до 35,3…39,1 кг. Для формирования 1 т зерна в одновидовом и смешанных агроценозах, озимой вике потребовалось значительно больше азота.

Оценка значений по выносу элементов питания 1 т зерна по сравнению с действующими в настоящее время нормативами (Нормативы выноса… 1991) указала на некоторые различия. Это связано с тем, что нормативы были разработаны с использованием существующего на тот момент селекционного материала. Современные адаптивные сорта зерновых культур используют намного меньше азота для формирования урожая.

Положительный баланс азота в почве наблюдался после одновидового (25,9…96,8 кг/га) и смешанных (10,1…81,9 кг/га) агроценоз вики (тритикале 50% + вика 50%, тритикале 25% + вика 75%). В смеси с преобладанием злака (тритикале 75% + вика 25%) бездефицитный баланс (9,4 кг/га) получен только при внесении N60 (прил. 72). Интенсивность баланса N в почве увеличивается пропорционально увеличению долевого присутствия озимой вики в составе формируемых агроценозов и увеличении дозировки N-удобрения. Отсутствие внесения N-удобрений приводит к снижению обеспеченности почвы азотом. Обозначенный параметр указывает на слабую микробиологическую активность и азотмобилизующую способность органического вещества дерново-подзолистой почвы, связанную с накоплением подвижных минеральных форм азота в почве, а также недостаточную избирательность и возможность современных сортов вик к симбиотрофному питанию

азотом атмосферы. Решение этой проблемы возможно за счёт селекционных достижений (Назарюк, 2007) и приёмов, направленных на создание комфортных условий для протекания азотфиксации и сопряжённых с ней микробиологических процессов (Чухина, Суров, 2014; Тихонович, Завалин, 2016).

За счёт биологической азотфиксации нельзя полностью восполнить газообразные и инфильтрационные потери, вынос азота из почвы с урожаями гороха посевного, возделываемого на зерносенаж и зерно в одновидовых и смешанных агроценозах. Компенсация обозначенных статей затрат, за счёт фиксированного симбиотическим путём азота, наблюдается только при возделывании озимой вики на зерно в одновидовом и смешанном агроценозе тритикале 25% + вика 75%, благодаря сохранению у растений этого вида положительного баланса между авто- и симбиотрофным азотным питанием. В любом случае, частичная замена азота используемого для формирования урожая и привносимого с минеральными удобрениями или минерализуемого из запасов органического вещества почвы, за счёт фиксированного азота зернобобовыми культурами (горох посевной, вика озимая) возможна и необходима.

ГЛАВА 8. ОЦЕНКА ДЕЙСТВИЯ БИОЛОГИЧЕСКОГО АЗОТА, НАКОПЛЕННОГО ЗЕРНОБОБОВЫМИ КУЛЬТУРАМИ В ОДНОВИДОВЫХ И СМЕШАННЫХ АГРОЦЕНОЗАХ

При совершенствовании современных систем земледелия положительное суммарное влияние зернобобовых культур в севообороте является интегральным показателем. Оно обеспечивает благоприятную фитосанитарную обстановку в условиях агроценоза, оказывает положительное влияние на агрохимические и агрофизические свойства почвы, позволяет поддерживать групповой состав и активность микробного почвенного сообщества, сохранять устойчивость к эрозионным процессам (Кутакова, 1993; Kayser et al., 2010; Солодун и др., 2011; Kokare et al., 2014; Bedoussac et al., 2015; Кузмичева, Парахин, 2015). Правильно подобранный бобовый предшественник способствует повышению урожайности (Сенокосов, 2008; Соснина, 2009; Каракулев и др., 2010; Акманаев, Башкирцев, 2011; Олехов, Тетерлев, 2019) и кормовых качеств зерна злаковых культур Наумкин и др., 2009; Гаркуша, Усенко, 2010; Смуров и др., 2020). Биологический азот, накапливаемый бобовыми культурами в составе одновидовых и смешанных агроценозов, является экологичным источником пополнения запасов N в почве, поскольку при его поступлении наблюдается существенное сокращение газообразных потерь (Завалин и др., 2019). Накапливая значительный пул биологического азота, бобовые культуры стабилизируют круговорот веществ в системе «почва – растение», повышая устойчивость агрофитоценоза (Гурина, Кулинич, 2015; Сихарулидзе и др., 2016).

Положительную реакцию злаков на возделывание после бобовых (Chalk, 1998) связывает с непосредственным переносом биологически фиксированного N в составе поступающих в почву корневых остатков и соломы (1); менее интенсивным поглощением азота из почвы самими бобовыми культурами (в отличие от других культур) в процессе формирования собственного урожая (2), а также менее выраженной иммобилизацией азота при последующем разложении их пожнивно-корневых остатков (3). Усиление азотного питания после бобовых культур, по мнению (Суков, 1976; Трепачев, 1999), обусловлено ещё и тем, что при разложении оставленных ими

пожнивных и корневых остатков, отличающихся более узким соотношением C : N, усиливается мобилизация почвенного азота. Поэтому бобовому предшественнику принадлежит главная роль и в повышении эффективности действия и последействия азотных удобрений (Кушниренко, 1972).

Количество азота, получаемого небобовым растением от бобового предшественника, варьирует в пределах 0…110 кг/га и определяется внутривидовыми различиями растений (Парахин, Петрова, 2009). Накопленный в одновидовом посеве гороха биологический азот используется сельскохозяйственными культурами в первый и второй год последействия, а в некоторых случаях, и в последующие годы (Черепков, 1969; Назарюк, Калимуллина, 2016). На длительность и эффективность последействия биологического азота влияют различные экологические факторы (тип и свойства почвы, гидротермический режим, активность микроорганизмов, характер антропогенного воздействия) (Назарюк, 2002). Пролонгированное действие биологического азота, обусловленное генотипом предшественника, позволяет симбиотической азотфиксации вносить существенный вклад в запас почвенного азота и регулировать азотный режим почвы (Назарюк и др., 2009; Завалин и др., 2019).

8.1. Влияние биологического азота гороха посевного на урожайность и качество зерна овса ярового

Высокая питательная ценность объёмистых и концентрированных кормов, получаемых в посевах зернобобовых культур, далеко не единственное их достоинство. Перспективность их включения в состав севооборотов связана с выполнением важнейших агротехнических функций: повышением плодородия почвы, увеличением урожайности последующих культур, улучшением качества получаемой продукции. Благодаря этому горох является отличным предшественником для большинства небобовых сельскохозяйственных культур (Гамзиков, Шотт, 2007; Гурьев, 2012; Сидорова, Гончарова, 2012).

Оценка одновидовых и смешанных агроценозов зернобобовых культур в качестве предшественника связана с накоплением общего и симбиотически фик-

сированного азота в их урожае и пожнивно-корневых остатках. Использование последующими культурами севооборота азота, накопленного в составе ПКО бобовых культур, происходит постепенно, по мере их минерализации. Азот в составе активного органического вещества сразу же вовлекается в малый внутрипочвенный круговорот азота, для которого характерны иммобилизационно-минерализационные превращения. Благодаря включению симбиотически фиксированного азота происходит восполнение части растраченных ранее объёмов, наблюдается ускорение его оборачиваемости (Кузнецова и др., 2006).

Определение вклада биологического азота для формирования урожайности последующей зерновой культуры в севообороте представляет значительный научный и практический интерес. Полученная информация позволит сделать необходимые корректировки при разработке и внедрении адаптированных ресурсосберегающих систем применения удобрений для конкретных культур севооборота. Схема и формат проведённых исследований, позволяет произвести сравнение расчетного и фактического уровней прибавки урожайности последующей злаковой культуры (ярового овса) в звене севооборота (табл. 8.1).

Таблица 8.1. Расчётное количество усвоенного $N_{биол.}$ и величины прибавок урожайности зерна ярового овса при возделывании после одновидовых агроценозов гороха (среднее за 3 года)

Вариант	Агроинтел				Вельвет			
	используется $N_{биол.}$, кг/га		прибавка урожайности, т/га		используется $N_{биол.}$, кг/га		прибавка урожайности, т/га	
	A_0	A_1	A_0	A_1	A_0	A_1	A_0	A_1
N0	10,7	11,6	0,32	0,35	13,8	16,5	0,42	0,50
N30	11,6	12,2	0,35	0,37	15,9	18,3	0,48	0,55
N45	13,1	12,7	0,40	0,38	14,5	16,5	0,44	0,50
N60	13,4	14,7	0,41	0,44	13,7	15,5	0,42	0,47
N75	12,6	13,5	0,38	0,41	13,6	15,0	0,41	0,45
N90	12,3	12,8	0,37	0,39	12,3	13,9	0,37	0,42
N105	14,8	15,6	0,45	0,47	11,2	11,3	0,34	0,34
N120	12,5	13,1	0,38	0,40	10,3	9,0	0,31	0,27

После уборки одновидовых агроценозов гороха на зерно, производили заделку остающейся на поверхности почвы соломы, совместно с остальным количеством послеуборочных растительных остатков. За счёт этого в почву поступило 3,87…7,73 т/га свежего органического вещества. Органическое вещество ПКО го-

роха отличается более высоким содержанием N, в сравнении со злаковыми зерновыми культурами. Поэтому отношение C : N, в поступающих в почву ПКО (27,5…29,2), близко к таковому в составе тел микроорганизмов (C : N = 11-14). Это обуславливает краткосрочный процесс иммобилизации входящего в их состав азота в почве.

Обозначенные условия и параметры, указывают на возможность непосредственного использования растениями ярового овса, остаточного количества азота удобрения, внесённого под предшественник, а также минерализованного (реиммобилизированного) азота, поступающего в почву со свежим органическим веществом ПКО гороха, который будет доступен для использования через непродолжительный период времени. Объёмы последнего, при возделывании в качестве предшественника гороха сорта Агроинтел, составляют 10,7…15,6 кг/га. После сорта Вельвет, овсом могло потребляться 10,3…18,3 кг $N_{биол.}$/га. При обработке семян гороха инокулянтом, расчётное количество используемого овсом симбиотически фиксированного азота увеличивалось на 0,8…2,4 кг/га. Использование N-удобрения не имело выраженного положительного действия на величину рассчитываемого показателя.

Высокое качество ПКО обоих сортов гороха, не ограничивает возможность внесения их соломы и её непосредственную последующую заделку в почву под основные зерновые злаковые культуры. Величина расчётной прибавки урожайности зерна ярового овса, после сортов Агроинтел и Вельвет составила 0,32…0,47 т/га и 0,27…0,55 т/га. Эффективность использования рассматриваемых в опыте удобрений, чаще носила положительный, но не устойчивый характер.

Условия постановки исследования в звене севооборота, позволили определить фактическое действие биологического азота сортов гороха, на урожайность зерна ярового овса (табл. 8.2), которая благодаря совокупности изучаемых факторов и метеорологических условий, имела некоторые различия по годам проведения исследований (прил. 73). Главным фактором, определяющим урожайность ярового овса, является обеспеченность растений азотом в течение всего вегетационного периода (Власов, 2014; Воронов и др., 2017). При размещении овса после

одновидового посева гороха сорта Агроинтел, в отсутствии N-удобрения, урожайность зерна составила 3,05…3,24 т/га.

Таблица 8.2. Урожайность зерна ярового овса, возделываемого после одновидовых агроценозов гороха, т/га (среднее за 3 года)

Вариант	Агроинтел		Среднее по В	Вельвет		Среднее по В
	A_0	A_1		A_0	A_1	
N0	3,05	3,24	3,15	3,17	3,41	3,29
N30	3,21	3,43	3,32	3,26	3,70	3,48
N45	3,50	3,74	3,62	3,35	3,68	3,51
N60	3,45	3,79	3,62	3,37	3,69	3,53
N75	3,22	3,48	3,35	3,29	3,49	3,39
N90	3,10	3,30	3,20	3,25	3,40	3,32
N105	3,21	3,37	3,29	3,23	3,42	3,33
N120	3,28	3,41	3,34	3,32	3,48	3,40
Среднее по А,	3,25	3,47	$НСР_{05}$ гл. эфф.	3,28	3,53	$НСР_{05}$ гл. эфф.
$НСР_{05}$ для гл. эфф.	0,07		0,34	0,77		0,26
$НСР_{05}$ для частных различий по фактору	А		0,20	А		0,18
	В		0,48	В		0,36

При посеве овса после сорта Вельвет, урожайность зерна была выше на 0,12-0,17 т/га. За счёт использования биопрепарата для обработки перед посевом семян гороха, урожайность зерна овса после сорта Вельвет, в среднем за 3 года, была выше на 0,05 т/га. Последействие со стороны N-удобрения наблюдалось посредством изменения урожайности зерна ярового овса, на которое в обязательном порядке накладывается влияние со стороны биологического азота, накопленного бобовым предшественником и другие сопутствующие условия.

Важно отметить свойственное до этого гороху наличие (или отсутствие) тенденции к формированию 2-го пика урожайности на овсе, при более высокой дозировке N-удобрения (N90…105 кг/га) в последействии. Это обусловлено тем, что растения гороха при такой дозировке N-удобрения формируют слабый и малоактивный ризобиальный аппарат, функционирующий очень короткий промежуток времени или полностью утрачивают возможность к азотфиксации.

При дозировке N105…120 кг/га, наблюдается последующее увеличение урожайности зерна овса, которое продиктовано последействием со стороны азотного удобрения. Можно также сказать о некоторой стагнации урожайности овса при дозировке свыше 75 кг N/га, так как увеличение интенсивности развития го-

роха, по целому ряду причин не происходит. А наблюдаемый, так называемый 2-ой пик урожайности, связан с переходом растений гороха на автотрофный тип питания. Этот процесс, как отмечалось ранее, сопряжён с ограничениями в развитии корневой системы и ризобиального аппарата. Вследствие чего, в почве по факту остаётся ограниченное количество ПКО бобовой культуры.

Изменение уровня урожайности зерна овса только отчасти повторяет динамику урожайности зерна соответствующего сорта гороха (r = 0,38…0,55), используемого в качестве предшественника. Прежде всего, это связано с высокой подвижностью соединений азота в системе почва-растение (1); оказанием существенного влияния эдафических условий вегетационного периода на выраженность и протекание микробиологических процессов в почве (2); скоростью минерализации биомассы послеуборочных растительных остатков и соломы гороха и органического вещества почвы (3). Вместе с тем, отсутствие чёткого дифференцирования урожайности зерна овса, после гороха сорта Вельвет, семена которого не были инокулированы биопрепаратом ризобий, опять же связаны со значительным варьированием уровня продуктивности культуры по годам.

Увеличение производства зерна овса, по-прежнему, остаётся важнейшей задачей агропромышленного комплекса большинства регионов страны, в том числе Пермского края, где на долю овса приходится около 46,8 тыс. га или 21,9% посевной площади зерновых (https://permstat.gks.ru). Варьирование урожая плёнчатых сортов овса в наибольшей степени определяется гидротермическими условиями вегетационного периода (54,6%), на треть – применением азотных удобрений (33,2%) и слабо зависит от сортовых особенностей (3,2%) (Завалин и др., 2011). Внесение азотных удобрений является определяющим агротехническим приёмом, с которым связано изменение и биохимических показателей зерна ярового овса (Пасынков, Пасынкова, 2011). В дополнение к учёту урожайности зерна овса, произведена оценка изменения его биохимического состава и показателей качества, в зависимости от сорта предшественника, использования для предпосевной обработки семян гороха биопрепарата симбиотических ризобактерий и последействия доз азотного удобрения (табл. 8.3-8.12).

Для ярового овса, выступающего основной зернофуражной культурой в условиях Нечернозёмной зоны и конкретно Предуралья, содержание сырого протеина является первоочередным и определяющим показателем качества зерна. На его содержание непосредственное влияние оказывают: обеспеченность почвы N, насыщенность удобрениями и предшественники, гидротермических условий вегетационного периода (табл. 8.3).

Таблица 8.3. Содержание сырого протеина в зерне овса, г/кг а.с.в. (среднее за 3 года)

Вариант	Агроинтел		Среднее по В	Вельвет		Среднее по В
	A_0	A_1		A_0	A_1	
N0	119,7	122,5	121,1	101,9	109,2	105,5
N30	121,0	120,0	120,5	106,8	114,0	110,4
N45	123,5	124,7	124,1	108,1	111,1	109,6
N60	125,3	128,9	127,1	108,4	106,0	107,2
N75	126,3	132,8	129,5	102,7	109,5	106,1
N90	112,7	118,3	115,5	102,5	110,3	106,4
N105	105,5	110,5	108,0	98,0	101,5	99,7
N120	97,8	105,1	101,5	99,8	102,8	101,3
Среднее по А,	116,5	120,3	$НСР_{05}$ гл. эфф.	103,5	108,0	$НСР_{05}$ гл. эфф.
$НСР_{05}$ для гл. эфф.	8,8		17,6	6,2		8,4
$НСР_{05}$ для частных различий по фактору	А		24,8	А		17,4
	В		24,9	В		11,9
Нормы для 1 / 2 / 3 класса качества зерна овса по ГОСТ Р 53901-2010	> 120 / 110-120 / < 110					

Согласно полученным результатам, содержание сырого протеина в зерне овса после гороха сорта Агроинтел составило 97,8…132,8 г/кг, сорта Вельвет 98,0…114,0 г/кг. Увеличение содержания сырого протеина в зерне овса, благодаря инокуляции семян гороха бактериальным препаратом, в среднем по опыту рассматривалось только на уровне тенденции и составило после сорта Агроинтел 3,8 г/кг, Вельвет – 4,5 г/кг. Эффективность бактеризации резко изменялась по отдельным вариантам. Благодаря инокуляции семян гороха сорта Агроинтел, в отсутствии N-удобрения, получено зерно овса, соответствующее норме для 1 класса качества (более 120 г/кг зерна). Первоклассное зерно овса, согласно ГОСТ Р 53901-2010 «Овес кормовой. Технические условия», также было получено после гороха сорта Агроинтел, при последействии N-удобрения в дозах 30-75 кг д.в./га. При последующем увеличении дозировки N-удобрения в последействии, наблю-

дается снижение содержания сырого протеина в зерне овса на 27,7…28,4 г/кг. Более низкое содержание сырого протеина в зерне овса (97,8-105,1 г/кг), соответствующее норме только для 3 класса качества зерна (менее 110 г/кг), получено при внесении в последействии N120.

Низкое содержание сырого протеина в зерне овса (< 110 г/кг) отмечалось при его возделывании после гороха сорта Вельвет. Только благодаря синергическому эффекту от инокуляции посевного материала гороха и внесения N-удобрения в дозах 30-45 кг д.в./га, получено зерно овса, соответствующее норме для 2 класса качества. Возможно, что основной причиной этому послужило ограничительное действие со стороны N-удобрения по отношению к развитию симбиотического аппарата на корневой системе гороха и накоплению в почве фиксированного азота после его уборки.

Плёнчатые сорта овса отличаются достаточно высоким содержанием сырой клетчатки в зерне (табл. 8.4), в связи с чем, животным сложнее получить питательные вещества из протоплазмы растительной клетки. При этом следует отметить огромное значение сырой клетчатки для питания КРС, так как микрофлора рубца вырабатывает с её помощью летучие жирные кислоты, являющиеся ключевым источником энергии для жвачных (Хазиахметов, 2011).

Таблица 8.4. Содержание сырой клетчатки в зерне овса, г/кг а.с.в. (среднее за 3 года)

Вариант	Агроинтел		Среднее по В	Вельвет		Среднее по В
	A_0	A_1		A_0	A_1	
N0	102,1	96,1	99,1	94,6	96,1	95,3
N30	98,3	91,1	94,7	91,2	91,1	91,2
N45	81,0	87,2	84,1	83,3	82,3	82,8
N60	90,0	91,1	90,6	95,9	91,9	93,9
N75	85,8	93,5	89,7	94,6	88,8	91,7
N90	88,4	83,8	86,1	85,4	86,1	85,8
N105	89,7	87,7	88,7	86,6	87,9	87,3
N120	88,0	84,9	86,4	87,1	85,3	86,2
Среднее по А,	90,4	89,4	$НСР_{05}$ гл. эфф.	89,8	88,7	$НСР_{05}$ гл. эфф.
$НСР_{05}$ для гл. эфф.	5,9		5,9	2,3		6,4
$НСР_{05}$ для частных различий по фактору	А		16,8	А		6,6
	В		8,4	В		9,1
Нормы для 1 / 2 / 3 класса качества зерна овса по ГОСТ Р 53901-2010	< 100 / 100-120 / > 120					

Содержание сырой клетчатки в зерне овса, при возделывании после гороха сортов Агроинтел и Вельвет было на уровне 81,0…102,1 г/кг и 82,3…96,1 г/кг соответственно. Только в отсутствии последействия N-удобрения и инокуляции семян гороха сорта Агроинтел, зерно овса соответствовало норме для 2 класса качества (100-120 г/кг). Зерно овса, полученное в остальных вариантах опыта, по содержанию сырой клетчатки, отвечало требованиям 1 класса. Последействие бактериального препарата, используемого для инокуляции семян гороха, наблюдалось по отдельным вариантам исследования и только на уровне тенденции.

Последействие N-удобрения на содержание сырой клетчатки в зерне овса, несколько отличалось по вариантам без инокуляции и с использованием инокулянта. Так, в отсутствии обработки семян гороха сорта Агроинтел биопрепаратом, существенное снижение содержания сырой клетчатки в зерне овса (-12,1…21,1 г/кг), отмечено при использовании N-удобрения в дозах 45-120 кг д.в./га. Существенные различия при инокуляции (-8,4…12,2 г/кг), фиксировались в отдельных вариантах (N45, N90-120). При возделывании овса после гороха сорта Вельвет, отзывчивость по уровню содержания сырой клетчатки в зерне была схожей.

Накопление сырого жира в зерне ярового овса находилось на уровне 36,9…42,6 г/кг зерна и существенно не изменялось от сорта и способа подготовки семян предшественника, последействия N-удобрения (табл. 8.5).

Таблица 8.5. Содержание сырого жира в зерне овса, г/кг а.с.в. (среднее за 3 года)

Вариант	Агроинтел		Среднее по В	Вельвет		Среднее по В
	A_0	A_1		A_0	A_1	
N0	40,8	40,4	40,6	39,6	40,4	40,0
N30	40,7	40,8	40,8	41,3	40,8	41,1
N45	39,0	38,7	38,9	38,8	39,6	39,2
N60	41,2	39,9	40,6	39,5	40,1	39,8
N75	39,3	42,0	40,6	42,1	41,4	41,7
N90	42,6	41,1	41,9	41,5	41,4	41,4
N105	37,3	38,7	38,0	38,7	36,9	37,8
N120	38,3	42,3	40,3	41,2	40,0	40,6
Среднее по А,	39,9	40,5	$НСР_{05}$ гл. эфф.	40,3	40,1	$НСР_{05}$ гл. эфф.
$НСР_{05}$ для гл. эфф.	4,8		3,2	2,6		2,8
$НСР_{05}$ для частных различий по фактору	А		13,5	А		7,4
	В		4,6	В		4,0
Нормы для 1 / 2 / 3 класса качества зерна овса по ГОСТ Р 53901-2010	не нормируется					

По имеющимся результатам исследований (Колесникова и др., 2006), минеральные удобрения и созданные при их внесении фона питания не оказывают существенного влияния на содержание сырого жира в зерне овса. Зерно ярового овса, полученное при возделывании после одновидовых агроценозов гороха, по содержанию сырой золы соответствовало норме национального стандарта ГОСТ Р 53901-2010 для 2 класса качества (табл. 8.6).

Таблица 8.6. Содержание сырой золы в зерне овса, г/кг а.с.в. (среднее за 3 года)

Вариант	Агроинтел		Среднее по В	Вельвет		Среднее по В
	A_0	A_1		A_0	A_1	
N0	25,1	25,1	25,1	26,1	25,0	25,5
N30	25,4	26,1	25,2	25,0	25,1	25,1
N45	26,0	28,4	27,2	27,5	26,6	27,0
N60	26,8	27,7	27,3	26,8	26,8	26,8
N75	27,4	28,6	28,0	28,0	27,2	27,6
N90	26,1	26,1	26,1	25,6	25,8	25,7
N105	25,7	26,5	26,1	26,3	26,2	26,2
N120	25,6	26,3	25,9	25,3	25,6	25,4
Среднее по А,	26,1	26,6	$НСР_{05}$ гл. эфф.	26,3	26,0	$НСР_{05}$ гл. эфф.
$НСР_{05}$ для гл. эфф.	1,2		1,8	1,3		1,4
$НСР_{05}$ для частных различий по фактору	А		3,5	А		3,6
	В		2,5	В		2,0
Нормы для 1 / 2 / 3 класса качества зерна овса по ГОСТ Р 53901-2010	< 25 / 25-35 / > 35					

Максимальная часть зольного остатка зерна овса приходится на оксиды фосфора, кремния, калия и магния (приблизительно 90%) (Личко, 2017). Единичные положительные изменения в содержании сырой золы в зерне овса, возделываемого после гороха сорта Агроинтел, были отмечены при последействии N45-75 и инокуляции семян бобовой культуры.

Основная часть сухого вещества зерна овса представлена безазотистыми экстрактивными веществами (БЭВ), главными составными частями которых, является крахмал, клетчатка и сахара. В зерне овса до 60-70% от сухого вещества представлено крахмалом, на долю сахаров приходится от 0,6 до 2,2% (Хазиахметов, 2011). Эти компоненты считаются легкопереваримыми, служат источником энергии в организме животных. Содержание БЭВ в зерне овса, определялось сортовой принадлежностью предшественника и последействием доз N-удобрения (табл. 8.7).

Таблица 8.7. Содержание БЭВ в зерне овса, г/кг а.с.в. (среднее за 3 года)

Вариант	Агроинтел		Среднее по В	Вельвет		Среднее по В
	A_0	A_1		A_0	A_1	
N0	713,7	714,1	713,9	740,4	732,3	736,3
N30	713,8	723,3	718,6	738,1	731,8	734,9
N45	730,0	722,0	726,0	754,9	742,1	748,5
N60	715,0	712,2	713,6	733,2	735,8	734,5
N75	720,3	706,6	713,4	735,8	735,0	735,4
N90	729,0	730,9	730,0	745,8	737,9	741,9
N105	743,4	738,7	741,1	750,6	748,3	749,5
N120	751,0	743,8	747,4	758,2	748,6	753,4
Среднее по А,	727,0	724,0	$НСР_{05}$ гл. эфф.	744,6	738,7	$НСР_{05}$ гл. эфф.
$НСР_{05}$ для гл. эфф.	7,2		17,4	21,7		11,0
$НСР_{05}$ для частных различий по фактору	А		20,3	А		61,4
	В		24,7	В		15,6
Нормы для 1 / 2 / 3 класса качества зерна овса по ГОСТ Р 53901-2010	не нормируется					

Более высокое содержание БЭВ в зерне овса, в отсутствии последействия азотного удобрения, зафиксировано при возделывании после гороха сорта Вельвет. При использовании для инокуляции семян предшественника биопрепарата симбиотических ризобактерий, на уровне тенденции наблюдается снижение накопления БЭВ в зерне овса. Прежде всего, снижение количества углеводистых соединений в зерне овса, обусловлено накоплением сырого протеина в результате оптимизации минерального питания растений. Отмеченный параметр достаточно чётко прослеживается не только на основании главных эффектов, но и частных различий по фактору А. Существенное увеличение содержания БЭВ в зерне овса (+24,6…37,3 г/кг), отмечается за счёт последействия N-удобрения в дозировках N105-120 и N120, при его возделывании после сортов Агроинтел и Вельвет.

Содержание обменной энергии (ОЭ) в зерне овса, используемого на кормовые цели, определяется его биохимическим составом и устанавливается в соответствии с принадлежностью вида сельскохозяйственных животных (табл. 8.8). При ориентировании его использования для кормления КРС и овец, оно характеризовалось высокой насыщенностью обменной энергией. О соответствии норме для 1 класса качества зерна овса, согласно ГОСТ Р 53901-2010 «Овес кормовой. Технические условия», следует сказать, не зависимо от сортовой принадлежности предшественника. Максимально высокое содержание обменной энергии в зерне овса отмечено в случае

последействия N-удобрения в дозе 45 кг д.в./га.

Таблица 8.8. Содержание ОЭ в зерне овса, г/кг а.с.в. (среднее за 3 года)

Вариант	Агроинтел		Среднее по В	Вельвет		Среднее по В
	A_0	A_1		A_0	A_1	
N0	11,75	11,83	11,79	11,64	11,71	11,67
N30	11,79	11,89	11,84	11,76	11,82	11,79
N45	12,04	11,95	11,99	11,75	11,90	11,83
N60	11,92	11,94	11,93	11,69	11,74	11,71
N75	11,98	11,95	11,97	11,69	11,80	11,74
N90	11,85	11,98	11,91	11,79	11,86	11,83
N105	11,78	11,82	11,80	11,78	11,74	11,76
N120	11,75	11,84	11,79	11,71	11,82	11,76
Среднее по А, $НСР_{05}$ для гл. эфф.	11,86	11,90	$НСР_{05}$ гл. эфф.	11,73	11,80	$НСР_{05}$ гл. эфф.
	0,14		0,19	0,22		0,10
$НСР_{05}$ для частных различий по фактору	А		0,40	А		0,61
	В		0,26	В		0,14
Нормы для 1 / 2 / 3 класса качества зерна овса по ГОСТ Р 53901-2010	> 11,5 / 10,5-11,5 / < 10,5*					

Примечание: * – нормы для 1 / 2 / 3 класса качества зерна по содержанию обменной энергии, МДж/кг сухого вещества для КРС и овец. Тоже для таблиц 8.17, 8.22.

Зерно овса традиционно является основой зернофуражного фонда, а также сырьём для продовольственных целей, активно используется для выпуска современных биологических препаратов и добавок (Завалин и др., 2011). Технологически ценные показатели зерна овса (кислотность, натура, пленчатость), определяющие его пригодность и возможность последующей переработки для диетического и детского питания, сильно подвержены воздействию погодных условий вегетационного периода. Титруемая кислотность является вспомогательным показателем, характеризующим качество и сохранность зерна овса при хранении. Большая часть нежелательных биохимических реакций, протекающих в поспевающем зерне, производимой муке и крупе при хранении, сопровождается накоплением веществ, обладающих физиологической кислотностью, содержание которых выражают в градусах. Высокая кислотность у недозревшего зерна овса и зерна, в процессе формирования которого наблюдается нарушение условий минерального питания и связанная с этим высокая ферментативная активность микроорганизмов. Кислотность полученного в опыте зерна овса соответствовала норме для 1 класса качества согласно ГОСТ Р 28673-2019 «Овёс. Технические условия (с Поправкой)». Величина показателя определялась ис-

пользованием бактериального препарата для обработки семян и сортовой принадлежностью предшественника, уровнем азотного питания (табл. 8.9).

Таблица 8.9. Кислотность зерна ярового овса, градусов (среднее за 2 года)

Вариант	Агроинтел		Среднее по В	Вельвет		Среднее по В
	A_0	A_1		A_0	A_1	
N0	4,6	4,8	4,7	5,0	5,7	5,4
N30	3,8	4,0	3,9	4,8	5,6	5,2
N45	3,6	3,8	3,7	4,1	4,7	4,4
N60	3,4	3,7	3,6	4,0	4,1	4,1
N75	3,9	3,9	3,9	3,8	3,8	3,8
N90	4,2	4,3	4,3	3,7	3,8	3,8
N105	4,5	4,6	4,5	3,6	3,8	3,7
N120	4,6	5,0	4,8	3,9	3,7	3,8
Среднее по А,	4,1	4,3	$НСР_{05}$ гл. эфф.	4,1	4,4	$НСР_{05}$ гл. эфф.
$НСР_{05}$ для гл. эфф.	0,001		0,3	0,9		0,4
$НСР_{05}$ для частных различий по фактору	А		0,003	А		0,07
	В		0,4	В		0,5
Нормы для 1 / 2 / 3 и 4 класса качества зерна овса по ГОСТ Р 28673-2019	≤ 6,0 / ≤ 8,0 / не ограничивается					

Зерно с меньшей кислотностью, было получено при возделывании ярового овса после гороха сорта Агроинтел. При обработке семян этого сорта гороха ризобактериями, наблюдалось увеличение кислотности полученного зерна овса. В отсутствии инокуляции, последействие N-удобрения в дозе 30-75 кг д.в./га, выражалось посредством снижения кислотности зерна овса.

При инокуляции семян гороха сорта Вельвет, также наблюдалось увеличение кислотности полученного зерна овса. Отмеченное влияние было зафиксировано, как в отсутствии использования N-удобрения, так и при внесении N30-60. Вероятно, именно эти условия указывают на действие биологического азота, накопленного в посевах сортов гороха. При наличии в почве достаточного количества N, происходит удлинение периода вегетации растений и активного потребления элементов минерального питания из почвы. За счёт этого наблюдается значительная пестрота созревающих зерновок в метёлках овса. При отсутствии возможности проведения дифференцированной уборки, по вариантам и делянкам опыта, можно наблюдать накопление в не отсортированном зерновом ворохе от комбайна количества зёрен с зелёными колосовыми чешуями. Менее выраженная

тенденция увеличения кислотности зерна овса, возделываемого исключительно после гороха сорта Агроинтел, отмечена при увеличении дозировки азотного удобрения свыше 75 кг д.в./га, что также можно попытаться объяснить его последействием. Отсутствие обозначенной тенденции при возделывании овса после сорта Вельвет, обусловлена сортовой отзывчивостью гороха на использование N-удобрения. Наблюдалось изменение структуры симбиотического аппарата на корневой системе гороха и архитектоники всей надземной массы растений.

Завершенность процессов синтеза наиболее ценных с технологической точки зрения веществ, входящих в состав зерна овса, характеризуется его выполненностью. Этот критерий обладает существенным технологическим значением и описывает пищевую ценность зерна. В выполненном зерне находится больше эндосперма, а следовательно, и выше содержание белков, крахмала, сахаров (Личко, 2017). Выполненность зерна ярового овса, косвенно определяется его натурным весом, значения показателя которого, для отдельных сортов варьирует в пределах от 420 до 580 г/л (табл. 8.10).

Таблица 8.10. Натура зерна ярового овса, г/л (среднее за 2 года)

Вариант	Агроинтел		Среднее по В	Вельвет		Среднее по В
	A_0	A_1		A_0	A_1	
N0	516,3	522,7	519,5	516,0	524,4	520,2
N30	519,6	524,9	522,2	519,6	520,9	520,3
N45	521,4	526,3	523,9	523,2	522,6	522,9
N60	523,1	527,7	525,4	524,9	525,0	525,0
N75	524,4	529,0	526,7	523,4	525,0	524,2
N90	528,2	528,8	528,5	520,5	523,2	521,9
N105	526,3	526,4	526,4	519,7	521,9	520,8
N120	522,7	522,7	522,7	515,6	520,5	518,0
Среднее по А,	522,7	526,3	$НСР_{05}$ гл. эфф.	520,4	522,9	$НСР_{05}$ гл. эфф.
$НСР_{05}$ для гл. эфф.	2,0		2,8	4,1		3,2
$НСР_{05}$ для частных различий по фактору	A		5,5	A		7,6
	B		4,0	B		4,6
Нормы для 1 / 2 / 3 / 4 класса качества зерна овса по ГОСТ Р 28673-2019	≥ 550 / ≥ 540 / ≥ 520 / не ограничивается					

Натурный вес зерна ярового овса с учётом сорта предшественника и последействия доз N-удобрения изменялся не значительно 515,6…529,0 г/л. На основании частных различий, следует отметить увеличение натуры зерна овса, при об-

работке семян обоих сортов предшественника. При этом уровень признака соответствовал норме для более высокого 3 класса качества. Аналогичное последействие бактеризации отмечается и на основании главных эффектов, но только после сорта Агроинтел. Увеличение дозировки N-удобрения определяет выраженность его последействия за счёт повышения натурного веса зерна овса. На сорте Вельвет рост показателя отмечается при последействии N45-75. На сорте Агроинтел это более широкий диапазон доз N45-120 (90), в рамках которого эффект от последействия дифференцирован в соответствии с проведением инокуляции семян гороха ризобактериями. Выполненность зерна овса косвенно свидетельствует о достаточном количестве N и оптимизации условий минерального питания растений на протяжении вегетационного периода, за счёт накопления биологического азота горохом и последействия N-удобрения. Натура зерна плёнчатых сортов овса имеет тесную отрицательную корреляционную зависимость с содержанием $N_{общ.}$ в растениях в фазу вымётывания метёлки (r = -0,59), сырого белка в зерне (r = -0,66) и его плёнчатостью (r = -0,75) (Пасынкова и др., 2008).

Среди зерновых культур, зерно овса отличается значительным процентом цветковых пленок по отношению к массе необрушенного зерна (20-42%). Существенное влияние на плёнчатость зерна овса оказывает генотипические особенности сорта, условия минерального питания и регион произрастания. Даже в пределах одной товарной партии пленчатость единичных зёрен неодинакова, т.к. семена овса достаточно сильно дифференцированы по размеру (Пасынков и др., 2019). Сбалансированное минеральное питание и наличие атмосферных осадков в период налива зерна, способствуют снижению плёнчатости семян (табл. 8.11). Отличия в плёнчатости зерна, полученного при возделывании овса после разных сортов гороха, составили порядка 1,2…5,3%. Снижение плёнчатости зерна овса, наблюдается при инокуляции семян обоих сортов предшественника, на фоне последействия N-удобрения в дозах 45-90 кг д.в./га. Плёнчатость зерна овса является отличительным сортовым признаком (Боталова, 2000), с увеличением которого наблюдается снижение натурного веса семян. Значительные расхождения по пленчатости присущи для единич-

ных семян метельчатых злаков, из-за неравномерного цветения и созревания зерен в метёлке (Личко, 2013).

Таблица 8.11. Плёнчатость зерна ярового овса, % (среднее за 2 года)

Вариант	Агроинтел		Среднее по В	Вельвет		Среднее по В
	A_0	A_1		A_0	A_1	
N0	26,4	25,9	26,2	25,0	25,6	25,3
N30	25,6	25,4	25,5	24,8	24,5	24,6
N45	25,6	24,4	25,0	24,7	24,1	24,4
N60	24,9	24,1	24,5	24,7	23,3	24,0
N75	25,8	24,3	25,0	24,7	23,7	24,2
N90	26,3	24,9	25,6	24,6	23,6	24,1
N105	26,8	25,9	26,4	24,5	25,0	24,8
N120	27,0	26,5	26,8	24,6	25,6	25,1
Среднее по А,	26,0	25,2	$НСР_{05}$ гл. эфф.	24,7	24,4	$НСР_{05}$ гл. эфф.
$НСР_{05}$ для гл. эфф.	0,4		1,4	0,3		1,7
$НСР_{05}$ для частных различий по фактору	A		1,2	A		1,0
	B		2,0	B		2,4
Нормы для 1 / 2 / 3 / 4 класса качества зерна овса по ГОСТ Р 28673-2019	не нормируется					

Минимальная доля зерновок остается на пленки у злаковых крупяных культур при наличии хорошо сформированного ядра. Содержание ядра показывает, сколько крупы можно извлечь из перерабатываемого зерна. Чем ниже плёнчатость, количество примесей и мелкого зерна в партии, тем больше содержание ядра (табл. 8.12, прил. 16).

Таблица 8.12. Содержание ядра в зерне ярового овса, % (среднее за 2 года)

Вариант	Агроинтел		Среднее по В	Вельвет		Среднее по В
	A_0	A_1		A_0	A_1	
N0	73,8	75,0	74,4	74,9	76,2	75,5
N30	74,5	75,1	74,8	75,7	76,2	76,0
N45	74,6	75,7	75,1	76,0	76,9	76,4
N60	75,3	76,0	75,6	76,4	77,1	76,8
N75	74,6	75,5	75,1	76,4	77,4	76,9
N90	74,4	75,2	74,8	76,3	77,7	77,0
N105	74,2	74,2	74,2	76,0	77,4	76,7
N120	74,3	73,7	74,0	75,4	77,1	76,3
Среднее по А,	74,5	75,1	$НСР_{05}$ гл. эфф.	75,9	77,0	$НСР_{05}$ гл. эфф.
$НСР_{05}$ для гл. эфф.	2,0		0,9	1,0		1,1
$НСР_{05}$ для частных различий по фактору	A		5,6	A		2,8
	B		1,3	B		1,6
Нормы для 1 и 2 / 3 / 4 класса качества зерна овса по ГОСТ Р 28673-2019	≥ 65 / ≥ 63 / не ограничивается					

Полученное в опыте зерно овса характеризовалось очень высоким содержанием ядра (73,7…77,7%), что обуславливает возможность его использования для продовольственных целей. Содержание ядра тесно связано с крупностью зерна и массой 1000 зерен, которые даже у одной культуры существенно изменяется в зависимости от условий минерального питания и созревания, сорта, района возделывания и др. (Целуйко, Медведева, 2015).

Инокуляция семян гороха симбиотическими ризобактериями не отразилось на содержании ядра в зерне овса. На основании частных различий, следует отметить дифференцированное увеличение доли ядра в зерна овса, возделываемом после сортов Агроинтел и Вельвет, при последействии N-удобрения в дозах 60-90 кг д.в./га. Аналогичное действие N60-105 отмечается и на основании главных эффектов, после сорта Вельвет.

8.2. Влияние биологического азота гороха посевного на урожайность и качество зерна ячменя ярового

Определение вклада биологического азота, накопленного горохом в смешанных агроценозах, для формирования урожайности последующей зерновой культуры в севообороте, представляет значительный научный и практический интерес. Полученная информация позволит сделать необходимые корректировки при разработке и внедрении адаптированных ресурсосберегающих систем применения удобрений для конкретных культур севооборота. Схема и формат проведённых исследований позволяет произвести сравнение расчетного (табл. 8.13) и фактического (табл. 8.14) уровней прибавки урожайности зерна ячменя, оценку изменения его биохимического состава, в зависимости от предшественника и последействия доз азотного удобрения. Вынос азота яровым ячменём с 1 т зерна и соответствующим количеством соломы составляет 29 кг (Михайлова и др., 2015). Согласно этого, величины прибавок урожайности зерна от биологического азота, накопленного горохом в смешанных посевах (25%-50%-75%) составили от 0,09…0,11 т/га до 0,22…0,28 т/га и 0,36…0,47 т/га.

Таблица 8.13. Расчётное количество усвоенного $N_{биол.}$ и величины прибавок урожайности зерна ярового ячменя при разных сроках уборки смешанных и одновидового посевов гороха (среднее за 3 года)

Состав агроценоза (фактор А)	Количество усвоенного $N_{биол}$, кг/га			Величина прибавок урожайности, т/га		
	N_0	N_{30}	N_{60}	N_0	N_{30}	N_{60}
Зерносенаж						
Пшеница 75% + горох 25%	2,6	2,9	3,2	0,09	0,10	0,11
Пшеница 50% + горох 50%	6,3	7,3	8,2	0,22	0,25	0,28
Пшеница 25% + горох 75%	10,4	12,2	13,7	0,36	0,42	0,47
Горох 100%	10,5	11,8	14,0	0,36	0,41	0,48
Зерно						
Пшеница 75% + горох 25%	4,2	4,5	4,6	0,15	0,16	0,16
Пшеница 50% + горох 50%	9,0	10,1	10,3	0,31	0,35	0,36
Пшеница 25% + горох 75%	10,5	9,8	8,5	0,36	0,34	0,29
Горох 100%	14,7	14,0	12,0	0,51	0,48	0,41

Полученные расчётные величины прибавок урожая зерна определялись долевым участием гороха в составе высеваемой смеси и формируемого агроценоза, урожайностью посевов и условиями минерального питания. При возделывании ячменя после одновидового посева гороха, расчётная прибавка урожайности зерна, с учётом последействия N-удобрения, была на уровне 0,36-0,48 т/га. Аналогичный результаты получены после посева пшеница 25% + горох 75%.

При уборке на зерно наряду с пожнивно-корневыми остатками производили запашку гороховой соломы. Благодаря этому в почву поступало больше свежего органического вещества (+1,31…1,98-2,16…2,72 т/га). Количество усвоенного $N_{биол.}$ увеличилось в 1,26…1,43 раза после смеси пшеница 50% + горох 50% и в 1,44…1,62 раза после посева пшеница 75% + горох 25%. Ячменём было использовано от 13-21 до 16-26 кг/га общего азота, в том числе от 8-14 до 10-17 кг/га симбиотически фиксированного. Величина расчётной прибавки урожайности зерна ярового ячменя изменилась на +0,05…0,10 т/га. Дозы азотного удобрения в представленных рецептурных соотношениях смеси обеспечивали увеличение количества пожнивно-корневых остатков, которые после минерализации становились полноценным источником элементов питания для ячменя.

После посева с превалированием гороха (пшеница 25% + горох 75%) наблюдалось снижение количества общего азота (на 18,0…39,3 кг/га) поступающего с ОВ в почву за счёт внесения азотного удобрения. При этом, 81,1…82,3%

этого объёма связано с уменьшением количества азота в составе ОВ, поступающего именно за счёт бобового компонента. Данный факт связан с отзывчивостью смешанного посева с преобладанием гороха (75%) на дозы азотного удобрения. При возделывании на зерносенаж и внесении N-удобрения наблюдалось увеличение урожайности посевов за счёт интенсивного наращивания органического вещества вегетативной массы в ущерб семенной продуктивности посевов. Количество фиксированного азота снизилось на 9,5…21,0 кг/га, что в последующем отразилось на расчётной величине прибавки урожайности (-0,08…0,18 т/га) зерна ярового ячменя. По величине общего и усвоенного $N_{биол.}$ одновидовой посев гороха имел преимущество перед смесями только при уборке ценозов на зерно.

Согласно данных (Завалин, Потапов, 1996; Политыко и др., 2021а), при выращивании основных зернофуражных культур (ячменя, овса) необходимо стараться обеспечить их азотом в полном объёме к началу вегетации. Поэтому к моменту проведения посева должна произойти минерализация большей части пожнивных и корневых остатков пшеницы и гороха при выращивании их смешанных агроценозов в качестве предшественника. Обязательным условием для этого, является достаточно высокое содержание общего азота (≥ 2,0%) и узкое соотношение C : N (< 20) в составе ПКО (Palm et al., 2001; Семенов, 2020).

Результаты исследования по установлению фактической прибавки урожайности зерна ярового ячменя, полученной за счёт использования растениями биологического азота, накопленного в соломе и ПКО гороха в смешанных и одновидовом ценозах, представлены в таблице 8.14.

Таблица 8.14. Урожайность зерна ячменя, возделываемого после одновидовых и смешанных агроценозов гороха и пшеницы, т/га (среднее за 3 года)

Предшественник (фактор А)		Дозы азота под предшественник (фактор В)			Среднее по А, $НСР_{05}$ гл. эфф. = 0,17
		N_0	N_{30}	N_{60}	
Пшеница 100%		2,15	2,27	2,33	2,25
Пшеница 75% + горох 25%		2,48	2,39	2,47	2,43
Пшеница 50% + горох 50%		2,78	2,82	2,82	2,80
Пшеница 25% + горох 75%		2,86	2,86	2,70	2,81
Горох 100%		3,07	3,00	2,91	2,99
Среднее по В, $НСР_{05}$ гл. эфф. = 0,10		2,67	2,67	2,65	
$НСР_{05}$ для частных различий по фактору	А	0,29			
	В	0,22			

Урожайность зерна ячменя с учётом предшественника и последействия доз вносимого азотного удобрения, по годам проведения исследований, имела существенные различия, ввиду разных гидротермических условий в периоды вегетации 2013-2015 гг. (прил. 74). Размещение ярового ячменя после смешанных (+0,18…0,56 т/га) и одновидового посева зернобобовой культуры (+ 0,74 т/га), в среднем за 3 года, имело существенное преимущество относительно одновидового ценоза пшеницы. Изменение урожайности зерна ячменя, при увеличении доли гороха в составе посевов, связано с целым рядом условий:

- увеличением общей продуктивности посевов, поступающего в почву растительного опада, пожнивных и корневых остатков;

- наращиванием выхода послеуборочных остатков с более высоким содержанием азота в составе общего пула ПКО;

- прочими факторами, такими как увеличение активности и видового разнообразия микробного сообщества сапротрофных организмов ризосферы (Постовалов, 2018), улучшение структурности и влагообеспеченности почвы (Денисов и др., 2009; Шарушов и др., 2017), накопление в прикорневой зоне биогенных элементов, активно извлекаемых из почвы за счёт более высокой усваивающей способности корневой системы гороха (Завалин и др., 2019).

Чёткая тенденция и дифференцирование прибавки урожайности зерна ячменя отмечено по последействию доз азота на основании частных различий по фактору А. Так, без внесения N-удобрения по всем изучаемым агроценозам с участием гороха (25%-50%-75%-100%), прибавка составила от 0,33 до 0,92 т/га. В отсутствии минерального азота, внесённого с удобрением, наблюдалось планомерное развитие растений бобового компонента и их симбиотического ризобиального аппарата. Происходило выделение достаточного количества органических соединений посредством экзоосмоса и последующая иммобилизация их в ризосфере.

По последействию N30 и N60 прибавка зерна ячменя составила соответственно 0,12…0,73 т/га и 0,14…0,58 т/га. Это связано с ингибирующим действием со стороны минерального азота удобрения. Оно было выражено посредством снижения нодуляции и симбиотической активности азотфиксирующих микроор-

ганизмов, инфицирующих корневую систему гороха на начальных этапах вегетации, а также влиянием на развитие и последующее эффективное функционирование симбиотического аппарата бобового компонента в посеве. О чём может свидетельствовать тенденция снижения общего урожая зерна в одновидовом посеве и доли гороха в составе смешанных агроценозов.

Уровень фактической прибавки урожайности зерна ячменя после смешанных посевов (0,12…0,71 т/га) несколько превышает расчётные величины из расчётов (0,09…0,47-0,15…0,36 т/га) за счёт симбиотически фиксированного азота. Это происходит за счёт изменения биохимического состава пшеницы, возделываемой в составе смешанных агроценозов с горохом. Наряду с изменением состава зерна злакового компонента, изменяется и химический состав ПКО. Увеличилось содержание N в составе послеуборочных остатков, благодаря чему происходит сужение соотношения C : N, что положительно отразилось в последействии на урожайности зерна ярового ячменя.

Существенных различий от последействия возрастающих доз азота на урожай зерна ячменя не установлено. Данное обстоятельство обусловлено высокой подвижностью азота в почве и возможностью его участия в различных биохимических процессах (1); достаточно низкой дозировкой азота для проявления выраженного последействия (2); не значительными объёмами фиксации в почве, в связи с интенсивным поглощением со стороны пшеницы и гороха уже на начальных этапах развития в одновидовых и смешанных агроценозах (3); переходом значительной части потребляемого азота почвы и удобрений в хозяйственно-ценную часть урожая, при последующем её отчуждении (4). В продолжение обсуждения данного обстоятельства следует отметить, что последействие N-удобрения может быть выражено не только за счёт «прямого», т.е. накопления в почве (закрепления и последующей реминерализации), но и «косвенного» последействия. Последнее, связано с увеличением продуктивности и выходом послеуборочных остатков предшествующих культур в севообороте, поступлением в почву органического вещества, которое соответствует классическим требованиям – содержание $N_{общ.} > 2\%$, отношение $C : N \leq 20…24$.

Поступление и закрепление в почве азота, фиксированного благодаря клубеньковым бактериям на корнях гороха и ассоциативным азотфиксаторам ризосферы, в комплексе отразилось на продуктивности растений ярового ячменя. В результате изменений качества и количества поступающего органического вещества с соломой и ПКО в одновидовом и смешанных посевах гороха, а также последействия доз азотного удобрения, произошло не только повышение урожайности, но и наблюдались некоторые изменения показателей биохимического состава зерна ячменя (табл. 8.15-8.17). Важным и зачастую определяющим показателем качества зерна ярового ячменя, используемого на фураж, является содержание в нём сырого протеина, на которое влияют почвенные и складывающиеся гидротермические условия года, минеральное питание и предшественники.

Таблица 8.15. Содержание сырого протеина и сырой клетчатки в зерне ярового ячменя, г/кг сухого вещества (среднее за 3 года)

Состав агроценоза (фактор А)		Сырой протеин			Среднее по А	Сырая клетчатка			Среднее по А
		N0	N30	N60		N0	N30	N60	
Пшеница 100%		112,6	104,8	116,4	111,2	49,2	51,1	49,8	50,0
Пшеница 75% + горох 25%		131,0	120,1	100,7	117,3	53,9	53,0	51,7	52,8
Пшеница 50% + горох 50%		127,1	131,1	123,2	127,1	57,4	57,3	61,7	58,8
Пшеница 25% + горох 75%		125,2	125,6	136,2	129,0	53,3	60,1	57,3	56,9
Горох 100%		130,2	130,7	139,5	133,4	68,9	62,7	62,6	64,8
Среднее по В, $НСР_{05}$ гл. эфф.		125,1	122,5	123,2	$НСР_{05}$ гл. эфф. 5,10	56,5	56,8	56,6	$НСР_{05}$ гл. эфф. 3,15
		2,70				2,69			
$НСР_{05}$ для частных различий по фактору	А	8,83				5,46			
	В	6,03				6,02			
Нормы для 1 / 2 / 3 класса качества зерна ячменя по ГОСТ Р 53900-2010		>130 / 120-130 / <120				<70 / 70-90 / >90			

Зерно ячменя, полученное при использовании в качестве предшественника смешанных посевов гороха, отличалось более высоким содержанием сырого протеина (117,3…129,0 г/кг), относительно одновидового ценоза пшеницы. При включении (25%) и последующем увеличении доли гороха в составе агроценозов предшественника (до 50% и 75%) происходило планомерное увеличение содержания сырого протеина на 6,1, 15,9 и 17,8 г/кг и полученное зерно ячменя соответствовало норме 2 класса качества. Более высокое содержание сырого протеина (130,2-139,5 г/кг) в зерне ячменя, соответствующее норме для 1 класса качества (> 130 г/кг), получено

при выращивании культуры по одновидовому ценоза гороха. Соответствующее норме 1 класса качества зерно, получено при размещении ячменя после смешанных агроценозов с преобладанием пшеницы (пшеница 75% + горох 25%) на фоне N0; с равным долевым участием компонентов (пшеница 50% + горох 50%) на N30 и при превалировании гороха (пшеница 25% + горох 75%) по последействию N60.

Последействие со стороны изучаемых доз азотного удобрения (N30 и N60), которые вносились под предшественник, в целом по опыту было выражено в качестве слабой тенденции к снижению содержания сырого протеина. Это связано с оптимизацией азотного питания ярового ячменя. В отсутствии внесения под предшественник N-удобрения в почву поступало органическое вещество гороха с более узким соотношением C : N и высоким содержанием азота. Наличие данных параметров у ПКО гороха, выращиваемого в составе смесей и одновидового посева, благоприятным образом сказалось на схеме их трансформации в почве.

При наращивании доли гороха (25%→50%→75%→100%) в составе агроценоза, прослеживалась устойчивая тенденция к увеличению содержания сырой клетчатки в зерне ячменя. Содержание сырой клетчатки в зерне ячменя в меньшей степени связано с выполненностью и крупностью самих семян, так как определяющим критерием в этом случае является их плёнчатость (Швецов и др., 2015). Исключительную важность имеет показатель содержания сырой клетчатки с точки зрения переваримости получаемого корма. Согласно ГОСТ Р 53900-2010 «Ячмень кормовой. Технические условия» во всех представленных комбинациях зерно ячменя соответствовало норме для 1 класса качества (< 70 г/кг корма).

Содержание сырого жира в используемом на корм зерне ярового ячменя не регламентируется нормативными документами. Однако его количество определяется для установления общей питательности получаемого концентрированного корма. Количество сырого жира в зерне ячменя существенно не изменялось от предшественников и последействия доз N-удобрения и находилось на уровне 29,1…39,4 г/кг зерна (табл. 8.16). Количество сырой золы в зерне ячменя составляло 28,5…34,9 г/кг и соответствовало норме для 3 класса качества (табл. 8.16).

Таблица 8.16. Содержание сырого жира и сырой золы в зерне ярового ячменя, г/кг сухого вещества (среднее за 3 года)

Состав агроценоза (фактор А)		Сырой жир			Среднее по А	Сырая зола			Среднее по А
		N0	N30	N60		N0	N30	N60	
Пшеница 100%		36,0	39,4	34,8	36,7	30,4	30,1	31,1	30,5
Пшеница 75% + горох 25%		36,1	32,7	33,7	34,2	31,2	28,5	30,9	30,2
Пшеница 50% + горох 50%		29,1	30,7	35,9	31,9	33,1	31,1	34,9	33,0
Пшеница 25% + горох 75%		31,2	29,9	32,3	32,8	31,2	31,5	31,6	31,4
Горох 100%		33,9	33,3	34,1	33,7	33,1	29,9	29,8	30,9
Среднее по В, $НСР_{05}$ гл. эфф.		33,3	33,2	35,1	$НСР_{05}$ гл. эфф. 3,76	31,8	30,2	31,7	$НСР_{05}$ гл. эфф. 4,08
		1,76				2,67			
$НСР_{05}$ для частных различий по фактору	А	6,52				7,07			
	В	3,94				5,97			
Нормы для 1 / 2 / 3 класса качества зерна ячменя по ГОСТ Р 53900-2010		не нормируется				<20 / 20-30 / >30			

По итогу расчётов можно констатировать, что содержание БЭВ имело отрицательную сильную зависимость (r = -0,97) от долевого присутствия гороха в составе агроценоза предшественника (табл. 8.17). Выявленный параметр обусловлен накоплением сырого протеина в зерне ячменя, а, следовательно, практическим пропорциональным снижением количества легкорастворимых и легкогидролизуемых углеводистых соединений, составляющих основу безазотистых экстрактивных веществ. Отмеченный параметр достаточно чётко прослеживается не только на основании главных эффектов, но и частных различий по фактору А.

Таблица 8.17. Содержание безазотистых экстрактивных веществ (БЭВ, г) и обменной энергии (ОЭ, МДж) в зерне ячменя, кг сухого вещества (среднее за 3 года)

Состав агроценоза (фактор А)		БЭВ			Среднее по А	Обменная энергия			Среднее по А
		N0	N30	N60		N0	N30	N60	
Пшеница 100%		771,8	774,6	767,9	771,5	12,34	12,26	12,35	12,31
Пшеница 75% + горох 25%		747,8	765,7	783,0	765,5	12,42	12,35	12,18	12,32
Пшеница 50% + горох 50%		753,4	749,7	744,3	749,1	12,28	12,35	12,19	12,27
Пшеница 25% + горох 75%		759,2	752,9	737,6	751,6	12,35	12,25	12,42	12,34
Горох 100%		733,9	743,4	734,0	735,4	12,16	12,29	12,37	12,28
Среднее по В, $НСР_{05}$ гл. эфф.		753,2	757,3	753,4	$НСР_{05}$ гл. эфф. 10,41	12,31	12,30	12,30	$НСР_{05}$ гл. эфф. 0,07
		6,47				0,05			
$НСР_{05}$ для частных различий по фактору	А	18,03				0,12			
	В	14,47				0,11			
Нормы для 1 / 2 / 3 класса качества зерна ячменя по ГОСТ Р 53900-2010		не нормируется				>13 / 12-13 / <12*			

Зерно ячменя, полученное при использовании в качестве предшественников

смешанных посевов пшеницы и гороха (пшеница 50% + горох 50%, пшеница 25% + горох 75%), существенно отличалось по величине обменной энергии. При увеличении долевого присутствия гороха в составе высеваемой смеси свыше 25%, разница в содержании обменной энергии в зерне ячменя составила 0,19-0,14 МДж/кг. Следует отметить снижение величины ОЭ при уменьшении содержания БЭВ в составе зерна ячменя. Зерно ячменя, где в качестве предшественника были смешанные посевы пшеницы и гороха, не зависимо от рецептурного соотношения компонентов высеваемой смеси и доз N-удобрения в последействии, по содержанию обменной энергии в 1 кг сухого вещества полностью соответствовало норме 2 класса качества национального стандарта ГОСТ Р 53900-2010 «Ячмень кормовой. Технические условия».

8.3. Влияние биологического азота вики озимой на урожайность и качество зерна пшеницы яровой

Оценка посевов озимой вики в качестве предшественника предполагает определение количества симбиотически фиксируемого азота в общей биомассе растений и той части урожая, которая остаётся в поле с ПКО и соломой. На основании полученных результатов, рассчитывали величину возможной прибавки урожайности зерна яровой пшеницы (табл. 8.18).

Таблица 8.18. Расчётное количество усвоенного $N_{биол.}$ и величины прибавок урожайности зерна яровой пшеницы при разных сроках уборки смешанных и одновидового посевов озимой вики (среднее за 3 года)

Состав агроценоза (фактор А)	Количество используемого $N_{биол.}$, кг/га				Величина прибавок урожайности, т/га			
	N0	N30	N45	N60	N0	N30	N45	N60
Зерносенаж								
Тритикале 75% + вика 25%	4,3	5,0	5,9	6,5	0,14	0,17	0,20	0,22
Тритикале 50% + вика 50%	9,4	10,7	12,9	12,8	0,31	0,36	0,43	0,43
Тритикале 25% + вика 75%	14,4	15,9	18,7	15,5	0,48	0,53	0,62	0,52
Вика 100%	14,3	15,8	14,7	13,3	0,48	0,53	0,49	0,44
Зерно								
Тритикале 75% + вика 25%	6,9	6,7	6,5	6,3	0,23	0,22	0,22	0,21
Тритикале 50% + вика 50%	12,6	12,2	11,7	11,3	0,42	0,41	0,39	0,38
Тритикале 25% + вика 75%	18,4	17,8	17,1	16,6	0,61	0,59	0,57	0,55
Вика 100%	18,3	16,7	16,6	16,0	0,61	0,56	0,55	0,53

Вынос азота яровой пшеницей с 1 т зерна и соответствующим количеством соломы составляет 30 кг (Михайлова Л.А. и др., 2015). При уборке смешанных посевов озимой вики на зерносенаж, расчётные величины прибавок урожайности зерна пшеницы, от поступающего в составе ПКО биологического азота составили от 0,14 до 0,62 т/га. Полученные значения определялись составом формируемых агроценозов, их урожайностью и выходом ПКО. По количеству доступного для питания яровой пшеницы симбиотически фиксированного азота (14,4…18,7 кг/га) необходимо отметить смешанный посев в составе которого превалировала озимая вика (тритикале 25% + вика 75%). При внесении азотного удобрения (N45-60) количество используемого $N_{биол.}$ в этом посеве было выше, чем после одновидового ценоза бобовой культуры. Более высокая расчётная величина прибавки урожая (0,62 т/га) получена в смешанном посеве тритикале 25% + вика 75%, при внесении N45.

При уборке на зерно совместно с пожнивно-корневыми остатками производили запашку получаемой соломы. За счёт этого в почву после одновидовых посевов вики и тритикале поступало дополнительно 6,54…7,66 т/га и 3,07…3,98 т/га органического вещества. В смешанных посевах их значение было – 2,51…6,98 т/га. Для использования растениям пшеницы после одновидового и смешанных посевов озимой вики было доступно 6,3…18,4 кг/га симбиотически фиксированного азота. При этом величина расчётной прибавки урожайности зерна яровой пшеницы составила 0,21…0,61 т/га. За счёт использования азотного удобрения снижалось поступление органического вещества с вегетативной массой, отмечалось снижение семенной продуктивности озимой вики, количества её пожнивно-корневых остатков в общем объёме поступающего органического вещества из-за умеренного и сильного полегания посевов. Одновидовой посев озимой вики не имел преимущества перед смесями по количеству используемого $N_{биол.}$ только при уборке ценозов на зерно. Высокое качество ПКО при уборке посевов на зерно (C : N 22…29), не ограничивало подвижность и количество азота, доступное для использования растениями яровой пшеницы.

Условия постановки полевого опыта в звене севооборота, позволили определить действие биологического азота вики озимой, возделываемой в составе од-

новидового и смешанных вико-тритикалевых агроценозов, на урожайность зерна яровой пшеницы (табл. 8.19).

Таблица 8.19. Урожайность зерна яровой пшеницы, возделываемой после одновидовых и смешанных агроценозов тритикале и вики, т/га (среднее за 3 года)

Предшественник (фактор А)		Дозы азота под предшественник (фактор В)				Среднее по А $НСР_{05}$ гл. эфф. = 0,14
		N0	N30	N45	N60	
Тритикале 100%		2,47	2,55	2,67	2,86	2,64
Тритикале 75% + вика 25%		2,76	2,81	2,81	2,94	2,83
Тритикале 50% + вика 50%		3,10	3,16	3,13	2,90	3,07
Тритикале 25% + вика 75%		2,93	3,05	3,37	3,12	3,12
Вика 100%		2,83	2,90	3,03	3,25	3,00
Среднее по В, $НСР_{05}$ гл. эфф. = 0,15		2,82	2,89	3,00	3,01	
$НСР_{05}$ для частных различий по фактору	А	0,29				
	В	0,32				

Урожайность зерна яровой пшеницы по годам проведения исследований (2015-2017 гг.), с учётом предшественника и последействия доз вносимого азотного удобрения представлена в приложении 75. Размещение пшеницы после смешанных (+0,19…0,48 т/га) и одновидового посева зернобобовой культуры (+0,36 т/га), в среднем за 3 года, имело существенное преимущество относительно одновидового агроценоза тритикале. Увеличение урожайности зерна яровой пшеницы, при увеличении долевого присутствия озимой вики в составе посевов, связано со следующими параметрами:

- увеличением урожайности в посевах, количеством поступающего в почву растительного опада, пожнивных и корневых остатков;

- поступлением послеуборочных остатков тритикале с более высоким содержанием азота;

- прочими факторами, которые обуславливают накопление в ризосфере озимой вики компонентов корневых экссудатов и связанных с ними микроорганизмов, характер и интенсивность минерализационно-иммобилизационных превращений в почве азота послеуборочных растительных остатков, подвижность органического вещества почвы и минеральных форм азота.

В отсутствии внесённого с удобрением минерального азота, наблюдалось устойчивое развитие растений озимой вики, их симбиотического аппарата. За счёт

этого происходило выделение более высокого количества органических соединений посредством экзоосмоса и последующая их иммобилизация в ризосфере. Количество и состав корневых экссудатов определяется видом культуры и условиями её выращивания. При внесении N-удобрения наблюдалось ингибирующее действие, выраженное посредством снижения нодуляции и симбиотической активности азотфиксирующих микроорганизмов, инфицирующих корневую систему вики на начальных этапах вегетации, а также влиянием на развитие и последующее эффективное функционирование симбиотического аппарата бобового компонента в посеве. О чём может свидетельствовать тенденция снижения урожая зерна в одновидовом посеве озимой вики и его доли в составе урожая смешанных агроценозов.

В среднем по опыту при внесении азота в дозе 45 и 60 кг д.в./га. отмечено последействие применения азотной подкормки. В условиях дерново-подзолистой почвы Предуралья последействие азотных удобрений прослеживается достаточно редко. Основными условиями для этого является низкий уровень осадков за вегетационный период, наряду с высокой дозировкой применяемых удобрений. В рамках эксперимента с озимыми зерновыми культурами и используемого диапазона доз азотного удобрения, последействие от использования азота минерального удобрения в большей степени было выражено косвенно – за счёт активизации физиологических и ростовых процессов у растений предшественников, изменения биохимического состава их урожая.

Уровень фактической прибавки урожайности зерна яровой пшеницы после смешанных посевов (0,29…0,90 т/га) несколько превышает расчётные величины (0,14…0,62-0,04…0,19 т/га) за счёт симбиотически фиксированного азота. Это вполне закономерно, так как при расчёте величины прибавки урожайности зерна пшеницы не учитывается количество общего азота в составе ПКО. Наряду с этим происходит изменение биохимического состава урожая и ПКО тритикале, возделываемой в составе смешанных агроценозов с викой. Благодаря увеличение содержания N в составе послеуборочных остатков, происходит сужение соотношения C : N, что положительно отражается на их качестве, потоках азота в почве и урожайности зерна яровой пшеницы.

Поступление и закрепление в почве азота, фиксированного благодаря клубеньковым бактериям на корнях озимой вики, в комплексе отразилось на продуктивности последующей культуры севооборота. Произошло повышение урожайности, изменение показателей биохимического состава и качества зерна яровой пшеницы (табл. 8.20-8.25).

Содержание сырого протеина является важным и зачастую определяющим показателем качества зерна яровой пшеницы, которое используется на фуражные цели (табл. 8.20). На величину этого показателя непосредственное влияние оказывают гидротермические условия вегетационного периода и минерального питания, используемые удобрения и предшественники (Политыко и др., 2021б).

Таблица 8.20. Содержание сырого протеина и сырой клетчатки в зерне яровой пшеницы, г/кг сухого вещества (среднее за 3 года)

Тип предшественника (фактор А)		Сырой протеин				Среднее по А	Сырая клетчатка				Среднее по А
		N0	N30	N45	N60		N0	N30	N45	N60	
Тритикале 100%		157,7	150,7	144,6	141,0	148,5	23,3	23,4	29,4	29,5	26,4
Тритикале 75% + вика 25%		155,2	154,1	151,6	148,5	152,4	28,7	31,2	30,4	28,0	29,6
Тритикале 50% + вика 50%		149,5	154,7	156,3	153,6	153,5	31,2	33,9	25,1	31,4	30,4
Тритикале 25% + вика 75%		156,0	158,7	163,0	161,6	159,8	33,2	38,5	33,8	34,0	34,9
Вика 100%		163,8	166,2	162,4	157,1	162,4	28,4	44,4	29,0	37,2	34,8
Среднее по В, $НСР_{05}$ гл. эфф.		156,4	156,9	155,6	152,4	$НСР_{05}$ гл. эфф. = 2,7	29,0	34,3	29,6	32,0	$НСР_{05}$ гл. эфф. = 3,6
		1,0					1,5				
$НСР_{05}$ для частных различий по фактору	А	5,5					7,2				
	В	2,3					3,3				
Нормы для 1 / 2 / 3 класса качества зерна пшеницы по ГОСТ Р 54078-2010		>140 / 120-140 / <120					<25 / 25-35 / >35				

Более высокое содержание сырого протеина в зерне яровой пшеницы (152,4…162,4 г/кг), получено при размещении её посева после агроценозов с озимой викой. При увеличении доли озимой вики в смешанных агроценозах (с 25% до 50% и 75%), используемых в качестве предшественника, наблюдалось увеличение содержания сырого протеина на 3,8, 5,0 и 11,3 г/кг. Полученное зерно яровой пшеницы соответствовало норме 1 класса качества. Более высокое содержание сырого протеина в зерне пшеницы (163,8-166,2 г/кг), также соответствующее норме для 1 класса качества (> 140 г/кг), получено при выращивании культуры после одновидового ценоза вики. Последействие азотного удобрения, в целом по

опыту, проявлялось в виде снижения содержания сырого протеина в зерне пшеницы (до 155,6 и 152,4 г/кг) при увеличении его дозировки до 45 и 60 кг д.в./га. Данные изменения признака могут быть связаны с ингибирующим действием со стороны N-удобрения по отношению к развитию симбиотического аппарата и азотфиксирующей способности бобового компонента. В этом случае в почву поступало органическое вещество с низким содержанием азота и более широким соотношением C : N. В последующем это оказало влияние на наличие и доступность азота в почве для использования яровой пшеницей.

При наращивании доли озимой вики (25%→50%→75%) в составе агроценоза предшественника, прослеживалась устойчивая тенденция к увеличению содержания сырой клетчатки в зерне яровой пшеницы. Содержание сырой клетчатки в зерне пшеницы связано с толщиной алейронового слоя семени и выходом отрубянистых оболочек. Согласно ГОСТ Р 54078-2010 «Пшеница кормовая. Технические условия» по всем типам предшественников зерно пшеницы соответствовало норме для 2 класса качества (от 25 до 35 г/кг корма).

Количество сырого жира в зерне яровой пшеницы находилось на уровне 10,8…11,8 г/кг зерна и не изменялось от типа предшественника и последействия доз N-удобрения (табл. 8.21).

Таблица 8.21. Содержание сырого жира и сырой золы в зерне яровой пшеницы, г/кг сухого вещества (среднее за 3 года)

Тип предшественника (фактор А)		Сырой жир				Среднее по А	Сырая зола				Среднее по А
		N0	N30	N45	N60		N0	N30	N45	N60	
Тритикале 100%		11,1	11,0	11,8	11,2	11,3	18,3	16,7	19,0	16,7	17,7
Тритикале 75% + вика 25%		11,6	11,2	11,5	11,2	11,4	17,8	17,5	17,8	18,2	17,8
Тритикале 50% + вика 50%		10,8	11,0	11,4	11,6	11,2	17,7	19,6	17,1	20,5	18,7
Тритикале 25% + вика 75%		11,0	11,2	11,2	10,8	11,0	16,6	18,1	23,3	17,4	18,8
Вика 100%		10,8	10,8	10,8	10,9	10,8	18,6	17,4	18,5	18,3	18,2
Среднее по В, $НСР_{05}$ гл. эфф.		11,1	11,0	11,4	11,1	$НСР_{05}$ гл. эфф. = 0,4	17,8	17,8	19,1	18,2	$НСР_{05}$ гл. эфф. = 0,4
		0,2					0,3				
$НСР_{05}$ для частных различий по фактору	А	0,9					0,7				
	В	0,5					0,7				
Нормы для 1 / 2 / 3 класса качества зерна пшеницы по ГОСТ Р 54078-2010		не нормируется					<18 / 18-22 / >22				

При возделывании пшеницы после одновидового посева тритикале или сме-

си тритикале 75% + вика 25%, полученное зерно по содержанию сырой золы соответствовало норме ГОСТ Р 54078-2010 для 1 класса качества (табл. 8.21). Повышение признака на 0,9…1,1 г/кг наблюдалось с увеличением долевого участия озимой вики в составе агроценоза предшественника. За счёт чего, зерно пшеницы, по содержанию сырой золы соответствовало только 2 классу качества.

На основании проведённых расчётов можно констатировать, что содержание БЭВ в зерне пшеницы, зависело (r = -0,98) от долевого присутствия озимой вики в составе агроценоза предшественника (табл. 8.22).

Таблица 8.22. Содержание безазотистых экстрактивных веществ (БЭВ, г) и обменной энергии (ОЭ, МДж) в зерне пшеницы, кг сухого вещества (среднее за 3 года)

Тип предшественника (фактор А)		БЭВ				Среднее по А	Обменная энергия				Среднее по А
		N0	N30	N45	N60		N0	N30	N45	N60	
Тритикале 100%		789,6	798,2	795,1	801,7	796,1	13,12	13,07	12,91	12,90	13,00
Тритикале 75% + вика 25%		786,7	786,0	788,6	794,0	788,8	13,03	12,98	12,97	12,97	12,99
Тритикале 50% + вика 50%		790,9	780,8	790,2	782,9	786,2	12,94	12,92	13,09	12,94	12,97
Тритикале 25% + вика 75%		783,3	773,6	768,7	776,2	775,5	12,98	12,91	12,95	13,01	12,96
Вика 100%		778,3	761,2	779,2	776,5	773,8	13,09	12,90	13,07	12,91	12,99
Среднее по В, $НСР_{05}$ гл. эфф.		785,8	780,0	784,3	786,3	$НСР_{05}$ гл. эфф. = 3,7	13,03	12,96	13,00	12,95	$НСР_{05}$ гл. эфф. = 0,06
		1,7					0,03				
$НСР_{05}$ для частных различий по фактору	А	7,3					0,12				
	В	3,9					0,06				
Нормы для 1 / 2 / 3 класса качества зерна пшеницы по ГОСТ Р 54078-2010		не нормируется					>13,0 / 12,0-13,0 / <12,0*				

Снижение количества углеводистых соединений в зерне пшеницы обусловлено накоплением сырого протеина, так как между этими параметрами прослеживается взаимная обратно пропорциональная зависимость, продиктованная алгоритмом расчёта показателя БЭВ. Отмеченный параметр достаточно чётко прослеживается не только на основании главных эффектов, но и частных различий по фактору А.

Зерно пшеницы, полученное после одновидовых и смешанных посевов пшеницы и гороха, не отличалось по насыщенности обменной энергией. При возделывании по любому из типов предшественников в среднем по опыту, соответствовало норме для 2 класса качества. Внутри каждого типа предшественника был вариант, в котором полученное зерно пшеницы имело более высокое содержание

обменной энергии (>13,0 МДж/кг), за счёт чего, по рассматриваемому показателю, соответствовало 1 классу качества.

Зерно яровой пшеницы, полученное в посеве, для которого в качестве предшественника выступали смешанные агроценозы с разным рецептурным соотношением тритикале и вики, по биохимическому составу и содержанию обменной энергии в 1 кг сухого вещества, соответствовало норме 2 класса качества национального стандарта ГОСТ Р 54078-2010 «Пшеница кормовая. Технические условия».

Зерно яровой пшеницы не только достаточно широко используется на кормовые цели, но и является основным сырьём для производства хлебобулочных изделий (Асеева и др., 2020). Не смотря на производство достаточно больших объёмов зерна пшеницы на территории отдельных субъектов Российской Федерации и страны в целом, потребность в зерне для хлебопечения удовлетворяется не полностью (Василова и др., 2016). В основном это связано со сравнительно низким качеством производимого зерна пшеницы, не соответствующего хлебопекарным нормам 3-го и выше товарного класса.

Качество зерна пшеницы зависит от большого количества факторов. Генотипическая принадлежность сорта наряду с гидротермическими условиями и уровнем природных ресурсов территории, на которой производится возделывание культуры, определяет тип и подтип зерна пшеницы, а также показатели товарного качества семян. Наряду с этим, основным путём, позволяющим корректировать хлебопекарные свойства зерна злаковых культур при возделывании их на дерново-подзолистых почвах Нечернозёмной зоны, остаётся регулирование условий N-питания.

Одной из основных проблем для зернового хозяйства в настоящее время является проблема белковости зерна, от которого напрямую зависит его стоимость (Крупнова, 2009). Содержание белка в зерне пшеницы отечественных сортов является изменчивым признаком. В зависимости от условий возделывания может изменяться в очень широких пределах – от 6 до 25% (Завалин, Пасынков, 2007). По данным (Исмагилов, 2016) содержание белка в зерне пшеницы очень тесно связано (r = 0,89) со среднесуточной температурой воздуха в период «формирование-созревание зерна». Основной причиной физиологического плана является количество азотистых

веществ в растении, приходящееся на единицу массы зерна (Горшкова, 1996). Не менее важным фактором является сохранение способности у растений к поглощению азота в момент формирования и налива зерна (Завалин, 2003). И наконец, способность самих семян пшеницы к биоситезу протеиновых соединений, совместно с аттрагирующей способностью колоса оттягивать на себя синтезируемые белковые соединения, является определяющим параметром для накопления белка в зерне (Гамзикова, 1994). Важными и зачастую определяющими агротехническими условиями, с которыми связано изменение содержания белка в зерне пшеницы, является тип предшественника и уровень азотного питания (табл. 8.23).

Таблица 8.23. Содержание белка (%) и стекловидность (%) зерна яровой пшеницы (среднее за 3 года)

Тип предшественника (фактор А)	Сырой белок				Среднее по А	Стекловидность				Среднее по А
	N0	N30	N45	N60		N0	N30	N45	N60	
Тритикале 100%	9,84	10,47	11,44	11,70	10,86	40,9	44,1	37,1	35,3	39,3
Тритикале 75% + вика 25%	11,15	11,54	11,63	12,52	11,71	40,3	40,0	42,7	39,5	40,6
Тритикале 50% + вика 50%	11,40	11,76	12,38	12,57	12,03	41,8	42,9	40,7	38,3	40,9
Тритикале 25% + вика 75%	11,96	12,36	13,41	12,50	12,56	39,6	41,1	40,8	43,0	41,1
Вика 100%	13,47	13,57	13,36	12,77	13,28	41,5	43,3	38,7	37,3	40,2
Среднее по В, $НСР_{05}$ гл. эфф.	11,57	11,94	12,44	12,41	$НСР_{05}$ гл. эфф. = 0,52	40,8	42,3	40,0	38,7	$НСР_{05}$ гл. эфф. = 2,4
	0,47					1,9				
$НСР_{05}$ для частных различий по фактору А	1,05					4,9				
$НСР_{05}$ для частных различий по фактору В	1,03					4,2				
Нормы 1 / 2 / 3 / 4 / 5 класса качества зерна пшеницы по ГОСТ 9353-2016	не менее 14,5 / 13,5 / 12,0 / 10,0 / не огр.					не менее 60 / 60 / 40 / не огр. / не огр.				

При возделывании яровой пшеницы после смешанных посевов озимой вики, полученное зерно характеризовалось более высоким содержанием белка (11,71…12,56%), по отношению к использованию в качестве предшественника одновидового посева тритикале. Однако, только с увеличением до 50% и 75% в составе смешанных агроценозов предшественника доли озимой вики, полученное зерно пшеницы соответствовало норме 3 класса качества. Это позволяет рекомендовать его использование для хлебопекарных целей. Более высокое содержание белка в зерне пшеницы (13,28%), соответствующее также норме для 3 класса качества (не менее 12,0%), получено при выращивании культуры после одновидового посева зернобобовой культуры.

Последействие от внесения азотного удобрения под предшественник было выражено в качестве слабой тенденции к увеличению содержания белка. Это продиктовано созданием наиболее благоприятных условий азотного питания, прежде всего для злакового компонента в составе агроценозов предшественников. За счёт внесения N-удобрения под предшественник, в составе ПКО в почву поступало органическое вещество с более узким соотношением C : N и высоким содержанием азота. Эти параметры благоприятным образом сказались на формирующихся потоках азота и сохраняли его доступность для использования последующей культурой. Учитывая совокупность изучаемых факторов, следует заметить, что сильное по хлебопекарным свойствам (по ГОСТ 34702-2020) и соответствующее по содержанию белка норме 2 класса качества (по ГОСТ 9353-2016) зерно пшеницы, получено только при размещении культуры после одновидового агроценоза озимой вики по последействию N30.

Стекловидность зёрен пшеницы в значительной мере определяет оттенок цвета семян и непосредственно связана с его технологическими достоинствами (Ненайденко, 2018). Мука, полученная при размоле стекловидных зёрен обладает лучшими технологическими свойствами. За счёт включения озимой вики в состав посевов, выступающих предшественниками для яровой пшеницы, наблюдалось повышение доли стекловидных семян в урожае (табл. 8.23). Согласно полученного уровня признака (40,2…41,1%), зерно пшеницы соответствовало норме 3 класса качества по ГОСТ 9353-2016 «Пшеница. Технические условия» и отвечало требованию к зерну пшеницы-филлера (ГОСТ 34702-2020 «Пшеница хлебопекарная. Технические условия»). Цвет муки из стекловидного зерна белый с кремовым оттенком, что в последующем прослеживается и у выпекаемого хлеба (https://profi-agro.ru). При измельчении высоко стекловидного зерна получается больше крупок, за счёт чего обеспечивается больший выход муки высшего и первого сортов (Палий, 2017).

Научными исследованиями (Асеева и др., 2020) и опытом работы мукомольных предприятий подтверждено, что чем выше натура зерна, тем оно более выполненное (при прочих одинаковых показателях качества). Такое зерно содержит меньше отрубянистых оболочек и больше эндосперма, что, в конечном счете, определяет выход муки и количество отрубей (табл. 8.24).

Таблица 8.24. Натура зерна (г/л) и масса 1000 семян (г) яровой пшеницы (среднее за 3 года)

Тип предшественника (фактор А)		Натура				Среднее по А	Масса 1000 семян				Среднее по А
		N0	N30	N45	N60		N0	N30	N45	N60	
Тритикале 100%		770	769	760	776	769	32,9	33,6	31,6	32,6	32,7
Тритикале 75% + вика 25%		769	765	778	776	772	33,4	32,0	33,9	33,1	33,1
Тритикале 50% + вика 50%		773	776	776	778	776	33,0	34,0	32,5	33,8	33,3
Тритикале 25% + вика 75%		753	763	775	774	766	32,3	33,2	32,6	32,0	32,5
Вика 100%		777	761	765	768	768	31,8	33,0	31,7	33,3	32,4
Среднее по В, $НСР_{05}$ гл. эфф.		768	767	771	774	$НСР_{05}$ гл. эфф. = 5	32,7	33,2	32,5	32,9	$НСР_{05}$ гл. эфф. = 1,1
		4					0,6				
$НСР_{05}$ для частных различий по фактору	А	11					2,3				
	В	10					1,4				
Нормы 1 / 2 / 3 / 4 / 5 класса качества зерна пшеницы по ГОСТ 9353-2016		не менее 750 / 750 / 730 / 710 / не огр.					не нормируется				

Натурный вес зерна яровой пшеницы в зависимости от типа предшественника и последействия доз N-удобрения изменялся не значительно 753…778 г/л. При любом сочетании изучаемых факторов, уровень признака соответствовал норме 1 класса качества согласно ГОСТ 9353-2016. Выполненность зерна пшеницы косвенно свидетельствует о достаточном количестве и доступности элементов питания для растений в почве на протяжении вегетационного периода, последующем полноценном оттоке ассимилятов из вегетативной массы в зерно. Снижение натуры в зерне пшеницы на каждый грамм, против нормы по мельничным кондициям (775 г/л), уменьшает выход получаемой муки на 0,05% за счет увеличения объёма отрубей в эквивалентном количестве.

Согласно ГОСТ 9353-2016 «Пшеница. Технические условия» масса 1000 зёрен не является базисным показателем качества. Крупные семена обеспечивают выход светлой муки. Сбалансированное минеральное питание и наличие атмосферных осадков в период налива зерна, способствуют увеличению полновесности семян. Масса 1000 зёрен с учётом типа предшественника и последействия азотного удобрения составляла от 32,4 до 33,3 г (табл. 8.24). Полученное в опыте зерно было полновесным и выполненным, содержало больше эндосперма и меньше оболочек. Крупное зерно имеет большую массу в сравнении с щуплым, даёт больший выход муки и крупы. Зафиксированный уровень признака, соответствовал генотипической характеристике сорта (31…38 г), заявленной его оригинатором (прил. 15).

Наряду с содержанием белка, стекловидностью и натурой, важным показателем качества зерна мягких пшениц является содержание сырой клейковины (табл. 8.25). Клейковину образует белковый комплекс состоящий из глиадинов, глютенинов и неизвлекаемых азотистых веществ (Ненайденко, 2018). Содержание сырой клейковины в зерне пшеницы сорта Иргина тесно связано с содержанием белка (r = 0,85) и менее тесно (r = -0,32) – с массой 1000 зёрен (Завалин и др., 2000). Выход её зависит от почвенного плодородия, агротехнологий, погоды и удобрений (Толстова, 2016).

Таблица 8.25. Содержание (%) и качество (ед. ИДК) сырой клейковины в зерне пшеницы (среднее за 3 года)

Тип предшественника (фактор А)		Клейковина				Среднее по А	ИДК				Среднее по А
		N0	N30	N45	N60		N0	N30	N45	N60	
Тритикале 100%		24,83	25,27	26,46	27,49	26,01	62,3	62,3	61,3	62,6	62,1
Тритикале 75% + вика 25%		26,13	26,34	27,02	27,94	26,86	61,8	63,5	64,6	64,2	63,5
Тритикале 50% + вика 50%		27,44	26,92	27,41	27,66	27,36	64,4	64,6	64,1	62,1	63,8
Тритикале 25% + вика 75%		27,81	27,25	27,69	27,53	27,57	64,1	63,7	64,8	65,0	64,4
Вика 100%		28,11	28,46	27,77	27,14	27,87	65,4	65,2	63,6	62,6	64,2
Среднее по В, $НСР_{05}$ гл. эфф.		26,86	26,85	27,27	27,55	$НСР_{05}$ гл. эфф. = 0,85	63,6	63,9	63,7	63,3	$НСР_{05}$ гл. эфф. = 1,0
		0,53					0,7				
$НСР_{05}$ для частных различий по фактору	А	1,69					2,1				
	В	1,19					1,7				
Нормы 1 / 2 / 3 / 4 / 5 класса качества зерна пшеницы по ГОСТ 9353-2016		не менее 32 / 28 / 23 / 18 / не огр.					43-77 / 43-77 / 18-102 / 18-102 / не огр.				

В зерне яровой пшеницы, полученном при возделывании культуры после смешанных и одновидового агроценозов озимой вики, содержание сырой клейковины было более высоким и составляло от 26,23 до 27,74%. В зависимости от последействия доз N-удобрения величина прибавки в среднем по опыту составила +0,41…0,69%. Более высокие значения этого показателя (27,25-27,81%) в зерне после смесей, были характерны для посева предшественника с превалированием бобового компонента (тритикале 25% + вика 75%). Этот результат является весьма предсказуемым, так как многократно (Никитин, 2017; Труфанов, 1994) доказана тесная зависимость массовой доли клейковины от содержания белка. Проведение статистической обработки экспериментальных данных подтверждает данное положение, в связи с наличием тесной прямой зависимости (r = 0,88) между этими параметрами. По данным (Исмагилов, 2016) в условиях республики Башкортостан изменение содержания белка в зерне пшеницы на

1% сопровождается изменением массовой доли клейковины на 2,53%. По результатам представленного исследования соотношение между этими величинами составило 1 : 2,06-2,52. В соответствии с этим, следует отметить, что содержание белка можно использовать в качестве показателя для оценки хлебопекарных свойств зерна пшеницы. Однако, согласно существующим требованиям к качеству хлебопекарной пшеницы (ГОСТ 34702-2020 «Пшеница хлебопекарная. Технические условия»), массовую долю белка определяют по требованию покупателя.

Полученное в посевах пшеницы зерно независимо от предшественника и созданного ранее фона азотного питания, соответствует норме для 3 класса качества (не менее 23%). Исключение составил вариант при размещении пшеницы после одновидового посева вики, при отсутствии внесения азотного удобрения (N0) или при внесении N30. В этом случае зерно по количеству клейковины соответствовало сильной пшенице и отвечало норме 2 класса качества (не менее 28%). Ведущим фактором, обусловливающим формирование хлебопекарных свойств зерна, является качество клейковины, которая с одной стороны должна быть упругой, а с другой – должна обладать повышенной эластичностью. Поэтому соответствующее I группе (по ГОСТ 9353-2016) хорошее качество клейковины (по ГОСТ Р 54478-2011), характерно для зерна сильной пшеницы (по ГОСТ 34702-2020) в среднем диапазоне значений единиц ИДК. Качество клейковины в зерне пшеницы было на уровне 61,3…65,4 ед. ИДК (табл. 8,25). Более низкие значения этого показателя (61,3…62,6 ед. ИДК), были получены после одновидового посева тритикале. Увеличение доли озимой вики в смешанных агроценозах предшественника, способствовало повышению качества сырой клейковины. Учитывая совокупность изучаемых факторов, следует заметить, что всё полученное зерно в опыте имело клейковину хорошего качества. По данному показателю зерно соответствовало норме для 1-2 класса I группы, что характерно для сильных пшениц. Зерно пшеницы с таким качеством клейковины может быть рекомендовано для формирования помольной партии при производстве хлебопекарной муки с целью улучшения хлебопекарных свойств слабой пшеницы или пшеницы-филлера и получения стандартной по качеству хлебопекарной муки.

ГЛАВА 9. АКТИВНОСТЬ И СТРУКТУРА МИКРОБНОГО СООБЩЕСТВА, СОДЕРЖАНИЕ И ТРАНСФОРМАЦИЯ ФОРМ БИОГЕННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ (C, N) В ПОЧВЕ ПРИ РАЗЛОЖЕНИИ СОЛОМЫ ЗЕРНОВЫХ КУЛЬТУР

Растительные остатки являясь периодическим источником легкоразлагаемых соединений и сложных конституционных органических веществ в почве, обуславливают изменение микробиологических и агрохимических показателей почвы, воспроизводство и обновление почвенного органического вещества, трансформацию пулов углерода и азота (Семенов, Когут, 2015; Завалин и др., 2018). При разложении соломы в почве преобладают два основных процесса трансформации органического вещества, которые протекают под воздействием специфических ферментов: до конечных продуктов – углекислоты, воды и минеральных элементов – минерализация; до образования стабильных гумусовых веществ – гумификация. Ведущая роль в этих почвенных процессах отводится микроорганизмам (Хазиев, 1991; Русакова, Еськов, 2011).

Наличие соломистого субстрата и возможности его использования в качестве источника энергии, является определяющим параметром для развития микроорганизмов в характерной для них среде обитания. Поступление в почву послеуборочных пожнивно-корневых остатков, отличающихся физиологической спелостью, содержанием азота и гликопротеидных комплексов с лигнином, обуславливает повышение численности конкретных таксонов и гетерогенности почвенного микробиома детритосферы (Колсанов и др., 2004). Так, при внесении соломы зерновых культур прослеживалась положительная динамика численности и активности отдельных физиологических групп микроорганизмов: олиго- и педотрофных, а также амилолитических. В свою очередь от увеличения численности почвенной микрофлоры, для которой солома является местом локализации, зависит скорость разложения органического вещества соломы (Орлова и др., 2015).

Интенсивность разложения, зависит от отношения углерода к азоту (C : N), который является достаточно точным показателем качества органического вещества. Растительные остатки с широким отношением C к N не обеспечивают достаточного количества азота для метаболизма микроорганизмов при их высокой активности. Ко-

гда быстро метаболизируемые субстраты (углеводы) истощаются, лимитирование питания сменяется от азота к углероду (Семенов, 2020). Узкое соотношение C : N в пожнивных остатках колеблется от 15 до 30, в зависимости от запаса минерального азота в почве и качества органических веществ, длительности их разложения. При увеличении соотношения C : N разложение соломы замедляется, начинает наблюдаться процесс иммобилизации азота (Дедов и др., 2016). От исходного содержания азота, отношений C : N и лигнин : N в составе растительного материала зависит характер деструкции, которая осуществляется преимущественно бактериями или грибами (Neely et al., 1991). Наличие устойчивых веществ замедляет переработку ПКО микроорганизмами. Эти различия особенно существенны на начальных этапах разложения, с развитием процесса минерализации и усилением контакта разлагающейся массы с почвой, они постепенно сглаживаются (Семенов, Ходжаева, 2006).

Интенсивная минерализация послеуборочных остатков происходит при высоком содержании легкоразлагаемых органических соединений в их составе и азота в почве. Так, на обыкновенном черноземе за 2 месяца разложение растительных остатков ячменя и озимой пшеницы составляло 36-40%, у гороха и люцерны до 47 и 58% (Новиков, Кисаров, 2012). В течение первых 2-х месяцев степень минерализации соломы кукурузы составила 48%, люпина – 40%, ячменя – 36%, рапса – 17%. В зимний и ранневесенний периоды темпы минерализации всех видов соломы значительно снижались – до 12-18% за 5 месяцев (Серая и др., 2013). В исследованиях (Орлова, Архипченко, 2012) установлено, что разложение соломы в полевых условиях на 60-е сутки опыта не превышает 10-40%, что совпадает с данными ряда исследователей, но противоречит результатам, которые указывают на более чем 50% разложение биомассы за 1 месяц.

Учитывая вышесказанное можно констатировать, что выявление закономерностей разложения соломы зерновых культур, формирования структуры микробного сообщества и ферментативной активности дерново-подзолистой почвы, выстраивание взаимосвязи с её свойствами и инициируемыми трансформационными процессами, потоками биогенных элементов (C, N) в агроценозах – важнейшее направление агрохимической науки на современном этапе.

9.1. Биохимический состав соломы и скорость её разложения в почве

Биохимический состав соломы зерновых культур представлен большим количеством ценных безазотистых веществ углеводной природы (целлюлоза, пентозаны, гемицеллюлоза, лигнин), которые служат С-содержащим энергетическим субстратом для почвенных микроорганизмов (Чекмарев, Лукин, 2014). В соломе есть все необходимые сельскохозяйственным культурам питательные вещества, которые становятся доступными для их потребления после минерализации. Особую ценность представляет наличие в составе азота, фосфора и калия, некоторого количества серы, кальция, магния и других микроэлементов, содержание которых в соломе больше чем в зерне (Акманаева и др.,2017). При разложении 1 т соломы и ПКО зернобобовых культур в почву поступает 80 кг органического вещества, 15 кг азота, 8 кг фосфора и 30 кг калия (Тютюнов и др., 2014). Биохимический состав соломы может не значительно изменятся с учётом почвенно-климатических условий, обеспеченности почвы элементами питания и технологии возделывания культуры (Новиков, 1990). Наибольшее количество легкоразлагаемых компонентов содержится в биомассе соломы гороха, меньше – в соломе озимых и яровых зерновых культур. Солома злаков отличается широким отношением C : N (55-114) в следствии низкого содержания белков и высокого содержания БЭВ (73-91%) (Лебедева и др., 2006). Для соломы зернобобовых культур характерно более узкое соотношение C : N (28-44). Биохимический состав соломы зерновых культур на 90% представлен клетчаткой, в состав которой входит 35-45% целлюлозы, 14-20% лигнина, 20-30% пентозанов, 2-3% кутина и 3-5% кремниевых солей (Tomme et al., 1995). Поэтому в разрушении соломы будут задействованы разные микроорганизмы, в первую очередь целлюлозоразлагающие. Как следствие, мы будем наблюдать разную скорость деструктивных процессов, изменение микробных сукцессий, их физиологическую и ферментативную активность, что имеет несомненный практический и теоретический интерес. Содержание углерода и NPK в соломе, которая была использована для закладки лабораторного модельного эксперимента, представлено в таблице 9.1.

Таблица 9.1. Элементный состав соломы зерновых культур, %

Культура	Содержание углерода	Содержание элементов питания			Соотношение C : N
		N	P_2O_5	K_2O	
Рожь озимая	40,3	0,38	0,63	1,42	106 : 1
Пшеница яровая	39,7	0,47	0,54	1,13	84 : 1
Ячмень яровой	40,5	0,52	0,22	1,64	78 : 1
Горох посевной	42,4	1,41	0,23	1,26	30 : 1
Овёс яровой	39,6	0,62	0,35	1,27	64 : 1

С 1 т соломы злаковых зерновых культур в почву поступает в среднем около 400 кг/га углерода органического вещества, 3,8…6,2 кг/га азота, 2,2…6,3 кг/га фосфора и 11,3…16,4 кг/га калия. При внесении соломы гороха на каждый гектар поступает больше углерода органического вещества (до 424 кг/га) и азота (до 14,1 кг/га).

В соломе углерод содержится в форме различных органических соединений. Его содержание в составе является постоянной величиной и варьируется не значительно. Высокое содержание азота (1,41%) в составе соломы и пожнивных остатков гороха прежде всего связанно с биологическими особенностями культуры и её способностью фиксировать азот из воздуха за счёт симбиоза с ризобиями. Повышенное содержание фосфора (0,63%) в соломе озимой ржи. Эта культура отличается более высокой усваивающей способностью корневой системы относительно почвенных фосфатов на протяжении всего периода вегетации. Содержание калия выше в соломе ячменя (1,64%). Эта культура в процессе вегетации достаточно требовательна к этому элементу и поглощает его больше, чем другие.

Ключевым параметром, определяющим характер и скорость разложения вносимой в почву соломы зерновых культур, является соотношение углерода к азоту (C : N). При оптимальном соотношении (25-30 : 1) происходит энергичное разложение поступающего в почву свежего органического вещества, создаются благоприятные условия для питания растений (Лебедева и др., 2008). При более узком соотношении идёт интенсивная минерализация соломы в результате активной деятельности микроорганизмов, вследствие чего наблюдается мобилизация подвижных форм азота из почвы. Весомая часть этого количества может выщелачиваться или улетучиваться при денитрификации (Кузнецова и др., 2006). При более широком соотношении C : N растительные остатки не обеспечивают доста-

точного количества азота для жизнедеятельности микроорганизмов. Наблюдается иммобилизация азота из почвы, его слабое поглощение растениями и недостаток для полноценного развития, и как следствие снижение урожайности. Наиболее широкое соотношение углерода к азоту (106 : 1) отмечалось у соломы озимой ржи и яровой пшеницы (84 : 1). Самое узкое соотношение (30 : 1), благодаря более высокому содержанию азота, в соломе гороха. Это оказало положительное влиянии на биохимические процессы при её разложении и последующем гумусонакоплении. Содержание азота в разлагаемом растительном материале и запасы $N_{мин}$ в почве как правило лимитируют рост гетеротрофных микроорганизмов, разлагающих полисахариды. Поэтому обнаруживается строгая зависимость скорости разложения фитомассы от исходного содержания в ней азота, а также отношения C/N (Trinsoutrot et al., 2000b). Растительные остатки с высоким содержанием азота разлагаются, как правило, быстрее, чем с низким (Korsaeth et al., 2002).

Скорость и интенсивность разложения соломы в почве. Интенсивность целлюлозолитических микробиальных процессов является одним из показателей биологической активности почвы, который отражает её экологическое состояние и приводит к формированию эффективного плодородия (Зинченко и др., 2013). Напряженность хода этих биологических превращений, определяется степенью распада органического вещества, поступающего с ПКО (Золотарёва, 2007).

Разложение растительных остатков подчиняется, как правило, двухфазной динамике с интенсивным в начале и медленным в последующее время продуцированием диоксида углерода (Thuriés et al., 2001). Быструю стадию разложения послеуборочных растительных остатков контролируют растворимые вещества в их составе, а медленную – лигнин содержащие соединения (Trinsoutrot et al., 2000). В состав быстро метаболизируемого пула органического вещества входят внутриклеточные компоненты клеток (простые углеводы, нуклеиновые и аминокислоты, соединения белковой природы) растительных остатков. Структурный (медленно разлагаемый) пул образуют клеточные стенки, состоящие из целлюлозы, гемицеллюлозы и протеидов в составе комплексов с лигнином. Общее содержание лигнина и прочность его лигнин-целлюлозных и лигнин-гемицеллюлозных

комплексов в соломе, зависят от видовой принадлежности культуры и считаются основными факторами, контролирующими скорость её разложения. Поэтому медленно разлагаемая часть пожнивных остатков зачастую больше кислотно-нерастворимой фракции, представленной исключительно лигнином (Hadas et al., 2004). Так при содержании лигнина около 13%, в течение года разложилось только 70% поукосных остатков рапса (Magid et al., 1997). Следовательно, присутствие лигнина может ограничивать доступность микроорганизмам других веществ, для которых характерна более высокая скорость разложения. Длительность деструкции быстроразлагаемой фракции растительных остатков в контролируемых лабораторных условиях составляет 1-5 суток, а медленноразлагаемой – 10-60 суток (Jans-Hammermeister, McGill, 1997). Гетеротрофные микроорганизмы, разлагая разные по природе и химическому строению органические материалы, используют энергию С-Н-связи и элементы минерального питания для поддержания своей жизнедеятельности и роста. Поэтому разложение любого органического материала обязательно сопровождается потерей его массы (Dilly, 2001). Результаты исследования по интенсивности разложения соломы полевых зерновых культур в рамках лабораторного модельного эксперимента представлены в таблице 9.2.

Таблица 9.2. Интенсивность разложения соломы зерновых культур, %

Вариант	Количество разложившейся соломы, %				$НСР_{01}$
	30 суток	60 суток	90 суток	120 суток	
Рожь озимая	21,0	45,7	48,3	92,1	0,97
Пшеница яровая	35,8	51,9	68,5	92,5	0,72
Ячмень яровой	48,9	70,8	94,8	98,1	0,46
Горох посевной	46,0	69,2	94,0	99,3	0,22
Овёс яровой	55,5	76,0	92,3	98,0	0,48
$НСР_{0,01}$	4,23	5,85	5,14	2,76	

По истечению 30 суток меньше всего разложению подверглась солома озимой ржи (21,0%) и яровой пшеницы (35,8%). Интенсивней разлагались послеуборочные пожнивные остатки гороха (46,0%) и ячменя (48,9%). Более интенсивно за первый месяц инкубирования протекала деструкция соломы овса, сопровождаемая снижением изначальной массы органического субстрата на 55,5%. По истечению 60 суток обозначенная ранее тенденция разложения соломы зерновых культур со-

хранилась. С наименьшей интенсивностью протекало разложение соломы озимой ржи. Убыль в массе за 2 месяца инкубации не превысила 50%, тогда как для гороха, ячменя и овса она составила более $^{2}/_{3}$ от изначального количества. Через 90 суток при внесении соломы гороха, ячменя и овса произошло практически полное разложение пожнивных остатков. Не разложившееся по массе количество соломы в почве составило менее 10%. При этом различия между вариантами ещё больше нивелировались. Интенсивность разложения соломы яровой пшеницы сохранилась на прежнем уровне (~16,1…16,6%), тогда как у соломы озимой ржи она существенно замедлилась (до 2,6%). Процесс разложения соломы этих культур протекал менее интенсивно, что могло быть обусловлено высоким содержанием лигнина и кремнийорганических соединений в их составе. Многокомпонентный и сложный с биохимической точки зрения субстрат требует более разнообразного состава микроорганизмов деструкторов и ферментативного пула (Чирак и др., 2017). По истечению 120 суток разложение соломы яровой пшеницы и озимой ржи достигло 92%, что было характерно для остальных изучаемых культур (ячмень, горох, овёс) уже на 90 сутки. Разложение соломы основных фуражных зерновых культур и гороха к этому сроку составило от 98,0% до 99,3% от изначальной массы. Это обусловлено тем, что солома этих культур характеризуется более высоким содержанием азота (0,52…1,41%), насыщенным элементным и биохимическим составом.

При рассмотрении скорости разложения соломы по культурам, можно отметить следующие особенности. Так, солома озимой ржи наиболее интенсивно разлагается (175,2 мг/сутки) только после 3-х месяцев инкубирования в почве. Первые 60 дней экспозиции скорость деструкции не превышает 84,0…98,8 мг/сутки. Это обусловлено низким содержанием легкодоступных лабильных соединений. В то время более широкое соотношением C : N в соломе культуры оказывает ингибирующее действие на микробиологическую активность на последующем этапе (90 суток). Наряду с этим, солома озимой ржи отличается высокой концентрацией лигнина (Fox et al., 1990) и полифенолов, способных связывать образующиеся при гидролизе растительного материала белки (Palm et al., 1991; Handayanto et al., 1995), поэтому скорость её разложения будет низкой.

Солома яровой пшеницы разлагалась достаточно равномерно на протяжении всего периода экспозиции, особенно со 2-го по 4-ый месяц инкубирования (64,4…96,0 мг/сутки). По скорости деструкции в первые 30 суток она превосходила солому озимой ржи (+59,2 мг/сутки), но существенно уступала соломе других яровых зерновых культур (-40,8…-78,8 мг/сутки).

Наиболее интенсивное разложение соломы ячменя, овса и гороха (184,0…222,0 мг/сутки) было зафиксировано в первые 30 суток инкубирования. Именно на начальном этапе деструкции происходит минерализация низкомолекулярных, легкодоступных для микроорганизмов соединений. На последующем этапе наблюдалось снижение интенсивности разложения до 65,2…99,2 мг/сутки, что можно постараться объяснить не только снижением количества легкодоступной для разложения микроорганизмов фракции в соломе, но и преобладанием в оставшемся субстрате более длительно гидролизуемых соединений, включая кислотно-нерастворимые фракции лигнина клеточных оболочек.

Наибольшей скоростью разложения на начальном этапе инкубирования (222,0 мг/сут) отличалась солома овса, не смотря на более широкое (64 : 1) чем у гороха соотношение C : N. Вероятней всего это было обусловлено наличием значительного количества легкогидролизуемых углеводистых веществ в составе. Так, отношение C/N в растительных остатках кукурузы (Hadas et al., 2004) было в 2-3 раза шире, чем у рапса и табака (Korsaeth et al., 2002), но все эти материалы разлагались с близкой друг другу скоростью, поскольку в кукурузе содержалось больше растворимых углеводов.

Не смотря на более узкое соотношение C : N в составе соломы гороха, она не выделялась по интенсивности инициируемой микробами деструкции среди остальных зерновых культур, которая по прошествии 2-3 месяцев инкубирования составила 92,8…99,2 мг/сутки. Объяснением этому может служить то, что при высоком содержании азота в растительных тканях или в почве разложение лигнина снижается. Это вызвано несколькими причинами (Stott et al., 1983; Fog, 1985; Scalbert, 1991). Во-первых, медленнорастущие грибы не выдерживают конкуренции с быстрорастущими микроорганизмами и вытесняются из микробного сооб-

щества. Во-вторых, аммонийный азот ингибирует синтез лигнинолитических ферментов. В-третьих, инициируемая азотом быстрая минерализация лабильных компонентов бактериями приводит к уменьшению запасов углерода, ассимилируемого грибами, которые окисляют лигнин кометаболическим путем.

По прошествии 4-х месяцев инкубирования наблюдалось деструкция практически всего объёма целлюлозосодержащего органического субстрата соломы и снижение скорости её разложения до 13,2…22,8 мг/сутки. Итогом этого, вместе с накоплением в почве продуктов жизнедеятельности микроорганизмов, является снижение их активности и частичный переход клеток от вегетирующих к споровым формам. Вероятной причиной отсутствия существенных различий между вариантами на поздней стадии разложения соломы ячменя, гороха и овса, является низкая активность микробного сообщества k-стратегов (Baumann et al., 2009).

9.2. Динамика, структура и активность микробиологического сообщества почвы

Разложение растительных остатков в почве начинается с формирования на их поверхности сообщества микроорганизмов в виде микробных биоплёнок. Результат деструкции зависит от биохимического состава субстрата и структуры его разлагающего микробного сообщества (Байматов и др., 2019). Микроорганизмы, участвующие в разрушении растительных остатков, как правило, образуют трофическую цепь, в состав которой входят, как внесённые с самими растительными остатками, так и нативные микроорганизмы почвы (Круглов, 2016; Орлова и др., 2019).

На сегодняшний день представлены результаты исследований по изучению биохимических механизмов деструкции соломы и основных её слагаемых компонентов (целлюлозы, клетчатки и т.д.) (Русакова, Еськов 2011; Круглов, 2016; Ерёмин, Ахтямова, 2017), имеются результаты отражающие динамику и таксономическую принадлежность микробного сообщества на поздних этапах разложения соломы (Орлова и др., 2015, 2019). Поэтому изучение закономерностей формирования и изменения структуры микробного сообщества почвы при разложении растительных

остатков сельскохозяйственных культур является одним из важнейших направлений современной агрохимической науки (Nannipieri et al., 2003; Русакова, 2021).

В наших исследованиях проведён сравнительный анализ динамики и структуры развития микробных сукцессий на соломе пшеницы и гороха, что позволяет определить влияние биохимического состава субстрата и эпифитного микробного сообщества соломы. На стерильной соломе, до внесения в почву, окрашенных участков, указывающих на формирование колоний микроорганизмов, визуально не было обнаружено, что в последующем подтвердилось при инструментальном анализе. Микроорганизмы интенсивно формируют колонии на соломе сразу после её внесения в почву. Чаще всего сообщества нескольких отдельных видов микробов заключены в матрицу из собственных экссудатов, полисахаридов и детрита. Такая форма существования микроорганизмов имеет вид биопленки (Balcázar et al., 2015). Микробные биопленки образуются в результате прикрепления, роста и агрегация отдельных клеток на инертной или биотической поверхности (Rana et al., 2020).

Известно, что начальные элементы микробных биоплёнок могут сформироваться (в зависимости от видов бактерий и условий роста) уже в течение первых 2-4 часов инкубации, часто достигая максимальной интенсивности через 24 часа (Романова, Гинцбург, 2011). При инкубировании соломы гороха и пшеницы в почве, уже по истечению 1 суток экспозиции было зафиксировано появление ярко окрашенных участков на её поверхности (рис. 9.1 А1, Б1). Площадь окрашенных т.е. колонизированных микроорганизмами участков на соломе гороха и пшеницы увеличивалась к 30 суткам.

В полевых условиях на скорость колонизации, характер разложения и доступность соломы для почвенных микроорганизмов оказывают влияние абиотические факторы: влажность почвы, температура, pH почвенного раствора, содержание органического вещества, наличие питательных веществ, изменения климата, тип почвы (Muhammad et al., 2006; Brockett et al., 2012; Орлова и др., 2020), а также используемые агротехнологии (Bending et al., 2002).

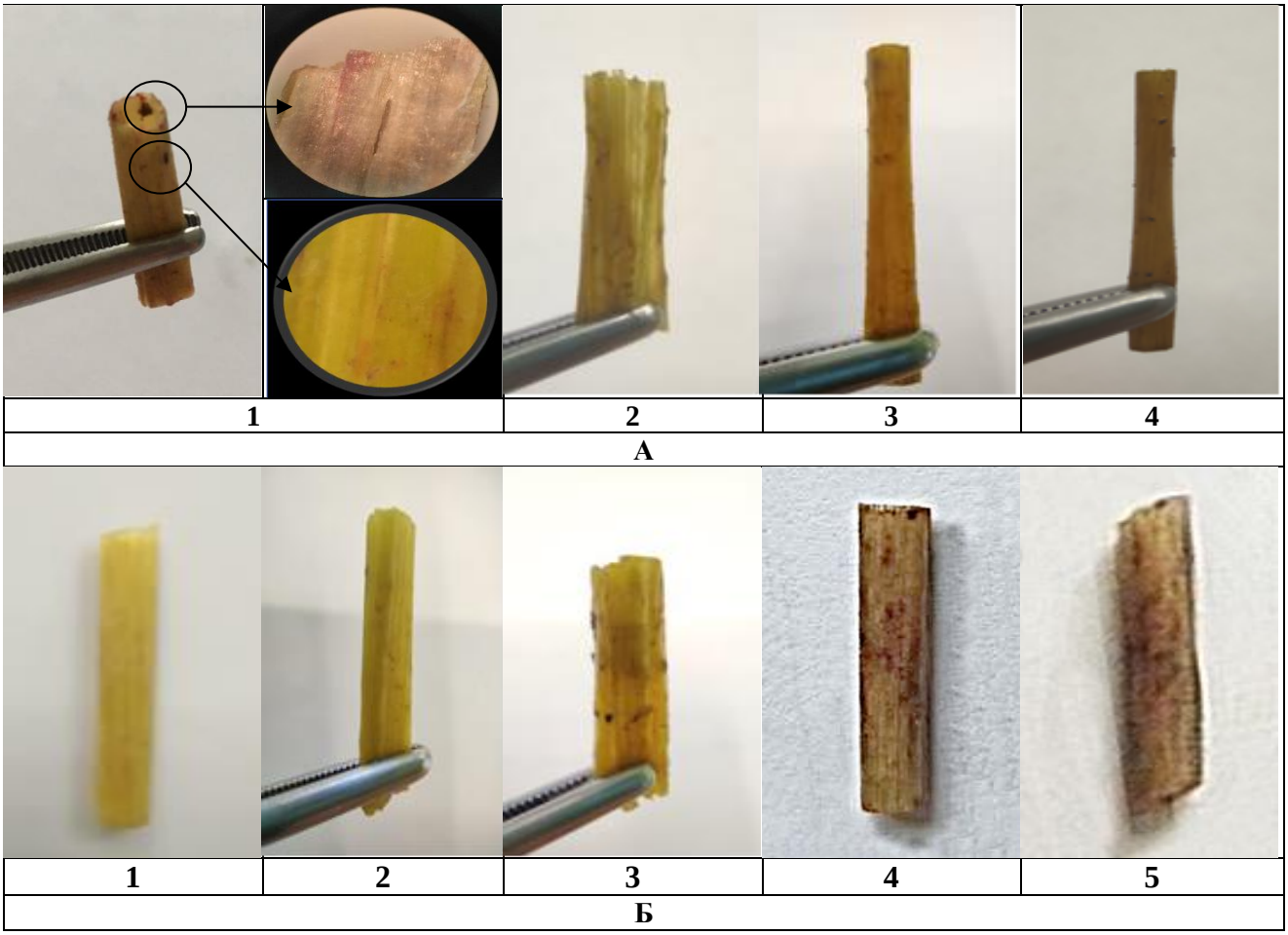


Рисунок 9.1. Выявление микробных сообществ на поверхности соломы гороха (А) и пшеницы (Б) с применением соли тетразолия по срокам инкубирования в почве: 1 – 1 сутки (ярко-окрашенные в красный цвет микробные биопленки на внутренней (А1-1) и внешней (А1-2) поверхности соломы гороха); 2 – 5 суток; 3 – 10 суток; 4 – 15 суток; 5 – 30 суток

При стерилизации автоклавированием эпифитные и эндофитные микроорганизмы соломы уничтожились. Нестерильная солома обсеменена эпифитными микроорганизмами, многие из которых обладают способностью к деградации сложных органических субстратов. Эти микроорганизмы получают определённое преимущество за счёт своего изначального физического положения на растительном субстрате при его внесении в почву (Орлова и др., 2020). Участвуя в деструкции растительных остатков, они как правило, образуя первичные звенья трофической цепи, в состав которой на последующих этапах входят и нативные микроорганизмы почвы. Среди эндофитных микроорганизмов листьев гороха посевного прежде всего выделяют *Bacillus, Micromonospora, Ochrobactrum, Enterobacter, Pantoea, Pseudomonas, Serratia*. При этом в стеблях

доминирующими филами оказываются *Proteobacteria, Fermicutes* и *Actinobacteria*. Среди эндофитных микроорганизмов пшеницы выделяют *Bacillus* (Щербаков и др., 2013) и *Streptomycetaceae* (Васильева и др., 2017).

Эпифитная группировка гороха насчитывает порядка 236 морфологически различных культивируемых штаммов бактерий из которых 115 эпифитов и 121 эндофитов. В листьях растений гороха доминируют бактерии из рода *Serratia* и *Bacillus*, так же обнаружены бактерии родов *Serratia, Rahnella, Klebsiella, Enterobacter, Microbacterium, Acinetobacter*. На поверхности листьев обитают бактерии из родов *Pseudomonas и Rhizobium*. Стебли гороха населяют эндофитные бактерии из родов *Bacillus, Serratia, Staphylococcus* и *Rahnella*. А на стеблях обитают бактерии из родов *Rhizobium* и *Sphingomonas* (Васильева и др., 2019).

При условии, когда дерново-подзолистая почва на протяжении более 5 месяцев инкубирования соломы выступала в качестве единственного источника микроорганизмов, участвующих в её разложении, филогенетический анализ показал высокое разнообразие бактериального сообщества. Было идентифицировано 310 филотипов из 17 фил, среди которых наиболее распространены *Proteobacteria, Firmicutes, Bacteroidetes* и *Actinobacteria*. Присутствие первых 3-х фил отмечалось уже на 3 сутки, тогда как к концу разложения соломы отмечалась стимуляция таксона *Actinobacteria*, мало представленных в почвенном сообществе видов и неидентифицированных последовательностей. Обратная динамика наблюдалась для обилия филы *Acidobacteria* и архей (Орлова и др., 2020; Jiménez et al., 2016). Не смотря на то, что эпифитной микрофлоре соломы отводится не мало-важная роль в её разложении, поскольку она участвует в деструкции расти-тельных остатков, как правило, образуя первичные звенья трофической цепи (Щербаков и др., 2013; Васильева и др., 2019; Орлова и др., 2020), в наших экспериментах данный факт не нашёл подтверждения.

Мы полагаем, что деструкция растительных остатков сельскохозяйственных культур начинается с локального лизиса их поверхности под действием экзоферментов микроорганизмов. Для понимания особенностей разложения соломы рассмотрена динамика развития микробного сообщества на поверхности соломы го-

роха и пшеницы посредством измерения микробной метаболической активности (рис. 9.2). Дополнительно проведено микроскопирование с целью определения морфотипов деструкторов растительных остатков.

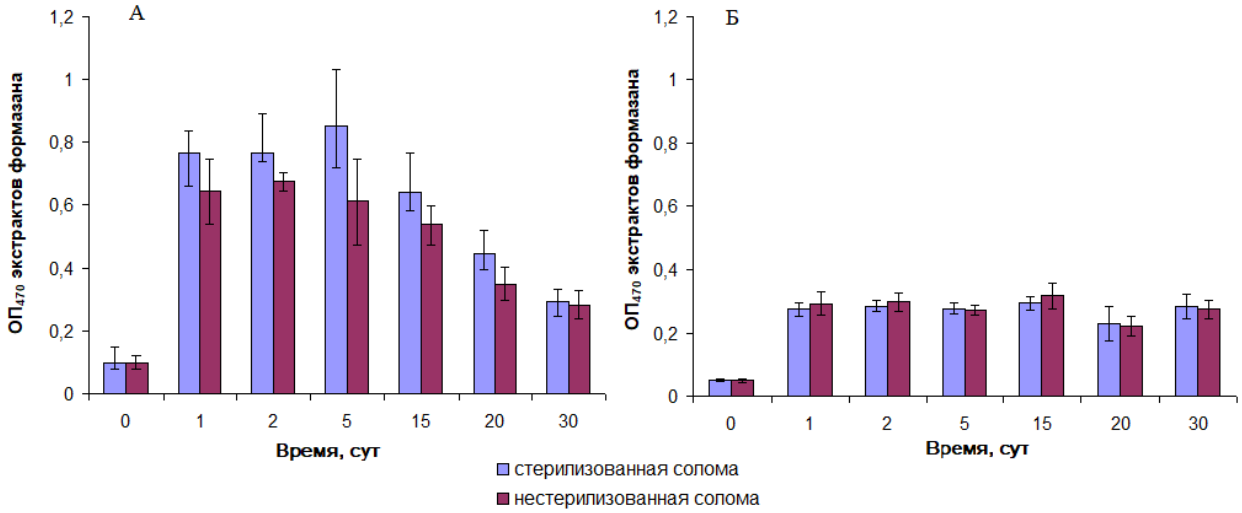


Рисунок 9.2. Метаболическая активность микробного сообщества на поверхности соломы гороха (А) и пшеницы (Б)

Метаболическая дыхательная активность микроорганизмов на соломе, внесенной в почву, наблюдалась в течение всего периода инкубирования. Уже через сутки, подвергшаяся стерилизации солома, активно заселилась микроорганизмами, что дает право сказать, что микробное сообщество сформировалось из микроорганизмов, находящихся в почве. Основную массу бактериального сообщества почв, исследованных методом высокопроизводительного секвенирования 16S-рРНК, при разложении соломы составляют представители фил *Actinobacteria* и *Proteobacteria*, существенное количество микроорганизмов принадлежало филам *Acidobacteria*, *Chloroflexi*, *Firmicutes*, *Gemmatimonadetes* (Орлова и др., 2019).

Гистограмма метаболической активности дает представление о развитии микробного сообщества на соломе гороха, проходящего в несколько фаз, что соответствует академическим знаниям. С 0 до 1 суток определена фаза экспоненциального роста, в результате происходит увеличение метаболической активности более чем в 2 раза, т.е. наблюдается значительный прирост биомассы бактерий. С 1-х по 15 сутки – фаза стационарного роста, т.к. в течение первых 15

суток показания оптической плотности экстрактов формазана оставались на одном уровне. С 15 суток метаболическая активность начинает снижаться, и фаза стационарного роста сменяется фазой отмирания. Это происходит из-за уменьшения количества питательных веществ, накопления продуктов метаболизма или межвидовой конкуренции. На 30 сутки показания метаболической активности принимают наименьшие значения за весь период исследования. Лаг-фаза в настоящем опыте не диагностируется, т.к. её продолжительность не превышает 2 часов. Фазы развития микробного сообщества на соломе, подвергшейся стерилизации и на нестерилизованной соломе идут в одни и те же сроки. Это может быть связано с тем, что микроорганизмы для своего питания используют одни и те же питательные вещества, входящие в состав соломы этих видов культур.

Показания метаболической активности на поверхности соломы гороха, подвергшейся стерилизации, до 20 дня несколько выше (+0,10…+0,42 ед. опт. плотности), чем показания на нестерильной соломе. Т.е. стерильная солома гороха активнее заселялась почвенными микроорганизмами, чем нестерильная. Это связано с отсутствием межвидовой конкуренции между сапрофитными микроорганизмами соломы и нативными микроорганизмами почвы. Также возможно, что при автоклавировании трудноусвояемые полимерные соединения, входящие в состав соломы, перешли в более доступные для микроорганизмов низкомолекулярные соединения, также не исключен и синергетический эффект. Повлиять на результаты могла ДНК мертвого (как результата стерилизации) микробного сообщества соломы.

Метаболическая активность бактерий на поверхности соломы пшеницы на протяжении всего эксперимента поддерживается на низком уровне (0,24-0,31 ед. опт. плотности), значительного прироста биомассы микробного сообщества не наблюдалось, фазы развития микробного сообщества не дифференцируются из-за малой разницы показаний оптической плотности на протяжении всего эксперимента.

Метаболическая активность на поверхности соломы гороха первые 15 суток значительно выше (0,56…0,73 ед. опт. плотности), чем на соломе пшеницы (более чем в 2 раза). Это может быть обусловлено различием в биохимическом составе разлагаемого субстрата, так как известно, что наибольшее количество легкоразлагаемых компонен-

тов содержится в соломе гороха, меньше – в соломе зерновых (Завалин и др., 2018; Лебедева и др., 2006). Химический состав соломы данных видов зерновых культур незначительно отличается содержанием клетчатки (36,7% и 38,5% от общей массы соответственно). Вместе с тем, гороховая солома богаче азотом (1,4%), кальцием (11,2 г/кг) и фосфором (1,4 г/кг) (Завалин и др., 2007; Ерёмин, Ахтямова, 2017).

В 30-е сутки метаболическая активность на поверхности соломы пшеницы и гороха устанавливается на одном уровне (0,28…0,29). Прежде всего, это связано с исчерпанием легкодоступных питательных веществ, присутствующих в соломе гороха, для инициировавшего разложение состава микробного сообщества. Возможно, именно это вынуждает микроорганизмы, входящие в состав микробного сообщества, переходить из вегетирующей формы в споровую. После этого можно наблюдать определённое выравнивание биохимического состава подвергающегося деструкции соломистого субстрата, поэтому, в дальнейшем, мы видим схожесть в динамике метаболической активности микроорганизмов на соломе гороха и пшеницы.

Для сапрофитов только легкодоступные соединения являются питательным субстратом, труднодоступные соединения способны использовать деструкторы, такие как актиномицеты и грибы, возможно, некоторые бактерии. Согласно представлениям (Орлова и др., 2020): «…любой субстрат, поступивший в почву, будет инициировать развитие микроорганизмов с учетом состава субстрата и исходя из набора таксонов в окружающей почве». Учитывая общепринятую трофическую модель развития и субстратные предпочтения микроорганизмов, в основном это будут штаммы способные использовать соломистый субстрат в качестве источника углерода. Для разных типов почв это могут быть разные, но выполняющие идентичные функции представители микробиома.

При изучении мазков из соскобов с поверхности соломы прослеживалось возрастание количества бактерий в препаратах, приготовленных в разные периоды эксперимента. Так, через сутки пребывания фрагментов соломы в почве в мазках, приготовленных из соскобов со стеблей гороха, были обнаружены немногочисленные грамположительные и грамотрицательные мелкие палочки (рис. 9.3А).

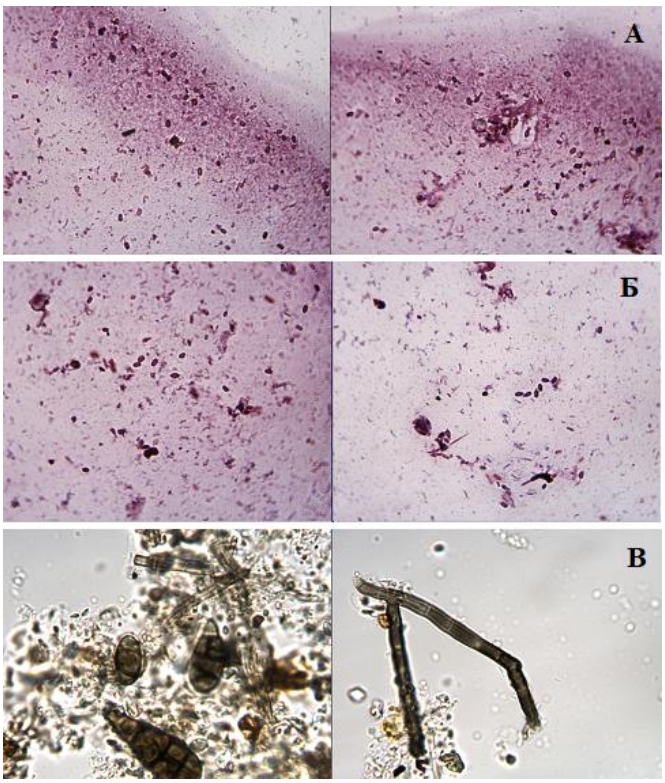


Рисунок 9.3. Соскобы со стеблей гороха (А) и пшеницы (Б, В) через 1 сутки пребывания в почве. А, Б – мазки, окрашенные по Граму, В – препарат «раздавленная капля» (×1000)

В мазках, приготовленных с соскобов соломы пшеницы, преобладали споры бацилл и грамотрицательные мелкие палочковидные бактерии (рис. 9.3Б). Известно, что грамотрицательные бактерии требуют более богатого субстрата, поэтому на начальном этапе разложения соломы злаковых зерновых культур их количество увеличивается (Орлова и др., 2020). Уменьшение их численности и рост олиготрофности микробного сообщества наблюдается в более поздний период разложения (Sun et al., 2013). Преобладание активных форм микроорганизмов на соломе гороха и спор бацилл на соломе пшеницы может говорить о том, что условия для развития микроорганизмов на поверхности гороха были более благоприятные, что связано с различием в их биохимическом составе. В препарате, приготовленном в капле жидкости без окрашивания, были обнаружены представители плесневых грибов, морфология которых позволяет отнести их к представителям рода Alternaria (рис. 9.3В).

Через 5 суток эксперимента по разложению растительных остатков почвенной микрофлорой в соскобах со стеблей наблюдалось значительное

увеличение, как количества микробов, так и их морфологических форм. В препаратах, сделанных со стеблей гороха, предварительно стерилизованных автоклавированием, через 5 суток разложения в почве преобладали мелкие грамотрицательные палочки, также присутствовали бациллы, актиномицеты и фрагменты мицелия плесени (рис. 9.4А).

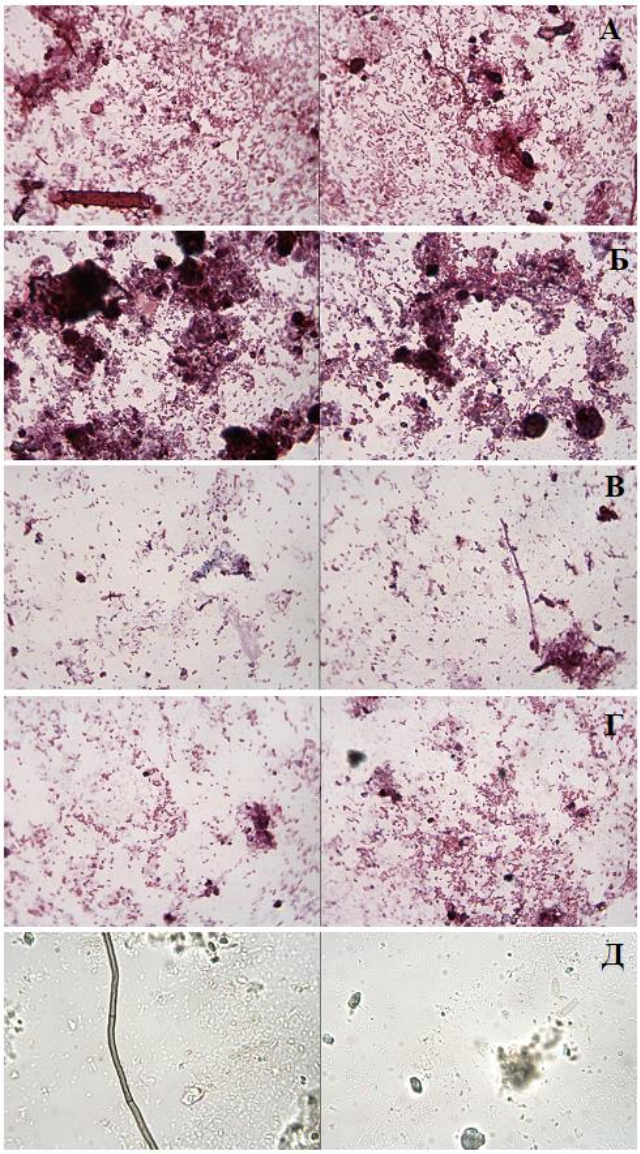


Рисунок 9.4. Соскобы со стеблей гороха (А – стерилизованные, Б – нестерилизованные) и пшеницы (В – стерилизованные, Г – нестерилизованные, Д) через 5 суток пребывания в почве. А - Г – мазки, окрашенные по Граму, Д – препарат «раздавленная капля» (×1000)

Известно, что актиномицеты способны активно разлагать органическое вещество, являясь участниками углеродного цикла (Налиухин и др., 2017). Несколько иная картина наблюдалась на этом же этапе эксперимента в препаратах, полученных с нестерильных стеблей гороха (рис. 9.4Б). В них также

преобладали грамотрицательные и грамположительные короткие палочки и присутствовали споры плесени. Плотность мазка, приготовленного с поверхности соломы пшеницы, была существенно ниже, чем в препаратах с гороха, что косвенно свидетельствует о менее интенсивной микробной колонизации соломы злака, чем гороха (рис. 9.4 В, Г). Вероятнее всего, что постепенная колонизация соломы микроорганизмами из почвы идёт параллельно с увеличением количества видов, задействованных в разложении остающихся трудногидролизуемых соединений. Так как более устойчивые к биодеградации субстраты (гемицеллюлоза, лигнин) могут способствовать стимуляции более разнообразного бактериального биома (Орлова и др., 2020).

В соскобах с соломы пшеницы доминировали грамотрицательные и грамположительные мелкие палочковидные бактерии. Гифы плесени были обнаружены лишь в препаратах «раздавленная капля», вероятно немногочисленные фрагменты мицелия не фиксировались в препаратах «мазок» (рис. 9.4Д). При сравнении микробного сообщества изначально стерилизованной (рис. 9.4В) и нестерилизованной (рис. 9.4Г) соломы пшеницы видно, что плотность сообщества несколько выше на поверхности нестерилизованных фрагментов. Это говорит о том, что колонизация стерильной соломы пшеницы почвенными микробами проходит менее активно, чем колонизация нестерильной соломы пшеницы. Это может быть связано с труднодоступностью соломы пшеницы в качестве трофического и энергетического субстрата для почвенных и сапрофитных микроорганизмов.

По данным (Орлова и др., 2020) в условиях дерново-подзолистой почвы наибольший вклад на ранних стадиях разложения соломы злаков отмечен для *Gammaproteobacteria* и отдельных филотипов *Bacteroidetes*. Инициируют деструкцию легкодоступных органических соединений соломы представители семейства *Xanthomonaceae* (роды *Pseudomonas, Stenotrophomonas*) и род *Chitinophaga (Bacteroidia)*. Значительную роль на протяжении всего периода разложения соломы пшеницы играют разные штаммы *Pseudomonas sp.* способные расщеплять органические материалы на более простые соединения (Bastian et al., 2009).

Через 15 суток пребывания растительных остатков в увлажненной почве микробный пейзаж, выявленный с поверхности стеблей, предварительно стерилизованных автоклавированием, резко изменился, по сравнению с предыдущим этапом эксперимента (5 суток). В мазках, приготовленных со стеблей гороха наблюдались тяжи и паутинообразные окрашенные структуры (рис. 9.5А), которые вероятно представляли собой биологические полимеры бактерий (экзополисахариды, белки и нуклеиновые кислоты), которые либо являются компонентами матрикса биопленок (Романова, Гинцбург, 2011), либо результат разрушения бактериальных клеток.

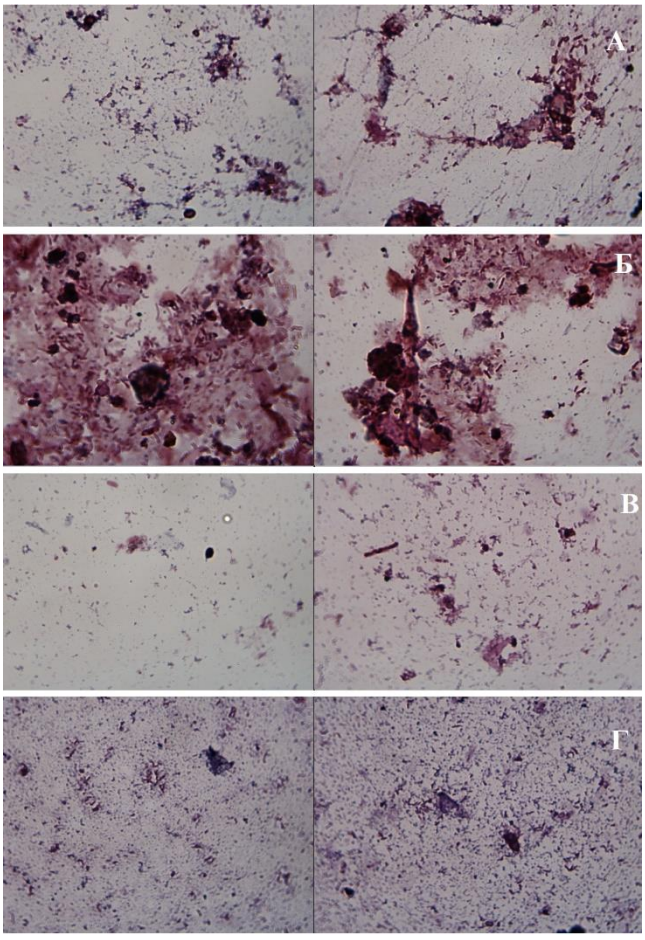


Рисунок 9.5. Соскобы со стеблей гороха (А, Б) и пшеницы (В, Г) через 15 суток пребывания в почве. А, В – с предварительно стерилизованных стеблей, Б, Г – с нестерилизованных стеблей

Во всех препаратах (рис. 9.5) обращает на себя внимание, хорошо прокрашенные неклеточные структуры, зафиксированные в препарате. Что может также являться полимерами матрикса, либо фрагментами разрушенных

бактериальных клеток. Наличие биополимеров в препарате способствовало менее эффективному закреплению и удержанию во время окрашивания микробных клеток, что могло повлиять на результаты микроскопирования. Количество клеток бактерий в полях зрения было скудным и представлено в основном бациллярными формами. Исключением явился препарат, приготовленный с нестерилизованных фрагментов соломы гороха. В этом случае микробный пейзаж совпадал с таковым на предыдущем этапе эксперимента, что свидетельствует о нахождении микробного сообщества на соломе гороха в 15-е сутки в фазе стационарного роста. Также следует отметить, что препарат, приготовленный с нестерилизованной соломы пшеницы, отличался наличием плотного слоя окрашенных биополимеров, количество бактериальных клеток было таким же скудным, что и в мазке соскоба со стерильной соломы. Это может говорить о слабом развитии микробного сообщества на соломе пшеницы.

Солома и послеуборочные растительные остатки, выступают в качестве очагов поступления легкодоступного углерода, которые приводят к динамике микробного сообщества почвы. Более чётко это прослеживается, когда почвенный тип относится к числу менее устойчивых экосистем (дерново-подзолистая почва) и/или ограничена субстратом в отношении роста микроорганизмов (Bastian et al., 2009; Орлова и др., 2020). Особенности биохимического состава соломы зерновых культур обуславливает участие разных групп микроорганизмов в её деструкции (Русакова, 2018). В результате чего, можно наблюдать увеличение численности и гетерогенности микробиома почвы, с образованием градиента от разлагаемого субстрата к почве без дополнительного источника органического вещества (Nicolardot et al., 2007). Графическим отображением этого, может быть ранее предложенная (Gaillard et al., 2003) модель для характеристики интенсивности продуцирования CO_2, микробным сообществом почвы, формирующимся вокруг внесенных в почву растительных остатков (рис. 9.6)

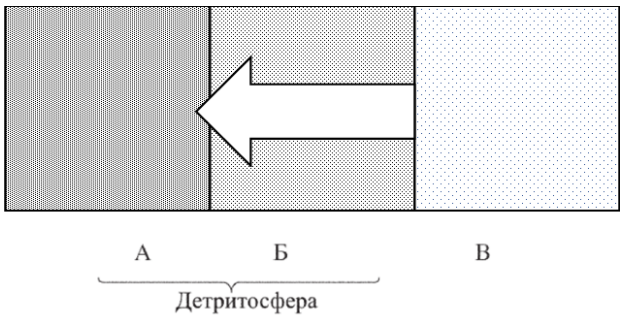


Рисунок 9.6. Градиент распределения плотности микробиома почвы при внесении в нее соломы: А – фрагмент растительного остатка, Б – смежный слой почвы, В - почва, удаленная от растительного остатка. Стрелкой показано нарастание градиента плотности микроорганизмов-деструкторов

Зона «А» на отражает непосредственно поверхность частицы соломы, а прилегающая к ней зона «Б» – смежный слой почвы. Мощность этого слоя, на наш взгляд будет обусловлена расстоянием, на которое распространяется диффузионный градиент моно- и олигомеров, формирующийся при микробной деструкции сложных органических соединений. Границы зоны «Б» могут отчасти совпадать с участками активности микроорганизмов (4-7 мм), в которых накапливается углерод и азот, при активной трансформации N-содержащих соединений пожнивно-корневых остатков (Семенов, Ходжаева, 2006; Сычев и др., 2012). Зона «В» представлена почвой удаленной от частицы соломы, которая отличается фоновым содержанием органического вещества, численностью и гетерогенностью микробиома.

Именно в детритосфере, образуемой зонами «А» и «Б» происходит наиболее активная деструкция органических соединений соломы и других растительных остатков. Благодаря методу изотопной индикации (Gaillard et al., 2003) было установлено, что 23% ^{13}C-CO_2 эмитируется из смежной зоны «Б» и 76% из зоны «А», представленной поверхностью растительной частицы. Вклад этих зон может изменятся в зависимости от количества способного к диффузии растворимого углерода, в составе растительного материала, подвергающегося деструкции (Семенов, Ходжаева, 2006).

Определение структуры и активности микробиологического сообщества почвы при внесении соломы зерновых культур. При заделке соломы в почву в её разложение вовлекается значительная часть бактериального сообщества. Это обуслов-

лено адаптированностью самого микробного пула почвы к внесению субстрата растительного происхождения, а также его сбалансированным составом биогенных элементов (Чирак и др., 2017). Быстрая фаза разложения органического вещества соломы в почве осуществляется быстрорастущими микроорганизмами или r-стратегами, развивающимися при высокой обеспеченности доступным углеродом (*Zygomycetes*, копиотрофные бактерии). Легкогидролизуемые продукты разложения растительных остатков (водорастворимые углеводы, аминокислоты, алифатические и органические кислоты, пиримидины) метаболизируются микромицетами и бактериями всего за несколько часов или суток (Jenkinson, 1977). После интенсивного распада органических веществ наступает процесс медленного разложения, связанный с использованием менее доступных источников питания и накоплением трудногидролизуемых веществ. Медленнорастущие микроорганизмы (*Basidomycetes, Ascomycetes*, олиготрофные бактерии) или k-стратеги, отличаются большей устойчивостью к внешним воздействиям и адаптированы к низким концентрациям углерода и азота (Семенов и др., 2001; Nannipieri et al., 2003; Русакова, 2021).

Важным начальным звеном почвенного протеолитические микробиома являются бактерии-аммонификаторы. Они способны выделять в окружающую среду ферменты, под действием которых белковые вещества гидролизуются до аминокислот. Последние поглощаются микроорганизмами, где при поступлении в клетку дезаминируются с образованием аммиака, органических кислот и других продуктов (Чевердин и др., 2017). В последующей деструкции и минерализации органических остатков активно участвуют мицелиальные прокариоты – актиномицеты. По степени их развития в почве можно судить, на какой стадии минерализации находится почвенный детрит. Способность к продуцированию гидролаз в качестве внеклеточных ферментов, обеспечивает им возможность использовать для получения азота трудногидролизуемые соединения углерода (He et al., 2008).

На хорошо окультуренной дерново-подзолистой почве более 80% бактериального сообщества составляют типы *Proteobacteria* и *Actinobacteria,* доля которых активно увеличивается при внесении соломы. Внутри этих типов внесение соломы не отражалось на численности отдельных семейств *Solirubrobacteraceae* и *Gaiellaceae,*

играющих весомую роль в деструкции трудноразлагаемых субстратов. Семейства *Micrococcaceae, Nocardioidacea* и *Pseudonocardiaceae* оказались более чувствительны к этому фактору (Орлова и др., 2015). Наиболее значимые изменения по числу бактерий наблюдались по семействам *Streptosporangiaceae* и *Micromonosporaceae,* принадлежащих к роду *Chitinophaga* и таксонов *Chthoniobacteraceae, Xanthomonadaceae, Chitinophagaceae*. Также были обнаружены семейства бактерий (*Gaiellaceae*), доля которых уменьшалась в почвенном сообществе при внесении соломы. Представители этих таксонов, по современным данным, способны разрушать целлюлозу (Zhang et al., 2005; Chung et al., 2012; DeMenezes et al., 2012). При внесении более однородного, с точки зрения биохимического состава субстрата, можно было наблюдать увеличение численности бактерий родов *Promicromonospora* и *Devosia*, которые также способны вырабатывать целлюлозолитические ферменты (Cazemier et al., 2003; Yoo et al., 2006).

Грибы, являясь главными редуцентами содержащих лигнин комплексов, характеризуются большей эффективностью ассимиляции углерода и меньшей оборачиваемостью биомассы, чем бактерии. Эта особенность способствует запасанию и более продолжительному сохранению органического углерода в почве (Schomberg et al., 1997; Lundquist et al., 1999). Окисление лигнина грибами осуществляется при наличии легкодоступного субстрата в составе микробного консорциума. Большинство грибов, обладающих лигнинолитической ферментной системой, не обеспечивают полной минерализации лигнина, а лишь изменяют его структуру. Грибные группировки представлены в почве различными родами *Deuteromycóta* и быстрорастущими видами порядка *Mucorales*, основу питания которых составляет легкогидролизуемая органика. На ряду с ними для дерново-подзолистых почв природно-климатической зоны Предуралья характерно появления типичных видов из родов *Aspergillum, Penicillium, Stemphilium, Trichoderma, Cladosporium* (Широких и др., 2019). Конкретно плесневые грибы питаются мёртвыми органическими остатками, которые они подвергают минерализации до простых органических соединений (Kögel-Knabner, 2002). В течение разложения соломы наблюдается расширение отношения C/N в почвенной биомассе, что прежде всего обусловлено расширением

отношения биомассы грибов к биомассе бактерий (Henriksen, Breland, 1999a, b). В свою очередь в почве с преобладанием биомассы микромицетов, вызванным предшествующим внесением соломы, новое поступление растительных остатков с низким содержанием азота не приводит к достоверному изменению C/N биомассы (Jensen et al., 1997).

Солома зерновых культур является многокомпонентным органическим субстратом, около половины сухого вещества которого составляет клетчатка. Разрушение клетчатки может производиться только специфической микрофлорой, в составе которой имеются аэробные и анаэробные бактерии, актиномицеты, а также грибы (табл. 9.3). По результатам эксперимента можно видеть существенное повышение численности протеолитических микроорганизмов в почве, по сравнению с исходным нативным количеством (753,3±266,3 тыс. КОЕ/1 г почвы), уже после 30 суток инкубирования соломы озимой ржи и яровой пшеницы. При последующем инкубировании (60 суток) можно наблюдать сохранение более высокой численности микроорганизмов, высеваемых на МПА (1030,0…1423,3±196,7 тыс. КОЕ/1 г почвы) в вариантах с внесением соломы озимой ржи, яровой пшеницы и ячменя. Ранее отмечалось, что численность бактерий-аммонификаторов и скорость микробного разложения органического вещества в почве, увеличиваются при дефиците минерального азота (Moorhead, Sinsabaugh, 2006).

Дальнейшее инкубирование соломы, на отмеченных ранее вариантах, сопровождалось плавным снижением численности протеолитических микроорганизмов до 666,7…833,3±83,9 тыс. КОЕ/1 г почвы, близкого к исходному количеству. Отсутствие фиксируемого существенного повышения численности высеваемых на МПА микроорганизмов, в вариантах с внесением соломы гороха и овса, мы связываем с тем, что вспышка численности этой микробной популяции могла наступить в течение 1-2 недель после внесения легкоминерализуемых растительных остатков в почву с наличием лаг-фазы или без таковой. Использование соломы этих зерновых культур в качестве питательного субстрата стимулирует значительную часть бактериального сообщества, включая зимогенных r-стратегов, активно утилизирующих легкодоступные питательные вещества из растительных остатков (Чирак и др., 2017).

Таблица 9.3. Численность микроорганизмов в дерново-подзолистой почве при внесении соломы зерновых культур, тыс. КОЕ/1 г почвы (M ± SD)

Вариант	Протеолитических (среда МПА)	Амилолитических (среда КАА)	Микромицетов (среда Чапека)	Суммарная численность	Индекс педотрофности	Коэффициент минерализации
Исходный образец	753,3±266,3	783,3±173,9	26,3±4,5	1562,9±132,8	0,03	1,04
30 суток						
Рожь озимая	1333,3±580,5	716,7±379,0	426,7±120,6	2476,7±230,6	0,3	0,5
Пшеница яровая	1163,3±213,6	756,7±315,6	326,7±37,9	2246,7±140,5	0,3	0,7
Ячмень яровой	886,7±238,6	570,0±115,0	483,3±127,0	1940,0±68,1	0,5	0,6
Горох посевной	900,0±115,3	453,3±92,9	820,0±101,5	2173,3±11,3	0,9	0,5
Овёс яровой	510,0±334,2	516,7±112,7	826,7±85,0	1853,3±136,6	1,6	1,0
60 суток						
Рожь озимая	1423,3±410,2	105,7±21,5	283,3±111,5	1812,3±203,5	0,2	0,1
Пшеница яровая	1030,0±164,6	115,0±29,8	436,7±145,7	1581,7±73,0	0,4	0,1
Ячмень яровой	1226,7±320,1	115,3±21,4	720,0±274,0	2062,0±160,8	0,6	0,1
Горох посевной	733,3±116,8	140,3±40,0	1140,0±410,7	2013,6±195,7	1,6	0,2
Овёс яровой	460,0±233,0	134,7±26,5	1306,7±603,7	1901,3±292,5	2,8	0,3
90 суток						
Рожь озимая	566,7±208,2	246,7±64,3	1750,0±72,1	2563,3±80,9	3,1	0,4
Пшеница яровая	833,3±404,1	283,3±135,8	1463,3±90,7	2580,0±169,5	1,8	0,3
Ячмень яровой	900,0±435,9	340,0±60,8	1696,7±668,8	2936,7±306,7	1,9	0,4
Горох посевной	866,7±602,8	433,3±56,9	800,0±356,8	2100,0±273,4	0,9	0,5
Овёс яровой	766,7±208,2	340,0±62,4	763,3±143,0	1870,0±73,0	1,0	0,4
120 суток						
Рожь озимая	833,3±493,3	470,0±96,4	145,0±16,5	1448,3±255,3	0,2	0,6
Пшеница яровая	733,3±611,0	546,7±89,6	189,3±22,7	1469,3±322,1	0,3	0,7
Ячмень яровой	666,7±416,3	550,0±170,9	162,7±51,9	1379,3±185,8	0,2	0,8
Горох посевной	833,3±251,7	700,0±348,3	104,0±25,5	1637,3±165,7	0,1	0,8
Овёс яровой	533,3±230,9	743,3±210,8	95,7±11,5	1372,3±121,3	0,2	1,4

Количество амилолитических микроорганизмов, которые большей частью представлены актиномицетами, в исходном образце почвы, было близким с протеолитической частью почвенного микробиома. Поэтому коэффициент минерализации (КАА/МПА), показывающий отношение общей численности микроорганизмов, использующих минеральный азот и микроорганизмов, разлагающих органическое вещество, близок к единице (1,04). При инкубировании пожнивных остатков в почве в течении месяца, мы можем наблюдать существенное снижение численности этой группы микроорганизмов в вариантах с соломой ячменя, овса и гороха до 453,3…570,0±58,4 тыс. КОЕ/1 г почвы. Дальнейшее инкубирование соломы (60 суток) сопровождалось более значительным снижением численности амилолитических микроорганизмов (в 3,2…6,8 раза). Прежде всего это может быть связано с уменьшением количества минерального азота в почве, который может быть иммобилизован аммонификаторами в состав своей биомассы. Протеолитические микроорганизмы могут извлекать азот даже из труднодоступных соединений, для чего активно используют богатые энергией субстраты, например, лабильные фракции углерода (Титляева, 2016).

На протяжении следующих 1-2 месяца можно видеть сначала быстрое (в 2,3…3,1 раза), а затем более медленное (в 1,6…1,9 раза) восполнение численности группировки актиномицетов. На заключительном этапе инкубирования (120 суток), следует отметить более высокую численность амилолитических микроорганизмов (700,0…743,3 тыс. КОЕ/1 г почвы) в вариантах с соломой гороха и овса. Значительное присутствие в микробных комплексах актиномицетов указывает на относительно поздние стадии деструкции органического вещества, большую обеспеченность почвы минеральным азотом и, в целом, высокую степень трансформированности органического вещества почвы (Широких и др., 2019).

Численность микромицетов в исходном образце почвы не превышала 30 тыс. КОЕ/1 г почвы. Микроскопические грибы менее интенсивно развиваются при минерализации органического вещества и превращениях соединений азота в почве (Землянов, 2007; Полякова и др., 2021). Внесение соломы в качестве энергетического материала для последующей деструкции, определяло изменение численности

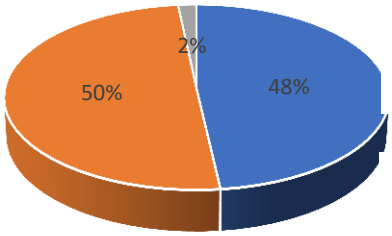
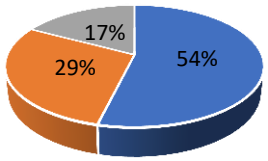
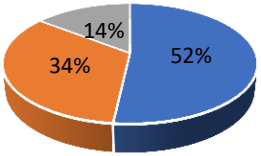
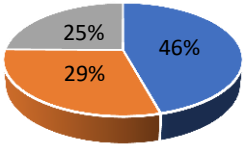
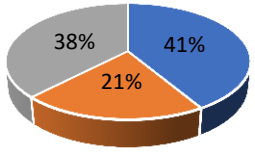
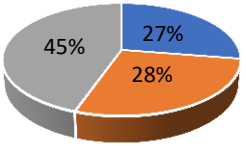
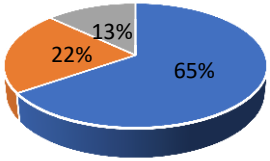
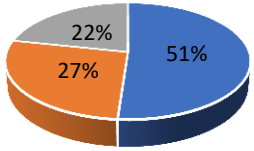
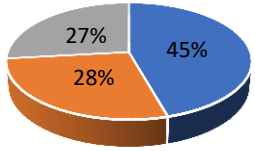
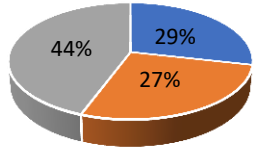
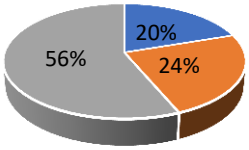
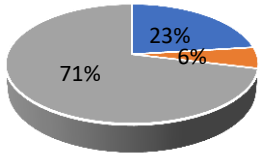
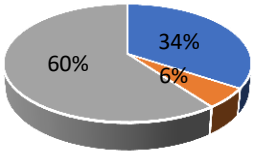
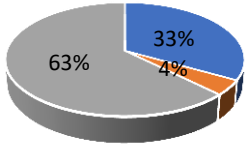
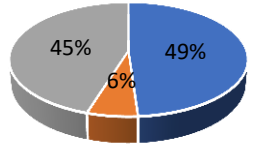
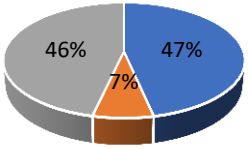
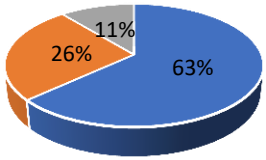
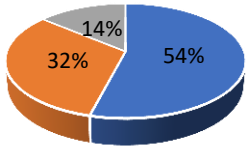
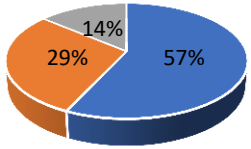
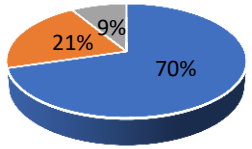
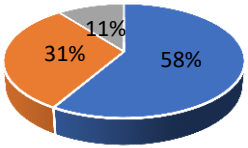
грибных пропагул в исследуемой почве в пределах порядка. Выделились особо варианты с внесением соломы гороха и овса, где количество микромицетов составляло порядка 820,0…826,7 тыс. КОЕ/1 г почвы. На 60 сутки можно наблюдать дальнейшее увеличение численности этой группы микроорганизмов на несколько сотен тысяч КОЕ/г в вариантах с соломой ячменя, гороха и овса, что говорит о наличии и доступности субстрата для грибов. По истечению следующего месяца инкубирования (90 суток), наблюдался достаточно резкий рост численности микромицетов (в 2,4…6,2 раза) в вариантах с соломой озимой ржи и яровой пшеницы с ячменём. Их общая численность превысила 1,46…1,75 млн КОЕ/г почвы. При этом в вариантах с соломой гороха и овса уже наметилось снижение численности микромицетов в 1,4-1,7 раза. Схожую тенденция отмечали и при последующем сроке учёта (120 суток). Можно заметить более стремительное снижение численности грибных пропагул в вариантах с соломой озимой ржи (в 12,1 раза), яровой пшеницы (в 7,7 раза) и ячменя (в 10,4 раза). Значения для вариантов с соломой гороха и овса, были уже близкими с исходным образцом почвы, отличались всего на несколько десятков тысяч КОЕ/1 г почвы. Микромицеты оказались более чувствительны к внесению соломы по сравнению с бактериями. Большинство микромицетов выступает в качестве типичных для почвы автохтонных k-стратегов, адаптированных к низким концентрациям углерода и азота. Поэтому именно микромицеты прежде всего задействованы в разложении трудногидролизуемых соединений соломы. Их численность в почве при внесении соломы повышалась в среднем в 55,9 раз, наряду с увеличением грибной биомассы. Более существенное изменение количества грибов, с учётом биохимического состава соломы, было зафиксировано в варианте с соломой озимой ржи (в 66,5 раза), меньше всего – в варианте с соломой гороха (в 43,3 раза). На основании этого можно сказать, что наши данные согласуются с известной из литературы (Jolivet et al., 2007; Nicolardot et al., 2007) большей подверженностью к изменениям при смене землепользования и ведущей ролью грибов на более поздних стадиях разложения соломы. Их численность в дерново-подзолистой почве более чётко отражает интенсивность и степень деструкции поступающей соломы.

В первые 3 месяца инкубирования соломы отмечалось увеличение общей численности микроорганизмов. При этом степень заселения почвы микроорганизмами соответствовала градации «бедная», характерной для целинных дерново-подзолистых почв (Титова, Козлов, 2012). Наиболее существенные изменения (в 1,20-1,88 раза), были получены по прошествии 90 суток. По истечению 120 суток отмечалось возвращение микробного сообщества к исходной величине КОЕ. Суммарное количество микробов высеваемых на средах МПА, КАА и СЧ составило 88-105%. Нарастание общей численности микроорганизмов в дерново-подзолистой почве ограничивается количеством нативных легкодоступных органических веществ, низким содержанием азота и других необходимых минеральных элементов. Отсутствие существенного различия между вариантами по численности КОЕ/1 г почвы по отдельным срокам инкубирования соломы, может быть обусловлена особенностями метода учёта, в рамках которого учитываются только быстрорастущие формы, тогда как на поздней стадии разложения соломы преобладают медленно развивающиеся k-стратеги.

Долевое участие микромицетов в микробном комплексе дерново-подзолистой почвы (табл. 9.4), используемой в рамках исследования, составляло около 2%. Соотношение протеолитического и амилолитического бактериальных пулов было близким к единице (1,04), что указывает на устойчивость состояния почвы при протекании в ней разнонаправленных микробиологических процессов по превращению органического вещества.

Микробное сообщество достаточно чётко и очень быстро реагирует на поступление органического субстрата с послеуборочными остатками. Возрастание таксономического разнообразия микробиома выражается в увеличении его метаболической активности и усложнении трофических связей между разными физиологическими группами микроорганизмов, что способствует усилению гумификационных процессов и повышению содержания углерода водорастворимых и лабильных соединений гумуса (Зубенко, 2009; Завьялова, Ямалтдинова, 2010).

Таблица 9.4. Доля протеолитических и амилолитических бактерий, микромицетов от суммарного количества, %

Исходный образец	Рожь озимая	Пшеница яровая	Ячмень яровой	Горох посевной	Овёс яровой
	30 суток				
					
	60 суток				
					
	90 суток				
Здесь и на остальных диаграммах, отображена доля микроорганизмов, культивируемых на соответствующих питательных средах от суммарной численности КОЕ/1 г почвы					
	120 суток				
					

В рамках модельного лабораторного эксперимента к 30 суткам инкубирования фиксировались очень существенные изменения состава почвенного микробиома, особенно при внесении соломы гороха и овса, в которой содержится больше легкогидролизуемых соединений. Самые значительные изменения в составе микробного сообщества, культивируемых на соответствующих плотных питательных средах (МПА, КАА, СЧ), наблюдались на 90 сутки эксперимента с последующим, практически полным, восстановлением состава микробного пула до исходного состояния. Подтверждением этому, являются показатели индекса педотрофности, характеризующего развитие в почве автохтонной микрофлоры или «микрофлоры рассеяния», способной сохранять свою численность при незначительном количестве питательных веществ. Наиболее высокие значения индекса педотрофности при внесении соломы озимой ржи (3,1), яровой пшеницы (1,8) и ячменя (1,9) были получены на 90 сутки. При заделке в почву соломы гороха и овса, более высокие значения (0,9…2,8) были характерны на протяжении первых 3-х месяцев инкубирования соломы. При том, что максимальные значения индекса (соответственно 1,6 и 2,8) наблюдались на 60 сутки.

Получается, что по истечению срока инкубирования и разложения соломы зерновых культур, микробное биоразнообразие почвенного сообщества дерново-подзолистой почвы оставалось неизменным вне зависимости от биохимического состава вносимого соломистого субстрата. Это указывает на гомеостаз сообщества, поддержание которого приводит к восстановлению исходной структуры в процессе разложения соломы. Смена функционирования микробного сообщества не обязательно является следствием изменения таксономической принадлежности микробиома почвы. Это может наблюдаться за счёт определённой полифункциональности микроорганизмов (Marschner et al., 2003; Nannipieri et al., 2003).

Коэффициент минерализации (КАА/МПА), отражающий интенсивность мобилизации азота, по всем вариантам, кроме соломы овса, за весь период инкубирования соломы < 1. Это свидетельствует о выраженном процессе гумификации органического вещества, поступающего в почву при деструкции соломы зерновых культур. По сравнению с почвой исходного образца, он стал существенно

ниже для вариантов с соломой ржи, пшеницы, ячменя и гороха уже к 1 сроку (30 суток), когда для овса – только ко 2-му сроку учёта (60 суток). К 120 суткам инкубирования процессы гумификации органического вещества ПКО по-прежнему преобладали, кроме варианта с соломой овса.

В полевых условиях процесс разложения соломы растягивается во времени и развивается поэтапно. В год внесения соломы, бактерии, использующие органические формы азота, наиболее интенсивно развиваются при использовании соломы гороха. На последующем этапе в процесс разложения соломы включились целлюлозолитические бактерии, лучистые грибы (актиномицеты) и настоящие микромицеты. На третий год в почве наблюдается дальнейшая смена микробной сукцессии, для которой было характерно накопление численности целлюлозоразлагающей микрофлоры, микромицетов и снижение количества аммонификаторов (Дзюин, 2018).

Филогенетический анализ в образцах гумусового горизонта дерново-подзолистой почвы показал, что разнообразие бактериального сообщества в дерново-подзолистой почве по мере разложения соломы увеличивалось от 79 филотипов на третий день сукцессии, до 310 филотипов к концу эксперимента. На начальном этапе сукцессии состав бактериального сообщества был представлен *Proteobacteria, Firmicutes* и *Bacteroidetes*, на более поздних этапах (161 день) к ним добавились Actinobacteria. Динамику микробного сообщества можно охарактеризовать следующим образом: начинают разложение соломы представители родов *Pseudomonas, Stenotrophomonas* из семейства *Xanthomonaceae* и рода *Chitinophaga (Bacteroidia)*. На последующих этапах сукцессии, помимо актинобактерий, обнаруживались *Firmicutes* и *Bacteroidetes*. Следует отметить, что на протяжении всего периода разложения соломы в микробном сообществе присутствовали бактерии семейства Rhizobiaceae (Орлова и др., 2020).

Изменение почвенной дыхательной активности при разложении соломы зерновых культур. Поступление в почву органического вещества с растительными остатками стимулирует жизнедеятельность как зимогенных, так и автохтонных групп микроорганизмов. Их разложение подчиняется, как правило, двухфазной ди-

намике с интенсивным в начале и медленным в последующее время продуцированием диоксида углерода (Thuriés et al., 2001). Чем выше эффективность усвоения микроорганизмами углерода, тем меньше его расходуется на дыхание и меньше теряется из почвы в виде CO_2 (Six et al., 2006). Интенсивность выделения CO_2 из почвы является важным показателем углеродного цикла наземных экосистем (Schlesinger, Andrews, 2000). Почвенное дыхание является вторым в мире по величине наземным потоком углерода, который суммарно достигает порядка 100 Гт С/год (Sitch et al., 2015; Le Quéré1 et al., 2016). Этот колоссальный объём С-CO_2 поступает из почвенного пула, который более чем в 2 раза превышает пул атмосферы (Reichstein, Beer, 2008; Tarnocai et al., 2009). За счёт эмитирования CO_2 почвой, обеспечивается его возврат в атмосферу, который необходим для протекания биопродукционных процессов в агроценозах (Ваганов и др., 2005).

Среднесуточные показатели почвенного дыхания за вегетационный период в различных зонах России в значительной степени варьируют и зависят от гидротермических условий и продолжительности вегетационного периода и не имеют зональной зависимости (Кудеяров, 1995; Курганова, Кудеяров, 1998). Среди основных биотических факторов, влияющих на эмиссию CO_2, выделяют видовой состав агроценозов, биомассу корней и продуцирование экссудатов, активность и состав почвенной фауны, выступающей в качестве деструкторов послеуборочных растительных остатков (Наумов, 2009; Luan et al., 2012; Икконен и др., 2013). По продукции С-CO_2, эмитируемой с поверхности почвы, можно судить об интенсивности разложения послеуборочных растительных остатков и органического вещества почвы, характеризовать активность микробиомов почв или продуктивность конструируемых агроценозов (Мильхеев, Чимитдоржиева, 2015). Кроме того, объёмы эмиссии С-CO_2 с поверхности почвы является чувствительным и информативным показателем, который используется для оценки экологический мониторинга здоровья почвы в системе «ОВОС» и функционального состояния экосистемы в целом (Кудеяров, Курганова, 2005; Соколов, Марченко, 2013).

Образование углекислого газа из почвы фиксируется при деструкции органического вещества, выщелачивания карбонатов и миграции из толщи Земли. При

этом основными источником эмиссии CO_2 из почвы является дыхание почвенной фауны, корней сельскохозяйственных культур и микроорганизмов (Rastogi et al., 2002; Rey, 2015). Соотношение «автотрофного дыхания» корней и «гетеротрофного дыхания» микроорганизмов оценивается в среднем 1 : 2…1 : 3 (Кудеяров, 2018). Вклад почвенных микроорганизмов в этот процесс, для травянистых ценозов в умеренной зоне достигает в среднем 40…56%. В микробные клетки и продукты микробного метаболизма первоначально включается до 40-60% углерода, учтённого впоследствии в виде $C\text{-}CO_2$ (Hanson et al., 2000; Subke et al., 2006). Микробное дыхание почв в условиях агроценозов обеспечивается продукцией CO_2 преимущественно из гумусового горизонта, имеющего наибольшие запасы доступного для микроорганизмов органического углерода. Прежде всего это первичные продукты фотосинтеза в составе экссудатов, мономерные углеводы, опад тонких корней, вся наращенная и внесённая в почву в текущем году растительная биомасса (Bond-Lamberty et al., 2004; Сушко и др., 2019).

При внесении соломы ячменя наиболее интенсивные биологические процессы и выделение CO_2 из чернозема типичного наблюдали в первые 3 суток за счет использования микроорганизмами водорастворимых органических соединений поступившего субстрата (Чирак и др., 2017). В течение 3 суток из серой лесной почвы при добавлении фитомассы выделялось 15-36%, а через 6 суток – 21-51% $C\text{-}CO_2$ от суммарного его количества, учтённого за 30 недель эксперимента (Семенов и др., 2004). За 28 недель инкубирования пшеничной соломы минерализовалось до $C\text{-}CO_2$ 67% внесенного в почву углерода (Burns, Martin, 1986). Основное количество (75-85%) внесенного с пожнивными и корневыми остатками органического углерода минерализуется до CO_2 в течение 3-х месяцев (Завьялова и др., 2020). В опытах с меченным по ^{13}C растительным материалом через 3 недели минерализовалось 17-22% углерода растительных остатков с низким содержанием азота и 21-28% – с высоким (Trinsoutrot et al., 2000). Считается, что грибы отличаются более высокой эффективностью утилизации углерода субстрата, чем бактерии (Six et al., 2006). До 76% минерализованного углерода пшеничной соломы образуется непосредственно из растительной частицы, а 23% $^{13}C\text{-}CO_2$ выделялось

из смежной зоны толщиной около 5 мм, в котором аккумулируются углерод и азот, высвобождающиеся из растительных остатков (Gaillard et al., 2003).

После одного-трех месяцев 75-85% внесенного с растительным материалом углерода минерализуется до C-CO_2, тогда как остаточный в почве углерод (15-25%) относительно устойчив к биоразложению. До 80% от общего количества C-CO_2, продуцируемого почвой, образовывалось при разложении растительных остатков со временем оборота менее 2-10 лет и только 20% – из пула гумифицированного органического вещества со временем оборота больше нескольких десятилетий (Gaudinski et al., 2000). Формирование и оборачиваемость микробной биомассы, способствует обновлению и воспроизводству почвенного органического вещества (Dakora, Phillips, 2002).

Для оценки дыхательной активности почвы при внесении соломы зерновых культур использовали показатели, характеризующие актуальную (базальное дыхание, БД) и потенциальную (субстрат-индуцированное дыхание, СИД) активность микробного сообщества (рис. 9.7, 9.8), микробный метаболический коэффициент (QR) и удельную скорость микробного дыхания (qCO_2).

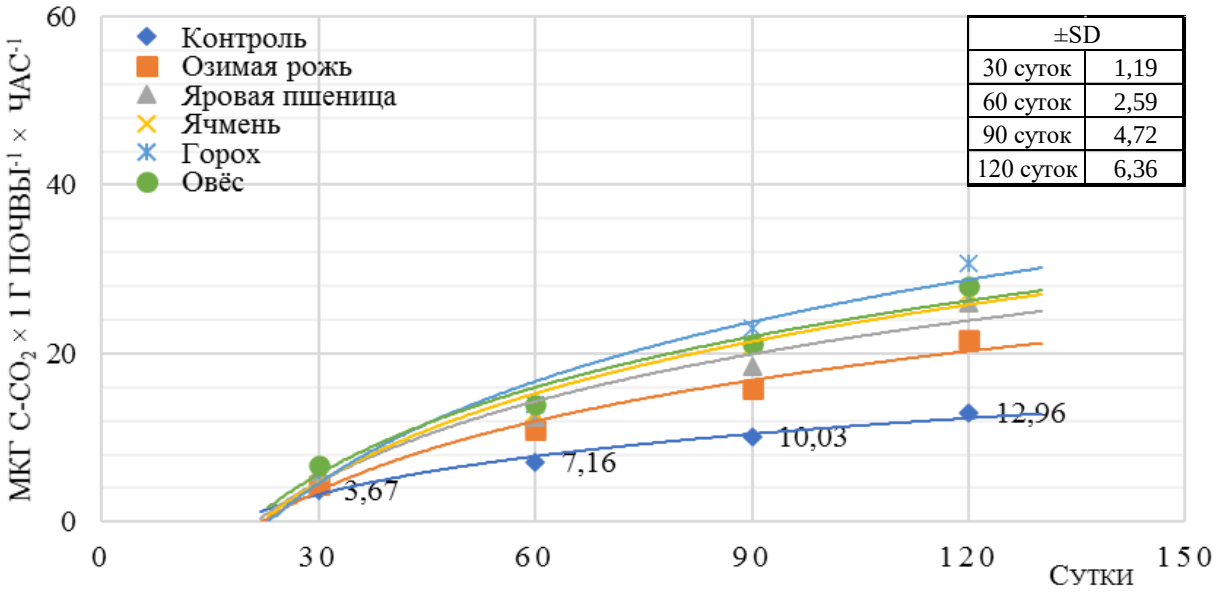


Рисунок 9.7. Актуальная активность микробного сообщества почвы и приращение эмиссии C-CO_2 при инкубировании соломы зерновых культур

Минимальная интенсивность базального дыхания почвы (2,87…3,67 мкг C-CO_2 × 1 г почвы$^{-1}$ × час$^{-1}$), отмечена на протяжении всего срока инкубирования в

контрольном варианте без внесения соломы. Существенное увеличение скорости БД, по прошествии 30 суток, фиксировалось в вариантах с внесением соломы яровой пшеницы, ячменя, гороха и овса.

Фактическая минерализация поступающего с соломой органического вещества ($С_{фм}$) составляла 2,29; 2,27;2,45 и 3,16 мкг $C\text{-}CO_2$ × 1 г почвы$^{-1}$ × час$^{-1}$. Учитываемый при инкубировании $C\text{-}CO_2$ является продуктом минерализации одновременно и растительного материала, и микробной биомассы. Не значительные объёмы продуцирования CO_2 в варианте с соломой озимой ржи (4,39 мкг $C\text{-}CO_2$ × 1 г почвы$^{-1}$ × час$^{-1}$), свидетельствуют о более высокой устойчивости к разложению соломы этой культуры на начальном этапе её деструкции.

При последующем инкубировании в почве соломы зерновых культур (60 суток), наблюдалось существенное увеличение эмиссии $C\text{-}CO_2$ до 6,52…7,86 × 1 г почвы$^{-1}$ × час$^{-1}$ во всех вариантах с растительными остатками. Отмечалось увеличение нетто и суммарной интенсивности минерализации соломы в 1,2…4,2 и 2,2…5,2 раза соответственно. Наиболее существенный рост показателя (в 4,2-5,2 раза) отмечался при внесении соломы озимой ржи. При этом интенсивней минерализация протекала в вариантах с соломой гороха и овса.

При учёте на 90 сутки фиксировалась разная направленность в последующей динамике показателей. Следует сказать о снижении абсолютных значений БД и $С_{фм}$ в варианте с соломой озимой ржи, снижении величины БД и закреплении на достигнутом уровне (3,04 мкг $C\text{-}CO_2$ × 1 г почвы$^{-1}$ × час$^{-1}$) значения $С_{фм}$ в варианте с соломой яровой пшеницы и повышении интенсивности БД и минерализации до 4,26…6,07 мкг $C\text{-}CO_2$ × 1 г почвы$^{-1}$ × час$^{-1}$ в вариантах с соломой ячменя, гороха и овса.

На заключительном этапе инкубирования (120 суток), можно наблюдать повышение эмиссии $C\text{-}CO_2$ в вариантах с соломой озимой ржи и яровой пшеницы на 0,84 и 1,70 мкг $C\text{-}CO_2$ × 1 г почвы$^{-1}$ × час$^{-1}$. Обратная тенденция – снижение интенсивности БД на 4,1…23,4%, была характерна для вариантов с соломой ячменя, гороха и овса. Это возможно из-за снижения количества доступного для деструкции субстрата и накопления отмершей микробной биомассы, углерод которой малодоступен микроорганизмам в качестве источника питания. Суммарно объём

фактической минерализации органического вещества соломы по вариантам составил 8,63…17,79 мкг C-CO_2 × 1 г почвы$^{-1}$ × час$^{-1}$, образуя следующий возрастающий ряд: озимая рожь → яровая пшеница → ячмень → овёс → горох.

Суммарное количеством C-CO_2, выделившегося при минерализации органического вещества соломы, имело достоверную отрицательную корреляцию к исходному отношению C : N в фитомассе от -0,67 на 30 сутки до -0,88 на 60 сутки, -0,92 на 90-е сутки и -0,95 на 120 сутки инкубирования.

Добавление глюкозы повысило объёмы эмитирования C-CO_2 из почвы (рис. 9.8).

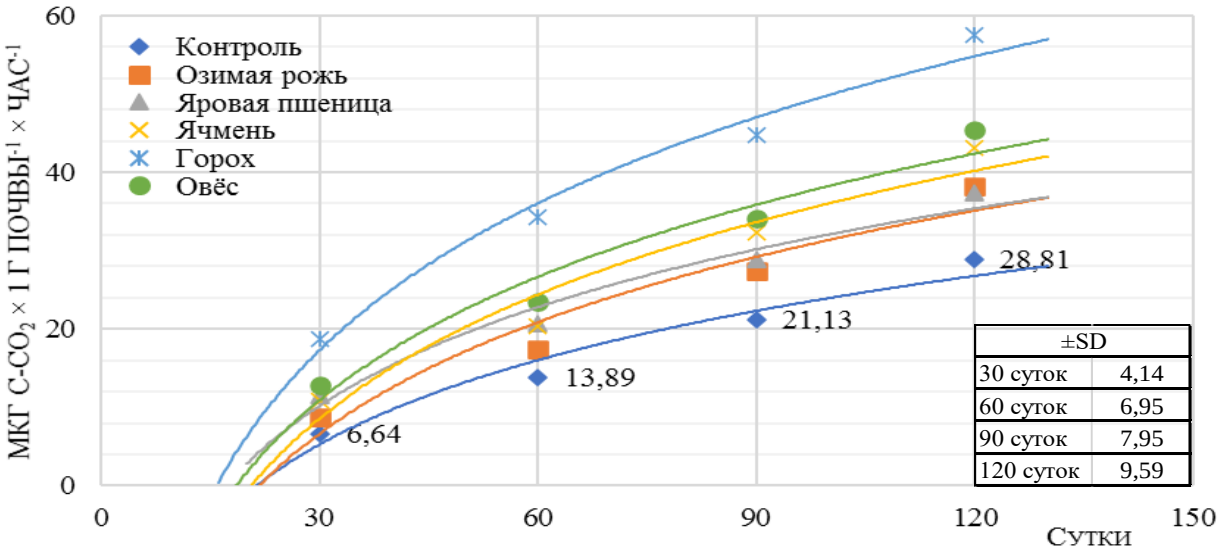


Рисунок 9.8. Потенциальная активность микробного сообщества почвы и приращение эмиссии C-CO_2 при внесении соломы зерновых культур

Скорость СИД, по прошествии 30 суток, составила от 8,79 мкг C-CO_2/г почвы × час в варианте с внесением соломы озимой ржи, до 18,73 мкг C-CO_2 × 1 г почвы$^{-1}$ × час$^{-1}$ при внесении соломы гороха. В последующем фиксировали разную направленность в динамике эмиссии CO_2 по срокам учёта при общем спаде объёмов эмиссии по вариантам с внесением соломы. На 60 сутки существенно выше, чем на контроле, было продуцирование CO_2 в вариантах с внесением соломы гороха и овса. На 90 и 120 сутки к вариантам с соломой этих культур присоединился вариант с соломой ячменя. Фактическая минерализация поступающего с соломой органического вещества возрастала линейно и составляла от 2,15…12,09 мкг C-CO_2 × 1 г почвы$^{-1}$ × час$^{-1}$ на 30 сутки до 8,57…28,64 мкг C-CO_2 × 1 г почвы$^{-1}$ × час$^{-1}$ на 120 сутки. Наибольшее усиление активности продуцирования C-CO_2 из почвы, при до-

бавлении глюкозы, отмечено в первый срок учёта. Следует отметить варианты с соломой озимой ржи и гороха. В первом случае наблюдали увеличение продуцирования $C\text{-}CO_2$ в 3,0 раза, что на наш взгляд связано с недостатком легкоминерализуемых углеводов в субстрате, тогда как в варианте с соломой гороха, повышение эмиссии в 4,9 раза можно постараться объяснить за счёт более высокого содержания азота и узкого соотношения C : N в соломе.

По мере инкубирования соломы пшеницы, ячменя и овса, отмечалось снижение отзывчивости на внесении глюкозы и интенсивности минерализации органического вещества субстрата с 1,9…2,1 до 0,7…1,1 раза. Прежде всего это связано с накоплением промежуточных продуктов из числа мономерных углеводов при разложении соломы.

Обобщающим показателем устойчивости функционирования почвенных агробиоценозов является микробный метаболический коэффициент (QR), определяющий соотношение процессов распада органических веществ (соломы зерновых культур) и синтеза источников питания для микробиоты (табл. 9.5).

Таблица 9.5. Величина метаболического коэффициента (QR) для микробного сообщества почвы при внесении соломы зерновых культур

Вид соломы	Длительность инкубирования, суток			
	30	60	90	120
Контроль	0,55	0,52	0,47	0,45
Рожь озимая	0,50	0,62	0,58	0,56
Пшеница яровая	0,52	0,60	0,64	0,70
Ячмень яровой	0,55	0,63	0,65	0,63
Горох посевной	0,33	0,41	0,51	0,54
Овёс яровой	0,53	0,59	0,62	0,62
SD, ±	0,08	0,09	0,07	0,09

Полученные значения коэффициента микробного дыхания для вариантов с соломой зерновых культур (0,33…0,55), по истечению 30 суток инкубирования, не превышали значение на контрольном варианте (0,55). В последующие сроки учёта (60, 90 и 120 суток) отмечалось нарушение устойчивости микробного сообщества почвы во всех вариантах с внесением соломы, кроме гороховой. Чем ниже показатель, тем выше стрессоустойчивость микробного сообщества и меньше выявляется нарушений в качественном и количественном составе почвенной биоты (Вершинин и др., 2017; Ковалевская и др., 2018). Значение QR в диапазоне от 0,2-0,3 до 1,0 ука-

зывают на умеренную интенсивность разложения органического вещества и стабильность почвенных биоценозов (Благодатская и др., 1995).

Отношение скорости дыхания микроорганизмов к их биомассе отражает коэффициент удельной скорости микробного дыхания (qCO_2). При устойчивом и благоприятном состоянии почвенно-микробного сообщества, с точки зрения наличия субстрата, коэффициент варьируется от 0,1 до 0,2 (Благодатская и др., 1995). По результатам представленного эксперимента, минимальное значение qCO_2, (0,50 мг C-CO_2 × 1 г почвы$^{-1}$ × час$^{-1}$) в среднем по опыту было характерно для вариантов с внесением соломы в первый срок учёта и не отличалось от значения на контроле (0,57 мг C-CO_2 × 1 г почвы$^{-1}$ × час$^{-1}$). Это можно объяснить активизацией микробного сообщества за счёт размалывания, увлажнения и прединкубации почвы перед закладкой эксперимента. Максимальные значения для вариантов с внесением соломы (0,70…0,79 мг C-CO_2 × 1 г почвы$^{-1}$ × час$^{-1}$) были получены через 60 и 90 суток инкубирования. В последующем, отмечалось не значительное снижение до 0,51…0,73 мг C-CO_2 × 1 г почвы$^{-1}$ × час$^{-1}$. При этом отмечались существенные различия (0,20…0,29 мг C-CO_2 × 1 г почвы$^{-1}$ × час$^{-1}$) между вариантами с внесением соломы и контролем.

9.3. Содержание и трансформация форм углерода в органическом веществе почвы

Благодаря трансформации послеуборочных растительных остатков под воздействием большого числа микроорганизмов, наблюдается формирование разнообразного состава и компонентов почвенного органического вещества, которые обладают неодинаковой устойчивостью и, следовательно, неодинаковой длительностью разложения в почве. Так в процессе деструкции растительных остатков часть органического углерода минерализуется до углекислого газа (CO_2), остальная его часть используется микроорганизмами, в результате этого в почве увеличивается содержание углерода микробной биомассы ($C_{мик.}$). Микробная биомасса представляет собой наиболее динамичную и чувствительную к различным воздействиям фракцию, входящую в органическое вещество почвы (Завьялова и др., 2020).

Именно разлагаемая часть пожнивных и корневых остатков или лабильное органическое вещество (ЛОВ) почвы, прежде всего влияет на трансформационные процессы, иммобилизацию питательных веществ (Шульц, Кершенс, 1998). Такие органические соединения как аминокислоты, аминосахара, аммонийные соли органических кислот и др., входящие в состав ЛОВ, после их минерализации являются главным источником почвенного доступного азота для растений, от которого в первую очередь зависит величина будущего урожая. Лабильный пул углерода в растительных остатках пшеницы составляет 15-27%, а устойчивый 73-85% от общего. Время оборота углерода лабильного пула составляет 26 суток, а устойчивого – 625 суток. (Davenport et al., 1988). Запас трансформируемого органического вещества соответствует количеству доступных питательных веществ для микроорганизмов и может быть приближенно определен по количеству углерода, растворимого в горячей воде ($C_{эгв.}$) или вытесненного из почвы 0,1 М раствором $Na_4P_2O_7$ ($C_{лов}$) (Завьялова и др., 2013).

В процессе разложения растительных остатков происходит не только распад и минерализация сложных органических веществ, но и их синтез (Черепухина и др., 2019). Использование соломы зерновых культур в рамках современных агротехнологий, выступает в качестве наиболее доступного ресурса для гумусонакопления. При поверхностном расстиле по поверхности почвы и заделке 2-4 т соломы, происходит накопление от 0,2 до 1,0 т/га гумуса (Чупрова, 2001).

Динамика содержания отдельных фракций углерода органического вещества, при разложении соломы зерновых культур, представлена в таблице 9.6. По результатам исследований было установлено, что в отсутствии внесения соломы содержание микробной биомассы не превышало исходный уровень и варьировало не значительно (308…371 мкг/г). Накопление углерода микробной биомассы и развитие почвенных микроорганизмов часто лимитируется наличием растворимых низкомолекулярных легкоусвояемых углеродсодержащих веществ из состава растительных остатков. Из-за быстрого потребления, для них характерен ограниченный период существования (~10 ч) и не значительная концентрацию в почвенном растворе (150 мкМ/л). Несмотря на это, поток углерода через пул этих орга-

нических низкомолекулярных веществ может быть значителен (Van Hees et al., 2005). Поэтому между $C_{мик.}$ и количеством разлагающейся растительной биомассы в почве отмечают тесную связь (Zak et al., 2000; Кудеяров, 2018).

Таблица 9.6. Содержания углерода отдельных фракций органического вещества почвы при разложении соломы зерновых культур

Вариант	$C_{мик.}$	$C_{эгв.}$	$C_{лов}$	$C_{орг.}$	$C_{мик.}$ / $C_{лов}$	$C_{мик.}$ / $C_{орг.}$
Исходное значение	299±100	221±33	0,15±0,05	1,07±0,14	20,0	2,8
30 суток						
Контроль	346±26	182±20	0,09±0,01	0,92±0,06	38,5	3,8
Рожь озимая	352±41	229±37	0,10±0,01	1,08±0,06	35,2	3,3
Пшеница яровая	462±19	243±21	0,13±0,04	1,14±0,02	35,5	4,0
Ячмень яровой	436±39	238±28	0,11±0,06	1,12±0,07	39,6	3,9
Горох посевной	750±141	231±39	0,10±0,03	1,09±0,02	75,0	6,9
Овёс яровой	517±88	236±18	0,13±0,03	1,11±0,10	39,8	4,7
60 суток						
Контроль	371±32	214±6	0,10±0,01	1,06±0,08	37,1	3,5
Рожь озимая	348±44	237±41	0,11±0,04	1,16±0,15	31,6	3,0
Пшеница яровая	426±15	247±22	0,14±0,07	1,27±0,16	30,4	3,4
Ячмень яровой	384±47	247±27	0,14±0,03	1,25±0,09	27,4	3,1
Горох посевной	620±98	266±32	0,11±0,06	1,17±0,15	56,4	5,3
Овёс яровой	370±22	263±7	0,16±0,05	1,18±0,09	23,1	3,1
90 суток						
Контроль	330±16	219±5	0,12±0,02	1,08±0,03	27,5	3,1
Рожь озимая	398±26	240±49	0,23±0,09	1,17±0,15	17,3	3,4
Пшеница яровая	424±19	254±24	0,26±0,11	1,32±0,14	16,3	3,2
Ячмень яровой	479±33	270±22	0,28±0,10	1,26±0,05	17,1	3,8
Горох посевной	426±57	275±36	0,23±0,10	1,19±0,14	18,5	3,6
Овёс яровой	329±6	270±5	0,26±0,09	1,26±0,07	12,7	2,6
120 суток						
Контроль	308±42	226±9	0,12±0,01	1,11±0,02	25,7	2,8
Рожь озимая	435±38	309±17	0,29±0,09	1,42±0,18	15,0	3,1
Пшеница яровая	450±42	288±18	0,36±0,11	1,53±0,15	12,5	2,9
Ячмень яровой	432±29	302±29	0,32±0,10	1,34±0,06	13,5	3,2
Горох посевной	506±68	326±11	0,31±0,09	1,43±0,17	16,3	3,5
Овёс яровой	338±12	277±26	0,33±0,10	1,31±0,04	10,2	2,6

Примечание. $C_{мик.}$ – углерод микробной биомассы, мг/кг почвы; $C_{эгв.}$ – углерод, экстрагируемый горячей водой, мг/кг почвы; $C_{лов}$ – углерод, экстрагируемый 0,1 М раствором $Na_4P_2O_7$, %; $C_{орг.}$ – содержание общего органического углерода, %; $C_{мик.}$ / $C_{лов}$ – доля углерода микробной биомассы в составе углерода лабильного органического вещества; $C_{мик.}$ / $C_{орг.}$ – доля углерода микробной биомассы в составе углерода органического вещества почвы.

Внесение соломы пшеницы, ячменя и овса способствовало росту углерода микробной биомассы уже через 30 суток инкубирования. Существенный и максимальный рост $C_{мик.}$ отмечен при внесении в почву соломы гороха (620…750 мкг/г) в рамках первых 60 суток инкубирования. На последующих этапах учёта (90 и 120 суток) более высокое чем на контроле содержание $C_{мик.}$ отмечалось практически

во всех вариантах. Исключение составил вариант с внесением соломы овса, где, вероятнее всего, повышение $C_{мик.}$ могло фиксироваться на более раннем сроке. Увеличение $C_{мик.}$ в почве расценивается как безусловно положительный факт, подтверждающий её биологический статус (Gonzalez-Quiñones et al., 2011).

Величина $C_{мик.}$ зависит от наличия, количества и доступности источников питания для микроорганизмов. Внесение свежего растительного материала способствует повышению биологической активности почвы с характерным увеличением выделения CO_2, ростом содержания микробной биомассы на 30-65% в течение нескольких часов или суток (Ambus, Jensen, 1997; Jensen et al., 1997). Однако, по мнению (Trinsoutrot et al., 2000), пик включения ^{13}C в микробную биомассу почвы приходится на 7-е сутки и не зависит от содержания общего азота в растительных остатках. Несколько иная зависимость получена в исследованиях (Burns, Martin, 1986), где количество ассимилированного микроорганизмами углерода из растительных остатков с высоким исходным содержанием общего азота было выше на 2,4…3,2% по сравнению с низким его содержанием (11,4…13,5%). Для почвенного сообщества получены разные значения эффективности микробного роста: от 0,14 до 0,77 или в среднем 0,53 г углерода микробной биомассы на 1 г метаболизированного углерода. Разложение растительных остатков с широким отношением C : N, в отличие от остатков с узким отношением, как правило сопровождается плавным изменением содержания микробного углерода и гумифицированного органического вещества (Семенов, Когут, 2015). Наоборот, внесение растительных остатков с узким отношением углерода к азоту способствует более быстрому обогащению почвы микробным углеродом. После достигнутого максимума содержание $C_{мик.}$ обычно снижается. Так, через 168 суток проведения эксперимента содержание меченого углерода постепенно снижалось до 6,5%, а через 224 суток в микробной биомассе обнаруживалось только 1,0-1,5% углерода растительных остатков (Burns, Martin, 1986). Параллельно с уменьшением доли ^{14}C в микробной биомассе происходило увеличение его концентрации в составе почвенного органического вещества (Jensen et al., 1997).

Превышение содержания углерода, экстрагируемого горячей дистиллированной водой, относительно исходного образца, было отмечено по прошествии 60 и 90 суток инкубирования только при внесении соломы овса. По остальным вариантам с соломой, существенные изменения содержания $C_{эгв.}$ отмечены только по окончанию 120 суток. Существенное увеличение $C_{эгв.}$ относительно контроля, отмечено в вариантах с соломой яровых злаковых культур на протяжении всего периода инкубирования. При внесении соломы гороха – после 30 суток. При внесении соломы озимой ржи это наблюдалось только в рамках заключительного срока учёта.

Химический состав полученных лабильных фракций содержит значительную часть углерода микробной биомассы почв, простые органические компоненты, гидролизуемые в условиях конкретной вытяжки и представляющие очень быстро разлагаемую часть органического активного вещества почвы. Фракция $C_{эгв.}$ характеризуется узким соотношением углерода к азоту (C : N ~ 5-7,7…10). Тесная корреляция между $C_{эгв.}$ и нитрифицирующей способностью почвы (r = 0,91), а также величиной $C_{мик.}$ (r = 0,97) позволяет считать, что эта фракция имеет большое значение для всех почвенных трансформационных процессов, особенно для снабжения азотом вегетирующих растений (Мамонтов и др., 2008; Полякова и др., 2019). 0,1 М раствором $Na_4P_2O_7$ извлекаются лабильные гумусовые вещества, которые относятся к наиболее «молодым», не прочносвязанным с минеральной частью почвы (Мамонтов, Родионова, 2000). В то же время (Завьялова и др., 2013) отмечают, что в такую вытяжку могут переходить и довольно «зрелые» гуминовые кислоты. Поддержание в почве определенного уровня содержания лабильной фракции органического вещества, является первоочередным условием для сохранения и воспроизводства запасов почвенного органического вещества (Романенков и др., 2009; Шарков, Данилова, 2010).

По результатам наших исследований, содержание в почве углерода лабильного органического вещества извлекаемого 0,1 М раствором $Na_4P_2O_7$ изменилось при разложении соломы зерновых культур только по прошествии 120 суток инкубирования. В исследовании (Туев, 1989) при внесении гороховой и пшеничной соломы максимальное количество лабильных гумусовых кислот наблюдалось на 210

и 360 сутки соответственно. Существенные изменения в содержании $C_{лов}$, относительно контрольного варианта без соломы, отмечались в вариантах с соломой яровых злаковых культур на 90 сутки и во всех без исключения вариантах на 120 сутки инкубирования соломы. Преимуществ ни одного из вариантов, по рассматриваемому параметру, не отмечено. Таким образом, при внесении и разложении соломы зерновых культур фиксировалось накопление фракций лабильного углерода ($C_{лаб.}$) в почве на заключительном этапе инкубирования. Благодаря этому обеспечивается поддержание оптимальных условий для протекания микробиологических процессов. Солома служит основным источником углерода для всех пулов подвижного органического вещества даже при её поверхностном внесении (Семенов, Тулина, 2011; Назарюк, Калимуллина, 2018).

Между содержанием в дерново-подзолистой почве $C_{эгв.}$ установлена тесная обратная связь с численностью аммонифицирующих ($r = -0,75$; $p < 0,02$), а также иммобилизующих минеральный азот ($r = -0,85$; $p < 0,003$) бактерий. В достоверной обратной зависимости от содержания в почве С извлекаемого пирофосфатом натрия находится также численность бактерий, вырастающих на КАА и ПА (Завьялова и др., 2019).

Рост микробиологической активности при внесении соломы ускоряет разложение соломы, но не гумуса (Juan et al., 2015). Количество новообразованного из растительных остатков почвенного органического вещества зависит от эффективности синтеза микробной биомассы в ходе разложения субстратов, скорости оборачиваемости микробной биомассы и количества остаточных продуктов разложения (Семенов, Когут, 2015). При разложении в почве соломы зерновых культур, содержание $C_{орг.}$ имеет общую тенденцию с содержанием $C_{лов}$, увеличиваясь к концу срока инкубирования на 0,24…0,46%. Прибавка содержания органического углерода в лугово-бурой почве с соломой зерновых культур составила 3,7-5,2% (Щапова, 2004). Применение гороховой соломы на удобрение повышает содержание органического вещества в типичном черноземе лесостепи Поволжья на 86-91% (Колсанов др., 2002). На выщелоченном черноземе ежегодное внесение соломы в дозах 3,0-9,0 т/га обеспечивает увеличение содержания $C_{орг}$ на 0,1-0,3% от массы почвы (Шарков,

2011). При этом повышение содержания $C_{орг}$ в почве было более продолжительным при добавлении к соломе зелёного удобрения.

В нашем эксперименте существенные различия по всем вариантам с соломой, относительно контроля, отмечены на начальном (30 суток) и последнем сроке учёта (120 суток). Только при внесении соломы ячменя более высокие значения отмечались на протяжении всего срока исследований. Это обусловлено тем, что не смотря на высокое содержание в соломе органических соединений (41-54%), являющихся основой для формирования гумусовых веществ, основная их часть в естественных условиях минерализуется и только 10-20% преобразуется в гумус и сохраняется в почве в форме устойчивых к разложению веществ. В связи с этим, возможности накопления гумуса за счет соломы, не безграничны (Минеев, 1995; Надёжкин и др., 1998). При внесении в течение 7-ми лет соломы, меченой ^{14}C, повышение содержания углерода в почве останавливалось на пятый год (Широких, 2009). Это свидетельствует о наступлении равновесия между количеством поступающего углерода соломы и углерода органического вещества почвы, теряющегося вследствие минерализации.

Углерод, иммобилизованный в биомассе микроорганизмов, вносит важный вклад в формирование гумусного фонда почв (Miltner et al., 2012; Kallenbach et al., 2015), а отношение $C_{мик.}/C_{орг.}$ рассматривается в качестве индикатора доступности углерода органического вещества почвы (Wani et al., 2017). Соотношение $C_{мик.}/C_{орг.}$ в почвах колеблется чаще всего в пределах 1-5 % (Kallenbach, Grandy, 2011; Ковалевская и др., 2018), реже до 10% и выше (Семенов, Тулина, 2011; Русакова, 2020). По результатам нашего исследования величина $C_{мик.}/C_{орг.}$ находилась в диапазоне 2,6…4,7%, что указывает на слабое закрепление углерода в биомассе микроорганизмов и на не благоприятные условия функционирования микробного сообщества. Исключение составил вариант с соломой гороха на начальных этапах инкубирования, где величина микробного фактора составила 6,9-5,3%. Низкое значение соотношения $C_{мик.}/C_{орг.}$ и выраженная динамика показателя по срокам инкубирования соломы в среднем с 4,4% и 3,6% до 3,3% и 3,0%, свидетельствует о снижении обеспеченности микрофлоры доступным органическим веществом.

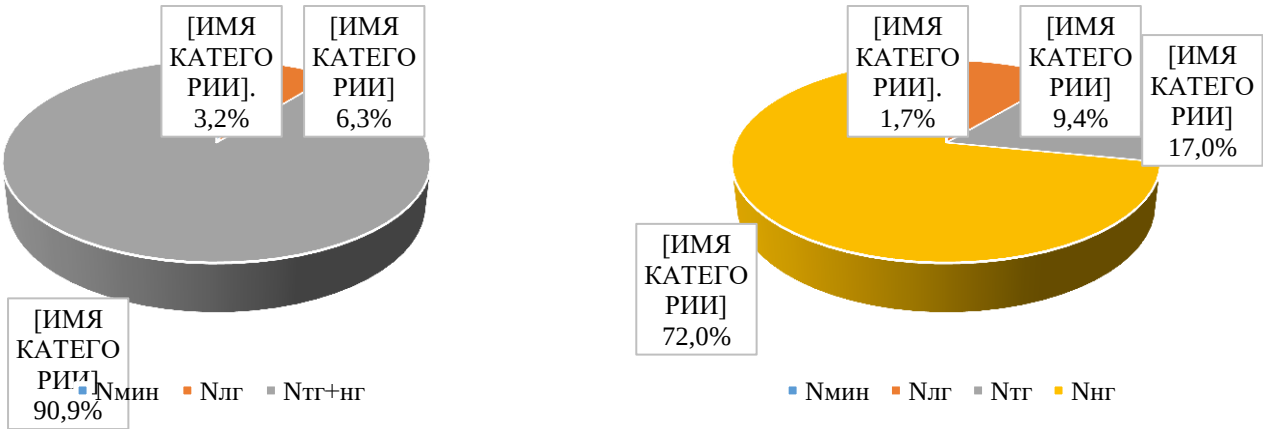
Величина углерода микробной биомассы в составе $C_{лов}$ варьировала от 10,2% до 75,0% и имела общую с соотношением $C_{мик.}/C_{орг.}$ тенденцию к снижению по мере увеличения срока инкубирования соломы. Несмотря на это, доля $C_{лов}$ в составе общего органического вещества почвы увеличилась с 10,2-10,7% на начальных сроках, до 18,8% на 90 сутки и 20,9% на 120 сутки инкубирования соломы.

9.4. Азотный режим дерново-подзолистой почвы

Основной функцией соломы и послеуборочных растительных остатков является не только формирование и пополнение отдельных фракций углерода, но и регулирование потоков азота в почве (Завалин и др., 2018). Внесение соломы изменяет азотный режим почвы, благодаря поступлению дополнительного количество азота с биомассой, а также за счёт возможного усиления несимбиотической азотфиксации (Мишустин, 1980; Серая и др., 2013). Солома стимулирует функциональную активность почвенного микробного сообщества (Семенов и др., 2001; Русакова, 2013) связанную с минерализацией и иммобилизацией соединений азота в почве. Широкое соотношение углерода и азота (C : N), свойственное соломе, способствует поглощению микроорганизмами минерального азота, содержащегося в самой соломе и почве, и преобладанию иммобилизации над минерализацией органических соединений азота (Recous et al., 1995; Семенов и др., 2002). Иммобилизация почвенного азота совпадает по времени с быстрой стадией разложения растительных остатков Медленная же стадия деструкции соответствует нетто-минерализации азота (Семенов, 2020). Усиление иммобилизации азота при внесении соломы способствует уменьшению газообразных и инфильтрационных потерь азота (Jensen et al., 1997; Korsaeth et al., 2002; Семенов и др., 2004; Hadas et al., 2004), что особенно важно в отсутствие вегетирующих растений в безморозный период года. При недостаточном содержании азота в почве или в разлагаемом растительном материале его минерализационная способность существенно замедляется. При содержании азота в метаболизируемом веществе выше микробной потребности, избыток азота выделяется из клетки в виде аминокислот или N-

NH_4^+ (Кузнецова и др., 2003). Чем выше в почве содержание подвижного азота и других элементов питания, тем активнее в ней происходят процессы окисления клетчатки (Колсанов и др., 2004). Эти данные подчеркивают важную роль азота в процессах превращения органического вещества и объясняют наличие достоверной связи между отношением C/N в растительном материале и активностью его разложения, которая, по мнению (Квиткина и др., 2014), удовлетворительно диагностирует лишь раннюю стадию разложения, но не позднюю.

Д.Н. Прянишников (1965) указывал на то, что процессы связанные с изменением в почвах количества органического вещества всегда проходят параллельно с приростом и убылью азота. Поэтому при внесении соломы зерновых культур, совместно с установлением содержания углерода отдельных фракций органического вещества, была предпринята попытка охарактеризовать фракционный состав соединений азота дерново-подзолистой почвы. Исходный образец почвы, используемый для закладки лабораторного модельного эксперимента п разложению соломы зерновых культур, можно назвать достаточно типичным по фракционному составу соединений азота (рис. 9.9А).



А Б

Рисунок 9.9. Фракционный состав соединений азота дерново-подзолистой почвы. А – почва для эксперимента по разложению соломы зерновых культур; Б – усреднённые данные для почвы с опытного поля (Пискунов, 1994).

Исследования 24 образцов пахотного слоя дерново-подзолистой почвы (Пискунов, 1994), отобранной в условиях Среднего Предуралья в конце апреля – начале мая перед посевом зерновых культур с полей различной окультуренности, показывают (рис. 9.9Б): 72% общего азота приходится на негидролизуемую и 17% на трудногид-

ролизуемую фракцию. На долю легкогидролизуемой фракции приходится 9,4%, а минеральной – всего лишь 1,7%. Не значительная разница в долевом соотношении минерального азота с усреднёнными результатами, может быть обусловлена сроком отбора образца (осенью, после уборки культур) который был использован при проведении эксперимента. Динамика содержания азота отдельных фракций органического вещества, при разложении соломы зерновых культур, представлена в таблице 9.7.

Таблица 9.7. Содержание азота отдельных фракций органического вещества почвы при разложении соломы зерновых культур, мг /100 г почвы

Вариант	$N_{мин.}$	$N_{лг}$	$N_{тг+нг}$	$N_{общ.}$	$N_{мин.}/N_{общ.}$	$N_{лг}/N_{общ.}$	$N_{тг+нг}/N_{общ.}$
Исходное значение	4,2±0,9	8,5±0,6	123,4±7,8	135,7±7,7	4,7	6,3	90,9
30 суток							
Контроль	4,5±0,4	8,6±0,6	120,8±2,6	134,5±3,6	0,9	6,4	89,8
Рожь озимая	3,2±1,0	7,9±0,5	126,0±2,5	139,4±2,2	2,3	5,7	90,4
Пшеница яровая	2,3±0,8	7,0±0,7	120,5±0,8	132,2±8,1	2,6	5,3	91,1
Ячмень яровой	3,2±0,6	9,7±0,6	119,2±3,2	134,5±4,3	2,1	7,2	88,6
Горох посевной	3,2±1,0	8,7±0,4	122,3±7,1	137,2±7,8	1,7	6,3	89,1
Овёс яровой	3,4±0,5	8,1±0,3	118,5±4,5	132,0±4,9	2,0	6,1	89,8
60 суток							
Контроль	4,7±0,4	9,1±0,7	124,9±3,9	137,9±3,6	1,7	6,6	90,6
Рожь озимая	2,1±1,0	8,4±0,6	123,8±1,9	137,3±2,7	3,6	6,1	90,2
Пшеница яровая	3,3±0,4	7,5±0,6	127,7±2,3	139,4±9,6	3,1	5,4	91,6
Ячмень яровой	3,4±0,5	9,0±0,4	124,9±1,2	137,3±3,5	1,8	6,6	91,0
Горох посевной	5,0±0,3	8,6±0,4	121,7±6,5	134,5±7,7	1,7	6,4	90,5
Овёс яровой	3,7±0,4	8,1±0,3	112,3±1,9	126±2,8	1,9	6,4	89,1
90 суток							
Контроль	5,5±0,1	7,7±0,2	125,8±5,4	135,8±4,9	2,9	5,7	92,6
Рожь озимая	3,7±0,2	8,8±0,8	124,3±3,	138,0±3,0	3,7	6,4	90,1
Пшеница яровая	3,6±0,4	8,6±0,7	111,8±8,1	124,7±2,4	3,4	6,9	89,7
Ячмень яровой	4,2±0,1	8,7±0,3	101,9±10,2	114,9±2,0	3,2	7,6	88,7
Горох посевной	5,2±0,3	8,1±0,1	117,9±2,6	130,3±4,0	2,5	6,2	90,5
Овёс яровой	4,4±0,1	7,7±0,1	111,1±3,7	123,1±1,8	2,8	6,3	90,3
120 суток							
Контроль	5,1±0,6	8,0±0,1	133,7±4,3	142,8±4,8	3,6	5,6	93,6
Рожь озимая	4,1±0,6	7,6±0,6	131,7±2,8	142,2±4,4	3,9	5,3	92,6
Пшеница яровая	4,2±0,2	7,6±0,5	110,3±3,5	121,3±9,6	4,2	6,3	90,9
Ячмень яровой	4,3±0,7	8,3±0,1	109,4±5,3	120,5±2,4	3,9	6,9	90,8
Горох посевной	5,6±0,2	7,9±0,8	117,3±4,7	127,5±7,4	3,3	6,2	92,0
Овёс яровой	4,5±1,0	7,6±0,5	110,3±3,9	120,5±5,6	3,7	6,3	91,5

Примечание. $N_{мин.}$ – сумма нитратного и обменного аммонийного азота, мг/100 г почвы; $N_{лг}$ – содержание легкогидролизуемого азота, экстрагируемого 0,5 н раствором H_2SO_4, мг/100 г почвы; $N_{тг+нг}$ – сумма трудно гидролизуемого и негидролизуемого азота, мг/100 г почвы; $N_{общ.}$ – содержание общего органического азота, мг/100 г почвы; $N_{мин.}/N_{общ.}$ – доля подвижного минерального азота в составе общего азота органического вещества, %; $N_{лг}/N_{общ.}$ – доля легкогидролизуемого азота в составе общего азота органического вещества, %; $N_{тг+нг}/N_{общ.}$ – доля трудно- и негидролизуемого азота в составе общего азота органического вещества почвы, %.

В отсутствии значимых источников свежего органического вещества в контрольном варианте, мы наблюдали накопление $N_{мин.}$ в почве. Это могло быть обеспечено за счёт невысоких темпов минерализации гумифицированных компонентов органического вещества почвы. Существенный и максимальный рост содержания подвижного минерального азота ($N_{мин.}$) до 5,0-5,2 мг/100 г почвы отмечен при внесении в почву соломы гороха в первые 60 и 90 суток инкубирования.

Считается, что если разложение фитомассы сопровождается накоплением $N_{мин.}$, то вполне вероятным является замедление минерализации её остаточного количества, так как повышенное содержание минерального азота в почве ингибирует синтез лигнинолитических ферментов (Trinsoutrot et al., 2000b). Количество накапливаемого в почве $N_{мин.}$ во многом зависит от оборачиваемости микробной биомассы и её минерализационной способности после отмирания (Jensen et al., 1997). Чаще всего в процессе разложения пожнивных остатков происходит иммобилизация подвижного минерального азота и увеличение выделения CO_2. Наблюдаемая динамика количества азотсодержащих веществ была обусловлена тем, что легкоподвижные растворимые соединения азота вовлекались в биодеградацию целлюлозосодержащих субстратов. При этом в первую очередь бактерии будут потреблять азот в органической форме, который содержит сама солома (Чирак и др., 2017).

На 6-е сутки инкубирования в биомассе микроорганизмов накапливалось от 32 до 64% азота, который был внесён с разными растительными остатками. Чем больше в фитомассе было азота, тем выше была его доля в микробной биомассе. Максимальное количество азота растительных остатков, иммобилизованного микроорганизмами, обнаружено между 14 и 56 сутками. По итогу исследования было установлено, что во внутрипочвенном круговороте ($N_{мин.}$ + $N_{мб}$ + $N_{потери}$) участвует порядка 50-90% азота, поступающего с растительными остатками (Кузнецова и др., 2003).

Усвоенный микроорганизмами N пожнивных растительных остатков непрерывно подвергается минерализации, реиммобилизации и стабилизации. За счёт наличия в почве доступного С в виде продуктов разложения растительных и микробных остатков, минерализованный азот легко реутилизируется новыми генерациями микроорганизмов. По той же причине азот отмирающей микробной биомассы мог активнее стабилизиро-

ваться, включаясь в устойчивые органические фракции, чем минерализоваться. Продукты поздней стадии микробного разложения свежего органического вещества менее способны к минерализации по сравнению с ранней (Chotte et al., 1998). Внесение в почву пшеничной соломы в несколько раз усиливает иммобилизацию и в меньшей мере минерализацию азота (Watkins, Barraclough, 1996).

При рассмотрении содержания подвижного минерального азота в почве, следует отметить общие моменты и некоторые различия в динамике отдельных слагаемых его форм азота по срокам учёта. Относительно большую (44,0%) и достаточно весомую долю $N\text{-}NO_3$ в $N_{мин.}$ при достаточном уровне увлажнения и устойчивом благоприятном температурном диапазоне можно объяснить высокой скоростью нитрификации. Внесение соломы зерновых культур снижало долю нитратного азота в подвижном пуле минерального азота на 8,3…13,2%, было эффективным способом биологического связывания водорастворимых солей, которые отличаются высокой подвижностью и могут вымываться из пахотного горизонта на глубину проникновения гравитационных вод, не препятствуя повторной минерализации органических N-содержащих веществ. Основная часть аммонийного азота в почве находится в поглощённом состоянии. В дерново-подзолистых почвах Предуралья водорастворимого аммония в 5-7 раз меньше, чем обменно-поглощённого. Не смотря на высокое содержание обменно-поглощённого аммония, некоторые исследователи достаточно аккуратно делают прогнозы по обеспеченности сельскохозяйственных культур азотом (Ковриго, 1997). В свою очередь, суммирование азота поглощённого аммония и нитратов, как величин неравноценных, не допустимо; оно приводит к неправильным выводам об обеспеченности почвы доступным количеством азота (Возбуцкая, 1968). Допускается что появление других неорганических форм N, либо не значительны по содержанию (NO_2^- 0,02…0,04 мг/100 г почвы) либо не устойчивы, как гидроксиламин и быстро переходят в другие формы. В любом случае их количество не соизмеримо с потоками азота нитратов и аммония.

Минерализационно-иммобилизационный цикл азота в почве складывается из разнонаправленных и параллельно-последовательных процессов трансформации органического азота до минеральных форм и их связывания микроорганизмами в орга-

нические соединения. Высокое содержание в почве минерального азота может быть обусловлено не только значительной минерализацией, но и слабой его иммобилизацией (Семенов и др., 1995). Наоборот, низкое количество в почве $N_{мин.}$ не всегда является показателем слабой минерализации азота, а в ряде случаев, например при поступлении растительных остатков, вызвано интенсивной иммобилизацией (Waticins, Barraclough, 1996). Результирующую величину процессов иммобилизации и минерализации мы оценивали по нетто-величине изменения $N_{мин.}$ в процессе инкубирования соломы (табл. 9.8). Положительные величины показывают нетто-минерализацию азота (N_{min}), а отрицательные – нетто-иммобилизацию (N_{im}).

Таблица 9.8. Нетто-минерализация (иммобилизация) азота в почве при разложении соломы зерновых культур с разным отношением C : N, мг/100 г почвы

Вариант	Длительность инкубирования, суток			
	30	60	90	120
Рожь озимая	-2,11	-2,17	-0,36	-0,06
Пшеница яровая	-2,21	-0,99	-0,47	0,03
Ячмень яровой	-1,26	-0,92	0,14	0,13
Горох посевной	-1,23	0,65	1,05	1,43
Овёс яровой	-1,02	-0,63	0,27	0,32

Поступление свежего органического вещества соломы зерновых культур со свойственным ей широким отношением C : N (1 : 30…106) способствует созданию избытка доступного для микроорганизмов углерода, инициирует иммобилизацию и реиммобилизацию азота, смещает углеродно-азотное равновесие, характерное для конкретной почвы. В итоге в почве отмечается низкое содержание подвижного минерального азота (Кузнецова и др., 2006). Отрицательные величины в разнице запасов $N_{мин.}$ соответствуют выраженной иммобилизации N в почве при внесении соломы всех зерновых культур.

После максимальных значений иммобилизации в начале разложения соломы, наблюдается постепенное ослабление выраженности аккумулятивного процесса. Это обусловлено сужением соотношения C : N в почве, поскольку в отличие от азота, потери которого составляют только часть от минерализованного количества, минерализованный углерод практически полностью улетучивается из почвы в составе $C\text{-}CO_2$ (Семенов, 2020). Снижение величины нетто-иммобилизации также может указывать на реминерализацию свежеиммобилизованного азота и насыще-

ние иммобилизованным азотом микробной биомассы. При этом количество высвобождающегося при минерализации N соотносится с количеством C, который минерализовался до CO_2 и будет способствовать установлению динамического равновесия между наличием доступного углерода и потребностью микробного пула в азоте. В конце эксперимента, практически во всех вариантах (за исключением соломы озимой ржи), можно наблюдать нетто-минерализацию и накопление подвижного минерального азота в почве. Этому будет способствовать увеличение доли микробной биомассы в составе почвенного органического вещества.

Используя терминологию и классификацию разлагаемого органического материала по соотношению C : N (Ходжаева, 2006) можно отметить следующее. Для соломы гороха с C : N = 30 в условиях лабораторного модельного эксперимента была характерна умеренно-продолжительная иммобилизация на протяжении 1,5 месяцев. При внесении соломы овса и ячменя с C : N = 64…78 умеренная иммобилизация наблюдалась на протяжении 2 месяцев инкубирования. Для заделке соломы яровой пшеницы (C : N = 84) характерно наличие долговременной иммобилизации в течении практически 4 месяцев. При более широком соотношении C : N = 106, характерном для соломы озимой ржи, иммобилизационный процесс выражен сильнее и на протяжении более длительного срока инкубирования соломы в почве. При линейной аппроксимации, срок иммобилизации азота в варианте с соломой озимой ржи составил порядка 145 суток.

Минимальная по продолжительности нетто-иммобилизация характерна для варианта с соломой гороха, что в дальнейшем проявляется в меньшем дефиците азота для полноценного развития последующей культуры севооборота, позволяет исключить использование компенсирующей дозы азота по причине возможности компенсации необходимого количества N за счёт микробиологической активности почвы, делает возможным поукосное и пожнивное размещение требовательных к азотному питанию культур. Реальную интенсивность минерализационно-иммобилизационных процессов в почве по накоплению аммония ($N\text{-}NH_4$) и нитрата ($N\text{-}NO_3$), или их убыль в почве за конкретный промежуток времени, можно оценить благодаря изотопной индикации.

Минеральные формы азота являются конечным результатом биохимических превращений азота и характеризуют только текущие запасы усвояемого азота. При наличии достаточного для роста микроорганизмов количества углерода, высвобождающегося из фитомассы азот реутилизируется микроорганизмами, поэтому традиционное измерение $N_{мин.}$ не обеспечивает конкретного понимания об истинных размерах обогащения почвы доступным азотом (Ehaliotis et al., 1998; Watkins, Barraclough, 1996). Для более объективной оценки предложено учитывать одновременно и органический легкогидролизуемый азот, который является наиболее ценной и информативной среди других форм азота, ближайшим резервом пополнения подвижных минеральных форм азота (Черепухина и др., 2019).

Превышение содержания азота, экстрагируемого раствором 0,5 н серной кислоты, относительно контрольного варианта, было отмечено для большинства вариантов с внесением соломы по прошествии 90 суток инкубирования. По отдельным вариантам и срокам инкубирования соломы озимой ржи, пшеницы и овса наблюдалось достоверное ($p < 0,05$) снижение содержания легкогидролизуемого азота до 7,0…7,7 мг/100 г почвы.

Кроме легкогидролизуемых соединений, органические вещества в почве делятся ещё на две группы по доступности азота: трудно гидролизуемые и негидролизуемые. Из-за ограниченного срока инкубирования и разложения соломы, эти формы представлены в сумме. Однако ближайшим резервом для питания растений, отчасти являются только трудно гидролизуемые формы. Они могут в ближайшее время оказаться доступными для растений и микроорганизмов в результате аммонификации и нитрификации.

Существенное снижение запасов $N_{тг + нг}$, относительно исходного содержания (123,4±7,8 мг/100 г почвы), отмечено в вариантах с соломой яровых злаковых культур на заключительных сроках инкубирования. В варианте с соломой гороха варьирование содержания не превышало 4,1%. Устойчивое состояние этого пула азота косвенно указывает на отсутствие потребности в дополнительном количестве азота для покрытия потребности в нём при иммобилизации на начальном этапе разложения соломы.

Достаточно интересным параметром для дерново-подзолистых почв является то, что такие агрохимическими показатели как содержание доступного минерального азота ($r = 0,68$; $p < 0,04$), а также содержание трудногидролизуемой ($r = 0,87$; $p < 0,002$) и легкогидролизуемой ($r = 0,79$; $p < 0,011$) фракций азота тесно и положительно коррелирует с численностью грибных пропагул (Широких и др., 2019).

Валовое содержание азота в почве по вариантам с внесением соломы зерновых культур варьируется от 114,9 до 142,2 мг/100 г почвы. В среднем по вариантам, пул общего азота на 90,6% был представлен азотом трудно- и негидролизуемых фракций. По срокам инкубирования соломы прослеживалась тенденция увеличения этой фракции на 1,0% по сравнению с исходным значением. Изменение долей минерального и легкогидролизуемого азота на протяжении инкубирования соломы зерновых культур было менее выраженным.

9.5. Реакция проростков овса на внесение соломы и азотного удобрения

В почве агроценозов наблюдается непрерывное превращение иммобилизованного азота в минеральные продукты разложения, а минерализованного азота – в органические полимерные соединения, которые подвергаются деполимеризации до мономеров и реминерализации (Семенов, 2008). Возможным конечным процессом в минерализационных превращениях азота, на конечном этапе разложения растительных остатков, является аммонификация – превращение аминокислот до NH_3 и NH_4 (Semenov et al., 2019). Образующийся в результате аммонификации аммоний потребляется растениями, частично нитрифицируется – последовательно окисляясь до нитрита и нитрата. Кроме этого, минерализованный N поглощается (иммобилизуется) гетеротрофными микроорганизмами и подвергается денитрификации (Jansson, Persson, 1982). Каждый из этих процессов сопряжен с ростом и отмиранием микробной биомассы, катализируется их внутриклеточными и внеклеточными ферментами.

Преимущественное использование микроорганизмами азота аммония или органических соединений зависит от доступности углерода и азота в почве, а также от концентрации NH_4 в почвенном поглощающем комплексе. При высокой обеспе-

ченности доступным углеродом микроорганизмы будут вынуждены поглощать аммоний или нитраты из окружающей почвы. При низкой – микробная деградация аминокислот, нуклеотидов и аминосахаров будет обусловлена потребностью гетеротрофных микробов в энергии и С.

Если в разлагаемом растительном материале содержится больше азота, чем необходимо для поддержания стандартного отношения С : N в биомассе микроорганизмов (20 ± 4), которые разлагают органический субстрат (Семенов, 2020), происходит экскреция аминокислот и ненужного NH_4 в почву (Geisseler et al., 2010), который может перемещается в обедненные азотом микрозоны. Для закрепления в почве дополнительно минерализующегося азота необходимо внесение углерода растительных остатков (Кудеяров и др., 1990). Высокая концентрация NH_4 в отдельных агрегатах почвы способствует мобилизации почвенного N, но временно подавляет нитрификацию, тогда как в смежных зонах почвы возможно сохранение условий для нитрификации и иммобилизации азота (Соколов и др., 1983; Семенов, Мергель, 1989). Дальнейшую судьбу NH_4 в почве: будет ли он нитрифицирован или ассимилирован почвенными микроорганизмами определяет содержание и качество почвенного органического вещества (Booth et al., 2005) и поступающих растительных остатков.

Можно сказать о наличии строгой конкуренции сельскохозяйственных культур с микроорганизмами за минеральный азот, в рамках которой они демонстрируют фенотипическую пластичность и могут поглощать и ассимилировать, как аммонийную и нитратную формы азота, так и небольшие органические молекулы, например, аминокислоты, сразу используя их для синтеза собственной биомассы (Bengtson, Bengtsson, 2005; Geisseler et al., 2010). Поэтому при поступлении в почву соломы с характерным для неё широким соотношением С : N = 30-84 : 1, возрастает иммобилизация минерального азота в почве и растения могут испытывать его недостаток, что существенно снижает их продуктивность. Так, при запашке ячменной соломы (чернозем типичный, Ульяновская обл.) уменьшалось содержание $N\text{-}NO_3$ в почве под посевом гороха. В случае деструкции растительных остатков, фиксируется стабилизация азота в почве за счёт образование гете-

роциклических соединений в результате взаимодействия $N\text{-}NO_3$, $N\text{-}NH_4$ и аминокислот с полифенолами (Berntson, Aber, 2000; Davidson et al., 2003). При этом наблюдается снижение продуктивности растений и качества урожая зерна (Колсанов и др., 2002). Для оптимизации азотного питания сельскохозяйственных культур к соломе добавляют азотные минеральные удобрения (7-10…20 кг N/т), которые почти полностью исключают её отрицательное действие (Новиков, 1990; Тютюнов и др., 2014). Добавление аммонийного азота к остаткам пшеницы и кукурузы с широким отношением C / N стимулирует их разложение в течение 1-2 недель благодаря устранению дефицита азота, вызванного иммобилизацией (Hadas et al., 2004).

Поэтому в рамках продолжения рассматриваемого лабораторного модельного эксперимента изучали действие разложившейся соломы пшеницы и гороха на последующую динамику минерального азота в почве, условия минерального азотного питания и развитие проростков овса. Стартовое содержание минерального азота в почве, включающее $N_{мин.}$ удобрения и $N_{мин.}$ почвы, составляло в соответствующих вариантах 50,9 мг/кг почвы (рис. 9.10).

Из этого количества на долю почвенных запасов нитратного и аммонийного азота приходилось 34,2% и 72,0% соответственно. Динамика нитратного азота в почве является одним из показателей скорости трансформации азотсодержащих соединений и интенсивности работы микроорганизмов. В полевых условиях накопление нитратного азота в почве зависит от уровня её плодородия, запасов свежего органического вещества, а также от погодных и агротехнических условий, интенсивности потребления растениями в период их вегетации.

При выращивании проростков овса в вариантах с внесением соломы пшеницы и гороха на 15 сутки в почве сохраняется очень низкое (< 5 мг/кг) содержание нитратов. При внесении соломы пшеницы с компенсирующей дозой азота происходит интенсивное поглощение нитратного азота и снижение их количества до исходного содержания. В варианте с внесением соломы гороха с компенсирующей дозой азота наблюдается стабилизация содержания нитратного азота на уровне 16,3 мг/кг почвы.

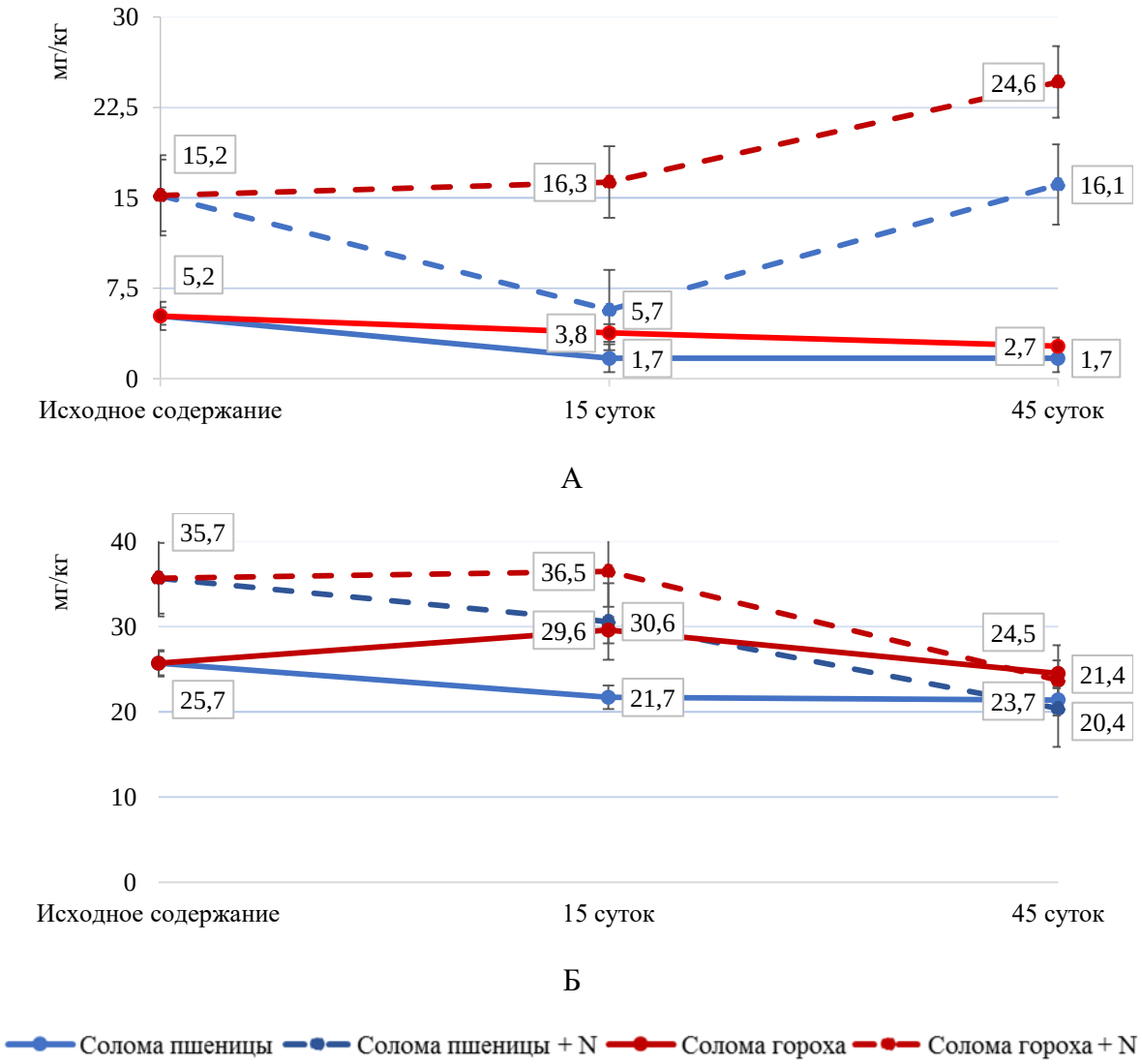


Рисунок 9.10. Динамика нитратного (А) и аммонийного (Б) азота в почве при выращивании проростков овса

На 45 сутки в вариантах с соломой пшеницы и гороха прослеживается та же тенденция. Поскольку ионы NO_3^- диффундируют в почве быстрее, чем NH_4^+, образующиеся в микрозонах с высокой скоростью минерализации нитраты становятся главным источником азота для гетеротрофных микроорганизмов в микрозонах с преобладанием иммобилизации (Chen, Stark, 2000). Поэтому в отсутствии внесения азота наблюдается только следовое (1,7…2,7 мг/кг почвы) содержание этой минеральной формы азота в почве.

При заделке в почву соломы пшеницы и гороха с азотным удобрением, наблюдается накопление нитратов. Более существенное увеличение содержания, отмечено при внесении соломы зернобобовой культуры. Прежде всего, это может

быть обусловлено повышением численности микроорганизмов (*Nitrosomonas, Nitrobacter* и др.), переводящих аммиак в нитраты, которые являются основной формой связанного минерализованного азота и легко поглощается растениями на начальных этапах развития. При накоплении в почве нитраты больше иммобилизуются, чем используются в денитрификации. Об этом свидетельствует отсутствие достоверной связи между общей нитрификацией и эмиссией закиси азота из почвы (Booth et al., 2006).

Азот аммония вовлекаясь в обменные процессы с почвенным поглощающим комплексом остаётся слабо подвижен, однако также, как и азот нитратов, является непосредственным источником питания для сельскохозяйственных культур (Бражкина и др., 2020). Избыточное или недостаточное увлажнение, холодная погода существенно влияют на подвижность и доступность для растений почвенных аммонийных соединений в полевых условиях. Касательно лабораторного эксперимента можно наблюдать, что при выращивании проростков овса с внесением соломы пшеницы на 15 сутки происходит снижение количества аммонийного азота до 21,7 мг/кг почвы, а при внесении на этом фоне азотного удобрения, можно говорить о сохранении исходного уровня. При использовании соломы гороха отмечалась стабилизация содержания аммонийного азота в почве, что позволяет обеспечить устойчивое питание проростков овса.

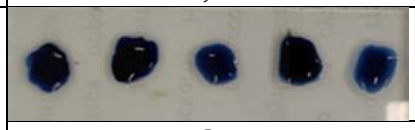
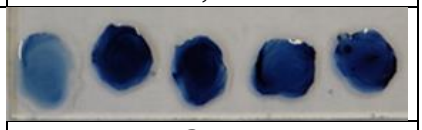
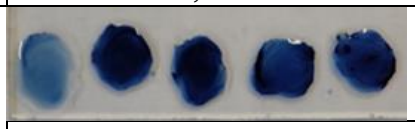
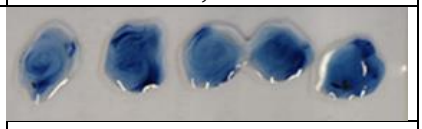
По истечению 45 суток наблюдается снижение количества аммонийного азота до 20,4…21,4 мг/кг почвы при внесении соломы пшеницы и до 23,7…24,5 мг/кг почвы при внесении соломы гороха. Это указывает на активное использование проростками овса NH_4^+ в отсутствии необходимого количества NO_3^- и то, что эта форма минерального азота вовлекается микроорганизмами в процессе нитрификации. Скорость потребления NH_4^+ в рамках автотрофной нитрификации и гетеротрофной ассимиляции микроорганизмами зависит от степени нарушенности почвы и интенсивности её сельскохозяйственного использования (Booth et al., 2006). Меньшая доступность почвенного аммонийного азота для растений по сравнению с нитратным объясняется, прежде всего, тем, что основная его часть находится в почве в поглощенном адсорбированном состоя-

нии. Наряду с обусловленными микробиологической активностью процессами минерализации и иммобилизации, образование и расходование минерального азота в почве может осуществляться в результате абиотических факторов (Braun et al., 2018), свойств почвы и микрокомпартментации в ней корневых волосков, потенциально доступных соединений С и N (Семенов, 2008). Сельскохозяйственные культуры также способны усваивать не только минеральные формы азота, но и органические (мочевина, простые аминокислоты), молекулы которых потребляются непосредственно через клеточные мембраны (Титова, 2021), либо поступают в корень посредством микоризы (Jones et al., 2005). По итогу растения потребляют ту форму азота, которая более доступна в конкретных условиях.

Сельскохозяйственные культуры используют элементы питания из большого объёма почвы даже в ограниченных условиях развития, поэтому обычными методами анализа в рамках почвенной диагностики, истинно доступную часть запасов элементов питания определить весьма трудно. Содержание неорганических форм (нитратов) в тканях растений, в их соке и вытяжке, можно установить в рамках тканевой диагностики. Валового содержания в листьях подаётся методам листовой диагностики. Использование этих видов диагностики в своеобразной связке, позволяет более оперативно реагировать на изменения биохимического состава растений, получая наиболее информативную картину относительно их физиологического состояния (Михайлова и др., 2019).

Обеспеченность проростков овса мобильным запасом нитратов при внесении соломы гороха на 15 сутки было выше в 1,6 раза чем при внесении соломы пшеницы. При этом на вариантах с внесением соломы пшеницы и гороха, они соответственно сильно и средне нуждались в дополнительном внесении азотного удобрения. Использование компенсирующей дозы азота позволило увеличить обеспеченность проростков азотом до 6,0 и 5,3 баллов соответственно. При таком уровне содержания нитратов в клеточном соке тканей растений они испытывают их избыток (табл. 9.9).

Таблица 9.9. Результаты листовой и тканевой диагностики по обеспеченности проростков овса азотом

Вариант	15 суток		45 суток	
	$N_{общ.}$, %	интенсивность окраски (средний балл)	$N_{общ.}$, %	интенсивность окраски (средний балл)
Солома пшеницы	3,35±0,54	2,3	3,43±0,17	1,0
Солома пшеницы + N	3,77±0,58	 5,3	3,10±0,07	 3,5
Солома гороха	3,96±0,64	 3,6	3,78±0,27	 1,5
Солома гороха + N	4,52±0,72	6,0	3,83±0,43	5,8

На вариантах с внесением только соломы обеспеченность проростков овса нитратами, по истечению 45 суток, стала на 1,3-2,1 балла ниже, чем на 15 сутки. Это можно объяснить потреблением растениями накопленных запасов N в рамках своего роста и развития. При внесении соломы пшеницы и гороха с дополнительным количеством азотного удобрения, можно отметить менее стремительное снижение обеспеченности проростков овса нитратами за 1 мес. Эти изменения носят весьма закономерный характер, учитывая очень высокую обеспеченность растений на более раннем сроке развития.

При сравнении обеспеченности клеточного сока проростков нитратами по разным видам соломы, следует отметить более высокую обеспеченность и соответственно низкую потребность в N-удобрений в вариантах с внесением соломы гороха. Наличие разных путей снабжения растений азотом и способность создавать внутренний его запас не только в виде вакуолярного фонда нитратов, но и белков, позволяет им устойчиво конкурировать с микробным пулом за источник N и преодолевать условия его временного дефицита (Schimel, Bennett, 2004; Булгакова, Ниловская, 2006).

Азот в растениях содержится в нуклеиновых и аминокислотах, обуславливая тем самым ведущую роль в продукционном процессе и белковом обмене. Чем выше содержание N в хлорофилле и листьях растений, тем активнее происходит фотосинтез и выше продуктивность сельскохозяйственных культур (Семенов, 2020; Завалин, 2022). Содержание $N_{общ.}$ в проростках овса по вариантам, в соответствии со сроком учёта, варьировало не значительно. Наблюдалась общая тенденция снижения количества $N_{общ.}$ с 3,35…4,52% до 3,10…3,83% по мере развития растений, что соответствует современным представлениям относительно динамики содержания азота при прохождении фаз развития сельскохозяйственных культур. Более тесная зависимость между результатами тканевой и листовой диагностики была получена для проростков на 15 сутки (r = 0,81) при внесении с соломой компенсирующей дозы N-удобрения (r = 0,90).

Обеспеченность почвы доступными формами минерального азота ($N\text{-}NO_3$ + $N\text{-}NH_4$) и наличие общего азота и азота нитратов в проростках овса, оказало влияние на их морфо-биометрические показатели (рис. 9.11). Площадь листовой ассимилирующей поверхности и объём корневой системы, по своей сути, являются интегральными показателями, отражающими совокупность отдельных биометрических промеров надземной и корневой частей растений.

Площадь листьев проростков овса в первый срок учёта (15 суток) в варианте с соломой гороха в 2,5 раза превышала показатели на варианте с соломой пшеницы. Эффект от использования N-удобрения так же был дифференцирован по виду соломы. Так, за счёт использования компенсирующей дозы N, при внесении соломы пшеницы, наблюдалось увеличение площади фотосинтетического аппарата на 53,9%, тогда как после соломы гороха только на 25,6%. Проростки овса в вариантах с соломой гороха отличались не только развитием надземной части, но и корневой системы. Наблюдалось увеличение числа основных и боковых корней, что суммарно отражалось на объёме корневой системы.

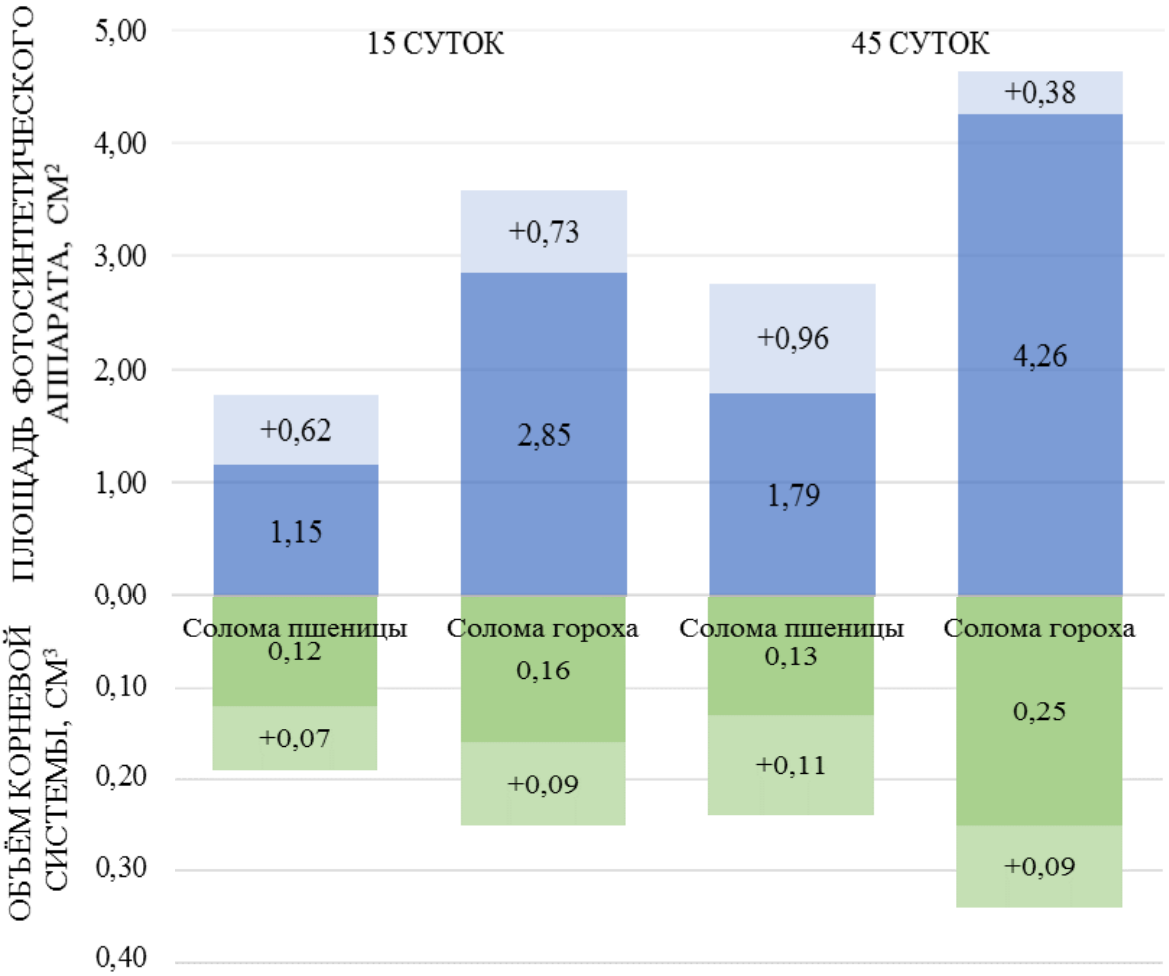


Рисунок 9.11. Биометрические показатели проростков овса

Примечание: Эффект от использования N-удобрения выражен в виде прибавки «+…» по биометрическим параметрам проростков каждого из вариантов ($p < 0,05$, $n = 3$)

Через 45 суток можно сказать о сохранении ранее обозначенной тенденции. Площадь фотосинтетического аппарата у проростков овса при внесении в почву соломы гороха оставалась существенно больше (в 2,4 раза). При внесении соломы пшеницы, проростки овса по-прежнему сильно отзывались на внесение N-удобрения. За счёт этого, площадь листовой поверхности увеличивалась более чем на 50%. При внесении соломы гороха, отзывчивость проростков овса на использование N-удобрения, наоборот, сократилась до 8,9%. Вместе с тем, отмечалось интенсивное развитие корневой системы, которая при внесении соломы гороха за месяц увеличилась в объёме в 1,6 раза. При этом отзывчивость на использование N-удобрения, по видам соломы, сохранилась на уровне предыдущего срока учёта (+0,09…+0,11 см^3).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Инокуляция семян симбиотическими ризобактериями, с учётом сортовой принадлежности растений гороха, позволяет увеличить урожайность зерна на 0,14…0,21 т/га. Это равноценно использованию 30 кг N/га в составе минеральных азотных удобрений. Более высокая отзывчивость на инокуляцию сорта Вельвет (+0,45 т/га) получена без внесения N-удобрения (N0), на сорте Агроинтел (+0,22 т/га) – при внесении 60 кг N/га. Эффективность инокуляции семян гороха активными интродуцируемыми штаммами ризобий наблюдается при наличии в почве 4,15…6,13 × 10^5 КОЕ×1 г почвы$^{-1}$ азотфиксирующих микроорганизмов.

Урожайность продовольственного сорта Агроинтел повышалась до 2,42 т/га при использовании N60. Продуктивность зернокормового сорта Вельвет увеличилась до 2,95 т/га при внесении N30. Дальнейшее увеличение доз до N90-120 сопровождалось переходом растений гороха на автотрофный тип питания и использование азота удобрения. На сорте Агроинтел это сопровождалось получением максимальной урожайности зерна (2,54…2,63 т/га), на сорте Вельвет – наращиванием вегетативной массы в ущерб урожайности зерна. Это указывает на ориентированность гороха, как биологического вида, относительно автотрофного питания азотом, генетические различия между сортами по протеканию физиологических процессов, связанных с поступлением и перераспределением ассимилятов, азота и других пластических веществ между органами растений при переходе к генеративному развитию и формированию урожая зерна.

При внесении N-удобрения на фоне инокуляции семян ризобактериями отмечены отдельные различия между сортами гороха по структуре и функционированию симбиотического аппарата на корневой системе растений. За счёт внесения N-удобрения увеличивалась масса клубеньков на корнях растений продовольственного сорта Красноуфимский 11, при переходе от фазы бутонизации к цветению и последующему формированию бобов, у сорта Вельвет – только на начальных этапах вегетативной фазы развития. При внесении N45 количество клубеньков быстро снижа-

лось при прохождении репродуктивной фазы развития растений у сорта Красноуфимский 11 и сохранялась их численность у сорта Вельвет.

2. Отзывчивость гороха на применение азотного удобрения определяется степенью окультуренности дерново-подзолистой почвы. На слабоокультуренной почве формирование симбиотического аппарата на корнях гороха в фазу ветвления стебля происходит только без внесения N-удобрения. На среднеокультуренной почве симбиотический аппарат развивается более активно при внесении N-удобрения. С увеличением дозы N-удобрения свыше 0,05 г/кг на слабо- и 0,20 г/кг на среднеокультуренной почве, процесс формирования симбиотического аппарата полностью подавляется, наблюдается переход растений на автотрофное потребление азота почвы.

Повышение доли гороха в составе возделываемых на зерносенаж смешанных агроценозов с 25 до 75%, сопровождается увеличением их отзывчивости на дозы N-удобрения: с 0,6 до 1,6 т/га при внесении N30 и с 1,4 до 2,9 т/га при внесении N60. В смешанных посевах озимой вики наблюдается обратная тенденция – с увеличением её доли в смеси снижается прибавка урожая от доз N-удобрения. Это показывает различия между видами бобовых культур, прошедших разный по длительности период окультуривания, в соотношении способности к симбиотрофному и автотрофному типу питания азотом. При уборке смешанных агроценозов гороха и вики на зерно максимальные прибавки 0,23…0,65 т/га и 0,33…0,99 т/га получены от использования N-удобрения в случае преобладания злакового компонента в составе высеваемых смесей.

3. Синергический эффект от инокуляции и N-удобрения в отношении накопления сырого протеина в зерне гороха (+16,3…29,9 г/кг) отмечен при внесении N30 на сорте Агроинтел и N30-105 на сорте Вельвет. При обработке семян ризобактериями и внесении N-удобрения содержание сырой клетчатки в зерне гороха снижалось на 5,7…6,3 г/кг. В совокупности это позволяет получить в одновидовых агроценозах гороха зерно, соответствующее норме для 1-2 класса качества.

При внесении N-удобрения увеличивается содержание сырого протеина в зерне пшеницы (на 4,2…9,5 г/кг) и гороха (на 4,8…8,8 г/кг) смешанных агроцено-

зов яровых зерновых культур, а также в зерносенаже (на 6,8…25,2 г/кг) и зерне тритикале (на 7,4…21,7 г/кг) смешанных агроценозов озимых зерновых культур. Это позволяет повысить общую питательность зерносенажа на 0,1…0,6 МДж/кг, а зернофуража на 0,1…0,3 МДж/кг.

4. Инокуляция семян гороха ризобактериями и внесение N-удобрения увеличивают поступление в почву с ПКО на 1,87 т/га свежего органического вещества и на 855 кг/га углерода. При использовании N-удобрения поступление свежего органического вещества и углерода в почву, в убираемых на зерно смешанных посевах гороха, увеличивается до 6,77 т/га и 3127 кг/га. Использование N-удобрения в качестве ранневесенней подкормки в посевах озимой вики обеспечивает поступление 4,56…7,91 т/га свежего органического вещества при уборке на зерносенаж и 6,54…12,46 т/га при уборке на зерно. Вместе с этим количеством в почву поступает, соответственно, до 3,36 и 5,67 т/га углерода.

В одновидовых и смешанных агроценозах с превалированием гороха в почву поступило 62,6…128,4 кг/га общего азота, в том числе 33,8…73,1 кг/га симбиотического. При возделывании вики озимой в почву поступило больше общего азота (151,7…202,7 кг/га) при уборке смешанных агроценозов на зерно. С этим количеством в почве в составе ПКО накапливалось от 25,3 до 73,8 кг/га симбиотически фиксированного азота. Качество послеуборочных остатков, определяемое достаточно узким соотношением C : N (20…45), обеспечивает их быструю минерализацию в почве (от 30 до 120 суток) при краткосрочной или умеренно-продолжительной иммобилизации азота.

За счёт обработки семян ризобактериями и возделывания зернобобовых культур в смешанных агроценозах со злаками, наблюдается индуцирование азотфиксации, что повлекло более интенсивное потребление CO_2 и увеличение секвенируемых объёмов углерода до 515 и 2565 кг/га.

5. Инокуляция семян симбиотическими ризобактериями увеличивает продуцируемое количество $N\text{-}N_2O$ в посевах безлисточковых сортов гороха на 0,10…0,30 кг $N\text{-}N_2O$/год. При внесении N30-60 объём эмиссии закиси азота из почвы в одновидовых агроценозах гороха посевного составил 1,87…3,23 кг N-

N_2O/га, вики озимой 2,08…3,91 кг N-N_2O/га, что незначительно превышает количество продуцируемых выбросов N-N_2O из почвы в удобряемых азотом посевах пшеницы и тритикале – на 1,59…2,95 кг/га. Применение в одновидовых посевах гороха более высоких доз (N75-120) способствовало увеличению суммарной эмиссии N-N_2O в 1,2-1,7 раза. При этом значение эмиссионного фактора снижается до 1,00-2,13%.

6. При внесении N-удобрения и инокуляции семян ризобактериями возрастают продуктивность зернобобовых культур, вынос азота урожаем до 126,4…138,9 кг/га в одновидовых и до 118,8…129,7 кг/га в смешанных агроценозах. Эффективность использования азота из удобрения, при обработке в одновидовых агроценозах семян гороха ризобактериями, увеличилась на 16,3…47,8%. Максимальная окупаемость N-удобрения прибавкой урожая зерносенажа составила 22,0…24,3 кг/кг, зерна 6,5…9,3 кг/кг в смешанных агроценозах гороха. Более высокая окупаемость N-удобрения в смешанных агроценозах вики составляла 19,0…36,9 кг/га при уборке на зерносенаж.

Без внесения N-удобрения в одновидовых и смешанных агроценозах гороха посевного наблюдается отрицательный баланс азота (-27,7…-51,1 кг/га). Устойчивый положительный баланс азота в дерново-подзолистой почве Предуралья (в среднем 17,9…73,7 кг/га) формируется при внесении N-удобрения в дозах свыше 60 кг д.в./га. Озимая вика при возделывании на зерно может компенсировать вынос азота урожаем, а также его потери из почвы за счёт азотфиксации на 100…231% в смешанных посевах и на 143…316% в монопосеве.

7. При возделывании ярового овса после безлисточковых сортов гороха из почвы потребляется в среднем 10,5…17,0 кг $N_{биол.}$/га. Преимущественно за счёт этого происходит увеличение урожайности зерна овса на 0,19-0,24 т/га, что позволяет без дополнительного внесения удобрений получить 3,05-3,17 т/га зерна. За счёт биологического азота урожайность зерна овса после гороха сорта Агроинтел увеличивается на 0,25…0,74 т/га, после сорта Вельвет – на 0,23…0,53 т/га. Полученное зерно овса по биохимическому составу и содержанию обменной энергии соответствует норме 1-2 классов качества.

За счёт поступления в почву 4,64…6,77 т/га биомассы ПКО и накопления горохом в смешанных посевах с яровой пшеницей 16,9-42,0 кг/га биологического азота, без внесения удобрений формируется 2,39…2,86 т/га зерна ярового ячменя. При увеличении доли гороха в составе смешанных агроценозов, выступающих в качестве предшественника, с 25 до 75% планомерно увеличиваются урожайность зерна ячменя на 0,18…0,56 т/га и содержание в нём сырого протеина на 6,1…17,8 г/кг корма, поэтому оно соответствует нормам 2-3 классов качества.

За счет возделывания озимой вики в смешанных посевах с озимой тритикале, на 25,3…73,8 кг/га увеличилось накопление биологического азота в соломе и ПКО, что позволяет без дополнительного внесения N-удобрений получить 2,76-3,10 т/га зерна яровой пшеницы. Увеличение доли вики в смеси до 50 и 75% обеспечивает повышение урожайности зерна яровой пшеницы (на 0,43…0,48 т/га) и содержания в нём сырого протеина (на 3,9…11,3 г/кг). В связи с этим, зерно яровой пшеницы соответствует нормам 1-2 классов качества. Использование N-удобрения в смешанных агроценозах гороха и озимой вики снижает их агрономическую ценность в качестве предшественника.

8. При разложении соломы зерновых культур наиболее существенное (в 1,20-1,88 раза) изменение общей численности культивируемых на МПА, КАА и СЧ микроорганизмов отмечалось в первые 3 месяца инкубирования. Самые значительные изменения в составе микробного сообщества наблюдались через 90 суток эксперимента с последующим, практически полным, восстановлением структуры до исходного состояния по истечении 120 суток. Высокая численность протеолитических микроорганизмов (1030,0…1423,3 ± 196,7 тыс. КОЕ/1 г почвы) отмечалась на 60 сутки при внесении соломы озимой ржи, яровой пшеницы и ячменя. При внесении соломы гороха и овса повышение численности этой микробной популяции произошло через 1-2 недели после внесения соломы. Более высокая численность амилолитических микроорганизмов (470,0…743,3 тыс. КОЕ/1 г почвы) была зафиксирована на заключительном этапе инкубирования соломы гороха и овса. Численность микромицетов дифференцирована по виду соломы и срокам её инкубирования. Максимальное их количество (1140,0…1306,7 тыс. КОЕ/1 г почвы) обнаружено при внесе-

нии соломы гороха и овса на 60 сутки. При внесении соломы озимой ржи, яровой пшеницы и ячменя наибольшее количество микромицетов составляло 1463,3…1750,0 тыс. КОЕ/1 г почвы на 90 сутки.

При разложении соломы зерновых культур более высокая активность протеазы (4,16…5,82 мг $N\text{-}NH_2$ × 1 г почвы$^{-1}$ × 72 часа$^{-1}$) отмечалась на 30 и 60 сутки. При этом производительность уреазы до 12,0-13,1 раза выше, чем протеазы, что исключает возможность ингибирования процесса деструкции соломы со стороны этого фермента. Менее чёткий отклик на разложение соломы у уреазы обусловлен более «узкой» её специализацией относительно исходного субстрата. Максимальная активность ферментов, отвечающих за превращение нитратов до аммиака (нитратредуктазы 0,039…0,058 мг NO_3^- × 1 г почвы$^{-1}$ × 24 часа$^{-1}$, нитритредуктазы 0,024…0,036 мг NO_2^- × 1 г почвы$^{-1}$ × 24 часа$^{-1}$), наблюдалась по истечении первых 30 суток инкубирования и разложения соломы.

9. Трансформация органических остатков соломы в почве завершается образованием новых групп лабильных гумусовых соединений, ростом содержания легкоразлагаемого органического вещества $C_{эгв.}$ в среднем на 14…79 мг/кг почвы, $C_{лов}$ – на 0,14…0,21%. Внесение соломы зерновых культур компенсирует потери органического вещества почвы, наблюдаемые при его минерализации, и увеличивает содержание $C_{орг.}$ через 120 суток инкубирования на 0,24…0,46%. Разложение соломы зерновых культур сопровождалось снижением содержания азота почвенных запасов в среднем по опыту на 1,5 мг ($N_{мин.}$), 0,8 мг ($N_{лг}$) и 10,7 мг/100 г почвы ($N_{тг+нг}$). Пик иммобилизации $N_{мин.}$ почвы (1,02…2,21 мг/100 г почвы) соответствовал 1 сроку учёта (30 суток) и периоду максимальной скорости продуцирования $C\text{-}CO_2$ (0,72…3,16 мкг $C\text{-}CO_2$ × 1 г почвы$^{-1}$ × час$^{-1}$), в течение которого происходило интенсивное формирование микробной биомассы ($C_{мик.}$). Заделка в почву более обеспеченных азотом растительных остатков гороха приводит к умеренно продолжительной иммобилизации, не превышающей 1,5 месяца. При внесении соломы яровых злаков с более широким соотношением C : N, нетто-иммобилизация наблюдалась от 2 (овёс, ячмень) до 3 (пшеница) месяцев. При разложении соломы озимой ржи – более 4 месяцев.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Авдеев С.М., Лазарев Н.Н. Динамика агроклиматических показателей Пермского края в условиях изменения климата // Кормопроизводство, 2021. №3. С. 9-15.

2. Агафонов Е.В., Стукалов М.Ю., Агафонова Л.Н. Влияние минеральных и бактериальных удобрений на урожайность гороха на черноземе обыкновенном // Агрохимия, 2001. №8. С. 42-46.

3. Агрохимия / Под ред. Б.А. Ягодина. – М.: Мир, 2003. 489 с.

4. Азаров Б.Ф. Симбиотический азот в земледелии Центрально-Черноземной зоны Российской Федерации: автореф. …докт. с.-х. наук, 1995. 42 с.

5. Азаров Б.Ф., Акулов П.Г., Азаров В.Б., Соловиченко В.Д. Вклад симбиотического азота бобовых в плодородие почв Центрального Черноземья // Достижения науки и техники АПК, 2008. №9. С. 9-11.

6. Азаров В.Б., Акулов П.Г., Азаров Б.Ф. Влияние типов севооборотов, способов основной обработки почвы и уровень удобренности на содержание минерального азота в черноземе типичном // Агрохимия, 2003. №3. С. 5-7.

7. Айрих Е.В., Дускаев Г.К. Агроэнергетическая оценка производства зеленой массы из озимых культур в степной зоне Южного Урала // Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии, 2013. №5. С. 64-65.

8. Акманаева Ю.А., Дербенёва Л.В., Субботина М.Г. Сохранение органического вещества в дерново-подзолистых почвах Среднего Предуралья и повышение продуктивности культур полевого севооборота. – Пермь: Прокрост, 2017. 56 с.

9. Александрова Л.Н. Органическое вещество почвы и процессы его трансформации. – Л.: Наука, 1980. 286 с.

10. Алексеева А.А., Фомина Н.В. Анализ активности редуцирующих ферментов агрогенно измененных почв лесных питомников лесостепной зоны Красноярского края // Вестник КрасГАУ, 2015. №1. С. 32-35.

11. Аленин П.Г. Технология возделывания гороха с применение регулятором роста, бактериальных препаратов и комплексных удобрений с микроэлементами в форме хелатов // Плодородие, 2011. №6. С. 3-5.

12. Алёшин М.А. Агрохимические основы применения удобрений: учебно-методическое пособие. – Пермь: ИПЦ «Прокростъ», 2021. 172 с.

13. Алёшин М.А. Влияние минеральных удобрений на взаимодействие компонентов смешанных агроценозов в условиях дерново-подзолистой почвы Предуралья / Проблемы агрохимии и экологии, 2020, №3. С. 33-38.

14. Алёшин М.А. Микроорганизмы в агрохимии и сельском хозяйстве: методическое пособие. – Пермь: ИПЦ «Прокростъ», 2021. 68 с.

15. Алёшин М.А., Завалин А.А. Вынос урожаем и баланс азота при возделывании зерновых культур в Пермском крае // Плодородие, 2022. №1 (124). С. 3-6.

16. Алёшин М.А., Завалин А.А. Эффективность применения азотного удобрения в смешанных посевах гороха и пшеницы в севообороте // Агрохимия, 2021. №11. С. 33-48.

17. Алёшин М.А., Михайлова Л.А. Влияние степени окультуренности дерново-подзолистой почвы на отзывчивость посевного гороха к уровню азотного питания // Аграрный вестник Верхневолжья, 2020. №1 (30). С. 48-54.

18. Алёшин М.А., Михайлова Л.А. Изменение урожайности и биохимического состава зерна полевых культур в смешанных посевах при использовании минеральных удобрений // Плодородие, 2020. №2 (113). С. 9-13.

19. Алиева Е.И. Накопление и разложение растительных остатков полевых культур и влияние их на баланс органического вещества и питательных элементов в дерново-подзолистой почве // Агрохимия, 1978. №4. С. 57-63.

20. Алферов А.А., Чернова Л.С., Завалин А.А., Чеботарь В.К. Эффективность применения эндофитных биопрепаратов и азотного удобрения // Вестник российской сельскохозяйственной науки, 2017. №5. С. 21-24.

21. Алферов А.А., Чернова Л.С., Шмырева Н.Я., Завалин А.А. Оценка эффективности действия азотного удобрения при использовании Ризоагрина на яровой пшенице // Плодородие, 2016. №6 (93). С. 4-6.

22. Арефин А.А., Нурлыгаянов Р.Б. Влияние минеральных удобрений на урожайность зерна смеси озимой ржи с озимой викой в условиях Западной Сибири // Международный сельскохозяйственный журнал, 2019. №4. С. 51-53.

23. Артемьев А.А., Капитанов М.П., Пронин А.А. Продуктивность и качество кормовых культур в промежуточных посевах // Достижения науки и техники АПК, 2015. №3 (29). С. 39-41.

24. Асеева Т.А., Зенкина К.В., Ломакина И.В., Рубан З.С. Технологические и хлебопекарные свойства зерна яровой мягкой пшеницы // Вестник ДВО РАН, 2020. №4 (212). С. 14-19.

25. Ахмедова З.Н., Рамазанова Н.И., Гасанов Г.Н. Фосфатазная и уреазная активность почв горных и равнинных ландшафтов Дагестана // Вестник Дагестанского научного центра, 2014. №52. С. 36-39.

26. Бабушкина Т.Д., Ярославцев А.А., Колчина Л.А., Алексанина Т.И. Шрек – перспективный сорт гороха зерноукосного направления // Аграрный вестник Урала, 2016. №12 (154). С. 13-18.

27. Бабьева И.П., Зенова Г.М. Биология почв. – М.: Изд-во Моск. ун-та, 1983. 248 с.

28. Байматов Р.А., Нурузова З.А., Эргашева З.Н. Биопленка – как форма существования микроорганизмов // Re-health journal, 2019. №3. С. 58-68.

29. Батурина Н.А., Музалевская Р.С., Пашкевич Л.А. Потребительские свойства и пищевая ценность пшеничного хлеба с добавками муки бобовых культур // Вестник ОрелГИЭТ, 2013. №1 (23). С. 153-159.

30. Бедило Н.А., Горковенко Л.Г., Скамарохова А.С. Показатели питательной ценности некоторых видов и сортов озимых вик на чернозёме выщелоченном Краснодарского края // Сборник научных трудов СКНИИЖ, 2019. Т.8. №1. С. 73-76.

31. Бедило Н.А., Скамарохова А.С. Влияние разных доз минеральных удобрений на урожайность вико-пшеничных травосмесей на чернозёме выщелоченном Краснодарского края // Сборник научных трудов КНЦЗВ, 2020а. Т.9. №1. С. 132-135.

32. Бедило Н.А., Скамарохова А.С. Питательная ценность вико-пшеничных травосмесей в зависимости от доз минеральных удобрений на чернозёме выщелоченном Краснодарского края // Сборник научных трудов СКНИИЖ, 2020б. Т.9. №1. С. 135-138.

33. Безгодов А.В. Преимущества выращивания полевого гороха в смешанных посевах с рапсом и горчицей // Культура. Наука. Образование: современные тренды. – Чебоксары: «Издательский дом «Среда», 2020. С. 226-234.

34. Безгодова И.Л., Коновалова Н.Ю., Прядильщикова Е.Н. [и др.] Урожайность и качество зерна одновидового и смешанных посевов гороха при внесении минеральных удобрений / Достижения науки и техники АПК, 2016. Т.30. №7. С. 75-79.

35. Безносиков В.А. Трансформация азотных удобрений и их влияние на физико-химические свойства подзолистых почв и продуктивность агроценозов // Агрохимия, 1997. №4. С. 5-12.

36. Белоусова Е.Н. Влияние многолетних трав и пара на структурный состав и мобилизацию минеральных форм азота чернозема Красноярской лесостепи // Вестник Томского государственного университета. Биология, 2014. №1 (25). С. 7-25.

37. Белоусова Е.Н., Белоусов А.А. Оценка протеазной активности чернозема выщелоченного при минимализации обработки // Материалы международной заочной научной конференции «Проблемы современной аграрной науки». – Красноярск: Красноярский государственный аграрный университет, 2015. С. 3-5.

38. Беседин Н.В., Соколова И.А., Белкин А.А., Кругликов А.Ю. Гербициды и бобово-ризобиальный аппарат сои на темно-серых лесных почвах Центрального Черноземья // Вестник Орловского государственного аграрного университета, 2009. № 3(18). С. 45-48.

39. Биянова О.В., Ренев Е.А. Урожайность горохо-ячменных агрофитоценозов в зависимости от подбора сортов и их соотношения при посеве // АгроЭкоИнфо, 2018. №3 (33). С. 10.

40. Благодатская Е.В., Ананьева Н.Д., Мякишина Т.Н. Характеристика состояния микробного сообщества почвы по величине метаболического коэффициента // Почвоведение, 1995. №2. С. 205-210.

41. Борисов А.Ю., Наумкина Т.С., Штарк О.Ю. [и др.] Эффективность использования совместной инокуляции гороха посевного (Pisum sativum L.) грибами арбускулярной микоризы и клубеньковыми бактериями для повышения продуктивности растений в устойчивом экологически ориентированном земледелии // Доклады РАСХН, 2004. №2. С. 12-14.

42. Боталова Г.А. Овёс. Технология возделывания и селекция. – Киров: НИИСХ Северо-Востока, 2000. С. 126-128.

43. Бражкина П.С., Алёшин М.А., Ткачук К.С. Реакция микробного сообщества почвы на разложение пожнивно-корневых остатков сельскохозяйственных культур // Сборник статей XII Всероссийского конгресса молодых ученых-биологов с международным участием «Симбиоз-Россия 2020». – Пермь: Пермский ГНИУ, 2020. С. 59-64.

44. Бугрей И.В., Авдеенко А.П. Продуктивность и причины полегания сортов гороха с разными морфотипами листа // Современные проблемы науки и образования, 2012. №1. С. 287.

45. Булатов А.П., Лушников Н.А., Усков Г.Е. Химический состав и энергетическая ценность зелёных кормов по фазам вегетации и циклам стравливания // Вестник Курганской ГСХА, 2016. №4. С. 27-32.

46. Булгакова Н.Н., Ниловская Н.Т. Биологические аспекты оптимизации минерального питания пшеницы. – М.: ВНИИА, 2006. 224 с.

47. Булучевский С.Б. Питательная ценность различных сортов вики и использование ее при выращивании цыплят-бройлеров: автореф. дис. … канд. с.-х. наук. – М.: 2005. 16 с.

48. Буракевич С.В., Зиновенко А.Л., Шуголеева А.П. [и др.] Технология производства зерносенажа и использование его в составе рационов лактирующих коров // Актуальные проблемы интенсивного развития животноводства, 2012. №15 (1). С. 93-100.

49. Бюллетень Географической сети опытов с удобрениями. Выпуск 14. Влияние дождевых осадков на загрязнение сельскохозяйственных угодий (по данным локального мониторинга). – М.: ВНИИА, 2013. 30 с.

50. Вавилов П.П., Посыпанов Г.С. Бобовые культуры и проблема растительного белка. – М.: Россельхозиздат, 1983. 256 с.

51. Ваганов Е.А., Ведрова Э.Ф., Верховец С.В. [и др.] Леса и болота Сибири в глобальном цикле углерода // Сибирский экологический журнал, 2005. №4. С. 631-650.

52. Василова Н.З., Асхадуллин Дл.Ф., Асхадуллин Др.Ф. [и др.] Формирование качества зерна сортов яровой мягкой пшеницы // Достижения науки и техники АПК, 2016. №11. С. 42-44.

53. Васильева Е.Н., Афонин А.М., Ахтемова Г.А. [и др.] Разнообразие культивируемых эндофитных бактерий гороха посевного (*Pisum sativum L*) // Материалы конференции "Экспериментальная биология растений: фундаментальные и прикладные аспекты", 2017. С. 26.

54. Васильева Е.Н., Ахтемова Г.А., Жуков В.А., Тихонович И.А. Эндофитные микроорганизмы в фундаментальных исследованиях и сельском хозяйстве // Экологическая генетика, 2019. №17 (1). С. 19-32.

55. Васильчиков А.Г. Изучение эффективности новых штаммов ризобий на перспективных сортообразцах сои // Зернобобовые и крупяные культуры, 2017. №1 (21). С. 57-62.

56. Верещагин А.Л. Определение качества круп по стандартным методикам: методические указания. – Бийск: Изд-во Алтайского гос. техн. ун-та, 2001. 27 с.

57. Верниченко И.В. Ассимиляция различных форм азота растениями и роль микроэлементов: автореф. дис. ... доктора биол. наук. – М.:ТСХА, 2001. 36 с.

58. Верниченко И.В. Ассимиляция растениями аммонийного и нитратного азота и эндогенное образование нитратов. – М.: РГАУ-МСХА, 2017. 248 с.

59. Верниченко Л.Ю., Мишустин Е.Н. Усвоение молекулярного и минерального азота бобовыми растениями в зависимости от почвенных условий // Изв. АН СССР. Сер. Биология, 1989. №4. С. 588-597.

60. Вершинин А.А., Петров А.М., Юранец-Лужаева Р.Ч., Кузнецова Т.В., Хабибуллин Р.Э. Коэффициент микробного дыхания различных типов почв в условиях нефтяного загрязнения // Вестник технологического университета, 2017. Т.20. №4. С. 103-106.

61. Власов В.Г., Захарова Л.Г. О роли предшественника при возделывании новых сортов овса Конкур и Дерби // Пермский аграрный вестник, 2014. №4. С. 11-15.

62. Возбуцкая А.Е. Химия почв. – М.: Высшая школа, 1968. 427 с.

63. Волкова Е.А., Муратов А.А., Туаева Е.В. [и др.] Комплексная оценка эффективности производства и использования зерносенажа из зерновых злаковых культур в молочном животноводстве // Дальневосточный аграрный вестник, 2018. №3 (47). С. 145-153.

64. Волобуева О.Г. Влияние Корневина и Ризоторфина на гормональный статус и эффективность симбиотической системы растений фасоли // Зернобобовые и крупяные культуры, 2020. №2 (34). С. 29-34.

65. Волошин В.А., Майсак Г.П. Технология возделывания вики озимой в звене кормосырьевого конвейера с использованием отавы на сидерацию. Рекомендации. – Пермь: Пермский НИИСХ, 2006. 20 с.

66. Волошина Т.А. Возделывание агрофитоценоза озимой ржи и вики мохнатой при двуукосном использовании на зеленую массу и зерно // Земледелие, 2018. №2. С. 45-47.

67. Воробьев В.А. Симбиотическая азотфиксация и температура. – Новосибирск: Наука Сиб. отделение РАН, 1998. 128 с.

68. Воробьев В.Б., Козлова В.В. Баланс азота в посевах озимой пшеницы в связи с азотными подкормками и содержанием в почве гумуса // Вестник Белорусской государственной сельскохозяйственной академии, 2021. №1. С. 117-120.

69. Воробьев Н.И., Проворов Н.А. Моделирование эволюции бобово-ризобиального симбиоза в условиях экологической нестабильности // Экологическая генетика, 2008. Т.4. №4. С. 3-11.

70. Воронов С.И., Политыко П.М., Капранов В.Н. [и др.] Продуктивность и качество зерна сортов овса селекции Московского научно-исследовательского института сельского хозяйства «Немчиновка» при разных технологиях возделывания // Российская сельскохозяйственная наука, 2017. №5. С. 7-10.

71. Гальчинская Р.Б. Биохимическое исследование видов и сортов вики // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. – Л.: ВИР, 1953. Т.30. Вып.2. С. 190-202.

72. Гамзиков Г.П., Барсуков А.А. Симбиотическая и не симбиотическая азотфиксация в дерново-подзолистой почве // Доклады РАСХН, 1996. №1. С. 13-15.

73. Гамзиков Г.П., Сулейменов С.З. Азотминерализующая способность серой лесной почвы Новосибирского Приобья при компостировании и паровании растительных остатков // Почвоведение, 2021. №5. С. 582-591.

74. Гамзиков Г.П., Шотт П.Р. Эффективность инокуляции биологическими препаратами гороха и овса в одновидовых и смешанных посевах // Агрохимия, 2007. №11. С. 42-48.

75. Гамзикова О.И. Генетика агрохимических признаков пшеницы. – Новосибирск: Наука, 1994. 220 с.

76. Гантимурова И.И. Денитрификация в почвах Западной Сибири. – Новосибирск: Наука, 1984. 116 с.

77. Германович Т.М., Царук И.А. Продуктивность и качество гороха в зависимости от известкования и доз калийных удобрений при возделывании на слабокислой дерново-подзолистой легкосуглинистой почве // Почвоведение и агрохимия, 2009. №1 (42). С. 144-155.

78. Гетман Н.Я., Бовсуновская А.В. Закономерности ростовых процессов вики паннонской с озимой тритикале в зависимости от норм высева и удобрения // Земледелие и селекция в Беларуси, 2017. №53. С. 115-120.

79. Глянько А.К., Васильева Г.Г. Особенности действия активных форм кислорода и азота при бобово-ризобиальном симбиозе // Вестник Харьковского национального аграрного университета. Серия биология, 2007. Вып.3 (12). С. 27-41.

80. Глянько А.К., Васильева Г.Г., Митанова Н.Б., Ищенко А.А. Влияние минерального азота бобово-ризобиальный симбиоз // Физиология растений, 2009. №3. С. 302-312.

81. Глянько А.К., Митанова Н.Б., Васильева Г.Г. Влияние оксида азота и других азотных соединений на адгезию и проникновение клубеньковых бактерий в ткани корней и рост этиолированных проростков гороха // Прикладная биохимия и микробиология, 2008. Т.44. №4. С. 438-441.

82. Голопятов М.Т. Влияние минеральных удобрений на урожай и качество семян сортов гороха с различной архитектоникой листового аппарата // Зернобобовые и крупяные культуры, 2017. №1 (21). С. 17-22.

83. Голощин Р.С. Активность бобово-ризобиального симбиоза и урожайность гороха в севооборотах и бессменных посевах в условиях лесостепи Поволжья // Материалы Международ. научн.-практ. конф. «Пути решения проблем повышения адаптивности, продуктивности и качества зерновых и кормовых культур». – Самара: Самарская ГСХА, 2003. С. 119-120.

84. Голушко В.М., Марусич А.Г., Коваленко С.А. Тритикале в комбикормах для откармливаемого молодняка свиней // Известия Академии аграрных наук Республики Беларусь, 1996. №2. С. 64-67.

85. Горковенко Л.Г. Ригер А.Н., Глазов А.Ф. Продуктивность озимых бобовозлаковых смесей и питательная ценность кормов из них // Кормопроизводство, 2014. №4. С. 39-42.

86. Горшкова М.А. Применение методов растительной диагностики на посевах зерновых культур // Оперативная диагностика минерального питания сельскохозяйственных культур / под ред. Л.М. Державина. – М.: ЦИНАО, 1984. 144 с.

87. Государственный реестр селекционных достижений, допущенных к использованию. Том 1 Сорта растений, 2015 (дата обращения: 10.06.2022)

88. Гречко В.В., Валько Л.В., Валиулина Л.И. Проблемы возделывания гороха в условиях Красноярского края и пути их решения // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки, 2000. №3-4. С. 24-27.

89. Гришин И.А., Копылова Л.Л. Конструирование агрофитоценозов зернобобовых культур // В сб. по итогу совещания «Бобовые культуры в современном сельском хозяйстве». – Новгород, 1998. С. 201-202.

90. Гродзинский А.М. Аллелопатия растений и почвоутомление. – Киев: Наукова думка, 1991. 432 с.

91. Гукова М.М. Особенности питания бобовых растений свободным и связанным азотом: автореф. дис. ... доктора биол. наук. – М.: ТСХА, 1974. 36 с.

92. Гурьев Г.П. К вопросу о симбиотической азотфиксации у гороха в условиях Орловской области // Зернобобовые и крупяные культуры, 2012. №2. С. 66-71.

93. Гурьев Г.П. Некоторые аспекты формирования симбиотического аппарата у гороха // Зернобобовые и крупяные культуры, 2014. №1 (9). С. 11-16.

94. Гурьев Г.П., Васильчиков А.Г. Влияние препаратов клубеньковых бактерий и комплексного микробного удобрения (КМУ) на симбиотическую азотфиксацию и урожай гороха // Зернобобовые и крупяные культуры, 2017. №1 (21). С. 23-28.

95. Дебелый Г.А., Гончаров А.В., Меднов А.Г. Об оценке адаптивной способности и стабильности у яровой вики по высоте растений в одновидовых и смешанных посевах // Сельскохозяйственная биология, 2011. Т.46. №2. С. 90-92.

96. Девтерова Н.И. Принципы адаптивной интенсификации полевого кормопроизводства в условиях Адыгеи // Вестник Адыгейского государственного университета. Серия 4: Естественно-математические и технические науки, 2017. №4 (211). С. 117-122.

97. Девятова Т.А., Авксентьев А.А. Скорость и интенсивность выделения закиси азота черноземом обыкновенным в различных ценозах // Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Химия. Биология. Фармация, 2010. №2. С. 76-80.

98. Дедов А.А., Дедов А.В., Несмеянова М.А. Динамика разложения растительных остатков в черноземе типичном и продуктивность культур севооборота // Агрохимия, 2016. №6. С. 3-8.

99. Денисов Е.П., Денисов К.Е., Шагиев Б.З. Эффективность внесения соломы в качестве биомелиоранта // Нива Поволжья, 2009. №2. С. 12-16.

100. Денисов Е.П., Кшникаткина А.Н., Летучий А.В., Панасов М.Н. Приёмы повышения симбиотической азотфиксации зернобобовых культур // Аграрный научный журнал, 2017. №7. С. 14-20.

101. Дзюин А.Г. Влияние соломы в севообороте на численность микроорганизмов и биологическую активность почвы // Аграрная наука Евро-Северо-Востока, 2018. Т.62. №1. С. 58-64.

102. Дозоров А.В. Роль симбиотического азота в решении белковой проблемы // Международный сельскохозяйственный журнал, 2000. №2. С. 58-59.

103. Дозоров А.В., Гаранин М.Н. Влияние активизации симбиотической деятельности на формирование урожайности зернобобовых культур // Вестник Ульяновской ГСХА, 2012. №4 (20). С. 4-9.

104. Дозоров А.В., Гаранин М.Н. Динамика азота и продуктивность зерновых бобовых культур // Вестник Ульяновской ГСХА, 2013. №1 (21). С. 4-9.

105. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта с основами статистической обработки результатов исследований. – М.: ИД Альянс, 2011. 352 с.

106. Дубовенко Е.К., Чечельницкая Л.Н., Лапа И.В., Олейник В.И. Эффективность ризоторфина и азотных удобрений на посевах зернобобовых культур в Полесье УССР // Использование достижений микробиологической науки в повышении эффективности земледелия. – Киев, 1989. С. 59-62.

107. Егоров В.И., Плотникова С.Ф. Азотфиксирующая способность бобовых растений, произрастающих в горной и долиной тундрах Хибин // Агрохимия, 2000. №11. С. 21-26.

108. Елисеев С.Л. Качество семян вики посевной в Предуралье // Аграрный вестник Урала, 2010. №8 (74). С. 33-35.

109. Елисеев С.Л. Пути увеличения производства зернобобовых культур в Предуралье // Пермский аграрный вестник, 2014. №3 (7). С. 11-18.

110. Елисеев С.Л. Семенная продуктивность поливидовых агрофитоценозов с горохом и викой в Предуралье // Пермский аграрный вестник, 2002. №8. С. 92.

111. Елисеев С.Л. Энергетическая и экономическая эффективность приёмов выращивания вики посевной на семена // Пермский аграрный вестник, 2015. №4 (12). С. 3-8.

112. Елисеев С.Л., Зубарев Ю.Н., Ренев Е.А., Терентьев В.А. Выращивание кормового зерна на основе бобово-злаковых смесей в Предуралье // Аграрный вестник Урала, 2009. №12 (66). С. 43-44.

113. Елисеев С.Л., Ренёв Е.А., Ренёва Ю.А. Экономическая эффективность применения азотных удобрений при возделывании горохо-ячменной смеси на зерно в Предуралье // Известия Самарской ГСХА, 2014. №4. С. 39-43.

114. Елисеева Н.С., Банкрутенко А.В. Урожайность и качество зерна гороха в подтаежной зоне Западной Сибири // Вестник КрасГАУ, 2016. №9. С. 150-156.

115. Елисеева Н.С., Банкрутенко А.В. Урожайность и содержание тяжелых металлов в зерне гороха // Вестник НГАУ, 2017. №1. С. 49-55.

116. Елькина Г.Я. Оптимизация минерального питания растений на подзолистых почвах. – Екатеринбург: УрО РАН, 2008. 277 с.

117. Ерёмин Д.И., Ахтямова А.А. Химический состав растительных остатков сельскохозяйственных культур, выращенных на различном агрофоне в лесостепной зоне Зауралья // Вестник КрасГАУ, 2017. №2. С. 32-38.

118. Ермакова Л.Н., Толмачева Н.И., Безматерных Е.А. Оценка агроклиматических ресурсов территории Пермского края // Географический вестник, 2010. №2. С. 52-58.

119. Ермакова Л.Н., Толмачева Н.И., Попова Е.В. Оценка и прогноз теплообеспеченности вегетационных периодов Пермского края и Свердловской области // Географический вестник, 2008. №1. С. 159-167.

120. Жуков Ю.П. Баланс питательных веществ как прогнозно-экологический показатель плодородия почв и продуктивности культур // Агрохимия, 1996. №7. С. 35-45.

121. Заболотских В.В., Власенко Н.Г. Влияние обработки почвы на урожайность гороха в условиях засушливой степи Северного Казахстана // Земледелие, 2012. №6. С. 31-33.

122. Завалин А.А. Азотное питание и продуктивность сортов яровой пшеницы. – М.: Агроконсалт, 2003. 153 с.

123. Завалин А.А. Биопрепараты, удобрения и урожай. М.: ВНИИА, 2005. 302 с.

124. Завалин А.А. Наша задача – затормозить уменьшение плодородия // Журнал "Коммерсантъ Наука" №23 от 23.06.2021. С. 45.

125. Завалин А.А. Применение биопрепаратов при возделывании полевых культур // Достижения науки и техники АПК, 2011. №8. С. 9-11.

126. Завалин А.А. Соколов О.А., Шмырева Н.Я. Развитие агрохимических исследований с изотопом ^{15}N в России // Плодородие, 2021. №3 (120). С. 56-62.

127. Завалин А.А. Условия питания и формирования величины и качества урожая зерновых // Зерновые культуры, 1994. №4. С. 19.

128. Завалин А.А., Алметов Н.С. Применение биопрепаратов и биологический азот в земледелии Нечерноземья. – М: Изд-во ВНИИА, 2009. 151 с.

129. Завалин А.А., Алферов А.А., Чернова Л.С. Ассоциативная азотфиксация и практика применения биопрепаратов в посевах сельскохозяйственных культур // Агрохимия, 2019. №8. С. 83-96.

130. Завалин А.А., Благовещенская Г.Г., Кожемяков А.П. Вклад биологического азота бобовых культур в азотный баланс земледелия России. – М.: Россельхозакадемия, 2007. 44 с.

131. Завалин А.А., Благовещенская Г.Г., Чернова Л.С., Шмырева Н.Я. Управление азотным питанием растений в почве // Агрохимический вестник, 2012. №4. С. 38-40.

132. Завалин А.А., Кашукоев М.В. Роль бобового предшественника в питании зерновых культур и повышение плодородия выщелоченного чернозема // Агрохимия, 1998. №12. С. 20-24.

133. Завалин А.А., Накаряков А.М. Эффективность применения биомодифицированных азотных удобрений под озимую пшеницу // Агрохимический вестник, 2021. № 1. С. 33-37.

134. Завалин А.А., Пасынков А.В. [и др.] Роль бобовых культур в земледелии Кировской области // Агрохимия, 2002. №6. С. 66-71.

135. Завалин А.А., Пасынков А.В. Азотное питание и прогноз качества зерновых культур. – М.: Издательство ВНИИА, 2007. 208 с.

136. Завалин А.А., Пасынков А.В., Лекомцев П.В. Влияние доз азота и азотфиксирующих препаратов на урожай и качество зерна яровой пшеницы и гороха в чистых и смешанных посевах // Агрохимия, 2003. №9. С. 20-29.

137. Завалин А.А., Пасынков А.В., Пасынкова Е.Н. Влияние условий азотного питания на урожайность и качество зерна различных сортов яровой пшеницы // Агрохимия, 2000. №7. С. 27-34.

138. Завалин А.А., Пасынкова Е.Н., Пасынков А.В. Вклад факторов в формировании урожая и основных показателей качества яровых зерновых культур // Достижения науки и техники АПК, 2011. №1. С. 8-10.

139. Завалин А.А., Потапов В.И. Формирование урожая и качество зерна ячменя и овса в зависимости от доз и сроков внесения азота // Агрохимия, 1996. №11. С. 20-26.

140. Завалин А.А., Соколов О.А. Азот и качество зерна пшеницы // Плодородие, 2018. №1. С. 14-17.

141. Завалин А.А., Соколов О.А. Коэффициент использования растениями азота удобрений и его регулирование // Международный сельскохозяйственный журнал, 2019. №4 (370). С. 71-75.

142. Завалин А.А., Соколов О.А. Потоки азота в агроэкосистеме: от идей Д.Н. Прянишникова до наших дней. М.: ВНИИА, 2016. 595 с.

143. Завалин А.А., Соколов О.А., Шмырева Н.Я. Азот в агросистеме на черноземных почвах. – М.: РАН, 2018. 180 с.

144. Завалин А.А., Соколов О.А., Шмырева Н.Я. Потоки азота в агрофитоценозе на дерново-подзолистой почве // Вестник российской сельскохозяйственной науки, 2018. №5. С. 17-21.

145. Завалин А.А., Соколов О.А., Шмырева Н.Я. Экология азотфиксации. – М.: РАН, 2019. 252 с.

146. Завалин А.А., Сычев В.Г., Алметов Н.С. [и др.] Научно-обоснованные параметры применения минеральных удобрений с учетом использования биологического азота в севооборотах Нечерноземной зоны России. – М.: ВНИИА, 2014. 84 с.

147. Заварзин Г.А., Кудеяров В.Н. Почва как главный источник углекислоты и резервуар органического углерода на территории России // Вестник РАН, 2006. Т.76. №1. С. 14-29.

148. Завьялова Н.Е., Васбиева М.Т., Фомин Д.С. Микробная биомасса, дыхательная активность и азотфиксация в дерново-подзолистой почве Предуралья при различном сельскохозяйственном использовании // Почвоведение, 2020. №3. С. 372-378.

149. Завьялова Н.Е., Митрофанова Е.М., Казакова И.В. Влияние минеральных удобрений и извести на содержание активных компонентов в составе органического вещества дерново-подзолистой почвы и урожайность яровой пшеницы // Достижения науки и техники АПК, 2013. №11. С. 19-21.

150. Завьялова Н.Е., Широких И.Г., Косолапова А.И., Широких А.А. Микробная трансформация органического вещества дерново-подзолистой почвы Предуралья при различном использовании и внесении минеральных удобрений // Теоретическая и прикладная экология, 2019. №1. С. 102-110.

151. Завьялова Н.Е., Ямалтдинова В.Р. Влияние длительного применения систем удобрения на содержание лабильного органического вещества дерново-мелкоподзолистой тяжелосуглинистой почвы // Аграрный вестник Урала, 2010. №4. С. 76-78.

152. Заець С.А., Василенко Р.Н., Фундират Е.С. Эффективность использования озимых агрофитоценозов тритикале на зеленый корм в условиях юга Украины // Материалы науч. экол. конф. «Совмещенные посевы полевых культур в севообороте агроландшафта». – Краснодар, 2016. С. 92-95.

153. Захаров И.А. 100 лет теории симбиогенеза // Экологическая генетика, 2010. Т.8. №2. С. 66-70.

154. Захарова А.Н., Валиева Л.В., Сенокосов С.М. Влияние сорта, нормы высева на урожайность вико-и горохо-ячменных смесей на кормовое зерно в Предуралье // Пермский аграрный вестник, 2006. С. 45-46.

155. Звягинцев Д.Г. Иммобилизированные ферменты в почвах. Микробные метаболиты. – М.: Изд-во МГУ, 1979. 215 с.

156. Звягинцев Д.Г. Почва и микроорганизмы. – М.: МГУ, 1987. 256 с.

157. Звягинцев Д.Г., Гусев В.С., Левин С.И. Изменения в комплексе почвенных микроорганизмов при антропогенных воздействиях // Успехи почвоведения. – М.: 1986. С. 64-68.

158. Зеленов А.Н., Кондыков И.В., Сучкова Т.Н., Кузнецова Л.Н., Шелепина Н.В., Павловская Н.Е. Первый Российский высокоамилозный сорт зернового гороха Амиор // Земледелие, 2012. №5. С. 36-37.

159. Зеленский Н.А., Луганцев Е.П., Зеленская Г.М. [и др.] Совместные посевы озимой вики и озимых зерновых в условиях Ростовской области // Фундаментальные исследования, 2005. №10. С. 45-46.

160. Землянов И.Н. Применение соломы и минеральных удобрений в зернопропашном севообороте // Земледелие, 2007. №6. С. 18-19.

161. Зиновенко А.Л. Сравнительная оценка зерносенажа озимых и яровых колосовых культур // Актуальные проблемы интенсивного развития животноводства, 2015а. №18 (1). С. 260-267.

162. Зиновенко А.Л. Химический состав и питательность зерносенажа злаковых культур // Актуальные проблемы интенсивного развития животноводства, 2015б. №18 (1). С. 268-275.

163. Зиновенко А.Л., Коробко Е.О. Использование зерносенажа в рационах лактирующих коров // Актуальные проблемы интенсивного развития животноводства, 2013а. №16 (1). С. 15-22.

164. Зиновенко А.Л., Коробко Е.О. Переваримость питательных веществ зерносенажа // Актуальные проблемы интенсивного развития животноводства, 2013. №16 (1). С. 23-30.

165. Зинченко М.К., Стоянова Л.Г., Безменко Н.И., Щукин И.М. Влияние вида угодий и приемов основной обработки на биологическую активность серой лесной почвы // Достижения науки и техники АПК, 2013. №4. С. 14-17.

166. Зоидзе Е.К. Об одном подходе к исследованию неблагоприятных агроклиматических явлений в условиях изменения климата в РФ // Метеорология и гидрология, 2004. №1. С. 96-104.

167. Золоева Г. Вопросы практического применения ГОСТ на кормовое зерно // Комбикорма, 2014. №1. С. 55-58.

168. Золотарев В.Н. Агробиологические основы возделывания вики посевной (*Vicia sativa L.*) на семена в гетерогенных агроценозах в условиях Центрального Нечерноземья России // Сельскохозяйственная биология, 2016. Т.51. №2. С. 194-203.

169. Золотарев В.Н. Влияние инокуляции и микроудобрений на урожайность и посевные качества семян вики посевной // Вестник Башкирского государственного аграрного университета, 2015. №3 (35). С. 14-18.

170. Золотарев В.Н., Серёгин С.В. Агробиологические и технологические основы повышения эффективности семеноводства вики мохнатой (озимой) // Достижения науки и техники АПК, 2012. №10. С. 32-34.

171. Золотарёва Б.Н. Влияние органических удобрений на плодородие старопахотной серой лесной почвы // Агрохимия, 2007. №8. С. 13-22.

172. Зотиков В.И., Глазова З.И., Титенок М.В. Смешанные посевы бобовых культур как фактор стабилизации урожая семян вики яровой // Зернобобовые и крупяные культуры, 2012. №2. С. 77-86.

173. Зотиков В.И., Голопятов М.Т., Акулов А.С. [и др.] Перспективная ресурсосберегающая технология производства гороха: Методические рекомендации. – Орел: ГНУ ВНИИ зернобобовых и крупяных культур, 2009. 57 с.

174. Зотиков В.И., Наумкина Т.С., Грядунова Н.В. [и др.] Зернобобовые культуры – важный фактор устойчивого экологически ориентированного сельского хозяйства // Зернобобовые и крупяные культуры, 2016. №1. С. 6-13.

175. Зубенко В.Ф. Баланс органических веществ в разных севооборотах на дерново-подзолистых почвах // Агрохимия, 2009. №4. С. 61-68.

176. Игнатов В.В. Биологическая фиксация азота и азотфиксаторы // Соросовский образовательный журнал, 1998. №9. С. 28-33.

177. Игнатов В.В. Молекулярные основы взаимоотношений ассоциативных микроорганизмов с растениями. – М.: Наука, 2005. 262 с.

178. Идимешев Н.В., Кадычегов А.Н. Экологическая адаптивность гороха в агроландшафтах Хакасии // Вестник КрасГАУ, 2018. №4 (139). С. 21-26.

179. Икконен Е.Н., Гарсиа-Кальдерон Н.Е., Альварес-Артеага Г. [и др.] Концентрация CO_2 в воздухе почв горных туманных лесов Южной Мексики // Почвоведение, 2013. №2. С. 172-176.

180. Информация по севу с.-х. культур в Пермском крае (зерновые). Сводка по севу зерновых культур на 18.10.2020 [Электронный ресурс], URL: https://agro.permkrai.ru/analitika/operativnye-svodki/filter/444/2020/0/ (дата обращения: 23.10.2021).

181. Информация по уборке с.-х. культур в Пермском крае (зерновые). Сводка по уборке урожая

на 18.10.2021 [Электронный ресурс], URL: https://agro.permkrai.ru/analitika/operativnye-svodki/filter/444/2021/0/ (дата обращения: 23.10.2021).

182. Информация по яровому севу в Пермском крае. Сводка по севу яровых культур на 11.06.2021 [Электронный ресурс], URL: https://agro.permkrai.ru/analitika/operativnye-svodki/filter/445/2021/0/ (дата обращения: 12.08.2021).

183. Исмагилов Р.Р. Формирование хлебопекарных качеств зерна мягкой яровой пшеницы в условиях Республики Башкортостан // Вестник Академии Наук РБ, 2016, том 21 (82). С. 16-24.

184. Кадермас И.Г. Формирование фотосинтетического и симбиотического аппаратов растений и их вклад в повышение продуктивности агроценозов гороха посевного (*Pisum sativum L.*): автореф. ... канд. биол. наук. – Омск, 2014. 18 с.

185. Казеев К.Ш., Антонова О.Д., Колесников С.И. [и др.] Ферментативная активность некоторых почв Крыма // Научный журнал КубГАУ, 2014. №104. С. 1-12.

186. Казеев К.Ш., Лосева Е.С., Боровикова Л.Г., Колесников С.И. Влияние загрязнения современными пестицидами на биологическую активность чернозема обыкновенного // Агрохимия, 2010. №11. С. 39-44.

187. Калинина А.А., Македошин А.С., Гурский Н.В., Соколова Т.Н., Смирнов В.Ф. Кинетическое исследование восстановления иоднитротетразолия хлорида суспензией в физиологическом растворе грамотрицательных бактерий *Pseudomonas aeruginosa* и *Escherichia coli* // Теоретическая и прикладная экология, 2018. №1. С. 25-32.

188. Каминский В.Ф., Дворецкая С.П. Влияние удобрений на урожайность сортов гороха разного морфотипа и содержание белка в зерне // Вестник Белорусской государственной с.-х. академии, 2014. №1. С. 51-54.

189. Капаева Т.В., Сеитов М.С., Картекенова Р.В. Продуктивное действие зерносенажа в рационах тёлок до 6-месячного возраста // Известия ОГАУ, 2014. №2. С. 130-132.

190. Кашеваров Н.И., Садохина Т.А., Ломова Т.Г., Бакшаев Д.Ю. Качество сенажа из смешанных посевов зернофуражных культур в лесостепной и степной зонах Западной Сибири // Достижения науки и техники АПК, 2017. №4. С. 82-86.

191. Квиткина А.К., Ларионова А.А., Быховец С.С. Влияние экзогенного и эндогенного азота на скорость минерализации растительных остатков кукурузы // Агрохимия, 2014. №9. С. 48-57.

192. Кидин В.В. Особенности питания и удобрения сельскохозяйственных культур. – М.: Изд-во РГАУ имени К.А. Тимирязева, 2009. 412 с.

193. Кирилов М.П., Первов Н.Г., Аникин А.С. [и др.] Кормовые ресурсы животноводства. Классификация, состав и питательность кормов. – М.: ФГНУ «Росинформагротех», 2009. 404 с.

194. Кириченко Е.В. Механизмы ингибирующего влияния минерального азота на процесс формирования бобово-ризобиальной системы // Физиология и биохимия культурных растений, 2001. Т.33. №2. С. 95-104.

195. Кириченко Е.В., Маличенко С.М., Старченков Е.П. Влияние различных концентраций минерального азота на жизнеспособность *Bradyrhizobium* в чистой культуре // Физиология и биохимия культурных растений, 1993. Т.25. №1. С. 24-27.

196. Кирюшин И.В., Данилова А.А. Биологическая активность выщелоченного чернозема Приобья в связи с интенсификацией возделывания зерновых культур // Агрохимия, 1990. №9. С. 79-86.

197. Ковалевская Н.П., Завьялова Н.Е., Шаравин Д.Ю., Васбиева М.Т. Особенности микробоценоза дерново-подзолистой тяжелосуглинистой почвы при длительном применении минеральных и органических удобрений // Проблемы агрохимии и экологии, 2018. №2. С. 24-28.

198. Коваленко С.А. Эффективность использования зерна тритикале в комбикормах для мясного откорма свиней // Вопросы полноценности кормления с.-х. животных и качество кормов. – Горки, 1998. С. 91-95.

199. Кожемяков А.П., Тихонович И.А. Использование инокулянтов бобовых и биопрепаратов комплексного действия в сельском хозяйстве // Доклады Российской академии сельскохозяйственных наук, 1998. №6. С. 7-10.

200. Кононов С.И. Оптимизация агрофитоценозов озимых кормовых культур // Вестник Ижевской государственной сельскохозяйственной академии, 2018. №2 (55). С. 29-35.

201. Колесникова В.Г. Фатыхов И.Ш., Степанова М.А. Овес посевной в адаптивном растениеводстве Среднего Предуралья (монография). – Ижевск: ФГБОУ ВПО Ижевская ГСХА, 2006. 189 с.

202. Колесникова Л.И., Жирнова И.А. Урожайность и питательность смешанных посевов в зависимости от соотношения компонентов в условиях Северного Казахстана // Аграрное образование и наука, 2016. №4. С. 85-88.

203. Колсанов Г.В., Куликова А.Х., Корнеев Е.А., Хвостов Н.В. Использование гороховой соломы для удобрения озимой ржи на черноземе типичном // Агрохимия, 2004. №5. С. 47-53.

204. Колсанов Г.В., Куликова А.Х., Корнеев Е.А., Хвостов Н.В. Использование соломы для удобрения гороха на типичном черноземе лесостепи Поволжья // Агрохимия, 2002. №11. С. 43-49.

205. Кондыков И.В., Бобков С.В., Уварова О.В. [и др.] Современные Европейские сорта гороха – урожайность и содержание белка // Зерновое хозяйство России, 2010. № 5 (11). С. 17-20.

206. Кондыков И.В., Уваров В.Н., Зеленов А.Н., Кондыков Н.Н. Сорта гороха нового поколения, контрастные по архитектонике листового аппарата // Земледелие, 2012. №5. С. 34-35.

207. Кононов А.С. Азотфиксация и интенсивность фотосинтеза в люпино-ячменном агроценозе // Сельскохозяйственная биология, 2013. №2. С. 103-108.

208. Кононов А.С. Физиология процесса азотфиксации и фотосинтез в гетерогенном посеве // Бюллетень Брянского отделения РБО, 2013. №1 (1). С. 42-50.

209. Кононов А.С., Белоус И.В., Петрушин Б.А. Влияние клубеньковых бактерий на одновидовые и смешанные посевы люпина и ячменя // Вестник брянского государственного университета, 2009. №4. С. 156-159.

210. Кононов А.С., Белоус Н.М.,Ториков В.Е. [и др.] Теория экологической ниши в сельском хозяйстве и методика расчета взаимодействия видов в гетерогенном агроценозе // Зернобобовые и крупяные культуры, 2017. №2 (22). С. 59-67.

211. Кононов А.С.,Ториков В.Е., Шкотова О.Н. Гетерогенные посевы (экологическое учение о гетерогенных агроценозах как о факторе биологизации земледелия). – СПб.: Лань, 2018. 296 с.

212. Кононов А.С., Шкотова О.Н., Шкотов А.Н. Влияние посевных соотношений семян в смешанных посевах на процесс синтеза белка и крахмала у яровой пшеницы // Вестник Брянской государственной сельскохозяйственной академии, 2015. №6. С. 10-15.

213. Кононова М.М. Органическое вещество и плодородие почвы // Почвоведение, 1984. №8. С. 6-20.

214. Конончук В.В., Штырхунов В.Д., Благовещенский Г.В. [и др.] Азотфиксация гороха сортов немчиновской селекции в зависимости от удобрений на дерново-подзолистой почве Центрального Нечерноземья и вклад фиксированного азота в малый биологический круговорот // Зернобобовые и крупяные культуры, 2019. №2 (30). С. 27-35.

215. Конышева Е.Н., Коротченко И.С. Влияние тяжелых металлов и их детоксикантов на ферментативную активность почв // Вестник КрасГАУ, 2011. №1. С. 114-119

216. Коренев Г.В., Житин Ю.И. Влияние норм посева и удобрений на урожайность семян вики // Сб. науч. тр. «Совершенствование технологий возделывания технических и кормовых культур в Центрально-Черноземной зоне». – Воронеж, 1991. С. 72-80.

217. Коренев Г.В., Житин Ю.И. Фотосинтетическая деятельность и продуктивность сортов озимой вики, различающихся по фотосинтетическим характеристикам // Сельскохозяйственная биология, 1984. №8. С. 77-80.

218. Коренев Г.В., Житин Ю.И., Щедрина Д.И. Вика озимая. Люцерна. – Воронеж: Центр.-Черноз. книжное изд-во, 1990. 148 с.

219. Кореньков Д.А. Агроэкологические аспекты применения азотных удобрений. – М.: Агроконсалт, 1999. 296 с.

220. Косенко Л.В., Мандровская Н.М., Кругова Е.Д., Варбанец Л.Д. Действие ростстимулятора растений бактозоля на *Rhizobium leguminosarum bv. viciae* 250a и его азотустойчивый мутант М71 в условиях различной обеспеченности азотом // Микробиология, 2003. Т.72. №1. С. 40-47.

221. Космынина О.Н. Взаимосвязь между минеральным азотом почвы, содержанием азота в надземной массе и азотфиксирующей способностью клубеньков на корнях гороха в лесостепи среднего Поволжья // Сб. материалов международной науч. конференции "Проблемы и перспективы развития аграрного производства". – Смоленск, 2007. С. 270-272.

222. Косолапов В.М. Наука поможет решить все проблемы! // Эффективное животноводство, 2019. №3. С. 15-16.

223. Косолапов В.М., Бондарев В.А., Клименко В.П. Эффективность новых технологий приготовления кормов из трав // Достижения науки и техники АПК, 2009. №7. С. 39-42.

224. Косолапов В.М., Гаганов А.П. Основные направления улучшения качества зернофуража // Зерновое хозяйство России, 2010. №5. С. 49-53.

225. Косолапов В.М., Трофимов И.А. Проблемы и перспективы развития кормопроизводства // Кормопроизводство, 2011. №2. С. 4-6.

226. Косолапова А.И., Возжаев В.И., Лейних П.А. Урожайность и качество зерна яровой пшеницы в зависимости от применения минеральных удобрений // Пермский аграрный вестник, 2017. №3 (19). С. 76-80.

227. Котлярова О.Г., Чернявский А.Н., Чернявский К.Н. Азотфиксация в посевах бобовых культур в зависимости от способов обработки почвы и удобрений // Агрохимия, 2007. №8. С. 64-70.

228. Кочурко В.И., Пугач А.А., Павловская Е.А. Роль тритикале и её смесей в укреплении кормовой базы // Зерновое хозяйство, 2005. №3. С. 9-10.

229. Краснопёров А. Г., Буянкин Н. И. Весенне-летние смешанные посевы // Зернобобовые и крупяные культуры, 2019. №2 (30). С. 144-154.

230. Краснопёров А.Г., Буянкин Н.И. Фитосанитарные основы формирования сбалансированного агроландшафта со смешанными посевами для условий Калининградской области // Зернобобовые и крупяные культуры. 2016. №3 (19). С. 118-124.

231. Кретович В.Л. Биохимия усвоения азота воздуха растениями. – М.: Наука, 1994. 168 с.

232. Кривенчук А.Б., Алёшин М.А. Влияние доз азота и препарата Ризоторфин на продуктивность посевного гороха в условиях дерново-подзолистой тяжелосуглинистой почвы Предуралья // Материалы Международной научно-практической конференции «Агрохимикаты в XXI веке: теория и практика применения». – Пермь: Пермская ГСХА, 2017. С. 45-49.

233. Кротких Т.А., Михайлова Л.А. Эколого-агрохимические основы применения удобрений в Предуралье: учебное пособие. – Пермь: Изд-во ФГБОУ ВПО Пермская ГСХА, 2013. 298 с.

234. Круглов Ю.В. Микробное сообщество почвы: физиологическое разнообразие и методы исследования // Сельскохозяйственная биология, 2016. Т.51. №1. С. 46-59.

235. Кругова Е.Д., Коць С.Я., Мандровская Н.М. Действие синтетического полисахарида МОД19 на формирование и функционирование симбиотической системы *Pisum sativum L. – Rhizobium leguminosarum bv. viciae* // Прикладная биохимия и микробиология, 2009. Т.45. №3. С. 324-330.

236. Крупнова О.В. Взаимосвязи между признаками качества зерна яровой пшеницы // Вестник РАСХН, 2009. №5. С. 46-48.

237. Кудеяров В.Н. Азотный цикл и продуцирование закиси азота // Почвоведение, 1999. №8. С. 988-998.

238. Кудеяров В.Н. Баланс азота, фосфора и калия в земледелии России // Агрохимия, 2018. №10. С. 3-11.

239. Кудеяров В.Н. Дыхание почв и биогенный сток углекислого газа на территории России (аналитический обзор) // Почвоведение, 2018. №6. С. 643-658.

240. Кудеяров В.Н. Цикл азота в почве и эффективность удобрений. – М.: Наука, 1989. 216 с.

241. Кудеяров В.Н. Эмиссия закиси азота из почв в условиях применения удобрений (аналитический обзор) // Почвоведение, 2020. №10. С. 1192-1205.

242. Кудеяров В.Н., Благодатский С.А., Ларионова А.А. Изменение внутрипочвенных потоков азота при внесении азотных удобрений // Агрохимия. 1990. № 11. С. 47-53.

243. Кудеяров В.Н., Курганова И.Н. Дыхание почв России: анализ базы данных, многолетний мониторинг, общие оценки // Почвоведение, 2005. №9. С. 1112-1121.

244. Кудеяров В.Н., Хакимов Ф.И., Деева Н.Ф. [и др.] Оценка дыхания почв России // Почвоведение, 1995. №1. С. 33-42.

245. Кузмичева Ю.В. Энергосберегающие приёмы повышения продуктивности сортов гороха посевного (*Pisum sativum L.*) на основе растительно-микробных взаимодействий: автореф. дис. … канд. с.-х. наук. – Орёл, 2011. 22 с.

246. Кузнецова Т.В., Семенов А.В., Иванникова Л.А. и др. Накопление азота в микробной биомассе серой лесной почвы при разложении растительных остатков // Агрохимия, 2003. №10. С. 5-14.

247. Кузнецова Т.В., Семенов А.В., Ходжаева А.К. [и др.] Накопление азота в микробной биомассе серой лесной почвы при разложении растительных остатков // Агрохимия, 2003. №10. С. 3-12.

248. Кузнецова Т.В., Ходжаева А.К., Семенова Н.А. [и др.] Минерализационно-иммобилизационная оборачиваемость азота в почве при разной обеспеченности разлагаемым органическим веществом // Агрохимия, 2006. №6. С. 5-12.

249. Куликова А.Х., Антонова С.А., Козлов А.В. Ферментативная активность почвы в зависимости от системы удобрения // Вестник Ульяновской ГСХА, 2017. №4 (40). С. 36-43.

250. Курганова И.Н., Кудеяров В.Н. Оценка потоков диоксида углерода из почв таежной зоны России // Почвоведение, 1998. №9. С. 1058-1071.

251. Курилович В.В., Кухарчик В.М., Рыбак А.Р. Оптимизация режима азотного питания семеноводческих посевов гороха овощного // Образование, наука и производство, 2014. №2. С. 60-63.

252. Куркаев В.Т. Ускорение определение азота, фосфора и калия в растениях из одной из одной навески // Почвоведение, 1959. №9. С. 114-117.

253. Курлович Б.С., Репьев С.И., Щелко Л.Г. [и др.] Теоретические основы селекции // Генофонд и селекция зерновых бобовых культур (люпин, вика, соя, фасоль). – СПб.: ВИР, 1995. Т.3. 435 с.

254. Курочкин А.М. Биология, особенности технологии возделывания и семеноводства вики озимой (*Vicia villosa Roth.*): дисс. в виде науч. доклада … докт. с.-х. наук. – Брянск, 2006. 46 с.

255. Курчак О.Н., Проворов Н.А. Отзывчивость вики мохнатой (*Vicia villosa Roth.*) и вики посевной (*Vicia sativa L.*) на инокуляцию ризобиями и на внесение карбамида // Физиология растений, 1995. Т.42. №3. С. 484-490.

256. Кухарев О.Н., Кшникаткина А.Н. Агроэкологические аспекты применения бактериальных препаратов, регуляторов роста и микроэлементных удобрений в технологии возделывания зернобобовых культур // Нива Поволжья, 2017. №2 (43). С. 33-41.

257. Кшникаткина А.Н., Коваленко А.В., Баткаева О.Р. Основные факторы продуктивности озимой тритикале // Нива Поволжья, 2009. №3 (12). С. 73-79.

258. Лапа В.В., Кулеш О.Г., Лопух М.С. Вынос и баланс элементов питания в зернотравяном севообороте на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве // Почвоведение и агрохимия, 2013. №2 (51). С. 143-150.

259. Лапинскас Э.Б. Значение инокуляции бобовых растений *Rhizobium* штаммами на симбиотическую азотфиксацию и агрохимические свойства почвы // Научные труды ЛИЗ и ЛСХУ. – Вильнюс: Академия, 2006. Т.93. №2. С. 3-24.

260. Лапинскас Э.Б., Мотузене Л.П. Влияние фосфорно-калийных удобрений на симбиотическую азотфиксацию *Rhizobium galegae* // Агрохимия, 2007. №9. С. 45-52.

261. Лапинскас Э.Б., Пяулокайте-Мотузене Л.П. Влияние минерализации соломы, дозы стартового азота и инокуляции на симбиотическую азотфиксацию клевера лугового // Агрохимия, 2010. №2. С. 59-67.

262. Лапшин Ю.А. Смешанные агрофитоценозы как резерв увеличения производства фуражного зерна и более рационального использования земельной площади // Аграрная наука Евро-Северо-Востока, 2017. №3 (58). С. 36-42.

263. Лапшин Ю.А. Смешанные озимые агрофитоценозы как способ производства высококачественного зелёного корма и фуражного зерна // Вестник Марийского государственного университета. Серия: Сельскохозяйственные науки. Экономические науки, 2016. №1 (5). С. 30-35.

264. Лапшин Ю.А., Быркановa С.В. Эффективность производства фуражного зерна в одновидовых и смешанных озимых агробиоценозах // Аграрная наука Евро-Северо-Востока, 2014. №2 (39). С. 4-9.

265. Ларикова Ю.С., Волобуева О.Г. Современные представления об эколого-физиологической роли корневых экссудатов растений // Зернобобовые и крупяные культуры, 2021. №4 (40). С. 93-101.

266. Лаханов А.П., Парахин Н.В. Вика мохнатая (*Vicia villosa Roth*) в Европейской части России. – Орел: Изд-во Орел ГАУ, 2002. 344 с.

267. Лебедева Т.Б., Арефьева М.В., Арефьев А.Н. Использование соломы для улучшения гумусного состояния почв // Нива Поволжья, 2008. №1 (6). С. 12-16.

268. Лебедева Т.Б., Надежкин С.М., Арефьева М.В. Трансформация растительного вещества и гумусовое состояние чернозема выщелоченного при использовании удобрений и известкование // Агрохимия, 2006. №11. С. 18-24.

269. Левахин Г.И., Айрих Е.В., Литовченко В.Г. Анализ урожайности и структуры зеленой массы растений озимых культур // Животноводство и кормопроизводство, 2013. №81. С. 103-105.

270. Левин Ф.И. Количество растительных остатков в почвах полевых культур и его определение по урожаю основной продукции // Агрохимия, 1977. №8. С. 36-43.

271. Левитский Н.А. Агротехнические приемы повышения продуктивности озимой вики в лесостепной части Хмельницкой области: автореф. дис. … канд. с.-х. наук. – Киев, 2003. 30 с.

272. Лекомцев П.В. Влияние азотных удобрений и биопрепаратов на формирование продуктивности чистых и смешанных посевов яровой пшеницы и гороха: автореф. дис ... канд. с.-х. наук. – Москва, 2002. 19 с.

273. Лисичкина Г.А., Кожевин П.А. Влияние внесения соломы на динамику численности *Rhizobium japonicum* в ризосфере, ризоплане сои и в почве // Микробиология, 1984. Т.53. №2. С. 345-347.

274. Литвинова А.Б. Экологическая и хозяйственно-биологическая оценка различных сортов клевера лугового: автореф. ... канд. с.-х. наук. – Москва, 2011. 20 с.

275. Литвинцев П.А. Азотфиксация и продуктивность сортов гороха и сои в зависимости от источника азотного питания // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки, 2007. №9 (177). С. 27-34.

276. Личко Н.М. Зерноведение. – М.: ДеЛилюс, 2017. 274 с.

277. Личко Н.М. Стандартизация и подтверждение соответствия сельскохозяйственной продукции. – М.: ДеЛилюс, 2013. 512 с.

278. Лысенко А.А., Коробов А.П., Шапошникова Ю.В. Влияние погодных условий на урожайность сортов гороха в условиях Приазовской зоны Ростовской области // Известия Оренбургского ГАУ, 2017. №3 (65). С. 37-40.

279. Майсак Г.П. Силосование озимых культур в Пермском крае // Пермский аграрный вестник, 2017. №4 (20). С. 91-96.

280. Майсак Г.П., Алёшин М.А., Михайлова Л.А. Продуктивность одновидовых и смешанных посевов озимых зерновых культур в зависимости от азотного режима дерново-подзолистой тяжелосуглинистой почвы // Пермский аграрный вестник, 2014. №2 (6). С. 23-29.

281. Майсак Г.П., Волошин В.А. Смешанные посевы озимых злаковых культур с озимой викой с использованием поукосных посевов проса и ярового рапса на зелёный корм в Предуралье // Аграрная наука Евро-Северо-Востока, 2013. №5 (36). С. 18-23.

282. Майсак Г.П., Волошин В.А. Урожайность озимых культур при разных сроках скашивания и качество силоса и зерносенажа в среднем Предуралье // Пермский аграрный вестник, 2016. №3 (15). С. 41-48.

283. Макарова В.М., Елисеев С.Л., Ренев Е.А., Захарова А.Н. Выращивание вики и гороха в смешанных посевах с ячменем на кормовое зерно в Предуралье // Земледелие, 2010. №5. С. 25-26.

284. Макарова Л.Е., Латышева С.Е., Путилина Т.Е. Влияние фенольных соединений, выделяемых в темноте корнями гороха, на размножение *Rhizobium* // Прикладная биохимия и микробиология, 2007. Т.43. №4. С. 479-485.

285. Мамонтов В.Г., Афанасьев Р.А., Родионова Л.П., Быканова О.М. К вопросу о лабильном органическом веществе почв // Плодородие, 2008. №2. С. 20-22.

286. Мамонтов В.Г., Родионова Л.П. и др. Лабильное органическое вещество почвы: Номенклатурная схема, методы изучения и агроэкологические функции // Известия ТСХА, 2000. Вып.4. С. 93-108.

287. Мандровська Н.М., Кругова О.Д., Коць С.Я., Дульнєв П.Г. Дія синтетичного полісахариду на ріст бульбочкових бактерій і ризогенез коріння // Агроэкологический журнал, 2005. №4. С. 47-51.

288. Маркин А.А. О весенних посевах озимых Вик // Сб. науч. тр. Кубанского СХИ. – Краснодар, 1994. Вып. 9/37. С. 71-75.

289. Матаруева И.А. Роль микробиологических процессов в трансформации органического вещества в дерново-подзолистых почвах: Методологические подходы к количественной оценке: автореф. ... доктора с.-х. наук. – Кострома, 1999. 38 с.

290. Матолинец Н.Н., Питкин Е.В., Ренева Ю.А. [и др.] Влияние предпосевного и дробного внесения азотных удобрений на урожайность и качество кормового зерна при разном соотношении компонентов горохо-ячменного агрофитоценоза // Сб. статей «Молодежная наука 2014: технологии, инновации». – Пермь: ИПЦ Прокростъ, 2014. С. 86-90.

291. Матяев В.М., Андин И.С. Расщепление сырого протеина кормов рациона в рубце высокопродуктивных дойных коров // Вестник Ульяновской ГСХА, 2015. №1 (29). С. 102-105.

292. МГЭИК, Межправительственная группа экспертов по изменению климата // Руководящие указания по эффективной практике для землепользования, изменений в землепользовании и лесного хозяйства / Под ред. Пенмана Д. и др. М., 2006. 649 с.

293. Мелехова О.П. Биологический контроль окружающей среды: биоиндикация и биотестирование. – М.: издательский центр «Академия»: 3-е изд., 2010. 288 с.

294. Мерзликин А.С., Абрамкина Л.П. Эффективность минеральных удобрений на сортах зерновых культур интенсивного типа селекции // Агрохимический вестник, 2011. №5. С. 12-14.

295. Методические рекомендации по проведению добровольной инвентаризации объема выбросов парниковых газов в субъектах Российской Федерации // Собрание законодательства Российской Федерации, 2014, №15, ст. 1778 (утверждены распоряжением Минприроды России от 16 апреля 2015 г. N 15-р).

296. Методические указания по определению аммонифицирующей способности почв. – М.: Минсельхоз России, 1993. 18 с.

297. Методические указания по определению баланса питательных веществ азота, фосфора, калия, гумуса, кальция. – М.: ЦИНАО, 2000. 40 с.

298. Методические указания по определению нитрификационной способности почв. – М.: ВПНО «Союзсельхозхимия», 1984. 17 с.

299. Методические указания по оценке качества и питательности кормов. – М.: ЦНИИ агрохимического обслуживания сельского хозяйства (ЦИНАО), 2002. 75 с.

300. Методические указания по проведению исследований в длительных опытах с удобрениями. Ч. 1. – М.: ВИУА, 1975. 163 с.

301. Методические указания по проведению комплексного мониторинга плодородия почв земель сельскохозяйственного назначения. – М.: ФГНУ «Росинформагротех», 2003. 240 с.

302. Методы определения активных компонентов в составе гумуса почв. – М.: ВНИИА, 2010. 32 с.

303. Мильто Н.И. Клубеньковые бактерии и продуктивность бобовых растений. – Минск: Наука и техника, 1982. 296 с.

304. Мильхеев Е.Ю., Чимитдоржиева Г.Д. Сезонная эмиссия углекислого газа из почв дельты р. Селенга (Западное Забайкалье) // Агрохимия, 2015. №2. С. 46-51.

305. Минакова О.А., Тамбовцева Л.В., Александрова Л.В. Влияние длительного применения удобрений на азотный режим чернозема выщелоченного и баланс азота в зернопаропропашном севообороте // Агрохимия, 2016. №8. С. 11-22.

306. Минеев В.Г. Эколого-агрохимические аспекты биологизации земледелия // Агрохимия, 1995. №4. С. 108-115.

307. Минникова Т.В., Мокриков Г.В., Казеев К.Ш. [и др.] Оценка ферментативной активности черноземов Ростовской области под бинарными посевами подсолнечника // Известия ТСХА, 2017. №6. С. 141-155.

308. Митанова Н.Б., Миронова Н.В., Глянько А.К. Поглощение нитратов проростками гороха в зависимости от дозы азота и инокуляции клубеньковыми бактериями // Агрохимия, 2006. №1. С. 32-33.

309. Митрофанова Е.А., Курчак О.Н., Симароков Б.В. Изучение формирования высокоэффективного симбиоза клубеньковых бактерий с викой // В сб. «Бобовые культуры в современном сельском хозяйстве». – Новгород, 1998. С. 191-192.

310. Михайлова Л.А. Агрохимия: курс лекций. Часть 2 Научные основы применения удобрений под основные полевые культуры. – Пермь: ИПЦ «Прокрость», 2015. 127 с.

311. Михайлова Л.А., Алёшин М.А., Буянова Г.В. [и др.] Оценка использования смешанных посевов яровой пшеницы и посевного гороха в качестве предшественника для ярового ячменя // Пермский аграрный вестник, 2016. №3 (15). С. 48-53.

312. Михайлова Л.А., Кротких Т.А. Особенности питания и удобрения основных сельскохозяйственных культур на почвах Предуралья. – Пермь: Изд-во ФГОУ ВПО Пермская ГСХА, 2012. 223 с.

313. Михайлова Л.А., Лейних П.А., Акманаева Ю.А. [и др.] Оптимизация питания ярового ячменя на почвах разного уровня окультуривания в Предуралье. – Пермь: ИПЦ «ПрокростЪ», 2015. 230 с.

314. Михайлова Л.А., Субботина М.Г., Алёшин М.А. Удобрение и диагностика минерального питания плодово-ягодных культур. – Пермь: ИПЦ «Прокрость», 2019. 215 с.

315. Мишустин Е.Н. Использование соломы как органического удобрения – М.: Наука, 1980. 270 с.

316. Мищихина О.С., Михайлова Л.А. Биологическая эффективность смешанного посева яровой пшеницы и посевного гороха при уборке на зерно в зависимости от доз азота // Пермский аграрный вестник, 2017. №3 (19). С. 96-101.

317. Моисеенко Ю.В., Кузмичева Ю.В., Петрова С.Н., Парахин Н.В. Роль сорта в увеличении производства высокобелкового зерна // Вестник ОрёлГАУ, 2011. №5. С. 108-111.

318. Надежина Н.В., Соколов В.А., Мамадназарбеков А.Ф. Эффективность ландшафтно-адаптированых технологий совместного выращивания гороха посевного безлисточкового морфотипа с зерновыми культурами в Верхневолжье // Аграрный вестник Верхневолжья. 2019. №4 (29). С. 26-39.

319. Надёжкин С.М., Корягин Ю.В., Лебедева Т.Б. Гумусное содержание чернозема выщелоченного при сидерации // Агрохимия, 1998. №4. С.29-34.

320. Назарюк В.М. Баланс и трансформация азота в агроэкосистемах. – Новосибирск: СО РАН, 2002. 257 с.

321. Назарюк В.М. Почвенно-экологические основы оптимизации питания растений. – Новосибирск: СО РАН, 2007. 364 с.

322. Назарюк В.М., Калимуллина Ф.Р. Метод оценки азотфиксирующей способности бобовых растений на основе симбиотических мутантов // Международный сельскохозяйственный журнал, 2016. №2. С. 49-51.

323. Назарюк В.М., Калимуллина Ф.Р., Кленова М.И. Эффективность последействия азота, фиксированного различными генотипами макросимбионта // Сибирский экологический журнал, 2009. №2. С. 279-286.

324. Назарюк В.М., Сидорова К.К., Шумный В.К. [и др.] Азотный режим почв различных генотипов макросимбионта // Почвоведение, 2007. №2. С. 189-196.

325. Наими О.И. Особенности использования соломы в качестве органического удобрения // Международный журнал гуманитарных и естественных наук, 2019. №9-1. С. 10-13.

326. Накаряков А.М. Эффективность применения удобрений и биопрепаратов под озимую пшеницу на светло-серой лесной почве: автореф. дис. канд. с.-х. наук. – М., 2021. 20 с.

327. Налиухин А.Н., Завалин А.А., Силуянова О.В., Белозеров Д.А. Влияние биоудобрений и известкования на продуктивность вико-овсяной смеси и изменение микробоценоза дерново-подзолистой почвы // Российская сельскохозяйственная наука, 2017. №6. С. 21-26.

328. Намжилов Н.Б., Чимитдоржиева Г.Д., Цыбенов Ю.Б. Влияние органических удобрений на восстановление плодородия дефлированных почв Бурятии // Почвоведение, 2003. №6. С. 21.

329. Наплекова Н.Н. Аэробное разложение целлюлозы микроорганизмами в почвах Западной Сибири. – Новосибирск: Наука, 1974. 270 с.

330. Нарушева Е.А. Изменение биологической активности чернозема выщелоченного при возделывании гречихи в среднем Поволжье // Вестник Алтайского государственного аграрного университета, 2012. Т.88. №2. С. 12-16.

331. Наумкина Т.С., Васильчиков А.Г., Гурьев Г.П. [и др.] Повышение эффективности биологической азотфиксации зернобобовых культур // Земледелие, 2012. №5. С. 21-23.

332. Наумов А.В. Дыхание почвы: составляющие, экологические функции, географические закономерности. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2009. 208 с.

333. Национальный доклад “О кадастре антропогенных выбросов из источников и абсорбции поглотителями парниковых газов, не регулируемых Монреальским протоколом за 1990-2019 гг.”. Ч.2. – М., 2021. 546 с.

334. Неволина К.Н. Влияние минеральных удобрений на урожайность и качество зерна озимых зерновых в Предуралье: автореф. дис…канд. с.-х. наук. – Пермь, 2012. 16 с.

335. Ненайденко Г.Н. Удобрение и повышение качества зерна пшеницы в Верхневолжье // Современные наукоемкие технологии. Региональное приложение, 2018. №1 (53). С. 122-138.

336. Никитин С.Н. Оценка эффективности применения удобрений, биопрепаратов и диатомита в лесостепи Среднего Поволжья. – Ульяновск: УлГТУ, 2017. 316 с.

337. Нице Л.К., Хлыстовский А.Д., Захарова С.Н. Биологическая фиксация азота в дерново-подзолистой почве при длительном применении удобрений и извести // Агрохимия, 1994. №2. С. 3-8.

338. Новиков А.А. Азотминерализующая способность почв как компонент устойчивости агроценоза // Научный журнал КубГАУ, 2021. №173 (09). С. 1-9.

339. Новиков М.Н. Потребность в азоте при использовании соломы на удобрение // Химизация сельского хозяйства, 1990. №9. С. 55-56.

340. Новиков М.Н., Такунов И.П., Слесарева Т.Н., Баринов В.Н. Смешанные посевы с люпином в земледелии Нечерноземной зоны. – М.: Столичная типография, 2008. 160 с.

341. Новиков М.Н., Тужилин В.М., Самохина О.А. Система биологизации земледелия в Нечерноземной зоне. Научно-практические рекомендации на примере Владимирской области. – М.: Росинформагротех, 2007. 269 с.

342. Новикова Н.Е. Водный обмен у растений гороха с разным морфологическим типом листа // Сельскохозяйственная биология, 2009. №5. С. 73-77.

343. Новикова Н.Е. Поздняя некорневая подкормка для оптимизации питания гороха // Материалы Всероссийской научной конференции «Современные аспекты структурно-функциональной биологии растений: от молекул до экосистем». – Орёл: Орловский ГУ, 2017. С. 26-33.

344. Новикова Н.Е. Поздняя некорневая подкормка для оптимизации питания гороха // Материалы конференции «Современные аспекты структурно-функциональной биологии растений: от молекул до экосистем». – Орёл: Орловский ГУ, 2017. С. 26-33.

345. Новикова Н.Е. Физиологическое обоснование листовой подкормки для оптимизации питания зерновых бобовых культур в онтогенезе растений (обзор) // Зернобобовые и крупяные культуры, 2018. №1(25). С. 60-67.

346. Новикова Н.Е. Физиологическое обоснование роли морфотипа растений в формировании урожайности сортов гороха: автореф. дис… докт. с.-х. н. – Орёл, 2002. 46 с.

347. Новикова Н.Е., Лаханов А.П. Потенциальные возможности образования семян и их реализация в продукционном процессе зерновых и зерноукосных сортов гороха // Сельскохозяйственная биология, 1993. №3. С. 57-61.

348. Новицкая Н.В., Барзо И.Т., Горбач Л.Н. Влияние минерального азота на эффективность симбиотической азотфиксации и урожайность бобовых культур в лесостепи Украины // Вестник АГАУ, 2014. №9 (119). С. 17-21.

349. Нормативы выноса элементов питания сельскохозяйственными культурами. – М.: ЦИНАО, 1991. 66 с.

350. Нормативы для определения вклада биологического азота бобовых культур в баланс азота России. – М.: ВНИИА, 2007. 44 с.

351. Нурлыгаянов Р.Б., Арефин А.Л., Диникеева М.З. [и др.] Озимая вика (*Vicia Villosa Roth.*) – перспективная кормовая культура в Западной Сибири и Поволжье // Материалы форума «Наука, технологии, техника: современные парадигмы и практические разработки». – СПб.: Проф. наука, 2017. С. 1118-1128.

352. Озякова Е.Н., Свинкина Е.В., Огородникова А.С. [и др.] Особенности формирования симбиотического аппарата и урожайность сортообразцового гороха посевного // Россия молодая, 2011. №2. С. 242-245.

353. Окорков В.В., Окоркова Л.А., Фенова О.А. Об удобрении многолетних бобовых и бобово-злаковых трав азотом // Плодородие, 2007. №5. С. 12-13.

354. Орлова О.В., Андронов Е.Е., Воробьев Н.И. [и др.] Состав и функционирование микробного сообщества при разложении соломы злаковых культур в дерново-подзолистой почве // Сельскохозяйственная биология, 2015. Т.50. №3. С. 305-314.

355. Орлова О.В., Кичко А.А., Першина Е.В. [и др.] Сукцессия бактериальных сообществ при разложении соломы овса в двух разных типах почв // Почвоведение, 2020. №11. С. 1383-1392.

356. Орлова О.В., Чирак Е.Л., Воробьев Н.И. [и др.] Таксонометрический состав и организация микробного сообщества дерново-подзолистых почв после внесения соломы зерновых культур и использования препарата Баркон // Сельскохозяйственная биология, 2019. Т.54. №1. С. 47-64.

357. Осмоловская Н.Г., Иванова И.Л. Особенности транспорта и накопления ионов в растениях при нитратном и аммонийном питании бобовых // Физиология и биохимия культурных растений, 1992. Т.24. №5. С. 454-461.

358. Осмоловский В.В. Эффективность применения комплексной инокуляции семян гороха посевного биопрепаратами азотфиксирующих микроорганизмов // Вестник Брянской ГСХА, 2011. №2. С. 35-38.

359. Осокин И.В., Елисеев С.Л., Ренев Е.А. Возделывание вики на семена в смеси с ячменем // Земледелие, 2002. №5. С. 41-42.

360. Павловская Н.Е., Зотиков В.И., Корниенко Н.Н. [и др.] Биохимия зернобобовых и крупяных культур. – Орёл: Изд. ОрелГАУ, 2010. 300 с.

361. Палий Ю.В. Влияние качества зерна, поступающего на мельницу, на выход и показатели муки // Молодой исследователь Дона, 2017. №1 (4). С. 78-81.

362. Панников В.Д., Минеев В.Г. Почва, климат, удобрение и урожай. – М.: Колос, 1977. 416 с.

363. Парахин Н.В., Золотарёв В.Н., Лаханов А.П., Тюрин Ю.С. Вика мохнатая (*Vicia villosa Roth.*) в кормопроизводстве России. – Орел: Изд-во Орел ГАУ, 2010. 508 с.

364. Парахин Н.В., Кузмичева Ю.В., Петрова С.Н. Энергетическая эффективность создания растительно-микробных систем в агроценозах гороха посевного // Земледелие, 2010. №8. С. 28-31

365. Парахин Н.В., Петрова С.Н. Растительно-микробные взаимодействия как фактор энергосбережения в растениеводстве (обзор) // Вестник ОрёлГАУ, 2012. №3 (36). С. 2-7.

366. Парахин Н.В., Петрова С.Н. Сельскохозяйственные аспекты симбиотической азотфиксации. – М.: Колос, 2006. 152 с.

367. Парахин Н.В., Петрова С.Н. Энергосбережение в растениеводстве на основе растительно-микробных взаимодействий // Зернобобовые и крупяные культуры, 2012. №3 (3). С. 18-20.

368. Парахин Н.В., Петрова С.Н., Кузмичева Ю.В. Экологическая устойчивость зернобобовых культур при формировании растительно-микробных систем // Известия НВ АУК, 2012. №4. С. 1-5.

369. Пасынков А.В., Дубовик Д.В., Пасынкова Е.Н. Прогноз содержания сырой клейковины в зерне пшеницы на основе уравнений множественной регрессии // Вестник Курской ГСХА, 2017. №4. С. 21-26.

370. Пасынков А.В., Завалин А.А., Пасынкова Е.Н. [и др.] Взаимосвязи между основными показателями технологических качеств зерна пивоваренного ячменя и продовольственного овса при фракционировании // Российская сельскохозяйственная наука, 2019. №5. С. 11-16.

371. Пасынков А.В., Пасынкова Е.Н. Статистические зависимости основных показателей качества зерновых культур // Агрохимия, 2011. №2. С. 24-40.

372. Пасынкова Е.Н. Азотное питание, урожайность и качество зерна яровой пшеницы в одновидовом и смешанном с викой посевах // Агрохимия, 2009. №2. С. 18-27.

373. Пасынкова Е.Н. Динамика конкурентных отношений в потреблении азота растениями яровой пшеницы и вики, возделываемых в смешанных посевах // Аграрная наука Евро-Северо-Востока, 2010. №2 (17). С. 28-33.

374. Пасынкова Е.Н., Пасынков А.В., Баландина С.А. Формирование урожая и технологических качеств зерна различных сортов овса в зависимости от доз и сроков применения азотных удобрений // Агрохимия, 2008. №4. С. 43-51.

375. Персикова Т.Ф. Продуктивность бобовых культур при локальном внесении удобрений. – Горки, 2002. 326 с.

376. Персикова Т.Ф., Почтовая Н.Л. Эффективность смешанных посевов люпина со злаковыми культурами // Агрохимический вестник, 2010. №1. С. 17-19.

377. Персикова Т.Ф., Цыганов А.Р., Вильдфлуш И.Р. Биологический азот в земледелии Беларуси. – Минск: Бел. изд. товарищество «Хата», 2003. 196 с.

378. Петрова Л.Н. Влияние симбиотической активности на урожай чины, нута и гороха в засушливой зоне Ставропольского края // Зерновое хозяйство, 2006. №6. С. 11-13.

379. Петрухина О.В. Влияние сорта и нормы высева на урожайность зерна горохо-ячменного агрофитоценоза // Сб. статей по материалам Всероссийской научно-практической конференции «Молодежная наука 2015: технологии, инновации». – Пермь: ИПЦ Прокрость, 2015. С. 79-83.

380. Петухов М.П., Панова Е.А., Дудина Н.Х. Агрохимия и система удобрения. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Агропромиздат, 1985. – 351 С.

381. Пигарева Т.И. Рост и фотосинтез инокулированных растений гороха в условиях пониженной температуры почв // Известия СО АН СССР. Сер. Биол., 1990. Вып.1. С. 86-92.

382. Пискунов А.С. Азот почвы и эффективность азотных удобрений на зерновых культурах в Предуралье. – Пермь: Пермский СХИ, 1994. 168 с.

383. Плотников А.М., Иванюшин Е.А. Агрохимия: методические указания для лабораторно-практических занятий. – Лесниково: КГСХА, 2014. 76 с.

384. Плотников А.М., Кабдунова Г.С. Баланс элементов питания и продуктивность зернопарового севооборота при применении минеральных удобрений // Проблемы агрохимии и экологии, 2018. №1. С. 38-41.

385. Политыко П.М., Капранов В.Н., Гармаш Н.Ю. [и др.] Кормовая продуктивность сортов ячменя в технологиях разного уровня интенсивности в условиях Центрального Нечерноземья // Агрохимический вестник, 2021а. №6. С. 13-17.

386. Политыко П.М., Капранов В.Н., Гармаш Н.Ю. [и др.] Урожайность и качество зерна сортов яровой пшеницы в технологиях разного уровня интенсивности // Аграрная Россия, 2021б. №1. С. 3-7.

387. Полякова Н.В., Лавринова М.Г., Володина Е.Н., Кулагина Н.А. Оценка биологической и ферментативной активности аллювиальных осушенных почв в зависимости от генезиса и вида угодий // Агрохимический вестник, 2019. №1. С. 16-19.

388. Полякова Н.В., Лавринова М.Г., Кулагина Н.А., Володина Е.Н. Численность и состав основных групп микроорганизмов в аллювиальных осушенных почвах в зависимости от вида угодий, применения удобрений и биопрепаратов // АгроЭкоИнфо, 2021. №5 (47). С. 1-15.

389. Пономарева С.В. Продуктивность и качество смешанных посевов зернофуражных и зернобобовых культур // Аграрная наука Евро-Северо-Востока, 2006. №8. С. 110-112.

390. Пономарева С.В., Селехов В.В. Влияние погодных условий на урожай и качество сортов гороха // Аграрная наука Евро-Северо-Востока, 2017. №1 (56). С. 20-27.

391. Посевная компания 2020/21 в РФ на 25.11.2020 [Электронный ресурс], URL: http://zerno.ru/ (дата обращения: 05.12.2021).

392. Постовалов А.А. Влияние минеральных удобрений на фитосанитарное состояние ризосферы гороха // Вестник Курганской ГСХА, 2018. №1 (25). С. 45-47.

393. Посыпанов Г.С. Кобозева Т.П., Тазин И.И. [и др.] Современные методы определения количества фиксированного азота воздуха в полевых условиях // Известия ТСХА, 2006. Вып.2. С. 129-134.

394. Посыпанов Г.С. Методы изучения биологической фиксации азота воздуха. М.: Агропромиздат, 1991. 300 с.

395. Правила организации и ведения технологического процесса на крупяных предприятиях. Часть 2. Приказ Минхлебопродуктов СССР. – М.: ВНПО «Зернопродукт», 1990. 56 с.

396. Проворов Н.А. Адаптивная макроэволюция бобово-ризобиального симбиоза // Сельскохозяйственная биология, 2015. №3. С. 323-331.

397. Проворов Н.А. Соотношение симбиотрофного и автотрофного питания азотом у бобовых растений: генетико-селекционные аспекты // Физиология растений, 1996. Т.43. №1. С. 127-135.

398. Проворов Н.А., Андронов Е.Е., Кимеклис А.К. [и др.] Эволюционная география клубеньковых бактерий: видообразование, направляемое растениями-хозяевами // Микробиология, 2020. Т.89. №1. С. 3-16.

399. Проворов Н.А., Воробьев Н.И. Адаптивная и прогрессивная эволюция растительно-микробного симбиоза // Экологическая генетика, 2013. Т.11. №1. С. 12-22.

400. Проворов Н.А., Воробьев Н.И. Роль горизонтального переноса генов в эволюции клубеньковых бактерий, направляемой растением-хозяином // Успехи современной биологии, 2010. Т.130. №4. С. 336-345.

401. Проворов Н.А., Кругова Е.Д., Белозерова О.И. [и др.] Проявление симбиотической активности в присутствии минерального азота у высокоэффективных штаммов *Rhizobium meliloti*, полученных с помощью генетических методов // Физиология и биохимия культурных растений, 1994. Т.26. №3. С. 268.

402. Проворов Н.А., Онищук О.П. Эколого-генетические основы конструирования высокоэффективных азотфиксирующих микробно-растительных симбиозов // Экологическая генетика, 2019. Т.17. №1. С. 11-18.

403. Проворов Н.А., Симаров Б.В. Генетический полиморфизм бобовых культур по способности к симбиозу с клубеньковыми бактериями // Генетика, 1992. Т.28. №6. С. 5-14.

404. Проворов Н.А., Тихонович И.А. Генетические основы эволюции бактерий-симбионтов растений. – СПб.: Информ-Навигатор, 2016. 240 с.

405. Пронин В.В., Фисенко С.П. Ветеринарно-санитарная экспертиза с основами технологии и стандартизации продуктов животноводства. – СПб.: Лань, 2012. 240 с.

406. Прудников С.В. Эффективность симбиоза с клубеньковыми бактериями у новых сортов вики посевной // Кормопроизводство, 2011. №10. С. 23-24.

407. Прянишников Д.Н. Азот в жизни растений и в земледелии СССР. – М.: Издательство Академии Наук СССР, 1945. 495 с.

408. Прянишников Д.Н. Избранные сочинения: в 3 томах. – М.: Колос, 1965. Т.1: Агрохимия, 767 с.; Т.2: Частное земледелие: растения полевой культуры, 708 с.; Т.3: Общие вопросы земледелия и химизации, 639 с.

409. Пухальская Н.В. Физиология подкормок углекислым газом // Гавриш, 2000. №4. С. 21-23.

410. Пухальский Я.В., Шапошников А.И., Белимов А.А. Характеристика состава корневых экссудатов высокопродуктивного сорта гороха Софья // Национальная ассоциация ученых, 2016. №17-1 (17). С. 141-144.

411. Ратнер Е.И., Ухина С.Ф. Метаболизм корней в связи поглощением и усвоением растениями аминокислот // Изв. АН СССР. Сер. биол., 1961. №6. С. 865-874.

412. Рахимова О.В., Храмой В.К. Влияние уровней минерального питания на продуктивность гороха полевого // Аграрная наука, 2010. №2. С. 11-12.

413. Рахтиенко И.Н. Экспериментальные исследования взаимоотношений растений в фитоценозах // Сб. тр. «Эколого-физиологические основы взаимодействия». – Минск: Наука и техника, 1976. С. 5-22.

414. Региональные нормативы окупаемости минеральных удобрений прибавкой урожая зерновых культур. – М.: ВНИИА, 2016. 96 с.

415. Рекомендации для исследования баланса и трансформации органического вещества при сельскохозяйственном использовании и интенсивном окультуривании почв. – М.: Почвенный институт им В.В. Докучаева, 1984. 96 с.

416. Рекомендации по проектированию интегрированного применения средств химизации в ресурсосберегающих технологиях адаптивно-ландшафтного земледелия: инструктивно-методическое издание. – М.: ФГНУ «Росинформагротех», 2010. 464 с.

417. Ренёв Е.А., Биянова О.В. Урожайность гороха Агроинтел и Вельвет в смесях с ячменем при различных нормах высева компонентов // Сб. статей «Агротехнологии XXI века». – Пермь: Пермский ГАТУ, 2017. С. 58-61.

418. Ренева Ю.А., Ренев Е.А., Елисеев С.Л. Продуктивность и качество зерна горохо-ячменной смеси в Предуралье // Пермский аграрный вестник, 2013. №3 (3). С. 16-19.

419. Ржанова Е.И., Ахундова В.А., Шалыганова О.Н. Особенности физиологических процессов зернобобовых растений // Физиология сельскохозяйственных растений. – М.: Изд-во МГУ, 1970. Т.6. С. 98-215.

420. Ригер А.Н., Горковенко Л.Г., Бедило Н.А. Новые возможности гарантированного получения высококачественных объемистых кормов с урожайностью 70-80 центнеров кормовых единиц с гектара неорошаемой пашни // Сельскохозяйственный журнал, 2016. №9. С. 575-577.

421. Ригер А.Н., Горковенко Л.Г., Бедило Н.А. Пути достижения стабильности в получении качественного сырья для производства объемистых кормов // Сборник научных трудов СКНИИЖ, 2017. №2. С. 132-137.

422. Романенко Г.А., Тютюнников А.И. Агробиологические основы возделывания однолетних растений на корм. – М.: РАСХН, 1999. 500 с.

423. Романенков В.А., Сиротенко О.Д., Рухович Д.И. [и др.] Прогноз динамики запасов органического углерода пахотных земель Европейской территории России. – М.: ВНИИА, 2009. 96 с.

424. Романов А.П., Романова И.Н. Озимая вика Рябинушка // Селекция и семеноводство, 1985. №6. С. 25-26.

425. Романов В.И. Взаимосвязь процессов азотофиксации и фотосинтеза в бобовом растении // Биологическая фиксация молекулярного азота. – Киев: Наукова думка, 1985. С. 147-154.

426. Романова Ю.М., Гинцбург А.Л. Бактериальная биоплёнка как естественная форма существования бактерий в окружающей среде и организме хозяина // Микробиология, 2011. №3. С. 99-109.

427. Романовская А.А. Основы мониторинга антропогенных эмиссий и стоков парниковых газов (CO_2, N_2O, CH_4) в животноводстве, при сельскохозяйственном землепользовании и изменении землепользования в России: автореф. дис. … докт. биол. наук. – М., 2008. 40 с.

428. Романовская А.А., Нахутин А.И., Гинзбург В.А. [и др.] Национальный доклад о кадастре антропогенных выбросов из источников и абсорбции поглотителями парниковых газов не регулируемых Монреальским протоколом за 1990-2019 гг. – М.: Росгидромет, ФГБУ «ИГКЭ», 2021. 459 с.

429. Русакова И.В. Биологические свойства дерново-подзолистой супесчаной почвы при длительном использовании соломы на удобрение // Почвоведение, 2013. №12. С. 1485-1493.

430. Русакова И.В. Биопрепараты для разложения растительных остатков в агроэкосистемах // Juvenis scientia, 2018. №9. С. 4-9.

431. Русакова И.В. Микробиологические и экофизиологические параметры дерново-подзолистой почвы при длительном применении соломы и минеральных удобрений, их связь с урожайностью // Сельскохозяйственная биология, 2020. Т. 55. №1. С. 153-162.

432. Русакова И.В. Эффективность микробных деструкторов послеуборочных остатков в лабораторных и полевых экспериментах // Владимирский земледелец, 2021. №2 (96). С. 34-40.

433. Руцкая В.И., Сорокин А.Е., Исаева Е.И. Усиление биологического фактора в смешанных ценозах посредством использования люпина // 2019. №3. С. 48-54.

434. Рыбникова В.А. Вика в экстремальных условиях // Плодоводство и ягодоводство России, 2010. №23 (1). С. 249-254.

435. Савельев В.А. Горох: монография. – Саратов: Вузовское образование, 2018. 231 с.

436. Садыков Б.Ф. Эколого-социальные аспекты использования биологического азота в агроценозах // Сборник науч. тр. «Пограничные проблемы экологии». – Свердловск: УНЦ АН СССР, 1986. С. 76-83.

437. Салова Л.А. Продуктивность люпино-ячменных смесей и качество получаемого зернофуража в зависимости от соотношения компонентов и дозы минерального азота // Аграрная наука Евро-Северо-Востока, 2013. №5 (36). С. 23-29.

438. Самофалова И.А., Мудрых Н.М. Агроэкологическая оценка органического вещества в дерново-подзолистых почвах Пермского края (монография). – Пермь: Прокростъ, 2015. 152 с.

439. Сельское хозяйство в России. 2021: Статистический сборник – М.: Росстат, 2021. 100 с.

440. Семенов В.М. Слагаемые эффективности азотных удобрений в системе почва – растение и критерии их количественной оценки // Агрохимия, 1999. №5. С. 25-32.

441. Семенов В.М. Современные проблемы и перспективы агрохимии азота // Проблемы агрохимии и экологии, 2008. №1. С. 55-63.

442. Семенов В.М. Функции углерода в минерализационно-иммобилизационном обороте азота в почве // Агрохимия, 2020. №6. С. 78-96.

443. Семенов В.М., Иванникова Л.А., Кузнецова Т.В., Семенова Н.А. Роль растительной биомассы в формировании активного пула органического вещества почвы // Почвоведение, 2004. №11. С. 1350-1359.

444. Семенов В.М., Когут Б.М. Почвенное органическое вещество. – М.: ГЕОС, 2015. 233 с.

445. Семенов В.М., Кузнецова Т.В., Иванникова Л.А. [и др.] Участие растительной биомассы в формировании активной фазы почвенного азота // Агрохимия, 2001. №7. С. 5-12.

446. Семенов В.М., Кузнецова Т.В., Кудеяров В.Н. Иммобилизационно-иммобилизационные превращения азота в серой лесной почве // Почвоведение, 1995. №4. С. 472-479.

447. Семенов В.М., Кузнецова Т.В., Ходжаева А.К., [и др.] Почвенная эмиссия закиси азота: влияние природных и агрогенных факторов // Агрохимия, 2004. №1. С. 30-39.

448. Семенов В.М., Мергель А.А. Мобилизующее действие очага азотных удобрений на азотсодержащие соединения почвы // Почвоведение, 1989. №4. С. 46-54.

449. Семенов В.М., Семенов А.М., Ван Бругген А.Х. [и др.] Трансформация азота почвы и растительных остатков сообществом микроорганизмов и микроскопических животных // Агрохимия, 2002. №1. С. 5-11.

450. Семенов В.М., Тулина А.С. Сравнительная характеристика минерализуемого пула органического вещества в почвах природных и сельскохозяйственных экосистем // Агрохимия, 2011. №12. С. 53-63.

451. Серая Т.М., Богатырева Е.Н., Бирюкова О.М., Мезенцева Е.Г. Высвобождение элементов питания при заделке соломы в дерново-подзолистые почвы в зависимости от ее видового состава и удобрения азотом // Агрохимия, 2013. №3. С. 52-59.

452. Сергеев В.С. Влияние растительных остатков на показатели почвенного плодородия // Вестник Алтайского государственного аграрного университета, 2010. №9. С. 28-34.

453. Серегин М.В. Влияние нормы высева и видового состава агрофитоценоза на урожайность и качество семян вики озимой // Пермский аграрный вестник, 2016. №3 (15). С. 69-75.

454. Серегин М.В. Рост и развитие компонентов агрофитоценоза с викой озимой при возделывании на семена // E-Scio, 2019. №5 (32).

455. Сидорова К.К., Гончарова А.В. Селекция кормового гороха на повышение азотфиксации с использованием симбиотических мутантов // Сельскохозяйственная биология, 2012. №1. С. 105-109.

456. Сидорова К.К., Шумный В.К., Власова Е.Ю. [и др.] Симбиогенетика и селекция макросимбионта на повышение азотфиксации на примере гороха (*Pisum sativum L.*) // Информационный вестник ВОГиС, 2010. Т.14. №2. С. 357-374.

457. Силина О.А., Чухина О.В., Дурягина С.Н., Карандеева П.С. Продуктивность культур и балансовые коэффициенты использования элементов питания в севообороте // Плодородие, 2017. №4 (97). С. 12-15.

458. Скамарохова А.С. Оценка воздушно-сухой массы вико-злаковых травосмесей по оптимальности в соотношении нейтрально-детергентной (НДК/ NDF) и кислотно-детергентной клетчатки (КДК/ ADF) // Международный научно-исследовательский журнал, 2020. №12-1 (102). С. 177-181.

459. Скамарохова А.С. Урожайность озимой вики в условиях Краснодарского края и её использование в качестве молокогонного корма // Сб. науч. тр. Краснодарского научного центра по зоотехнии и ветеринарии, 2018. Т.7. С. 119-123.

460. Скамарохова А.С., Юрина Н.А., Бедило Н.А., Кравченко Р.В. Продуктивность озимых вико-пшеничных травосмесей в зависимости от сорта и вносимых минеральных удобрений // Сборник научных трудов СКНИИЖ, 2020. №2. С. 135-140.

461. Соколов М.С., Марченко А.И. Экологический мониторинг здоровья почвы в системе "ОВОС" (методология выбора критериев оценки) // Агрохимия, 2013. №3. С. 3-18.

462. Соколов О.А., Семенов В.М., Силкина Н.П., Щербаков А.П. Поведение азота в очаге при локализации азотных удобрений // Почвоведение, 1983. №12. С. 25-35.

463. Солодун В.И., Усова Н.А., Сметанина О.В. Влияние предшественников и доз минеральных удобрений на урожайность пшеницы в условиях лесостепи Предбайкалья // Достижения науки и техники АПК, 2011. №12. С. 16-17.

464. Султанов Ф.С., Красношапко В.В., Габдрахимов О.Б., Волкобрун Е.В. Смешанные посевы гороха полевого с зернофуражными культурами в условиях Прибайкалья // Достижения науки и техники АПК, 2011. №12. С. 41-43.

465. Сушко С.В., Ананьева Н.Д., Иващенко К.В., Кудеяров В.Н. Эмиссия CO_2, микробная биомасса и базальное дыхание чернозема при различном землепользовании // Почвоведение, 2019. №9. С. 1081-1091.

466. Сычев В.Г., Соколов О.А., Завалин А.А., Шмырева Н.Я. Роль азота в интенсификации продукционного процесса сельскохозяйственных культур. Экологические аспекты азота в продукционном процессе. – М.: ВНИИА, 2012. Т.2. 272 с.

467. Сычев В.Г., Шафран С.А. О балансе питательных веществ в земледелии России // Плодородие, 2017. №1. С. 1-4.

468. Сычев В.Г. Современное состояние плодородия почв и основные аспекты его регулирования. – М.: РАН, 2019. 328 с.

469. Сычев В.Г., Шафран С.А., Духанина Т.М. Научные основы и методика определения доз питательных веществ и прогнозирование экономической эффективности применения минеральных удобрений. – М.: ВНИИА им. Д.Н. Прянишникова, 2020. 152 с.

470. Тах И.П., Агиров А.Х. Ферментативная активность различных типов почв лесостепного пояса в условиях западного Кавказа // Новые технологии, 2009. №4. С. 1-7.

471. Телекало Н.В. Влияние инокуляции и внекорневых подкормок на урожайность сортов гороха // Зернобобовые и крупяные культуры, 2014. №1 (9). С. 16-22.

472. Теппер Е.З. Практикум по микробиологии / Е.З. Теппер, В.К. Шильникова, Г.И. Переверзева. – М.: Дрофа, 2004. 256 с.

473. Терехов А.Н., Гусманов Р.У. Методика определения потребности в высокобелковом зерне на кормовые цели // Зерновое хозяйство, 2004. №4. С. 13-14.

474. Титляева А.А. Лабильное органическое вещество в пахотных почвах // Почва – ресурс экологической и продовольственной безопасности. – Новосибирск, 2016. С. 36-43.

475. Титова В.И. Агрохимия – 2021. – Н. Новгород: Нижегородская ГСХА, 2021. 208 с.

476. Титова В.И., Дабахова Е.В., Дабахов М.В. Агро- и биохимические методы исследования состояния экосистем. – Н. Новгород: Изд-во ВВАГС, 2011. 170 с.

477. Титова В.И., Козлов А.В. Методы оценки функционирования микробоценоза почвы, участвующего в трансформации органического вещества: научно методическое пособие // Нижний Новгород: Нижегородская с.-х. академия, 2012. С. 60-64.

478. Титова В.И., Малышева М.К. Влияние жидкого комплексного удобрения «ЖКУ 11-37-0» на продуктивность гороха посевного в условиях вегетационного опыта // Пермский аграрный вестник, 2017. №1 (17) С. 49-54.

479. Тихонович И.А., Борисов А.Ю., Васильчиков А.Г. [и др.] Специфичность микробиологических препаратов для бобовых культур и особенности их производства // Зернобобовые и крупяные культуры, 2012. №3 (3). С. 11-17.

480. Тихонович И.А., Завалин А.А. Перспективы использования азотфиксирующих и фитостимулирующих микроорганизмов для повышения эффективности агропромышленного комплекса и улучшения агроэкологической ситуации в РФ // Плодородие, 2016. №5. С. 28-32.

481. Тихонович И.А., Завалин А.А., Благовещенская Г.Г., Кожемяков А.П. Использование биопрепаратов – дополнительный источник элементов питания растений // Плодородие, 2011. №3 (60). С. 9-13.

482. Тихонович И.А., Кожемяков А.П., Чеботарь В.К. [и др.] Биопрепараты в сельском хозяйстве (Методология и практика применения микроорганизмов в растениеводстве и кормопроизводстве). – М.: Россельхозакадемия, 2005. 154 с.

483. Тихонович И.А., Круглов Ю.В. Микробиологические аспекты плодородия почвы и проблемы устойчивого земледелия // Плодородие, 2006. №5 (32). С. 9-12.

484. Тихонович И.А., Проворов Н.А. Сельскохозяйственная микробиология как основа экологически устойчивого агропроизводства: фундаментальные и прикладные аспекты // Сельскохозяйственная биология, 2011. №3. С. 3-9.

485. Тихонович И.А., Проворов Н.А. Симбиогенетика микробно-растительных взаимодействий // Экологическая генетика, 2003. Т.1. №1. С. 36-46.

486. Тихонович И.А., Романов В.И., Алисова С.М. Азотфиксация и фотоассимиляты в клубеньках хлорофильных мутантов гороха // Генетика, 1985. №21. С. 1021-1025.

487. Толстова Е.Г. Исследование клейковины пшеничной муки высшего сорта разных торговых марок // Вестник АГАУ, 2016. №1 (135). С. 147-152.

488. Трепачев Е.П. Агрохимические аспекты биологического азота в современном земледелии. – М.: Агроконсалт, 1999. 532 с.

489. Трофимов И.Т., Толстов М.В., Быстров А.В. [и др.] Вика мохнатая – ценная кормовая культура для кислых и щелочных почв // Вестник Алтайского ГАУ, 2010. №8 (70). С. 9-12.

490. Труфанов В.А. Клейковина пшеницы: проблемы качества. – Новосибирск: ВО «Наука», 1994. 167 с.

491. Туев Н.А. Микробиологические процессы гумусообразования. – М.: Агропромиздат, 1989. 237 с.

492. Тунгусков В.Я. Доклад исполнительного директора союза птицеводов Пермского края о состоянии отрасли. – Пермь: Пермская ГСХА, 2017.

493. Тураева О.М., Жирных С.С. Влияние сроков посева на урожайность сортов озимой пшеницы // Вестник Марийского государственного университета. Серия «Сельскохозяйственные науки. Экономические науки». 2015. №2. С. 59-62.

494. Тютюнов С.И., Соловиченко В.Д., Логвинов И.В. Плодосменный севооборот – основной фактор сохранения и повышения плодородия почвы в Белгородской области // Земледелие, 2014. №2. С. 11-14.

495. Умаров М.М., Кураков А.В., Степанов А.Л. Микробиологическая трансформация азота в почве. – М.: ГЕОС, 2007. 138 с.

496. Фалалеева А.Л., Алёшин М.А. Продуктивность одновидовых и смешанных посевов озимого тритикале и озимой вики в зависимости от доз азотной подкормки в условиях Предуралья // Матери-

алы науч.-практ. конф. «Молодежная наука 2016: технологии, инновации». – Пермь: Изд-во ИПЦ «Прокрость», 2016. С. 251-256.

497. Фарниев А.Т., Посыпанов Г.С. Биологическая фиксация азота воздуха, урожайность и белковая продуктивность бобовых культур в Алании – Владикавказ: Иристон, 1997. 210 с.

498. Федорец Н.Г. Методика исследования почв урбанизированных территорий. – Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2009. 84 с.

499. Федорова Е.Н., Черепнина С.С., Морозов А.С. Влияние различных уровней минерального питания на азотфиксирующую систему клевера красного // Тр. ВСХИЗО. – М., 1983. 157с.

500. Фигурин В.А. Выращивание озимой ржи в смеси с озимой викой на корм // Достижения науки и техники АПК, 2012. №6. С. 59-61.

501. Фомина Н.Ю. Применение регуляторов роста, биопрепаратов, микроудобрений и фунгицидов на горохе посевном в южной лесостепи Зауралья // Аграрный вестник Урала, 2009. №3. С. 61-63.

502. Фомичёв Е.Е., Козлова С.Е., Угай Т.Г. Влияние ризоторфина, возрастающих доз азотных удобрений и их совместного действия на продуктивность бобовых растений // Вестник ТГПУ, 2003. №4 (36). С. 109-112.

503. Хазиахметов Ф.С. Рациональное кормление животных. – СПб.: Издательство «Лань», 2011. 368 с.

504. Хазиев Ф.Х. Методы почвенной энзимологии. – М.: Наука, 2005. 252 с.

505. Хазиев Ф.Х., Гулько А.Е. Ферментативная активность почв агроценозов и перспективы ее изучения // Почвоведение, 1991. №8. С. 88-103.

506. Хакимова Л.Р., Сербаева Э.Р., Лавина А.М. [и др.] Ростостимулирующая активность клубеньковых бактерий *Rhizobium leguminosarum*, выделенных из бобовых растений Южного Урала // Вестник Оренбургского государственного университета, 2017. №9 (209). С. 96-99.

507. Хализова З.Н., Зыков С.А. Состояние и перспективы развития отрасли кормопроизводства в России // Эффективное животноводство, 2019. №3 (151). С. 14-18.

508. Хамидуллин М.М. Озимая вика как источник полноценных зеленых кормов в системе зелёного конвейера // Вестник Башкирского государственного аграрного университета, 2005. №5. С. 6-7.

509. Хамидуллин М.М., Надежкин С.Н., Нурлыгаянов Р.Б. [и др.] Технология возделывания озимой вики в Республике Башкортостан (рекомендации). – Уфа: БГАУ, 2006. 28 с.

510. Хамоков Х.А. Влияние влагообеспеченности почвы на показатели фотосинтетической и симбиотической деятельности посевов гороха // Зерновое хозяйство, 2002. №5. С. 21-22.

511. Хамоков Х.А. Влияние влагообеспеченности почвы на симбиотическую и фотосинтетическую деятельность гороха и вики // Зерновое хозяйство, 2004. №4. С. 24-25.

512. Хамоков Х.А. Показатели структуры урожая и урожайность зернобобовых культур в зависимости от вносимых доз азотных удобрений и проведения инокуляции семян // Известия Оренбургского ГАУ, 2017. №3 (65). С. 35-37.

513. Хамоков Х.А. Фотосинтетическая деятельность и продуктивность сои в условиях недостаточного увлажнения // Зерновое хозяйство, 2005. №2. С. 17-18.

514. Хелдт Г.-В. Биохимия растений. – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2014. 471 с.

515. Ходжаева А.К. Разложение растительной и микробной биомассы и трансформация азота в серой лесной почве: автореф. дис. … канд. биол. наук. – М., 2006. 19 с.

516. Царева М.В. Влияние условий питания на азотфиксирующую способность люпина в чистых и смешанных посевах // Агрохимический вестник, 2008. №1. С 27-30.

517. Цвирков В.В., Босак В.Н. Кормовая продуктивность и качество горохо-ячменной смеси в зависимости от применения удобрений на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве // Почвоведение и агрохимия, 2009. №1 (42). С. 128-134.

518. Целуйко О.А., Медведева В.И. Зависимость массы 1000 зёрен сельскохозяйственных культур от удобрений // Известия ОГАУ, 2015. №3 (53). С. 58-60.

519. Церлинг В.В. Диагностика питания сельскохозяйственных культур: справочник. – М.: Агропромиздат, 1990. 235 с.

520. Цыбулько Н.Н., Киселева Д.В., Жукова И.И. Использование зерновыми культурами азота почвы и удобрений // Вес. Нац. акад. навук Беларусі. Сер. аграр. навук, 2008. №2. С. 36-41.

521. Цыбулько Н.Н., Пунченко С.С., Жукова И.И. Потребление растениями и баланс азота на дерново-подзолистых почвах разной эродированности при возделывании ярового рапса // Весці БДПУ. Серыя 3, 2017. №3. С. 5-15.

522. Цыганова А.В., Цыганов В.Е., Борисов А.Ю. [и др.] Сравнительный цитохимический анализ распределения перекиси водорода у не эффективного мутанта гороха SGEFix 1 (sym40) и исходной линии SGE // Экологическая генетика, 2009. Т.7. №3. С. 3-9.

523. Чевердин Ю.И., Титова Т.В., Беспалов В.А. [и др.] Взаимосвязь микробиологических параметров и физических свойств чернозёмов сегрегационных // Живые и биокосные системы, 2017. №21. С. 2.

524. Чекмарев П.А., Лукин С.В. Итоги реализации программы биологизации земледелия в Белгородской области // Земледелие, 2014. №8. С. 3-6.

525. Черепков Н.И. Об усвоении растениями азота из различных источников // Агрохимия, 1969. №2. С. 11-17.

526. Черепухина И.В., Безлер Н.В., Громовик А.И. Биологическая активность чернозема выщелоченного при использовании соломы зерновых культур в качестве удобрения // Сборник научных трудов Государственного Никитского ботанического сада, 2019. Т.148. С. 117-123.

527. Черепухина И.В., Безлер Н.В., Чистотин М.В., Хатунцева Ю.Ю. Зависимость содержания доступных форм азота в почве от скорости разложения соломы зерновых культур // Плодородие, 2019. №5. С. 37-41.

528. Чибис В.В., Чибис С.П. Формирование качества зерна полевых культур в зависимости от предшественника при возделывании в условиях лесостепи Западной Сибири // Вестник КрасГАУ, 2016. №3. С. 74-80.

529. Чирак Е.Л., Орлова О.В., Аксенова Т.С. [и др.]. Динамика микробного сообщества типичного чернозема при биодеградации целлюлозы и соломы ячменя // Сельскохозяйственная биология, 2017. Т.52. №3. С. 588-596.

530. Чупрова В.В. Поступление и разложение растительных остатков в агроценозах Средней Сибири // Почвоведение, 2001. №2. С. 204-213.

531. Чухина О.В., Жуков Ю.П. Продуктивность культур в севообороте при применении различных доз удобрений //АГРО XXI, 2014. №1-3. С. 39-41.

532. Чухина О.В., Жуков Ю.П. Продуктивность культур и изменение агрохимических показателей дерново-подзолистой почвы в севообороте при применении различных доз удобрений // Агрохимия, 2015. №5. С. 20-28.

533. Чухина О.В., Суров В.В. Влияние удобрений и микропрепаратов на урожайность и вынос элементов питания культурами звена полевого севооборота // Плодородие, 2014. №3 (78). С. 18-22.

534. Чухлебова Н.С., Донец И.А. Влияние удобрений на урожайность зелёной массы в одновидовых и смешанных посевах озимых кормовых культур // Материалы науч. экол. конф. «Совмещенные посевы полевых культур в севообороте агроландшафта». – Краснодар: КубГАУ, 2016. С. 138-141.

535. Шабаев В.П. Роль биологического азота в системе «почва–растение» при внесении ризосферных микроорганизмов: автореф. дис. … д-ра биол. наук. – Пущино, 2004. 37 с.

536. Шапошников А.И., Белимов А.А., Кравченко Л.В., Виванко Д.М. Взаимодействие ризосферных бактерий с растениями: механизмы образования и факторы эффективности ассоциативных симбиозов // Сельскохозяйственная биология, 2011. №3. С. 16-22.

537. Шарков И.Н. Концепция воспроизводства гумуса в почвах // Агрохимия, 2011. № 12. С. 21-27.

538. Шарков И.Н., Данилова А.А. Влияние агротехнических приемов на изменение содержания гумуса в пахотных почвах // Агрохимия, 2010. №12. С. 72-81.

539. Шарушов Р., Дозоров А., Наумов А., Гаранин М. Влияние различных по интенсивности приемов основной обработки почвы на агрофизические показатели плодородия, симбиотическую деятельность и формирование урожая семян гороха и сои // Международный сельскохозяйственный журнал, 2017. №4. С. 45-47.

540. Шафран С.А. Проблема азота в земледелии России и её решение // Сборник статей «Плодородие почв России: состояние и возможности». – Москва: ВНИИА имени Д.Н. Прянишникова, 2019. С. 32-39.

541. Швакова Э.В. Изменение активности уреазы при повышенных содержаниях тяжелых металлов (Pb, Zn, Cu) в почве // Arctic Environmental Research, 2013. №2. С. 61-66.

542. Швецов Н.Н., Зуев Н.П., Наумов М.М. [и др.] Химический состав и питательность зерна пшеницы, ячменя и кукурузы в зависимости от способов подготовки их к скармливанию // Вестник АГАУ, 2015. №12 (134). С. 101-106.

543. Шелепина Н.В. Использование продуктов переработки зерна гороха в пищевых технологиях // Известия ВУЗов. Прикладная химия и биотехнология, 2016. №4. С. 110-118.

544. Шелепина Н.В. Качества зерна сортов гороха современной селекции // Вестник КрасГАУ, 2009. №4 (31). С. 213-216.

545. Шелепина Н.В. Научно-практическое обоснование эффективных способов переработки зерна современных сортов и форм гороха: автореф дисс. доктора с.-х. наук – Орел, 2014. 40 с.

546. Шелепина Н.В. Оценка зерна современных морфотипов гороха как сырья для промышленной переработки. – Орел: Орл. гос. инт-т экон. и торг., 2007. 44 с.

547. Шелепина Н.В. Перспективы использования первого российского высокоамилозного сорта зернового гороха Амиор // Новые и нетрадиционные растения и перспективы их использования, 2016. №12. С. 80-83.

548. Шелепина Н.В. Потенциал гороха в расширении ресурсной базы перерабатывающей промышленности // Инновационные технологии в товароведении и пищевой инженерии. – СПб.: ИНФОДА, 2007. С. 129-143.

549. Шелепина Н.В., Полынкова Н.Э., Паршутина И.Г. Исследование химического состава и безопасности оболочек зерна современных сортов гороха // Вестник КрасГАУ, 2013. №8. С. 90-93.

550. Шелепина Н.В., Щуров А.Ю. Народнохозяйственное значение и особенности химического состава зерна гороха // Научные Записки ОрелГИЭТ, 2010. № 1. С. 537-539.

551. Шеуджен А.Х., Куркаев В.Т., Котляров Н.С. Агрохимия: учебное пособие / под ред. А.Х. Шеуджена. – Майкоп: Изд-во «Афиша», 2006. 1075 с.

552. Шильникова В.К. Влияние минеральных азотсодержащих соединений на клубеньковые бактерии в условиях симбиоза // Известия ТСХА, 1972. Вып.2. С. 75-79.

553. Широких И.Г., Косолапова А.И., Широких А.А., Завьялова Н.Е. Микробная трансформация органического вещества дерново-подзолистой почвы Предуралья при различном использовании и внесении минеральных удобрений // Теоретическая и прикладная экология, 2019. №1. С. 102-110.

554. Шкляев В.А., Ермакова Л.Н., Шкляева Л.С. Особенности долговременных изменений характеристик вегетационных периодов в Пермском крае // Географический вестник, 2012. №2 (21). С. 68-73.

555. Шкляев В.А., Шкляева Л.С. Климатические ресурсы Уральского Прикамья // Географический вестник, 2006. №2. С. 76-89.

556. Шкотова О.Н. Эффективность приемов технологии возделывания ячменя, люпина, гороха и сои в смешанных агроценозах в условиях серых лесных почв юго-запада России // Вестник Брянской ГСХА, 2015. №5. С. 39-43.

557. Шмырева Н.Я., Соколов О.А., Завалин А.А. Особенности ассимиляции микроорганизмами азота фитомассы многолетних трав в почве разной степени эродированности // Доклады Россельхозакадемии, 2014. №3. С. 35-38.

558. Шотт П.Р. Биологическая фиксация азота в однолетних агроценозах лесостепной зоны Западной Сибири: автореф. дис. … д-ра с.-х. наук. – Барнаул, 2007. 38 с.

559. Шотт П.Р. Фиксация атмосферного азота в однолетних агроценозах. – Барнаул: Азбука, 2007. 170 с.

560. Шпаков А.С. Основные направления увеличения производства кормового белка в России // Кормопроизводство, 2001. №3. С. 6-7.

561. Шпаков А.С., Брансникова Т.С. Продуктивность и качество зернофуража основных зерновых культур на дерново-подзолистой почве // Кормопроизводство, 2011. №10. С. 15-16.

562. Штарк О.Ю., Борисов А.Ю., Жуков В.А. [и др.] Многокомпонентный симбиоз бобовых с полезными почвенными микроорганизмами: генетическое и эволюционное обоснование использования в адаптивном растениеводстве // Экологическая генетика, 2011. Т.9. №2. С. 80-94.

563. Штарк О.Ю., Данилова Т.Н., Наумкина Т.С. [и др.] Анализ исходного материала гороха посевного (*Pisum sativum L.*) для селекции сортов с высоким симбиотическим потенциалом и выбор параметров для его оценки // Экологическая генетика, 2006. Т.4. №2. С. 22-28.

564. Шульц Э., Кершенс М. Характеристика разлагаемой части органического вещества почв и ее трансформации при помощи экстракции горячей водой // Почвоведение, 1998. №7. С. 890-894.

565. Шумный В.К., Сидорова К.К. Биологическая фиксация азота. – Новосибирск: Наука. Сиб. отделение, 1991. 270 с.

566. Шумный В.К., Сидорова К.К., Клевенская И.Л. [и др.] Биологическая фиксация азота. – Новосибирск: Наука, 1991. С. 87-95.

567. Щапова Л.Н. Микробная сукцессия при трансформации органического вещества // Почвоведение, 2004. № 8. С. 967-975.

568. Щедрин В., Мирзаалиева Н. Урожайность – свыше 50 ц/га, рентабельность – 240%. Опыт возделывания гороха в ООО «Дубовицкое» // Селекция, семеноводство и генетика, 2016. №2. С. 40-41.

569. Щербаков А.В., Заплаткин А.Н., Чеботарь В.К. Эндофитные бактерии, населяющие семена пшеницы, перспективные продуценты микробных препаратов для сельского хозяйства // Достижения науки и техники АПК, 2013. №7. С. 35-38.

570. Щербакова Т.А. Почвенные ферменты, их выделение, свойства и связи с компонентами почвы // Почвоведение, 1980. №5. С. 85-92.

571. Щербакова Т.А. Ферментативная активность почв и трансформация органического вещества. – Минск: Наука и техника, 1983. 222 с.

572. Эдельгериев Р.С-Х. Презентация к докладу в рамках пленарной секции «Август. Климат и экология» // Конгресс молодых учёных 2021. – Сочи, 8-10 декабря 2021.

573. Янишевский Ф.В., Королева Т.А., Серегин В.В. Модификация метода Тюрина для определения содержания углерода в растительном материале // Агрохимия, 2000. №3. С. 78-80.

574. Яценко С.Я., Исаев А.П. Зернобобовые культуры в кормовых смесях // Кормопроизводство, 1999. № 2. С. 22-25.

575. Abagandura G.O, Sekaran U., Singh S. [et al.] Intercropping kura clover with prairie cordgrass mitigates soil greenhouse gas fluxes // Scientific Reports, 2020. Vol. 10. pp. 7334.

576. Abbasi M.K., Adams W.A. Estimation of simultaneous nitrification and denitrification in grassland soil associated with urea-N using ^{15}N and nitrification inhibitor // Biol. and fertil. soils, 2000. Vol. 31. pp. 38-44.

577. Agegnehu G., Ghizaw A., Sinebo W. Yield performance and land-use efficiency of barley and faba bean mixed cropping in Ethiopian highlands // European Journal of Agronomy, 2006. Vol. 25. pp. 202-207.

578. Akinori S. Effect of Nitrate on Nodule and Root Growth of Soybean (*Glycine max L. (Merr.))* // International Journal of Molecular Sciences, 2014. Vol. 15 (3). pp. 4464-80.

579. Alemu B., Melaku S., Prasad N.K. Effects of varying seed proportions and harvesting stages on biological compatibility and forage yield of oats (*Avena sativa L.*) and vetch (*Vicia villosa R.*) mixtures // Livestock Research for Rural Development, 2007. Vol. 19. pp. 12-19.

580. Alves B.J.R., Boddey R.M., Urqiaga S. The success of BNP in soybean in Brazil // Plant Soil, 2003. №252. pp. 1-9.

581. Ambus P., Jensen E.S. Nitrogen mineralization and denitrification as influenced by crop residue particle size // Plant and Soil, 1997. Vol. 197. pp. 261-270.

582. Andersen M.K., Hauggaard-Nielsen H., Ambus P., Jensen E.S. Biomass production, symbiotic nitrogen fixation and inorganic N use in dual and tri-component annual intercrops / Plant and Soil, 2005. Vol. 266. pp. 273-287.

583. Anderson J.P.E., Domsch K.H. A phisiological method for the quantitative measurement of microbial biomass in soils // Soil Biol. Biochem., 1978. Vol. 10. №3. pp. 215-221.

584. Aslam M., Mahmood I.A., Peoples M.B. [et al.] Contribution of chickpea nitrogen fixation to increased wheat production and soil organic fertility in rain-fed cropping // Biology and Fertility of Soils, 2003. Vol. 38. pp. 59-64.

585. Baba Z., Asif T., Sheikh F. [et al.] Studies on soil health and plant growth promoting potential of rhizobium isolates // Emirates Journal of Food and Agriculture, 2015. №5. pp. 423-429.

586. Bai L., Yu-Ying L., Hua-Mao W. [et al.] Root exudates drive interspecific facilitation by enhancing nodulation and N_2 fixation // Proceedings of the Nationals Academy of Sciences of the USA (PNAS), 2016. Vol. 113, Issue 23. pp. 6496-6501.

587. Balcázar J.L., Subirats J., Borrego C.M. The role of biofilms as environmental reservoirs of antibiotic resistance // Frontiers in microbiology, 2015. T. 6. pp. 12-16.

588. Ballard R.A., Charman N., McInnes A., Davidson J.A. Size, symbiotic effectiveness and genetic diversity of field pea rhizobia (*Rhizobium leguminosarum bv. viciae*) populations in South Australian soils // Soil Biol. Biochem., 2004. Vol. 36. pp. 1347-1355.

589. Bandick A.K., Dick R.P. Field management effects on soil enzyme activities // Soil Biol. and Bioch., 1999. №31. pp. 1471-1479.

590. Banik P., Midya A., Sarkar B.K., Ghose S.S. Wheat and chickpea intercropping systems in an additive series experiment: Advantages and weed smothering // European Journal of Agronomy, 2006. Vol. 24. Issue 4. pp. 325-332.

591. Baresel C., Andersson S., Yang J., Andersen M. H. Comparison of nitrous oxide (N_2O) emissions calculations at a Swedish wastewater treatment plant based on water concentrations versus off-gas concentrations // Adv. Climate Change Res., 2016. Vol. 7. pp. 185-191.

592. Barneze A.S., Whitaker J., McNamara N.P., Ostle N.J. Legumes increase grassland productivity with no effect on nitrous oxide emissions // Plant Soil, 2020. Vol. 446. pp.163-177.

593. Bastian F., Bouziri L., Nicolardot B., Ranjard L. Impact of wheat straw decomposition on successional patterns of soil microbial community structure // Soil Biol. Biochem., 2009. Vol. 41. №2. pp. 262-275.

594. Bateman E.J., Baggs E.M. Contributions of nitrification and denitrification to N_2O emissions from soils at different water-filled pore space // Biology and Fertility of Soils, 2005. Vol. 41. pp. 379-388.

595. Baumann K., Marschner P., Smernik R.J., Baldok J.A. Residue chemistry and microbial community structure during decomposition of eucalypt, wheat and vetch residues // Soil Biol. Biochem., 2009. Vol. 41 (9). pp. 1966-1975.

596. Bedoussac L., Journet E.-P., Hauggaard-Nielsen H. [et al.] Ecological principles underlying the increase of productivity achieved by cereal-grain legume intercrops in organic farming. A review // Agronomy for Sustainable Development, 2015. Vol. 35. pp. 911-935.

597. Bedoussac L., Justes E. The efficiency of a durum wheat-winter pea intercrop to improve yield and wheat grain protein concentration depends on N availability during early growth // Plant and Soil, 2010. Vol. 330. pp. 19-35.

598. Bending G.D., Turner M.K., Jones J.E. Interactions between crop residue and soil organic matter quality and the functional diversity of soil microbial communities // Soil Biol. Biochem., 2002. Vol. 34. №8. pp. 1073-1082.

599. Bengtson P., Bengtsson G. Bacterial immobilization and remineralization of N at different growth rates and N concentrations // FEMS Microbiol. Ecol., 2005. Vol. 54. pp. 13-19.

600. Bernal G.R., Tlusty B., Estevez de Jensen C. [et al.] Characteristics of rhizobia nodulating beans in the central region of Minnesota // Can. J. Microbiol., 2004. Vol. 50. pp. 1023-1031.

601. Berntson G.M., Aber J.D. Fast nitrate immobilization in N saturated temperate forest soils // Soil Biol. Biochem., 2000. Vol. 32. pp. 151-156.

602. Betencourt E., Duputel M., Colomb B. [et al.] Intercropping promotes the ability of durum wheat and chickpea to increase rhizosphere phosphorus availability in a low P soil / Soil Biology and Biochemistry, 2012. Vol. 46. pp. 181-190.

603. Bhuvaneswari T.V., Bhagwat A.A., Bauer W.D. Transient susceptibility of root cells in four legumes to nodulation by rhizobia // Plant Physiol., 1981. Vol. 68. pp. 1144-1149.

604. Bin-feng S., Hong Z., Yi-zhong L., Fei L., Xiao-ke W. The effects of nitrogen fertilizer application on methane and nitrous oxide emission/uptake in Chinese croplands // J. Integrative Agriculture, 2016. Vol. 15 (2). pp. 440-450.

605. Bingöl N.T., Karsli M.A., Yilmaz I.H., Bolat D. The effects of planting time and combination on the nutrient composition and digestible dry matter yield of four mixtures of vetch varieties intercropped with barley // Turkish Journal of Veterinary and Animal Sciences, 2007. Vol. 31 (5). pp. 297-302.

606. Blackmer A.M., Green C.J. Nitrogen turnover by sequential immobilization and mineralization during residue decomposition in soil // Soil Sci. Soc. Am. J., 1995. Vol. 59. №4. pp. 1052-1058.

607. Bohlool B.B., Ladha J.K., Garrity D.P., George T. Biological nitrogen fixation for sustainable agriculture: A perspective // Plant and Soil, 1992. Vol. 141. №1/2. pp. 1-11.

608. Bollman M., Vessey J.K. Differential effects of nitrate and ammonium supply on nodule initiation, development, and distribution on roots of pea (*Pisum sativum*) // Canad. J. Botany, 2006. Vol. 84. pp. 893-903.

609. Bond-Lamberty B., Wang C., Gower S.T. A global relationship between the heterotrophic and autotrophic components of soil respiration? // Global Change Biol., 2004. Vol. 10. pp. 1756-1766.

610. Booth M.S., Stark J.M., Hart S.C. Soil-mixing effects on inorganic nitrogen production and consumption in forest and shrubland soils // Plant and Soil, 2006. Vol. 289. pp. 5-15.

611. Booth M.S., Stark J.M., Rastetter E. Controls on nitrogen cycling in terrestrial ecosystems: a synthetic analysis of literature data // Ecol. Monographs, 2005. Vol. 75 (2). pp. 139-157.

612. Bowen G.D., Zapata F. Efficiency in uptake and use of nitrogen by plants // Stable isotopes in plant nutrition, soil fertility and environmental studies. – Veinna: IAE, 1991. pp. 349-362.

613. Braun J., Mooshammer M., Wanek W., Prommer J., Walker T.W.N., Rütting T., Richter A. Full 15N tracer accounting to revisit major assumptions of ^{15}N isotope pool dilution approaches for gross nitrogen mineralization // Soil Biol. Biochem., 2018. Vol. 117. pp. 16-26.

614. Bremner J.M. Sources of nitrous oxide in soils // Nutrient Cycling in Agroecosystems, 1997. Vol. 49. №1-3. pp. 7-16.

615. Brkić S., Milaković Z., Kristek A., Antunović M. Pea yield and its quality depending on inoculation, nitrogen and molybdenum fertilization // Plant Soil Environ., 2004. Vol. 50. pp. 39-45.

616. Brockett B.F., Prescott C.E., Grayston S.J. Soil moisture is the major factor influencing microbial community structure and enzyme activities across seven biogeoclimatic zones in western Canada // Soil Biol. Biochem., 2012. Vol. 44. №1. pp. 9-20.

617. Brockwell J., Bottomley P.J., Thies J.E., Manipulation of rhizobia microflora for improving legume productivity and soil fertility: a critical assessment // Plant Soil, 1995. Vol. 174. pp. 143-180.

618. Brye K.R., Norman J.M., Gower S.T. Assessing the progress of a tallgrass prairie restoration in Southern Wisconsin // Amer. Midl. Nat., 2002. Vol. 148. pp. 218-235.

619. Buchkina N.P., Rizhiya E.Y., Pavlik S.V., Balashov E.V. Soil Physical Properties and Nitrous Oxide Emission from Agricultural Soils // Adv. Agrophys. Res., 2013. pp. 193-220.

620. Buendia E. et al. Refinement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Published: IPCC, Switzerland, 2019.

621. Burns R.G., Martin J.P. Biodegradation of organic residues in soil // Microflora and fauna interactions in natural, and agro-ecosystems / M.J. Mitchell, J.P. Nakos (Eds). Boston, 1986. pp. 137-202.

622. Caba J.M., Centeno M.L., Fernandez B. [et al.] Inoculation and nitrate alter phytohormone levels in soybean roots: differences between a supernodulating mutant and the wild type // Planta, 2000. Vol. 211. №1. pp. 98-104.

623. Caba J.M., Lluch C., Hervas A., Ligero F. Nitrate metabolism in roots and nodules of Vicea faba in response to exogenous nitrate // Physiol. Plant, 1990. Vol. 79. №3. pp. 531-539.

624. Caba J.M., Regalde L., Ligero F. Nitrate-induced ethylene biosynthesis and the control of nodulation in alfalfa // Plant Cell Environ., 1998. Vol. 21. №1. pp. 87-93.

625. Cao Y., Morgan H.K., Gassmann W., Stacey G. The role of plant innate immunity in the legume-rhizobium symbiosis // Annual Review of Plant Biology, 2017. Vol. 68. pp. 535-561.

626. Cazemier A.E., Verdoes J.C., Reubsaet F.A. [et al.] *Promicromonospora pachnodae sp. nov.*, a member of the (hemi) cellulolytic hindgut flora of larvae of the scarab beetle *Pachnoda marginata* // Antonie Van Leeuwenhoek, 2003. Vol. 83 (2). pp. 135-148.

627. Chalk P.M. Dynamics of biologically fixed N in legume-cereal rotations: a review // Australian Journal of Agricultural Research, 1998. Vol. 49 (3). pp. 303-316.

628. Chapagain T., Riseman A. Barley–pea intercropping: effects on land productivity, carbon and nitrogen transformations // Field Crops Research, 2014. Vol. 166. pp. 18-25.

629. Charles A., Rochette P., Whalen J.K. [et al.] Global nitrous oxide emission factors from agricultural soils after addition of organic amendments: A meta-analysis // Agriculture, Ecosystems and Environment, 2017. Vol. 236. pp. 88-98.

630. Chen J., Stark J.M. Plant species effects and carbon and nitrogen cycling in a sagebrush-crested wheatgrass soil // Soil Biol. Biochem., 2000. Vol. 32 (1). pp. 47-57.

631. Chotte J.L., Ladd J.N., Amato M. Sites of microbial assimilation, and turnover of soluble and particulate ^{14}C-labelled substrates decomposing in a clay soil // Soil Biol. Biochem., 1998. Vol. 30. pp. 205-218.

632. Chung E.J., Park T.S., Jeon C.O., Chung Y.R. Chitinophaga oryziterrae sp. nov., isolated from the rhizosphere soil of rice (*Oryza sativa L.*) // Int. J. Syst. Evol. Microbiol., 2012. Vol. 112. pp. 345-351.

633. Clayton H., McTaggart I.P., Parker J., Swan L., Smith K.A. Nitrous oxide emissions from fertilized grassland: A 2-year study of the effects of N fertilizer form and environmental conditions // Biol. and Fertil. Soils, 1997. Vol. 25. pp. 252-260.

634. Cleveland C.C., Liptzin D. C : N : P stoichiometry in soil: is there a “Redfield ratio” for the microbial biomass? // Biogeochemistry, 2007. Vol. 85 (3). pp. 235-252.

635. Coronado C., Zuanazzi J.A.S., Sallaud C. [et al.] Alfalfa root flavonoid production is nitrogen regulated // Plant Physiol., 1995. Vol. 108. №2. pp. 533-542.

636. Corre-Hellou G., Dibet A., Crozat Y. Le pois au service des systèmes de culture à faibles intrants : quels besoins variétaux ? // Geography, 2006. Vol. 30. pp. 111-116.

637. Corre-Hellou G., Dibet A., Hauggaard-Nielsen H. [et al.] The competitive ability of pea–barley intercrops against weeds and the interactions with crop productivity and soil N availability // Field Crops Research, 2011. Vol. 122. Issue 3. pp. 264-272.

638. Couëdel A., Alletto L., Tribouillois H., Justes É. Cover crop crucifer-legume mixtures provide effective nitrate catch crop and nitrogen green manure ecosystem services // Agriculture, Ecosystems & Environment, 2018. Vol. 254. pp. 50-59.

639. Cowden R.J., Shah A.N., Lehmann L.M. [et al.] Nitrogen fertilizer effects on pea-barley intercrop productivity compared to sole crops in Denmark // Sustainability, 2020. Vol. 12. Issue 22. pp. 9335.

640. Crawford J.W., Deacon L., Grinev D. [et al.] Microbial diversity affects self-organization of the soil-microbe system with consequences for function // Journal of the Royal Society Interface, 2012. Vol. 9 (71). pp. 1302-1310.

641. Dahmardeh M., Ghanbari A., Syahsar B.A., Ramrodi M. The role of intercropping maize (*Zea mays L.*) and Cowpea (*Vigna unguiculata L.*) on yield and soil chemical properties // African Journal of Agricultural Research, 2010. Vol. 5 (8). pp. 631-636.

642. Dakora F.D. Defining new roles for plant and rhizobial molecules in sole and mixed plant cultures involving symbiotic legumes // New Phytol., 2003. Vol. 158. №1. pp. 39-49.

643. Dakora F.D., Phillips D.A. Root exudates as mediators of mineral acquisition in low nutrient environments // Plant and Soil, 2002. Vol. 245. pp. 35-47.

644. Davenport J.R., Thomas R.L., Mott S.C. Carbon mineralization of corn (*Zea mays L.*) and bromegrass (*Bromus inermis L.*) components with an emphasis on the below-ground carbon // Soil Biol. Biochem., 1988. Vol. 20. pp. 471-476.

645. Davidson E.A., Chorover J., Dailj D.B. A mechanism of abiotic immobilization of nitrate in forest ecosystems: the ferrous wheel hypothesis // Global Change Biol., 2003. Vol. 9. pp. 228-236.

646. Dejoux J.F., Recous S., Meynard J.M. The fate nitrogen from winter frozen rapeseed leaves: mineralization, fluxes to the environment and uptake by rapeseed crop in spring // Plant and Soil, 2005. №1-2. pp. 258-272.

647. Delwiche C.C. The nitrogen cycle // Sci. Amer., 1970. Vol. 223. pp. 136-146.

648. DeMenezes A.B., McDonald J.E., Allison H.E., McCarthy A.J. Importance of Micromonospora spp. as colonizers of cellulose in freshwater lakes as demonstrated by quantitative reverse transcriptase PCR of 16S rRNA // Appl. Environ. Microbiol., 2012. Vol. 78 (9). pp. 495-505.

649. Dhima K.V., Lithourgidis A.S., Vasilakoglou I.B., Dordas C.A. Competition indices of common vetch and cereal intercrops in two seeding ratio // Field Crops Research, 2007. Vol. 100. pp. 249-256.

650. Dilly O. Microbial respiratory quotient during basal metabolism and after glucose amendment in soils and litter // Soil Biol. Biochem., 2001. Vol. 33. pp. 117-127.

651. Ding W., Luo J., Li J. [et al.] Effect of long-term compost and inorganic fertilizer application on background N_2O and fertilizer-induced N_2O emissions from an intensively cultivated soil // Sci. Total Environ., 2013. Vol. 465. pp. 115-124.

652. Du F, Sui Y., Xu X. [et al] Morhpological responses of six plant species to patchy habitat with different nitrogen concentrations using in-growth Core method // Pol J Ecol., 2013. Vol. 61. pp. 257-269.

653. Dureja H., Khatak S., Khatak M., Kalra M. Amylose rich starch as an aqueous based pharmaceutical coating material – review// Int. J. of Pharmacetical Sciencts and Drug Research, 2011. Vol. 3. Issue 1. pp. 8-12.

654. Dyer L., Oelbermann M., Echarte L. Soil carbon dioxide and nitrous oxide emissions during the growing season from temperate maize-soybean intercrops // Journal of Plant Nutrition and Soil Science, 2012. Vol. 175. pp. 394-400.

655. Ehaliotis C., Cadisch G., Giller K.E. Substrate amendments can alter microbial dynamics and N availability from maize residues to subsequent crops // Soil Biol. Biochem., 1998. Vol. 30. pp. 1281-1292.

656. Eliseev S.L., Renev E.A., Reneva Iu.A. Productivity of annual legume-grass mixtures according to interspecies competition // World Applied Sciences Journal, 2014. Vol. 9. Issue 32. pp. 1970-1973.

657. Evans J. An evaluation of potential Rhizobium inoculant strains used for pulse production in acidic soils of south-east Australia // Aust. J. Exp. Agric., 2005. Vol. 45. pp. 257-268.

658. Fan F., Zhang F., Song Y. [et al.] Nitrogen fixation of faba bean (*Vicia faba L.*) interacting with a non-legume in two contrasting intercropping systems / Plant and Soil, 2006. Vol. 283. pp. 275-286.

659. Fargione J.,Tilman D. Niche differences in phenology and rooting depth promote coexistence with a dominant C_4 bunchgrass / Oecologia, 2005. Vol. 143, pp. 598-606.

660. Ferguson B.J., Mathesius U. Signaling interactions during nodule development // J. Plant Growth Reg., 2003. Vol. 22. №1. pp. 47-72.

661. Ferrière R., Bronstein J. L., Rinaldi S. [et al.] Cheating and the evolutionary stability of mutualisms // Proc. Roy. Soc., 2002. Vol. 269. pp. 773-780.

662. Fog K. The effect of added nitrogen on the rate of decomposition of organic matter // Biological Reviews, 1988. Vol. 63. pp. 433-462.

663. Foley J.A., Ramankutty N., Brauman K.A. [et al.] Solutions for a cultivated planet // Nature, 2011. Vol. 478. pp. 337-342.

664. Fox R.H., Myers R.J., Vallis I. The nitrogen mineralization rate of legume residues in soils as influenced by their polyphenol, lignin and nitrogen contents // Plant and Soil, 1990. Vol. 129. pp. 251-259.

665. Frankenberger W.T., Abdelmagid H.M. Kinetic parameters of nitrogen mineralization rates of leguminous crops incorporated into soil // Plant and Soil, 1985. Vol. 87. pp. 257-271.

666. Frische R., Wollmann K., Gross-Lannert R. [et al.] Special amylases and their use for producing biodegradable plastics // United States Patente Number: 5374304. Issue date: 20 Dec 1994.

667. Fujita K., Ofosu-Budu K.G., Ogata S. Biological nitrogen fixation in mixed legume-cereal cropping systems // Plant and Soil, 1992. Vol. 141. pp. 155-175.

668. Gaillard V., Chenu C., Recous S. Carbon mineralization in soil adjacent to plant residues of contrasting biochemical quality // Soil Biol. Biochem., 2003. Vol. 35. №1. pp. 93-99.

669. Galal Y.G.M., El-Ghandour I.A., El-Alel E.A. Stimulation of wheat growth and N_2-fixation through Azospirillum and Rhizobium inoculation: A field trial with ^{15}N techniques // Plant Nutrition, 2001. pp. 666-667.

670. Gaudinski J.B., Trumbore S.E., Davidson E.A., Zheng S. Soil carbon cycling in a temperate forest: radiocarbon-based estimates of residence times, sequestration rates and partitioning of fluxes // Biogeochemistry, 2000. Vol. 51. pp. 33-69.

671. Geisseler D., Horwath W.R., Joergensen R.G., Ludwig B. Pathways of nitrogen utilization by soil microorganisms – A review // Soil Biol. Biochem., 2010. Vol. 42. pp. 2058-2067.

672. Geneva M., Zehirov G., Djonova E. [et al.] The effect of inoculation of pea plants with mycorrhizal fungi and Rhizobium on nitrogen and phosphorus assimilation // Plant Soil Environ., 2006. Vol. 52. pp. 435-440.

673. Ghaley B.B., Hauggaard-Nielsen H., Høgh-Jensen H., Jensen E.S. Intercropping of wheat and pea as influenced by nitrogen fertilization // Nutrient Cycling in Agroecosystems, 2005. Vol. 73. pp. 201-212.

674. Giller K.E. Nitrogen fixation in tropical cropping systems // Wallingford, UK: CABI Publishing, 2001. pp. 423.

675. Gonzalez-Quiñones V., Stockdale E.A., Banning N.C. [et al.] Soil microbial biomass – interpretation and consideration for soil monitoring // Soil Research, 2011. Vol. 49. pp. 287-304.

676. Gordon A.J., Ryle G.J.A., Mitchell D.F., Powell C.E. The flux of ^{14}C-labeled photosynthate through soybean root nodules during N_2 fixation // J. Exp. Bot., 1985. Vol. 36. pp. 756-769.

677. Gresshoff P.M. Molecular genetic analysis of nodulation genes in soybean // Plant Breed Rev., 1993. Vol. 11. pp. 275-318.

678. Griffiths R.I., Manefield M., Ostle N. [et al.] $^{13}CO_2$ pulse labeling of plants in tandem with stable isotope probing: Methodological considerations for examining microbial function in the rhizosphere // J. Microbiol. Meth., 2004. Vol. 58. pp. 119-129.

679. Gul N.I., Jilani M.S., Waseem K. Effect of split application of nitrogen levels on the quality and quality parameters of pea (*Pisum sativum L.*) // Int. J. Agri. Biol., 2006. Vol. 8. №2. pp. 226-230.

680. H'enault C., Grossel A., Mary B. [et al.] Nitrous oxide emission by agricultural soils: A review of spatial and temporal variability for mitigation // Pedosphere, 2012. Vol. 22. pp. 426-433.

681. Habete A., Buraka T. Effect of Rhizobium Inoculation and Nitrogen Fertilization on Nodulation and Yield Response of Common Bean (*Phaseolus vulgaries L.*) at Boloso Sore, Southern Ethiopia // Journal of Biology, Agriculture and Healthcare, 2016. Vol. 6 (13). pp. 72-75.

682. Hadas A., Kautsky L., Goek M., Kara E.E. Rates of decomposition of plant residues and available nitrogen in soil, related to residue composition through simulation of carbon and nitrogen turnover // Soil Biol. Biochem., 2004. Vol. 36. №2. pp. 255-266.

683. Handayanto E., Cadisch G., Giller K.E. Manipulation of quality and mineralization from legume tree pruning by varying nitrogen supply // Plant and Soil, 1995. Vol. 176. pp. 149-160.

684. Handayanto E., Giller K.E., Cadisch G. Regulating N release from legume tree pruning's by mixing residues of different quality // Soil Biol. Biochem., 1997. Vol. 29. pp. 1417-1426.

685. Hansen A.P., Martin P., Buttery B.R., Park S.J. Nitrate inhibition of fixation in *Phaseolus vulgaris L. cv. OAC Rico* and a supernodulating mutant // New Phytol., 1992. Vol. 122. №4. pp. 611-615.

686. Hanson P.G., Edwards N.T., Garten C.T., Andrews J.A. Separating root and soil microbial contribution to soil respiration: A review of methods and observations // Biogeochemistry, 2000. Vol. 48. pp. 115-146.

687. Hardarson G. Methods for enhancing symbiotic nitrogen fixation // Plant and Soil, 1993. Vol. 12. №1. pp. 1-17.

688. Hatfield J.L., Walthall C.L. Soil biological fertility: Foundation for the next revolution in agriculture? // Commun. Soil Sci. Plant., 2015. Vol. 46 (6). pp. 753-762.

689. Hauggaard-Nielsen H., Ambus P. Jensen E.S. Temporal and spatial distribution of roots and competition for nitrogen in pea-barley intercrops – a field study employing ^{32}P technique // Plant and Soil, 2001. Vol. 236. pp. 63-74.

690. Hauggaard-Nielsen H., Ambus P., Jensen E.S. The comparison of nitrogen use and leaching in sole cropped versus intercropped pea and barley // Nutrient Cycling in Agroecosystems, 2003. Vol. 65. pp. 289-300.

691. Hauggaard-Nielsen H., Gooding M., Ambus P. [et al.] Pea-barley intercropping for efficient symbiotic N_2-fixation, soil N acquisition and use of other nutrients in European organic cropping systems // Field Crops Research, 2009. Vol. 113. Issue 1. pp. 64-71.

692. Hauggaard-Nielsen H., Jensen E.S. Facilitative Root Interactions in Intercrops / Plant and Soil, 2005. Vol. 274, pp. 237-250.

693. Hauggaard-Nielsen H., Jørnsgaard B., Kinane J., Jensen E.S. Grain legume–cereal intercropping: the practical application of diversity, competition and facilitation in arable and organic cropping systems, Renewable // Agriculture and Food Systems, 2008. Vol. 23. Special Issue 1. pp. 3-12.

694. He J.Z., Zheng Y., Chen C.R. [et al.] Microbial composition and diversity of an upland red soil under long-term fertilization treatments as revealed by culture-dependent and culture-independent approaches // J. Soil Sediments, 2008. Vol. 8. pp. 349-358.

695. Henriksen T.M., Breland T.A. Evaluation of criteria for describing crop residue degradability in a model of carbon and nitrogen turnover in soil // Soil Biol. Biochem. 1999a. Vol. 31. pp. 1135-1149.

696. Henriksen T.M., Breland T.A. Nitrogen availability effects on carbon mineralization, fungal and bacterial growth, and enzyme activity during decomposition of wheat straw in soil // Soil Biol. Biochem., 1999b. Vol. 31. pp. 1121-1134.

697. Herouart D., Bandouin E., Frendo P. [et al.] Reactive oxygen species, nitric oxide and glutathione: key role in the legume – rhizobium symbiosis // Plant Physiol. Biochem., 2002. Vol. 40. №6-8. pp. 341-346.

698. Herridge D.F. Inoculation technology for legumes // In: Dilworth, M.J., James, E.K., Sprent, J.I., Newton, W.E. (eds) Nitrogen-fixing leguminous symbioses. Nitrogen fixation: origins, applications, and research progress, 2008. Vol. 7. pp. 236-274.

699. Hetrick B.A.D., Wilson G.W.T., Cox T.S. Mycorrhizal dependence of modern wheat cultivars and ancestors: A synthesis // Can. J. Bot., 1993. Vol. 71. pp. 512-518.

700. Hirsch A.M., Bauer W.D., Bird D.M., [et al.] Molecular signals and receptors controlling rhizosphere interactions between plants and other organisms // Ecology, 2003. Vol. 84. pp. 858-868.

701. Hoang T.T.H., Do T., Hoang T.N.V. [et al.] Nitrogen fertilization effects on methane and nitrous oxide emissions from wetland rice fields of Central Vietnam // Int. J. Agric. Biol., 2018. Vol. 20. №8.

702. Hopper W., Mahadevan A. Degradation of catechin by Bradyrhizobium japonicum // Biodegradat., 1997. Vol. 8. №3. pp. 159-165.

703. http://accident.perm.ru/ (дата обращения 12.09.2022 г.)

704. http://biofab.ru/catalog/1/ (дата обращения: 10.06.2022)

705. http://www.zivotnovodstvo.ru/. (дата обращения 20.09.2022)

706. https://profi-agro.ru/post/steklovidnost-zerna/ (дата обращения 31.01.2023)

707. https://www.fedstat.ru/indicator/31328 (дата обращения 11.05.2022).

708. Huang J., Chen Y.-Q., Sui P. [et al.] Soil nitrous oxide emissions under maize-legume intercropping system in the North China plain // Journal of Integrative Agriculture, 2014. Vol. 13. Issue 6. pp. 1363-1372.

709. Huňady I., Hochman M. Potential of legume-cereal intercropping for increasing yields and yield stability for self-sufficiency with animal fodder in organic farming // Czech J. Genet. Plant Breed., 2014. Vol. 50. pp. 185-194.

710. IPCC, 2019. Refinement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories // Eds. Buendia C. et al. Published: IPCC, Switzerland, 2019.

711. Jans-Hammermeister D.C., McGill W.B. Evaluation of three simulation models used to describe plant residue decomposition in soil // Ecological Modelling, 1997. Vol. 104. pp. 1-13.

712. Jansson S.L., Persson J. Mineralization and immobilization of soil nitrogen // Nitrogen in agricultural soils // Ed. Stevenson F.J. Madison: SSSA, 1982. pp. 229-252.

713. Jenkinson D.S. Studies on decomposition of plant material in soil. The effect of plant cover and soil type on the loss of carbon from ^{14}C-labeled rye grass decomposing under field conditions // J. Soil Sci., 1977. Vol. 28. №3. pp. 424-434.

714. Jensen E.S. Grain yield, symbiotic N_2 fixation and interspecific competition for inorganic N in pea-barley intercrops // Plant and Soil, 1996. Vol. 182. pp. 25-38.

715. Jensen E.S. Seasonal patterns of growth and nitrogen fixation in field-grown pea // Plant and Soil, 1987. Vol. 101. pp. 29-37.

716. Jensen E.S., Carlsson G., Hauggaard-Nielsen H. Intercropping of grain legumes and cereals improves the use of soil N resources and reduces the requirement for synthetic fertilizer N: A global-scale analysis // Agronomy for Sustainable Development, 2020. Vol. 40. pp. 5.

717. Jensen E.S., Peoples M.B., Boddey R.M. [et al] Legumes for mitigation of climate change and the provision of feedstock for biofuels and biorefineries – a review // Agron. Sustain Dev., 2012. Vol. 32. pp. 329-364.

718. Jensen L.S., Mueller T., Magid J., Nielsen N.E. Temporal variation of C and N mineralization, microbial biomass and extractable organic pools in soil after oilseed rape straw incorporation in the field // Soil Biol. Biochem., 1997. Vol. 29. pp. 1043-1055.

719. Jeuffroy M.-H., Baranger E., Carrouee B. [et al] Nitrous oxide emissions fromcrop rotations including wheat, oilseed rape and dry peas // Biogeosci., 2013. Vol. 10. pp. 1787-1797.

720. Jiménez D.J., de Lima Brossi M.J., Schückel J. [et al.] Characterization of three plant biomass-degrading microbial consortia by metagenomics-and metasecretomics based approaches // Appl. Microbial. Biotech., 2016. Vol. 100. №24. pp. 10463-10477.

721. Jolivet C., Angers D.A., Chantigny M.H. [et al.] Carbohydrate dynamics in particle-size fractions of sandy spodosols following forest conversion to maize cropping // Soil Biol Biochem., 2006. Vol. 38. pp. 2834-2842.

722. Jones D.L., Healey J.R., Willett V.B., Farrar J.F., Hodge A. Dissolved organic nitrogen uptake by plants – an important N uptake pathway? // Soil Biology & Biochemistry, 2005. Vol. 37. pp. 413-423.

723. Juan L.I., Li Y.T., Yang X.D. [et al.] Microbial community structure and functional metabolic diversity are associated with organic carbon availability in an agricultural soil // Journal of Integrative Agriculture, 2015. Vol. 14 (12). pp. 2500-2511.

724. Kaci G., Blavet D., Benlahrech S. [et al.] The effect of intercropping on the efficiency of faba bean – rhizobial symbiosis and durum wheat soil-nitrogen acquisition in a Mediterranean agroecosystem // Plant, Soil and Environment, 2018. Vol. 64. pp. 138-146.

725. Kallenbach C., Grandy A.S. Controls over soil microbial biomass responses to carbon amendments in agricultural systems: a meta-analysis // Agriculture, Ecosystems & Environment, 2011. Vol. 144 (1). pp. 241-252.

726. Kallenbach C.M., Grandy A.S., Frey S.D., Diefendorf A.F. Microbial physiology and necromass regulate agricultural soil carbon accumulation // Soil Biology and Biochemistry, 2015. Vol. 91. pp. 279-290.

727. Kiers E.T., West S.A., Denison R.F. Mediating mutualisms: The influence of farm management practices on the evolutionary maintenance of symbiont cooperation // J. Appl. Ecol., 2002. Vol. 39. pp. 745-754.

728. Klemedtsson L., Klemedtsson A.K., Moldan F. Nitrous oxide emission from Swedish forest soils in relation to liming and simulated increased N-deposition // Biol. Fertil. Soils, 1997. Vol. 25. pp. 290-295.

729. Koenig, R.T., Cochran, V.L. Decomposition and nitrogen mineralization from legume and non-legume crop residues in a subarctic agricultural soil // Biol Fert Soils, 1994. Vol. 17. pp. 269-275.

730. Kögel-Knabner I. The macromolecular organic composition of plant and microbial residues as inputs to soil organic matter // Soil Biol. Biochem., 2002. Vol. 34. pp. 139-162.

731. Korsaeth A., Henriksen T.M., Bakken L.R. Temporal changes in mineralization and immobilization of N during degradation of plant material: implications for the plant N supply and nitrogen losses // Soil Biol. Biochem., 2002. Vol. 34. pp. 789-799.

732. Krauss M., Ruser R., Muller T. [et al.] Impact of reduced tillage on greenhouse gas emissions and soil carbon stocks in an organic grass-clover ley winter wheat cropping sequence // Agriculture, Ecosystems and Environment, 2017. Vol. 239. pp. 324-333.

733. Kremen C., Iles A., Bacon C. Diversified farming systems: an agroecological, systems-based alternative to modern industrial agriculture // Ecol Soc., 2012. Vol. 17. pp. 44-62.

734. Ladd J.N., Amato M., Grace P.R., Van Veen J.A. Simulation of ^{14}C turnover through the microbial biomass in soils incubated with ^{14}C-labelled plant residues // Soil Biology and Biochemistry, 1995. Vol. 27. pp. 777-783.

735. Lai T.V., Farquharson R., Denton M. D. High soil temperatures alter the rates of nitrification, denitrification and associated N_2O emissions // Journal of Soils and Sediments, 2019. Vol. 19 (5). pp. 2176-2189.

736. Lamattina L., Garcia-Mata C., Graziano M., Pagnussat G. Nitric oxide: the versatility of an extensive signal molecule // Annu. Rev. Plant Biol., 2003. Vol. 54. pp. 109-136.

737. Latati M., Aouicheb A., Tellaha S. [et al.] Intercropping maize and common bean enhances microbial carbon and nitrogen availability in low phosphorus soil under Mediterranean conditions // European Journal of Soil Biology, 2017. Vol. 80. pp. 9-18.

738. Latati M., Bargaz A., Belarbi B. [et al.] The intercropping common bean with maize improves the rhizobial efficiency, resource use and grain yield under low phosphorus availability // European Journal of Agronomy, 2016. Vol. 72. pp. 80-90.

739. Latati M., Blavet D., Alkama N. [et al.] The intercropping cowpea-maize improves soil phosphorus availability and maize yields in an alkaline soil // Plant and Soil, 2014. Vol. 385. pp. 181-191.

740. Latati M., Dokukin P., Aouiche A. [et al.] Species interactions improve above-ground biomass and land use efficiency in intercropped wheat and chickpea under low soil inputs // Agronomy, 2019. Vol. 9 (11). pp. 765.

741. Le Quéré C., Andrew R.M., Canadell J.G. [et al.] Global Carbon Budget 2016 // Earth Syst. Sci. Data, 2016. Vol. 8. pp. 605-649.

742. Leibovitch S., Migner P., Zhang F., Smith D.L. Evauation of the effect of Soyasignal technology on soybean yield (*Glycine max (L.) Merr.*) under field conditions over 6 years in Eastern Canada and the Northern United States //J. Agron. Crop Sci., 2001. Vol. 187. pp. 281-292.

743. Lesschen J.P., Velthof G.L., Wim de Vries K.J. Differentiation of nitrous oxide emission factors for agricultural soils // Environ. Poll., 2011. Vol. 159. pp. 3215-3222.

744. Li L., Sun J., Zhang F. [et al.] Root distribution and interactions between intercropped species / Oecologia, 2006. Vol. 147. pp. 280-290.

745. Li L., Sun J., Zhang F. [et al.] Wheat/maize or wheat/soybean strip intercropping: I. Yield advantage and interspecific interactions on nutrients // Field Crops Research, 2001. Vol. 71. Issue 2. pp. 123-137.

746. Li Q-Z., Sun J-H., Wei X-J. [et al.] Over yielding and interspecific interactions mediated by nitrogen fertilization in strip intercropping of maize with faba bean, wheat and barley // Plant and Soil, 2011. Vol. 339. pp. 147-161.

747. Li X., Inubushi K., Sacamoto K. Nitrous oxide concentrations in an Andisol profile and emissions to the atmosphere as influenced by application on nitrogen fertilizers and manure // Biol. and Fertil. Soils, 2002. Vol. 35. pp. 108-113.

748. Li Y.Y., Yu C.B., Cheng X. [et al.] Intercropping alleviates the inhibitory effect of N fertilization on nodulation and symbiotic N_2 fixation of faba bean // Plant Soil, 2009. Vol. 323. pp. 295-308.

749. Lithourgidis A.S., Dordas C., Damalsa C.A., Vlachostergios D.N. Annual intercrops: an alternative pathway for sustainable agriculture // Aust J Crop Sci., 2011. Vol. 5. pp. 396-410.

750. Lithourgidis A.S., Vasilakoglou I.B., Dhima K.V. Forage yield and quality of common vetch mixtures with oat and triticale in two seeding ratios // Field Crops Research, 2006. Vol. 99 (2). pp. 106-113.

751. Lodeiro A.R., Favelukes G. Early interactions of Bradyrhizobium japonicum and soybean roots: Specificity in the process of adsorption // Soil Biol. Biochem., 1999. Vol. 31. pp. 1405-1411.

752. Loick N., Dixon E.R., Abalos D. [et al.] Denitrification as a source of nitric oxide emissions from incubated soil cores from a UK grassland soil // Soil Biology and Biochemistry, 2016. Vol. 95. pp. 1-7.

753. Lu Y.H., Murase J., Watanabe A. [et al.] Linking microbial community dynamics to rhizosphere carbon flow in a wetland rice soil // FEMS Microbiol. Ecol., 2004. Vol. 48. pp. 179-186.

754. Luan J., Liu S., Zhu X. [et al.] Roles of biotic and abiotic variables in determining spatial variation of soil respiration in secondary oak and planted pine forests // Soil Biology and Biochemistry, 2012. Vol. 44. pp. 143-150.

755. Lundquist E.J., Jackson L.E., Scow K.M., Hsu C. Changes in microbial biomass and community composition, and soil carbon and nitrogen pools after incorporation of rye into three California agricultural soils // Soil Biol. Biochem., 1999. Vol. 31. pp. 221-236.

756. Magid J., Mueller T., Jensen L.S., Nielsen N.E. Modeling the measurable: interpretation of fi eld-scale CO_2 and N-mineralization, soil microbial biomass and light fractions as indicators of oilseed rape, maize and barley straw decomposition // Driven by Nature: Plant Litter Quality and Decomposition / G. Cadisch, K.E. Giller (Eds.). Wallingford: CAB International, 1997. pp. 349-362.

757. Mahmood T., Kaiser W.M., Ali R. [et al.] Ammonium versus nitrate nutrition of plants stimulates microbial activity in the rhizosphere // Plant Soil, 2005. Vol. 277. № 1-2. pp. 233-243.

758. Malézieux E, Crozat Y, Dupraz C [et al.] Mixing plant species in cropping systems: concepts, tools and models. A review // Agron. Sustain Dev., 2009. Vol. 29. pp. 43-62.

759. Marco A., Esposito F., Berg B. [et al.] Soil C and N sequestration in organic and mineral layers of two coeval forest stands implanted on pyroclastic material (Mount Vesuvius, South Italy) // Geoderma, 2013. Vol. 209-210. pp. 128-135.

760. Marschner P., Kandeler E., Marchner B. Structure and function of the soil microbial community in a long-term fertilizer experiment // Soil Biol. Biochem., 2003, Vol. 35 (3). pp. 453-461.

761. Maunoury N., Kondorosi A., Kondorosi E., Mergaert P. Cell biology of nodule infection and development // In: Dilworth M.J., James E.K., Sprent J.I., Newton W.E. (eds) Nitrogen-fixing leguminous symbioses. Nitrogen fixation: origins, applications, and research progress, 2008. Vol. 7.

762. McGuire K.L., Treseder K.K. Microbial communities and their relevance for ecosystem models: decomposition as a case study // Soil Biology and Biochemistry, 2010. Vol. 42 (4). pp. 529-535.

763. McInnes A., Haq K. Contributions of rhizobia to soil nitrogen fertility // In: Abbott L.K., Murphy D.V. (eds) Soil biological fertility, 2007.

764. McTaggart I.P., Clayton H., Parker J. [et al.] Nitrous oxide emissions from grassland and spring barley, following N fertilizer application with and without nitrification inhibitors // Biol. and Fertil. Soils, 1997. Vol. 25. pp. 261-268.

765. Mergaert P., Uchiumi T., Alunni B. [et al.] Eukaryotic control on bacterial cell cycle and differentiation in the rhizobium-legume symbiosis // Proc. Natl. Acad. Sci. USA, 2006. Vol. 103. pp. 5230-5235.

766. Mfilinge A., Mtei, K., Ndakidemi P. Effect of rhizobium inoculation and supplementation with phosphorus and potassium on growth and total leaf chlorophyll content of bush bean *Phaseolus vulgaris L.* // Agricultural Sciences, 2014. Vol. 05, №14. pp. 1413-1426.

767. Miao Y., Stewart B.A., Zhang F. Long-term experiments for sustainable nutrient management in China. A review // Agronomy for Sustainable Development, 2011. Vol. 31. pp. 397-414.

768. Michiels K.W., Verreth C., VanderleydenY. *Azospirillum lipoferum* and *Azospirillim brasilense* surface polysaccharides mutants that are affected in flocculation // J. Appl. Bacterial, 1990. Vol. 69. №6. pp. 705-711.

769. Migliorati M.D., Bell M., Grace P.R., [et al.] Legume pastures can reduce N_2O emissions intensity in subtropical cereal cropping systems // Agric Ecosyst Environ., 2015. Vol. 204. pp. 27-39.

770. Miltner A., Bombach P., Schmidt-Brücken B., Kästner M. SOM genesis: microbial biomass as a significant source // Biogeochemistry, 2012. Vol. 111 (1-3). pp. 41-55.

771. Minchin F.R. The regulation of nitrogen fixation in legumes. In: New approaches and techniques in breeding sustainable fodder crops and amenity grasses. – Vena, 1999: 3-16.

772. Mohd-Radzman N.A., Djordjevic M.A., Imin N. Nitrogen modulation of legume root architecture signaling pathways involves phytohormones and small regulatory molecules // Frontiers in Plant Science, 2013. Vol. 4. pp. 385.

773. Monti M., Pellicanò A., Santonoceto C. [et al.] Yield components and nitrogen use in cereal-pea intercrops in Mediterranean environment // Field Crops Research, 2016. Vol. 196. pp. 379-388.

774. Monza J., Delgano M.J., Bedmar E.J. Nitrate reductase and nitrite reductase activity in free-living cells and bacteroids of Rhizobium loti // Plant Soil, 1992. Vol. 139. №2. pp. 203-207.

775. Moorhead D.L., Sinsabaugh R.L. A theoretical model of litter decay and microbial interaction // Ecol. Monogr., 2006. Vol. 76. pp. 151-174.

776. Moreau D., Voisin A-S., Salon C., Munier-Jolain N. The model symbiotic association between *Medicago truncatula cv. Jemalong* and *Rhizobium meliloti* strain 2011 leads to N-stressed plants when sumbiotic N_2 fixation in the main N source for plant growth // J. Exp. Bot., 2008. Vol. 59. №13. pp. 3509-3522.

777. Mosier A., Kroeze C., Nevison C. [et al] Closing the global N_2O budget: nitrous oxide emissions through the agricultural nitrogen cycle // Nutrient Cycl. in Agroecosyst, 1998. Vol. 52. pp. 225-248.

778. Muhammad S., Müller T., Joergensen R.G. Decomposition of pea and maize straw in Paki-stani soils along a gradient in salinity // Biol. Fert. Soils, 2006. Vol. 43. №1. pp. 93-101.

779. Müller C., Sherlock R.R., Williams P.H. Mechanistic model for nitrous oxide emission via nitrification and denitrification // Biol. and Fertil. Soils, 1997. Vol. 24. pp. 231-238.

780. Nannipieri P., Ascher J., Ceccherini M.T., Landi L., Pietramellara G., Renella G. Microbial diversity and soil functions // Eur. J. Soil Sci., 2003. Vol. 54 (4). pp. 655-670.

781. Naudin C., Corre-Hellou G., Pineau S. [et al.] The effect of various dynamics of N availability on winter pea-wheat intercrops: crop growth, N partitioning and symbiotic N_2 fixation // Field Crops Research, 2010. Vol. 119. pp. 2-11.

782. Naudin C., Corre-Hellou G., Voisin A-S. [et al.] Inhibition and recovery of symbiotic N_2 fixation by peas (*Pisum sativum L.*) in response to short-term nitrate exposure // Plant and Soil, 2011. Vol. 346. pp. 275.

783. Neamatollahi E., Jahansuz M.R., Mazaheri D., Bannayan M. Intercropping // In: Lichtfouse E. (eds) Sustainable agriculture reviews, 2013. Vol. 12.

784. Nicolardot B., Bouziri L., Bastian F., Ranjard L. A microcosm experiment to evaluate the influence of location and quality of plant residues on residue decomposition and genetic structure of soil microbial communities // Soil Biol. Biochem., 2007. Vol. 39. №7. pp. 1631-1644.

785. Nobre A.D., Keller M., Crill P.M., Harriss R.C. Shortterm nitrous oxide profile dynamics and emission response to water, nitrogen and carbon additions in two tropical soils // Biol. and Fertil. Soils, 2001. Vol. 34. pp. 363-373.

786. Novak K, Skrdleta V, Kropakova M, et al. Interaction of two genes controlling symbiotic nodule number in pea (*Pisum sativum L.*) // Symbiosis, 1997. Vol. 23 (1). pp. 43-62.

787. Novak K., Chovanes P., Skrdleta V. et al. Effect of exogenous flavonoids on nodulation of pea (*Pisum sativum L.*) // J. Exp. Bot., 2002. Vol. 53. №375. pp. 1735-1745.

788. Ocio J.A., Brookes P.C., Jenkinson D.S. Field incorporation of straw and its effects on soil microbial biomass and soil inorganic N // Soil Biol. Biochem., 1991. Vol. 23. pp. 171-176.

789. Oertel C., Matschullat J., Zurba K. [et al] Greenhouse gas emissions from soils – A review // Chemie der Erde, 2016. Vol. 76. pp. 327-352.

790. Ohyama T., Saito A., Higuchi K. [et al.] Effect of nitrate on nodulation and nitrogen fixation of soybean // Soybean Physiology and Biochemistry, 2011. pp. 333-364.

791. Oldroyd G.E., Dixon R.D. Biotechnological solutions to the nitrogen problem // Current Opinion in Biotechnology, 2014. Vol. 26. pp. 19-24.

792. Oldroyd G.E.D., Engstrom E.M., Long S.R. Ethylene inhibits the Nod factor signal transduction pathway of Medicago truncatula // Plant Cell., 2001. Vol. 13. №8. pp. 1835-1849.

793. Oldroyd G.E.D., Murray J.D., Poole P.S., Downie A.J. The rules of engagement in the legume-rhizobial symbiosis // Annual Review of Genetics, 2011. Vol. 45. pp. 119-144.

794. Ostonen I., Püttsepp Ü., Biel C. [et al] Specific root length as an indicator of environmental change plant biosystems – an international journal dealing with all aspects of plant // Biology, 2007. Vol. 141. pp. 426-442.

795. Otieno P.E., Muthomi J.W., Chemining`wa G.N., Nderitu J.H. Effect of rhizobia inoculation, farm yard manure and nitrogen fertilizer on nodulation and yield of food grain legumes // Journal of Biological Sciences, 2009. №9. pp. 326-332.

796. Pagnussat G.G., Simontacchi M., Lamattina L. Nitric oxide is required for root organogenesis // Plant Physiol., 2002. Vol. 129. №3. pp. 954-956.

797. Palm C.A., Gachengo C.N., Delve R.J. [et al.] Organic inputs for soil fertility management in tropical agroecosystems: application of an organic resource database // Agriculture, Ecosystems and Environment, 2001. Vol. 83. pp. 27-42.

798. Palm C.A., Sanchez P.A. Nitrogen release from the leaves of some tropical legumes as affected by their lignin and polyphenolic contents // Soil Biol. Biochem., 1991. Vol. 23. pp. 83-88.

799. Pan B., Smith D.L. Preincubation of *B. japonicum* cells with genistein reduces the inhibitory effects of mineral nitrogen on soybean nodulation and nitrogen fixation under field conditions // Plant Soil, 2000. Vol. 223. №1-2. pp. 237-244.

800. Pelzer E, Bazota M, Makowski D [et al.] Pea-wheat intercrops in low-input conditions combine high economic performances and low environmental impacts // Eur J Agron., 2012. Vol. 40. pp. 39-53.

801. Pierreux J., Delaplace P., Roisin C., Bodson B. Perspectives offertes par la culture en association de froment et de pois protéagineux d'hiver // Livre Blanc «Céréales», 2014. pp. 10/5-10/11.

802. Piotrowska-Długosz A. Significance of the Enzymes Associated with Soil C and N Transformation // In: Datta, R., Meena, R., Pathan, S., Ceccherini, M. (eds) Carbon and nitrogen cycling in soil, 2020.

803. Poluektov R.A. Dynamics of microbial population in the framework of a model of nitrogen transformation in soil // Russ. Agricult. Sci., 2011. Vol. 37. pp. 501-503.

804. Provorov N.A., Tikhonovich I.A., Genetic resources for improving nitrogen fixation in legume-rhizobia symbiosis // Genet. Resources and Crop Evolution, 2003. Vol. 50. pp. 89-99.

805. Provorov N.A., Vorobyov N.I. Host plant as an organizer of microbial evolution in the beneficial symbioses // Phytochem. Rev., 2009. Vol. 8. pp. 519-534.

806. Rana K.L., Kour D., Yadav A.N., Yadav N., Saxena A.K. Agriculturally important microbial biofilms: biodiversity, ecological significances, and biotechnological applications // New and Future Developments in Microbial Biotechnology and Bioengineering: microbial biofilms, 2020. pp. 221-265.

807. Rapson T.D., Dacres H. Analytical techniques for measuring nitrous oxide (Review) // Trends Anal. Chem., 2014. Vol. 54. pp. 65-74.

808. Raseduzzaman M., Jensen E.S. Does intercropping enhance yield stability in arable crop production? Ameta-analysis // Eur J Agron., 2017. Vol. 91. pp. 25-33.

809. Rashti M.R., Wang W.J., Chen C.R., Reeves S.H., Scheer C. Assessment of N_2O emissions from a fertilized vegetable cropping soil under different plant residue management strategies using ^{15}N tracing techniques // Sci. Total Environ., 2017. Vol. 598. pp. 479-487.

810. Rastogi M., Singh S., Pathak H. Emission of carbon dioxide from soil // Current Science, 2002. Vol. 82 (5). pp. 510-517.

811. Recous S., Robin D., Darwis D., Mary B. Soil inorganic N availability: effect on maize residue decomposition // Soil Biol. Biochem., 1995. Vol. 27. №12. pp. 1529-1533.

812. Reichstein M., Beer C. Soil respiration across scales: the importance of a model-data integration framework for data interpretation // J. Plant Nutr. Soil Sc., 2008. Vol. 171. pp. 344-354.

813. Rey A. Mind the gap: non-biological processes contributing to soil CO_2 efflux // Glob. Change Biol., 2015. Vol. 21. pp. 1752-1761.

814. Rodriguez C., Carlsson G., Englund J.-E. [et al.] Grain legume-cereal intercropping enhances the use of soil-derived and biologically fixed nitrogen in temperate agroecosystems. A meta-analysis // European Journal of Agronomy, 2020. Vol. 118. pp. 126077.

815. Roumiantseva M.L., Muntyan V.S. Root nodule bacteria *Sinorhizobium meliloti*: Tolerance to salinity and bacterial genetic determinants // Microbiology, 2015. Vol. 84. №3. pp. 303-318.

816. Roumyantseva M.L., Andronov E.E., Onichtchouk O.P. [et al.] Sinorhizobium isolates from salt-affected Aral sea basin // 5-th Eur. Nitrogen Fixation Conf., Norwich, 6-10 Sept. 2002.

817. Russell M.P., Birr A.S. Largescale assessment of symbiotic dinirogen fixation by crops: soybean and alfalfa in the Mississipi River basin //Agron. J., 2004. Vol. 96. pp. 1754-1760.

818. Sahota T.S., Sukhdev S. Malhi Intercropping barley with pea for agronomic and economic considerations in northern Ontario // Agricultural Sciences, 2012. Vol. 3. №7.

819. Samarah N.H. Effect of drying methods on germination and dormancy of common vetch (*Vicia sativa L.*) seed harvested at different maturity stages // Seed Science and Technology, 2005. Vol. 33 (3). pp. 733-740.

820. Sanchez F., Padilla J.E., Perez H., Lara M. Control of nodulin genes in root nodule development and metabolism // Annu. Rev. Plant Physiol. Mol. Biol., 1991. Vol. 42. pp. 507.

821. Scalbert A. Antimicrobial properties of tannins // Phytochemistry, 1991. Vol. 30. pp. 3875-3883.

822. Schallmach E., Minz D., Jurkevitch E. Culture independent detection of changes in rootassociated bacterial populations of common bean (*Phaseolus vulgaris L.*) following nitrogen depletion // Microb. Ecol., 2000. Vol. 40. pp. 309-316.

823. Scharff A.M., Egsgaard H., Hansen P.E., Rosendahl L. Exploring symbiotic nitrogen fixation and assimilation in pea root nodules by in vivo ^{15}N nuclear magnetic resonance spectroscopy and liquid chromatography-mass spectrometry // Plant Physiol., 2003. Vol. 131. pp. 367-378.

824. Scheible W.R., Morcuende R., Czechowski T. [et al.] Genomewide reprogramming of primary and secondary metabolism, protein synthesis, cellular growth processes, and the regulatory infrastructure of Arabidopsis in response to nitrogen // Plant Physiol., 2004. Vol. 136. №1. pp. 2483-2499.

825. Schimel J.P., Bennett J.N. Nitrogen mineralization: challenges of a changing paradigm // Ecology, 2004. Vol. 85. pp. 591-602.

826. Schlesinger W.H., Andrews J.A. Soil respiration and the global carbon cycle // Biogeochemistry, 2000. Vol. 48. pp. 7-20.

827. Schomberg H.H., Steiner J.L. Estimating crop residue decomposition coefficients using substrate-induced respiration // Soil Biol. Biochem., 1997. Vol. 29. pp. 1089-1097.

828. Schulze J., Tesfaye M., Litjens R.H.M.G. [et al.] Malate plays a central role in plant nutrition // Plant Soil, 2002. Vol. 247. pp. 133-139.

829. Scibe U., Smith K.A., Fowler D. Nitrification and denitrification as sources of nitric oxide and nitrous oxide in a sandy loam soil // Soil Biol. Biochem., 1993. Vol. 25. №11. pp. 1527-1536.

830. Semenov A.M., Khvatov I.L., Olenin A.V. Determination of the number of ammonification bacteria and activity of the ammonification process in soils and their relevance for the development of the of soil health parameter // Curr. Investigat. Agricult. Curr. Res., 2019. Vol. 6 (2). pp. 715-722.

831. Semenov V.M., Pautova N.B., Lebedeva T.N. [et al.] Plant residues decomposition and formation of active organic matter in the soil of the incubation experiments // Eurasian Soil Science, 2019. Vol. 52. pp. 1183-1194.

832. Sessitsch A., Howieson J.G., Perret X. [et al.] Advances in rhizobium research // Crit. Rev. Plant Sci., 2002. Vol. 21. pp. 323-378.

833. Shcherbak I., Millar N., Robertson G.P. Global meta-analysis of nonlinear response of soil nitrous oxide (N_2O) emissions to fertilizer nitrogen // PNAS, 2014. Vol. 111. pp. 9199-9204.

834. Signora L., Smet I., Foyer C.H., Zhang H. ABA play a central role in mediating the regulatory effects of nitrate on root branching in Arabidopsis // Plant J., 2001. Vol. 28. №6. pp. 655-662.

835. Sitch S., Friedlingstein P., Gruber N. [et al.] Recent trends and drivers of regional sources and sinks of carbon dioxide // Biogeosciences, 2015. Vol.12. pp. 653-679.

836. Six J., Frey S.D., Thiet R.K., Batten K.M. Bacterial and fungal contributions to carbon sequestration in agroecosystems // Soil Sci. Soc. Am. J., 2006. Vol. 70. pp. 555-569.

837. Soto M.J., Sanjuan J., Olivares J. Rhizobia and plant-pathogenic bacteria: common infection weapons // Microbiol., 2006. Vol. 152. №11. pp. 3167-3174.

838. Sprent J.I. Evolving ideas of legume evolution and diversity: a taxonomic perspective on the occurrence of nodulation // New Phytol., 2007. Vol. 174 (1). pp. 11-25.

839. Sprent J.I. Nitrogen fixation by grain legumes in the U.K. // Philosophical Transactions of the Royal Society, 1982. Vol. 296. pp. 387-395.

840. Stott D.E., Kassim G., Jarrell W.M. et al. Stabilization and incorporation into biomass of specific plant carbon during biodegradation in soil // Plant and Soil, 1983. Vol. 70. pp. 15-26.

841. Streeter J.G. (1980). Carbohydrates in soybean nodules. II. Distribution of compounds in seedlings during the onset of nitrogen fixation // Plant Physiol., Vol. 66. pp. 471-476.

842. Subke J.A., Ingima I., Cotrufo M.F. Trends and methodological impacts in soil CO_2 efflux partitioning: A meta analytical review // Glob Change Biol., 2006. Vol. 12. pp. 921-943.

843. Sun B., Wang X., Wang F. [et al.] Assessing the relative effects of geographic location and soil type on microbial communities associated with straw decomposition // Appl. Environ. Microbiol., 2013. Vol. 79. №11. pp. 3327-3335.

844. Tang X., Bernard L., Brauman A. [et al.] Increase in microbial biomass and phosphorus availability in the rhizosphere of intercropped cereal and legumes under field conditions // Soil Biology and Biochemistry, 2014. Vol. 75. pp. 86-93.

845. Tarnocai C., Canadell J.D., Schuur E.A.G. [et al.] Soil organic pools in the northern circumpolar permafrost // Global Biogeochemical Cycles, 2009. Vol. 23. pp. 1-11.

846. Tatsumi C., Taniguchi T., Du S. [et al.] The steps in the soil nitrogen transformation process vary along an aridity gradient via changes in the microbial community // Biogeochemistry, 2019. Vol. 144. pp. 15-29.

847. Thuriés L., Pansu M., Feller C. et al. Kinetics of added organic matter decomposition in a Mediterranean sandy soil // Soil Biol. Biochem., 2001. Vol. 33. pp. 997-1010.

848. Tian Xl., Wang C., Bao Xg. [et al.] Crop diversity facilitates soil aggregation in relation to soil microbial community composition driven by intercropping // Plant and Soil, 2019. Vol. 436. pp. 173-192.

849. Tomme P., Warren R.A.J., Gilkes N. Cellulose hydrolysis by bacteria and fungi // Adv. Microb. Physiol., 1995. Vol. 37. pp. 1-81.

850. Tosti G., Benincasa P., Farneselli M. [et al.] Barley-hairy vetch mixture as cover crop for green manuring and the mitigation of N leaching risk // European Journal of Agronomy, 2014. Vol. 54. pp. 34-39.

851. Treonis A.M., Ostle N.J., Stott A.W. [et al.] Identification of groups of metabolically active rhizosphere microorganisms by stable isotope probing of PLFAs // Soil Biol. Biochem., 2004. Vol. 36. pp. 533-537.

852. Trinsoutrot I., Recous S., Bentz B. [et al.] Biochemical quality of crop residues and carbon and nitrogen mineralization kinetics under nonlimiting nitrogen conditions // Soil Sci. Soc. Amer. J., 2000. Vol. 64. pp. 918-926.

853. Trinsoutrot J., Recous S., Mary B., Nicolardot B. C and N flukes of decomposing ^{13}C and ^{15}N Brassica napus: effect of residue composition and N content // Soil Biol. Biochem. 2000. Vol. 32. №11-12. pp. 1717-1730.

854. Tsialtasa I.T., Baxevanos D., Vlachostergios D.N. [et al.] Cultivar complementarity for symbiotic nitrogen fixation and water use efficiency in pea-oat intercrops and its effect on forage yield and quality // Field Crops Research, 2018. Vol. 226. pp. 28-37.

855. Udvardi M.K., Day D.A. Metabolite transport across symbiotic membranes of legume nodules // Annu. Rev. Plant Physiol. Plant Mol. Biol., 1997. Vol. 48. pp. 493-523.

856. Urakawa R., Ohte N., Shibata H. [et al.] Estimation of field soil nitrogen mineralization and nitrification rates using soil N transformation parameters obtained through laboratory incubation // Ecological Research, 2017. Vol. 32. pp. 279-285.

857. Van Der Hoek K.W. Nitrogen cycling on dairy farms // Материалы конференции «Снижение отрицательного воздействия на окружающую среду химически активного азота при производстве сельскохозяйственной продукции». – Санкт-Петербург, 2010. С 78-86.

858. Van Grinsven H., Spiertz J., Westhoek H., Bouwman A., Erisman J. Nitrogen use and food production in European regions from a global perspective // The Journal of Agricultural Science, 2014. Vol. 152 (S1). pp. 9-19.

859. Van Hees P.A.W., Jones D.L., Finlay R. [et al.] The carbon we do not see – the impact of low molecular weight compounds on carbon dynamics and respiration in forest soils: a review // Soil Biol. Biochem., 2005. Vol. 37. pp. 1-13.

860. Van Moortel E., Boeckx P., Van Cleemput O. Inventory of nitrous oxide emissions from agriculture in Belgium – calculations according to the revised 1996 lntergovern- mental Panel оп Climate Change guidelines // Biol. and Fertil. Soils, 2000. Vol. 30. pp. 500-509.

861. Vance C.P. Carbon and nitrogen metabolism in legume nodules // In: Dilworth M.J., James E.K., Sprent J.I., Newton W.E. (eds) Nitrogen-fixing leguminous symbioses. Nitrogen fixation: origins, applications, and research progress, 2008. Vol. 7. pp. 293-320.

862. Vance C.P. Legume symbiotic nitrogen fixation: agronomic aspects // In: Spaink H.P., Kondorosi A., Hooykaas P.J..J. (eds) The Rhizobiaceae Dordrecht, 1998. pp. 509-530.

863. Vance C.P., Miller S.S., Driscoll B.T. [et al.] // In: Elmerich C., Kondorosi A., Newton W.E. (eds.) Nodule carbon metabolism: organic acids for N_2 fixation. Biological nitrogen fixation for the 21st century, 1997. pp. 443-448.

864. Vasiljeva V. Nitrogen content in yield of dry aboveground and root mass of forage lucerne (*Medicago sativa L.*) after mineral nitrogen fertilization and water deficiency stress // Agronomy Research, 2012. Vol. 10 (1-2). pp. 351-356.

865. Vasilyeva V., Kostov O. Effect of mineral and organic nitrogen on nodulation and production of lucerne under imposed drought conditions // Grassland Sci. Europe, 2001. Vol. 6. pp. 23-26.

866. Vasse J., de Billy F., Truchet G. Abortion of infection during the Rhizobium meliloti – alfalfa symbiotic interaction is accompanied by a hypersensitive reaction // Plant J., 1993. Vol. 4. №3. pp. 555-566.

867. Vessey J.K. Benefits of inoculating legume crops with rhizobia in the northern Great Plains // Retrieved, 2005. Vol. 2.

868. Vessey J.K., Bolman M.I. Differential effects of nitrate and ammonium supply on nodule initiation, development, and distribution on roots of pea (*Pisum sativum L.*) // Canad. J. Bot., 2006. Vol. 84. №6. pp. 893-903.

869. Vigil M.F., Kissel D.E. Equations for estimating the amount of nitrogen mineralized from crop residues // Soil Science Society American Journal, 1991. Vol. 55. pp. 757-761.

870. Wang R., Xing X., Crawford N. Nitrite acts as a transcriptome signal at micromolar concentrations in Arabidopsis roots // Plant Physiol., 2007. Vol. 145. №4. pp. 1735-1745.

871. Wang X., Chen Y., Yang K. [et al.] Effects of legume intercropping and nitrogen input on net greenhouse gas balances, intensity, carbon footprint and crop productivity in sweet maize cropland in South China // Journal of Cleaner Production, 2021. Vol. 314. pp. 127997.

872. Wani S.A., Wani M.A., Sheikh A.A., Chand S. Microbiological-indicators with potential for evaluating soil quality // International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences, 2017. Vol. 6 (2). pp. 831-839.

873. Watkins N., Barraclough D. Gross rates of N mineralization associated with the decomposition of plant residues // Soil Biol. Biochem., 1996. Vol. 28. pp. 169-175.

874. Wenxue L., Long L., Jianhao S. [et al.] Effects of intercropping and nitrogen application on nitrate present in the profile of an orthic anthrosol in Northwest China // Agriculture, Ecosystems & Environment, 2005. Vol. 105. pp. 483-491.

875. West S.A., Kiers E.T., Pen I., Denison R.F. Sanctions and mutualism stability: When should less beneficial mutualists be tolerated? // J. Evol. Biol., 2002. Vol. 15. pp. 830-837.

876. Wiersma J.V., Orf J.H. Early maturing soybean nodulation and performance with selected Bradyrizobium japonicum strains // Agronomy J., 1992. Vol. 84. pp. 449-458.

877. Winkler R.G., Blevins D.G., Polacco J.C., Randall D.D. Ureide catabolism in nitrogen fixing legumes // Trends Biochem Sci., 1988. Vol. 13, pp. 97-100.

878. Winter F.G. Allelopathie ales Stoffwauderung und Stoffumwandlund // Ber. Dtsch. hort. Ges., 1960. Vol. 73 (9). pp. 32-36.

879. Wrage N., Groenigen J.W.V., Oenema O., Baggs, E.M. A novel dual-isotope labelling method for distinguishing between soil sources of N_2O // Rapid Communications in Mass Spectrometry, 2005. Vol. 19 (22). pp. 3298-3306.

880. Yoo S.H., Weon H.Y., Kim B.Y. [et al.] Devosia soli sp. nov., isolated from greenhouse soil in Korea // International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology, 2006. Vol. 56. pp. 2689-2692.

881. Zak D.R., Pregitzer K.S., King J.S., Holmes W.E. Elevated atmospheric CO_2, fine roots and the response of soil microorganisms: A review and hypothesis // New Phytol., 2000. Vol. 147. pp. 201-222.

882. Zhang F., Long L. Using competitive and facilitative interactions in intercropping systems enhances crop productivity and nutrient-use efficiency // Plant and Soil, 2003. Vol. 248, pp. 305-312.

883. Zhang H., Charles T.C., Driscoll B.T. [et al.] Low temperature tolerant *Bradyrhizobium japonicum* strains allowing improved soybean yield in short-season areas // Agron. J., 2002. Vol. 94. pp. 870-875.

884. Zhang L.P., Jiang C.L., Chen W.X. *Streptosporangium yunnanense sp. nov.* and *Streptosporangium purpuratum sp. nov.*, from soil in China // Int. J. Syst. Evol. Microbiol., 2005. Vol. 55. pp. 719-724.

ПРИЛОЖЕНИЯ

Приложение 1

Агрохимическая и морфологическая характеристика дерново-мелкоподзолистой среднесуглинистой почвы опытного участка

Слой и его глубина, см	Гумус, %	pH_{KCl}	Нг	S	ЕКО	V,%	$N_{мин}$	P_2O_5	K_2O
			мг-экв./100 г. почвы				мг/кг почвы		
$А_{пах}$, 0...29	2,1	6,2	0,7	25,8	26,5	97	42	171	241
$А_2$, 29...43	-	5,3	0,9	26,8	27,7	97	39	82	157
$В_1$, 43...70	-	4,4	1,2	25,8	27,1	95	37	30	138
$В_2$, 70…103	-	4,3	1,7	26,0	27,7	94	38	95	124
ВС, 103…120	-	4,1	2,5	26,2	28,7	91	38	104	116
С, 120...150	-	4,1	2,8	26,9	29,7	90	41	116	129

$А_{пах}$, 0-29 см. Пахотный, светло-серый, иссушенный, среднесуглинистый, порошисто-комковатый, слитый, тонкопористый, гумусовые затеки в виде карманов, переход по окраске.

$А_2$, 29-43 см. Подзолистый, белесый, иссушенный, среднесуглинистый, слитый, обильная присыпка кремнезема, бесструктурный, плотноватый, затеки в виде языков, переход по окраске и структуре.

$В_1$, 43-70 см. Иллювиальный, бурый, почти сухой, единичные корни, тяжелосуглинистый, ореховатый, очень плотный, тонкопористый, ровный по цвету и структуре.

$В_2$, 70-103 см. Бурый, несколько темнее предыдущего горизонта, слегка увлажнен, тяжелый суглинок, мелкоореховатый, плотный, единичные корни, переход к горизонту ВС постепенный.

ВС, 103-120 см. Переходный, неоднородной окраски за счет затеков в виде языков с вышележащего горизонта, единичные корни, среднесуглинистый, слоисто-ореховатый, уплотненный, переход к материнской породе не ясный.

С 120-150 см. Древне-аллювиальные отложения, свежий, желтовато-бурый, корней нет, средний суглинок, слоистый, плотноватый, в нижней части встречаются прослойки элювия пермских глин в виде плиточек с раковистым изломом.

Приложение 2

Характеристика гороха посевного сорта Агроинтел

Оригинатор сорта ООО «Фабалес». Авторы сорта: Бежанидзе О.И., Бежанидзе Ю.И., Пантюхов М.К., Чалков А.Н.

Сорт выведен методом межсортовой гибридизации «Богатырь» (Чехословакия), «Немчиновский 91» и «Норд» с последующим индивидуальным отбором. Разновидность Cirrosum.

Сорт включен в Госреестр и районирован по Западно-Сибирскому, Восточно-Сибирскому, Уральскому, Средневолжскому, Центрально-Черноземному и Волго-Вятскому регионам РФ.

Максимальный урожай в производстве: 5,4 т/га (2011 г. Тюменская область, Омутинский район). Урожай в госиспытании: за три засушливых года 2010-2013 – 3,65 т/га (Тюменская обл., Ишимский ГСУ), что выше стандарта – сорта «Ямальский» на 0,37 т/га.

Высокозасухоустойчивый, высокоурожайный среднеспелый сорт, усатой формы, устойчивый к полеганию и растрескиванию бобов, зернового (продовольственного) использования. Обладает высоким потенциалом урожайности семян. Устойчивость к полеганию: 4,5-4,8 баллов. Масса 1000 зерен: 262,5 г. Высота растения: 55-95 см. Вегетационный период: 70-80 дней.

Сорт безлисточковый, с хорошо развитыми усами. Содержание белка в зерне 23-24%, в зеленой массе 16-17%. По результатам конкурсного испытания средняя урожайность зеленой массы 320-350 ц/га (https://reestr.gossortrf.ru).

Приложение 3

Характеристика гороха посевного сорта Вельвет

Оригинатор – SELGEN A.S.

Родословная: SG-L-2651 x Mozart. Включен в Госреестр по Центрально-Черноземному (5) и Северо-Кавказскому (6) регионам. Рекомендован для возделывания в Курской области, Краснодарском и Ставропольском краях.

Безлисточковый сорт усатого типа среднеранней группы спелости. Число узлов до и включая первый фертильный узел большое. Прилистники хорошо развиты, пятнистость имеется. Максимальное число цветков на узел - два. Цветки белые. Бобы с тупой верхушкой, степень изогнутости слабая - средняя. Семена неправильной формы. Семядоли желтые. Рубчик светлый.

Средняя урожайность в Центрально-Черноземном регионе 19,3 ц/га, в Северо-Кавказском - 22 ц/га, на уровне стандартных сортов. В Курской области при урожайности 23,6 ц/га превысил стандарт Девиз на 3 ц/га. Максимальная урожайность 45,1 ц/га получена в 2012 г. в Курской области.

Среднеспелый, вегетационный период 71-95 дней. Высота растений до 100 см. Среднезасухоустойчив, на уровне стандартов. Устойчивость к осыпанию и растрескиванию высокая. Устойчив к полеганию. Масса 1000 семян 262 г. Товарные и кулинарные качества хорошие. Содержание белка в зерне до 27,5%. Ценный по качеству (https://reestr.gossortrf.ru).

Приложение 4

Схематическое расположение вариантов по делянкам опыта с одновидовыми посевами гороха (*опыт №1*)

сорт Вельвет				сорт Агроинтел			
$B_3 – N_{60}$	Фактор B_0 - без обработки ризоторфином	$B_7 – N_{120}$	Фактор B_1 - обработка ризоторфином	$B_3 – N_{60}$	Фактор B_0 - без обработки ризоторфином	$B_7 – N_{120}$	Фактор B_1 - обработка ризоторфином
$B_2 – N_{45}$		$B_6 – N_{105}$		$B_2 – N_{45}$		$B_6 – N_{105}$	
$B_1 – N_{30}$		$B_5 – N_{90}$		$B_1 – N_{30}$		$B_5 – N_{90}$	
$B_0 – N_0$		$B_4 – N_{75}$		$B_0 – N_0$		$B_4 – N_{75}$	
$B_7 – N_{120}$		$B_3 – N_{60}$		$B_7 – N_{120}$		$B_3 – N_{60}$	
$B_6 – N_{105}$		$B_2 – N_{45}$		$B_6 – N_{105}$		$B_2 – N_{45}$	
$B_5 – N_{90}$		$B_1 – N_{30}$		$B_5 – N_{90}$		$B_1 – N_{30}$	
$B_4 – N_{75}$		$B_0 – N_0$		$B_4 – N_{75}$		$B_0 – N_0$	
$B_3 – N_{60}$		$B_7 – N_{120}$		$B_3 – N_{60}$		$B_7 – N_{120}$	
$B_2 – N_{45}$		$B_6 – N_{105}$		$B_2 – N_{45}$		$B_6 – N_{105}$	
$B_1 – N_{30}$		$B_5 – N_{90}$		$B_1 – N_{30}$		$B_5 – N_{90}$	
$B_0 – N_0$		$B_4 – N_{75}$		$B_0 – N_0$		$B_4 – N_{75}$	
$B_7 – N_{120}$		$B_3 – N_{60}$		$B_7 – N_{120}$		$B_3 – N_{60}$	
$B_6 – N_{105}$		$B_2 – N_{45}$		$B_6 – N_{105}$		$B_2 – N_{45}$	
$B_5 – N_{90}$		$B_1 – N_{30}$		$B_5 – N_{90}$		$B_1 – N_{30}$	
$B_4 – N_{75}$		$B_0 – N_0$		$B_4 – N_{75}$		$B_0 – N_0$	
$B_3 – N_{60}$	Фактор B_1 - обработка ризоторфином	$B_7 – N_{120}$	Фактор B_0 - без обработки ризоторфином	$B_3 – N_{60}$	Фактор B_1 - обработка ризоторфином	$B_7 – N_{120}$	Фактор B_0 - без обработки ризоторфином
$B_2 – N_{45}$		$B_6 – N_{105}$		$B_2 – N_{45}$		$B_6 – N_{105}$	
$B_1 – N_{30}$		$B_5 – N_{90}$		$B_1 – N_{30}$		$B_5 – N_{90}$	
$B_0 – N_0$		$B_4 – N_{75}$		$B_0 – N_0$		$B_4 – N_{75}$	
$B_7 – N_{120}$		$B_3 – N_{60}$		$B_7 – N_{120}$		$B_3 – N_{60}$	
$B_6 – N_{105}$		$B_2 – N_{45}$		$B_6 – N_{105}$		$B_2 – N_{45}$	
$B_5 – N_{90}$		$B_1 – N_{30}$		$B_5 – N_{90}$		$B_1 – N_{30}$	
$B_4 – N_{75}$		$B_0 – N_0$		$B_4 – N_{75}$		$B_0 – N_0$	
$B_3 – N_{60}$		$B_7 – N_{120}$		$B_3 – N_{60}$		$B_7 – N_{120}$	
$B_2 – N_{45}$		$B_6 – N_{105}$		$B_2 – N_{45}$		$B_6 – N_{105}$	
$B_1 – N_{30}$		$B_5 – N_{90}$		$B_1 – N_{30}$		$B_5 – N_{90}$	
$B_0 – N_0$		$B_4 – N_{75}$		$B_0 – N_0$		$B_4 – N_{75}$	
$B_7 – N_{120}$		$B_3 – N_{60}$		$B_7 – N_{120}$		$B_3 – N_{60}$	
$B_6 – N_{105}$		$B_2 – N_{45}$		$B_6 – N_{105}$		$B_2 – N_{45}$	
$B_5 – N_{90}$		$B_1 – N_{30}$		$B_5 – N_{90}$		$B_1 – N_{30}$	
$B_4 – N_{75}$		$B_0 – N_0$		$B_4 – N_{75}$		$B_0 – N_0$	

Приложение 5

Инструкция по применению микробиологического препарата Ризоторфин

Микробиологический препарат «Ризоторфин» марки Б используется для предпосевной обработки семян бобовых культур: козлятника, сои, гороха, нута, вики, донника, люцерны, клевера. Препарат представляет собой торфяной субстрат, обогащенный углеводами, минеральными веществами и микроэлементами, на котором выращены высокоэффективные клубеньковые бактерии. В одном грамме микробиологического препарата содержится не менее 2,5 млрд. активных клубеньковых бактерий.

Инокуляцию посевного материала проводят в день посева, преимущественно непосредственно перед посевом, так как клубеньковые бактерии, нанесённые на поверхность семян, быстро гибнут – уже через 5-6 часов после обработки их количество уменьшается вдвое. Обработка семян проводится в крытых помещениях или под навесом, чтобы на семена не попадали прямые солнечные лучи.

Обработку семян производят вручную или механизированным способом машинами для протравливания семян ПСШ-3, ПС-10. Необходимо, чтобы бактериальный препарат равномерно распределялся по массе посевного материала.

Обработка семян гороха посевного предполагает, что на гектарную норму высева необходимо взять 400-600 г бактериального препарата Ризоторфин и развести в 5-8 л воды (http://biofab.ru)

Приложение 6

Характеристика овса ярового сорта Конкур

Сорт создан в ГНУ «НИИСХ ЦРНЗ» (лаборатория селекции овса) в сотрудничестве с Ульяновским НИИСХ. Удостоен серебряной медали и диплома на международной выставке в Женеве.

Родословная: выведен методом сложной гибридизации с участием сортов Сорока, Хинаат и Горизонт с последующим индивидуальным отбором.

Морфо-биологическая характеристика. Разновидность Mutika. Восковой налёт на нижней цветковой чешуе отсутствует, колосковая чешуя средней длины, остистость слабая, основание зерна слабоопушённое, стебель средней толщины, прочный.

От сорта Скакун отличается отсутствием опушения верхнего стеблевого узла, более ранним вымётыванием, более высокой соломиной.

Сорт среднеспелый, зернового направления, но может с успехом возделываться также на зелёную массу в смеси с бобовыми культурами.

Основные достоинства сорта:

- высокопродуктивный (максимальный урожай в конкурсном сортоиспытании 6,23 т/га; средний за 2003-2005 гг. – 4,55 т/га;
- устойчив к полеганию, осыпанию зерна, поражению пыльной головнёй;
- крупнозёрный (масса 1000 зерен 34,5-36,8 г).

Конкур включен в список сортов наиболее ценных по технологическим качествам зерна: натура 498-566 г/л, пленчатость 24,0-30,0%, содержание белка 9,7-12,4% (https://reestr.gossortrf.ru).

Приложение 7

Схематическое расположение вариантов по делянкам опыта с одновидовыми и смешанными посевами яровых зерновых культур (*опыт №4*)

$B_0 - N_0$	A_3 – пшеница 25% + горох 75%	$B_2 - N_{60}$	A_4 – горох 100%	$B_0 - N_0$	A_3 – пшеница 25% + горох 75%	$B_2 - N_{60}$	A_4 – горох 100%
$B_2 - N_{60}$		$B_1 - N_{30}$		$B_2 - N_{60}$		$B_1 - N_{30}$	
$B_1 - N_{30}$		$B_0 - N_0$		$B_1 - N_{30}$		$B_0 - N_0$	
$B_0 - N_0$		$B_2 - N_{60}$		$B_0 - N_0$		$B_2 - N_{60}$	
$B_2 - N_{60}$		$B_1 - N_{30}$		$B_2 - N_{60}$		$B_1 - N_{30}$	
$B_1 - N_{30}$		$B_0 - N_0$		$B_1 - N_{30}$		$B_0 - N_0$	
$B_0 - N_0$	A_2 – пшеница 50% + горох 50%	$B_2 - N_{60}$	A_3 – пшеница 25% + горох 75%	$B_0 - N_0$	A_2 – пшеница 50% + горох 50%	$B_2 - N_{60}$	A_3 – пшеница 25% + горох 75%
$B_2 - N_{60}$		$B_1 - N_{30}$		$B_2 - N_{60}$		$B_1 - N_{30}$	
$B_1 - N_{30}$		$B_0 - N_0$		$B_1 - N_{30}$		$B_0 - N_0$	
$B_0 - N_0$		$B_2 - N_{60}$		$B_0 - N_0$		$B_2 - N_{60}$	
$B_2 - N_{60}$		$B_1 - N_{30}$		$B_2 - N_{60}$		$B_1 - N_{30}$	
$B_1 - N_{30}$		$B_0 - N_0$		$B_1 - N_{30}$		$B_0 - N_0$	
$B_0 - N_0$	A_1 – пшеница 75% + горох 25%	$B_2 - N_{60}$	A_2 – пшеница 50% + горох 50%	$B_0 - N_0$	A_1 – пшеница 75% + горох 25%	$B_2 - N_{60}$	A_2 – пшеница 50% + горох 50%
$B_2 - N_{60}$		$B_1 - N_{30}$		$B_2 - N_{60}$		$B_1 - N_{30}$	
$B_1 - N_{30}$		$B_0 - N_0$		$B_1 - N_{30}$		$B_0 - N_0$	
$B_0 - N_0$		$B_2 - N_{60}$		$B_0 - N_0$		$B_2 - N_{60}$	
$B_2 - N_{60}$		$B_1 - N_{30}$		$B_2 - N_{60}$		$B_1 - N_{30}$	
$B_1 - N_{30}$		$B_0 - N_0$		$B_1 - N_{30}$		$B_0 - N_0$	
$B_0 - N_0$	A_0 – пшеница 100%	$B_2 - N_{60}$	A_1 – пшеница 75% + горох 25%	$B_0 - N_0$	A_0 – пшеница 100%	$B_2 - N_{60}$	A_1 – пшеница 75% + горох 25%
$B_2 - N_{60}$		$B_1 - N_{30}$		$B_2 - N_{60}$		$B_1 - N_{30}$	
$B_1 - N_{30}$		$B_0 - N_0$		$B_1 - N_{30}$		$B_0 - N_0$	
$B_0 - N_0$		$B_2 - N_{60}$		$B_0 - N_0$		$B_2 - N_{60}$	
$B_2 - N_{60}$		$B_1 - N_{30}$		$B_2 - N_{60}$		$B_1 - N_{30}$	
$B_1 - N_{30}$		$B_0 - N_0$		$B_1 - N_{30}$		$B_0 - N_0$	
$B_0 - N_0$	A_4 – горох 100%	$B_2 - N_{60}$	A_0 – пшеница 100%	$B_0 - N_0$	A_4 – горох 100%	$B_2 - N_{60}$	A_0 – пшеница 100%
$B_2 - N_{60}$		$B_1 - N_{30}$		$B_2 - N_{60}$		$B_1 - N_{30}$	
$B_1 - N_{30}$		$B_0 - N_0$		$B_1 - N_{30}$		$B_0 - N_0$	
$B_0 - N_0$		$B_2 - N_{60}$		$B_0 - N_0$		$B_2 - N_{60}$	
$B_2 - N_{60}$		$B_1 - N_{30}$		$B_2 - N_{60}$		$B_1 - N_{30}$	
$B_1 - N_{30}$		$B_0 - N_0$		$B_1 - N_{30}$		$B_0 - N_0$	

Приложение 8

Характеристика пшеницы сорта Иргина

Сорт выведен в Красноуфимской селекционной станции индивидуальным отбором от скрещивания шведского сорта Вендель с Кометой и Стрелой. Разновидность milturum: колос красный, без опушения, без остей; зерно красное.

Раннеспелый, созревает за 66-106 дней, раньше Тюменской ранней на 2-3 дня. Высота растений около 85 см. Стеблестой выровненный. Устойчивость к полеганию высокая (5 баллов). Колос цилиндрической формы средней длины (8-9 см) и плотности (19-21 колосок на 10 см длины). Колосковая чешуйка овальная, нервация ее ярко выражена. Плечо колосковой чешуи прямое, средней ширины. Зубец тупой, короткий. Киль сильно выражен. Зерно яйцевидной формы. Масса 1000 зерен от 32 до 41 г.

По хлебопекарным качествам сорт отнесен к сильным пшеницам. Общая стекловидность зерна 53-79%. Содержание белка в зерне повышенное – 14-20%. Сырой клейковины в муке 29-46%. Сила муки 290-725 е.а. Общая хлебопекарная оценка 4,7 балла.

По урожайности одинаковый с сортом Тюменская ранняя или превышает его на 1,7 ц/га. Созревает дружно. Устойчив к прорастанию на корню. Отличается высоким процентом выхода зерна и послеуборочной всхожести.

Среднеустойчив к засухе (слабая устойчивость к ранневесенней засухе). При недостатке влаги мельчает зерно и снижается урожайность. Неустойчив к пыльной и твердой головне, устойчив к бурой ржавчине и корневым гнилям. Включен в государственный реестр с 1991 года по 4 регионам (Северному, Северо-Западному, Волго-Вятскому и Восточно-Сибирскому). В Пермском крае районирован с 1992 года (https://reestr.gossortrf.ru).

Приложение 9

Характеристика гороха посевного сорта Альбумен

Сорт выведен в ГУ Фаленская селекционная станция НИИСХ Северо-Востока. Родословная: Primcovert (к-5432, Франция) × Надежда.

Средняя урожайность зерна в регионе 14,5 ц/га, на 1,7 ц/га выше стандартов. Максимальная урожайность зерна 40,7 ц/га получена в 1997 г. в Красноярском крае.

Включен в Госреестр РФ с 1998 года по 1, 2, 3, 4, 9 и 11 региону Российской Федерации.

Разновидность vulgare. Стебель обычный, средней длины. Общее число междоузлий 15-19, до первого соцветия 11-14. Лист с 2-3 парами цельнокрайних листочков среднего размера. Прилистники хорошо развиты, имеется пятнистость. Соцветие - одно-, двухцветковая кисть. Цветки белые. Бобы 4-5-семянные, прямые или слабоизогнутые, с тупой верхушкой, пергаментный слой имеется. Семена округлые, гладкие. Семядоли желтые. Рубчик черный.

Среднеспелый, вегетационный период от всходов до уборки на зеленую массу 39-61, на семена 70-101 день. Устойчивость к полеганию, осыпанию – на уровне стандартных сортов обычного типа. Устойчивость к засухе средняя - выше средней, до 1-1,3 балла превышает стандартные сорта.

Содержание белка в зерне достигает 30,5%, до 3,4% превышает стандартные сорта; содержание белка в сухом веществе – до 23,4%.

Восприимчив к аскохитозу и корневым гнилям. Благодаря своим морфологическим особенностям менее требователен к почвенно-климатическим условиям по сравнению с сортами интенсивного типа Труженик, Орловчанин, не уступая им по урожайности, что очень важно для Волго-Вятского региона (https://reestr.gossortrf.ru).

Приложение 10

Характеристика сорта ярового ячменя Родник Прикамья

Сорт выведен ГУ Зональный НИИСХ Северо-Востока имени Н.В. Рудницкого совместно с Пермским НИИСХ методом индивидуального отбора из гибридной комбинации F_2 (Klondica × Perth).

Разновидность *nutans*. Среднеспелый, созревает в среднем за 86 дней.

Высота растения 69-98 см. Куст прямостоячий, окраска листьев светло-зеленая, лист широкий. Характеризуется высокой продуктивной кустистостью (2,4 при 2,0 у стандарта).

Зерно крупное, хорошо выполненное. Масса 1000 зёрен 49,4 г, пленчатость 7,76%, содержание белка в зерне 13,5%, крахмала – 60,3%.

Сорт высокоурожайный, средняя урожайность составила 44,4 ц/га, у стандарта Гонор – 38,9 т/га. Максимальная урожайность (53,7 ц/га) получена в 2010 г. на Нытвенском и Ординском сортоучастках.

Сорт устойчив к полеганию, несмотря на высокорослость, имеет слабопоникающий колос. Сорт устойчив к осыпанию и весенним заморозкам, пригоден к механизированной уборке. Отличается хорошей выживаемость растений.

Характеризуется как среднеустойчивый к корневым гнилям, слабо поражается стеблевой ржавчиной и полосатой пятнистостью, устойчив к пыльной головне.

Включен в Госреестр РФ с 2010 года по 4 региону Российской Федерации (https://reestr.gossortrf.ru).

Приложение 11

Схематическое расположение вариантов по делянкам опыта с одновидовыми и смешанными посевами озимых зерновых культур (*опыт №5*)

$B_1 - N_{30}$	A_3 – тритикале 25% + вика 75%	$B_3 - N_{60}$	A_4 – вика 100%	$B_1 - N_{30}$	A_3 – тритикале 25% + вика 75%	$B_3 - N_{60}$	A_4 – вика 100%
$B_0 - N_0$		$B_2 - N_{45}$		$B_0 - N_0$		$B_2 - N_{45}$	
$B_3 - N_{60}$		$B_1 - N_{30}$		$B_3 - N_{60}$		$B_1 - N_{30}$	
$B_2 - N_{45}$		$B_0 - N_0$		$B_2 - N_{45}$		$B_0 - N_0$	
$B_1 - N_{30}$	A_2 – тритикале 50% + вика 50%	$B_3 - N_{60}$	A_3 – тритикале 25% + вика 75%	$B_1 - N_{30}$	A_2 – тритикале 50% + вика 50%	$B_3 - N_{60}$	A_3 – тритикале 25% + вика 75%
$B_0 - N_0$		$B_2 - N_{45}$		$B_0 - N_0$		$B_2 - N_{45}$	
$B_3 - N_{60}$		$B_1 - N_{30}$		$B_3 - N_{60}$		$B_1 - N_{30}$	
$B_2 - N_{45}$		$B_0 - N_0$		$B_2 - N_{45}$		$B_0 - N_0$	
$B_1 - N_{30}$	A_1 – тритикале 75% + вика 25%	$B_3 - N_{60}$	A_2 – тритикале 50% + вика 50%	$B_1 - N_{30}$	A_1 – тритикале 75% + вика 25%	$B_3 - N_{60}$	A_2 – тритикале 50% + вика 50%
$B_0 - N_0$		$B_2 - N_{45}$		$B_0 - N_0$		$B_2 - N_{45}$	
$B_3 - N_{60}$		$B_1 - N_{30}$		$B_3 - N_{60}$		$B_1 - N_{30}$	
$B_2 - N_{45}$		$B_0 - N_0$		$B_2 - N_{45}$		$B_0 - N_0$	
$B_1 - N_{30}$	A_0 – тритикале 100%	$B_3 - N_{60}$	A_1 – тритикале 75% + вика 25%	$B_1 - N_{30}$	A_0 – тритикале 100%	$B_3 - N_{60}$	A_1 – тритикале 75% + вика 25%
$B_0 - N_0$		$B_2 - N_{45}$		$B_0 - N_0$		$B_2 - N_{45}$	
$B_3 - N_{60}$		$B_1 - N_{30}$		$B_3 - N_{60}$		$B_1 - N_{30}$	
$B_2 - N_{45}$		$B_0 - N_0$		$B_2 - N_{45}$		$B_0 - N_0$	
$B_1 - N_{30}$	A_4 – вика 100%	$B_3 - N_{60}$	A_0 – тритикале 100%	$B_1 - N_{30}$	A_4 – вика 100%	$B_3 - N_{60}$	A_0 – тритикале 100%
$B_0 - N_0$		$B_2 - N_{45}$		$B_0 - N_0$		$B_2 - N_{45}$	
$B_3 - N_{60}$		$B_1 - N_{30}$		$B_3 - N_{60}$		$B_1 - N_{30}$	
$B_2 - N_{45}$		$B_0 - N_0$		$B_2 - N_{45}$		$B_0 - N_0$	

Приложение 12

Характеристика озимой тритикале сорта Ставропольский 5

Создан методом многократного индивидуального отбора из гибридной популяции, полученной с участием озимой пшеницы, многолетней ржи Державина и гексаплоидных тритикале селекции СНИИСХ.

Имеет зелёные всходы и стелющую форму куста в фазу кущения. Последнее обеспечивает противоэрозионные свойства посевов тритикале. Стебли высокие (140-160 см), округлые, средней толщины (4,0 мм), с 4-6 междоузлиями. Кустистость средняя (2-8 продуктивных стебля на растение). Колос веретеновидный, безостый, с остевидными отростками в верхней трети до 10-35 см. длина колоса 10-12 см, плотность 24-27 колосков на 10 см колосового стержня. Колоски удлиненные, белые. Колосковые чешуи белые, ланцетные, средне – грубые, неопушенные. Плечо колосковой чешуи скошенное, основание прямое и узкое. Киль узкий, хорошо выраженный до основания колосковой чешуи. Килевой зубец острый, неизменяющийся по всей длине колоса. Зерновка удлиненно-овальная, светло-красная.

В зависимости от условий года выращивания урожай зелёной массы колеблется от 25,7 до 60,0 т/га и составляет в среднем 36,7 т/га. Такие урожаи зелёной массы позволяют собирать с гектара 7-10 ц переваримого протеина и 7,0-10,0 тыс. кормовых единиц. Урожай семян колеблется в зависимости от условий года от 3,35 до 6,40 т/га. Сорт тритикале Ставропольский 5 может использоваться для выращивания, как на зелёную массу, так и на зернофураж.

Ставропольский 5 выращивают на зелёный корм в чистом виде и в смеси с озимой викой. В чистом виде сорт можно высевать с третьей декады августа и в течение всего сентября в несколько сроков, что позволяет увеличить период его использования. Использование совместных посевов с викой увеличивает сбор протеина на 40%. Зеленая масса тритикале используется для кормления сельскохозяйственных животных, изготовления гранул и сенажа (https://reestr.gossortrf.ru).

Приложение 13

Характеристика озимой вики сорта Юбилейная

Выведен Чувашским с.-х. институтом массовым отбором растений из элитных посевов сорта Чебоксарка.

Вегетационный период при осеннем посеве 297-312 дней. Стебель зеленый с серым интенсивным опушением, высотой 212-240 см. Лист состоит из 7-9 овально-удлиненных зеленых листочков. Облиственность сильная. Соцветие – кисть. На цветоножке 27-63 фиолетовых цветка.

Бобы клиновидные, 4-8 – семянные. Семена средние, округлые, темно-бурые с темно-коричневым рубчиком. Масса 1000 семян – 30-34 г.

За годы испытания (1972-1976 гг.) на Бугульминском сортоучастке Татарской АССР урожай сена составил 10,5 ц/га, семян – 3,6 ц/га. В отдельные годы урожай сена достигает 15,1 ц/га (1976 г.), семян – 5,1 ц/га (1974 г.).

Слабо поражается мучнистой росой и аскохитозом. Включен в Госреестр РФ с 1978 года для зон возделывания культуры (https://reestr.gossortrf.ru).

Приложение 14

Характеристика яровой пшеницы сорта Горноуральская

Оригинатор – ГНУ Уральский НИИСХ Россельхозакадемии. Выведена в Красноуфимском селекционном центре. Авторы: Воробьев А.В., Воробьев В.А., Зубарев П.А., Сафина Г.М., Чепелева В.П. Патент № 4680.

Включена в Госреестр с 2009 г. по Волго-Вятскому, с 2010 г. – по Западно-Сибирскому регионам РФ.

Разновидность Milturum. Сорт среднеранний, созревает за 75-89 дней. Отличается более высокой устойчивостью к засухе, чем Иргина и Ирень, высокоустойчив к полеганию (4,5-4,8 баллов), к твердой головне, бурой ржавчине, слабовосприимчив к пыльной головне, среднеустойчив к внутристебельным вредителям.

Урожайность в конкурсном испытании 3,3-5,7 т/га, в экологическом - 4,0-4,6 т/га, в Государственном испытании в Свердловской области 3,2-4,1 т/га, в Пермском крае 3,0-3,7 т/га в производственных условиях 4,2-4,7 т/га (СПК «Колхоз им. Свердлова» Богдановичского региона Свердловской области, 2008-2009 гг.). Максимальная урожайность 5,9 т/га (Сибирская аграрная компания, 2006 г.).

Горноуральская обладает высокой отдачей от внесенных минеральных удобрений. Прибавка урожайности от дозы N60P30K30 по сравнению с неудобренным фоном составляет 75-82 %. Затраты совокупной энергии на производство 1 т зерна ниже, чем у сорта Ирень составляют на серой лесной почве 8,8 ГДж, на темно-серой лесной 8,6 ГДж. Отличается от Иргины и Ирени лучшей адаптивной способностью и селекционной ценностью генотипа.

Сорт формирует массу 1000 зерен 32-35 г, относится к ценным пшеницам. Содержание белка в зерне 13-15 %, клейковины 23-31%, сила муки 240-280 е.а., объем хлеба 960-1000 мл, общая хлебопекарная оценка 4,5-4,7 балла (https://reestr.gossortrf.ru).

Приложение 15

Содержание ядра (Я) в зерне овса, %, вычисляют по формуле:

$$Я = \frac{(100 - П)[100 - (С_п \pm З_п \pm М_з)]}{100} + 0,7Обр,$$

где, *П – пленчатость овса, %;*

$С_п$ – сорная примесь, %;

$З_п$ – зерновая примесь, %;

$М_з$ – мелкие зерна овса, %;

Обр – обрушенные зерна овса, %;

0,7 – коэффициент использования обрушенных зерен.

Приложение 16

Коэффициенты и параметры по умолчанию для оценки прямых и косвенных выбросов N_2O из обрабатываемых почв (Методические рекомендации…, 2014)

Коэффициент выбросов	Значение по умолчанию	Диапазон неопределенности
EF_1 для добавлений азота от минеральных удобрений, азота навоза и растительных остатков и для минерализованного азота из минеральных почв в результате потери почвенного углерода, кг N_2O-N/кг N (кроме рисовых полей)	0,0137	0,0006-0,0357
EF_4 улетучивание и повторное осаждение азота, кг N_2O-N/кг улетучившегося NH_3-N + NO_x-N	0,010	0,002-0,05
EF_5 вымывание / сток, кг N_2O-N/кг N для вымывания / стока	0,0075	0,0005-0,025
$Frac_{GASF}$ улетучивание от минерального удобрения, кг NH_3-N + NO_x-N/кг внесенного N	0,10	0,03-0,3
$Frac_{GASM}$ улетучивание от всех внесенного в почвы навоза, а также навоза/помета и мочи, оставленных пастбищными животными, кг NH_3-N + NO_x- N/кг азота, внесенного или оставленного	0,20	0,05-0,5
$Frac_{LEACH-(H)}$ потери азота с вымыванием / стоком для регионов, где суммарные годовые осадки превышают величину потенциального испарения, кг N/кг внесенного или оставленного на пастбищах азота	0,30	0,1-0,8

Приложение 17

Общий вид эксперимента по разложению соломы зерновых культур

Приложение 18

Определение степени и интенсивности разложения соломы зерновых культур после 60 суток инкубирования в почве

Приложение 19

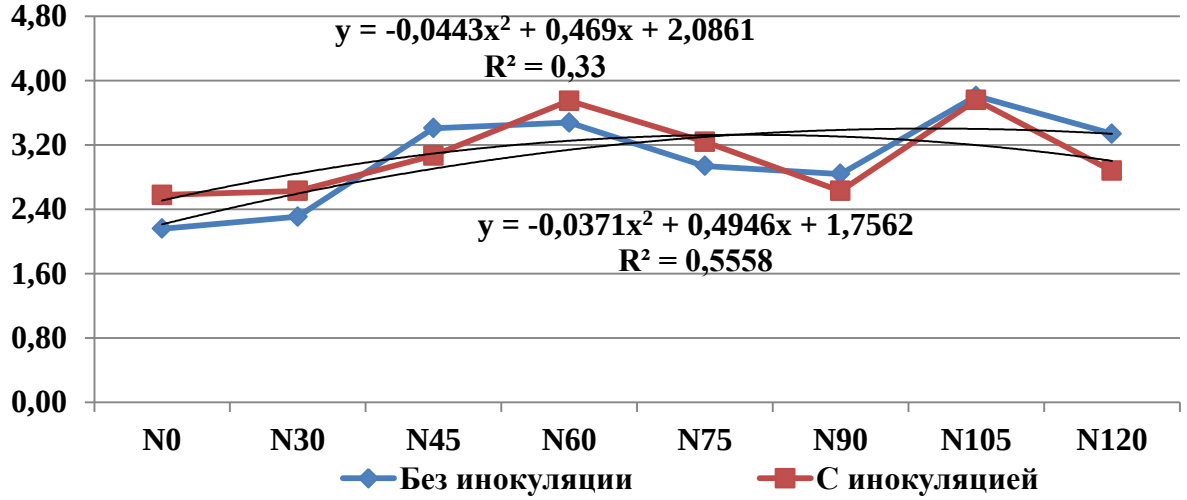
Урожайность зерна безлисточкового сорта гороха Агроинтел в одновидовом агроценозе по годам проведения исследований, т/га

Дозы азота (В)	Обработка ризоторфином (А)		Среднее по В
	без обработки	с обработкой	
2014 г.			
N0	2,16	2,58	2,37
N30	2,31	2,63	2,47
N45	3,41	3,07	3,24
N60	3,48	3,75	3,62
N75	2,94	3,24	3,09
N90	2,84	2,63	2,74
N105	3,81	3,76	3,79
N120	3,34	2,88	3,11
Среднее по А, $НСР_{05}$ гл. эфф. = 0,19	3,04	3,07	$НСР_{05}$ гл. эфф. = 0,47
$НСР_{05}$ для частных различий	А		0,55
	В		0,66
2015 г.			
N0	2,27	2,19	2,23
N30	2,55	2,45	2,50
N45	2,22	2,26	2,24
N60	1,93	2,07	2,00
N75	2,07	2,14	2,10
N90	2,19	2,54	2,37
N105	2,12	2,29	2,21
N120	1,82	2,19	2,01
Среднее по А, $НСР_{05}$ гл. эфф. = 0,34	2,27	2,15	$НСР_{05}$ гл. эфф. = 0,35
$НСР_{05}$ для частных различий	А		0,96
	В		0,49
2016 г.			
N0	1,21	1,44	1,32
N30	1,35	1,53	1,44
N45	1,38	1,67	1,53
N60	1,51	1,76	1,64
N75	1,68	1,62	1,65
N90	1,46	1,56	1,51
N105	1,70	1,83	1,76
N120	1,56	1,74	1,65
Среднее по А, $НСР_{05}$ гл. эфф. = 0,05	1,48	1,64	$НСР_{05}$ гл. эфф. = 0,09
$НСР_{05}$ для частных различий	А		0,13
	В		0,13

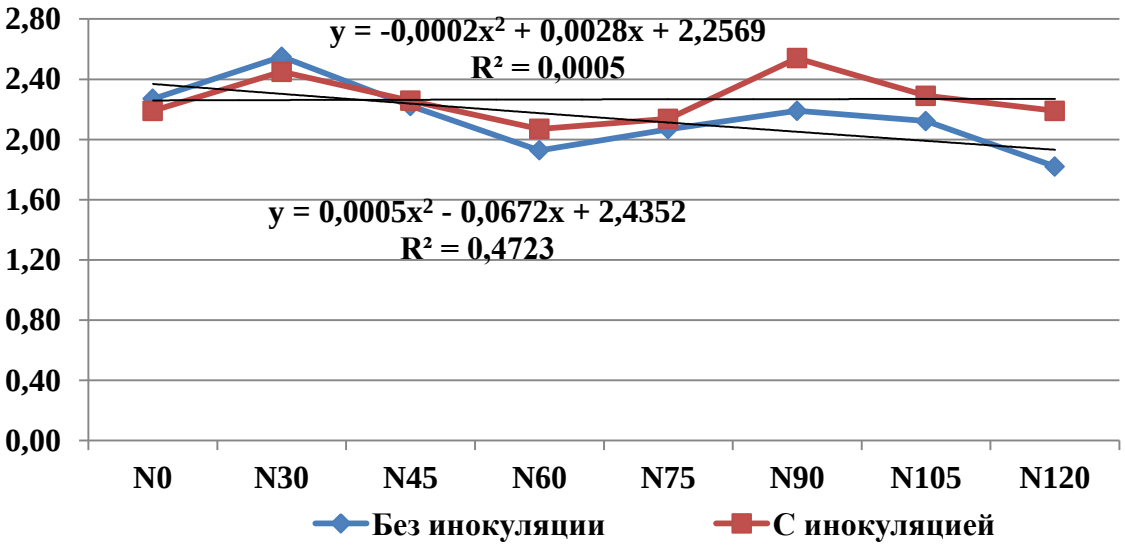
Продолжение приложения 19

Потенциал урожайности безлисточкового сорта гороха Агроинтел в зависимости от источника азотного питания (2014-2016 гг.)

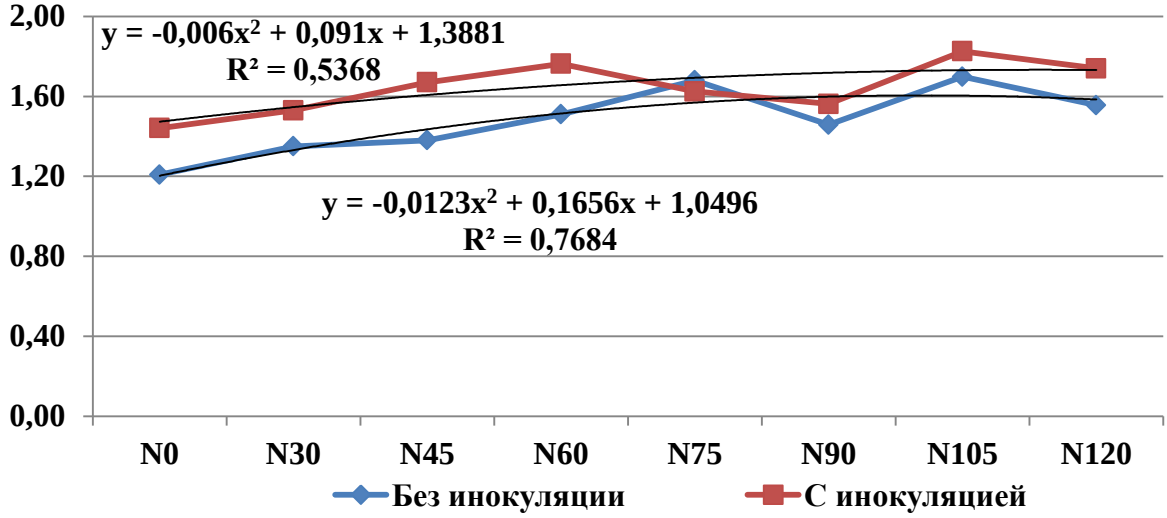
2014 г.



2015 г.



2016 г.



Приложение 20

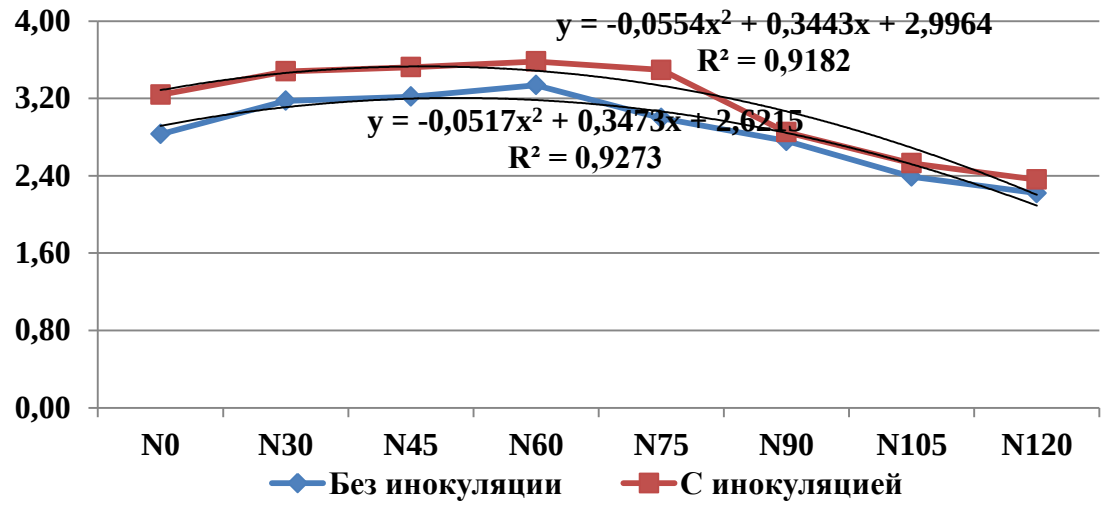
Урожайность зерна безлисточкового сорта гороха Вельвет в одновидовом агроценозе по годам проведения исследований, т/га

Дозы азота (В)	Обработка ризоторфином (А)		Среднее по В
	без обработки	с обработкой	
2014 г.			
N0	2,83	3,24	3,03
N30	3,18	3,48	3,33
N45	3,22	3,52	3,37
N60	3,34	3,58	3,46
N75	3,00	3,49	3,25
N90	2,76	2,85	2,81
N105	2,39	2,53	2,46
N120	2,22	2,36	2,29
Среднее по А, $НСР_{05}$ гл. эфф. = 0,55	2,87	3,13	$НСР_{05}$ гл. эфф. = 0,41
$НСР_{05}$ для частных различий	А		1,56
	В		0,58
2015 г.			
N0	3,19	3,86	3,53
N30	3,77	4,22	4,00
N45	3,06	3,57	3,32
N60	2,45	3,08	2,77
N75	2,61	2,86	2,74
N90	2,39	2,95	2,67
N105	2,15	2,03	2,09
N120	2,02	1,07	1,55
Среднее по А, $НСР_{05}$ гл. эфф. = 0,17	2,71	2,96	$НСР_{05}$ гл. эфф. = 0,37
$НСР_{05}$ для частных различий	А		0,12
	В		0,16
2016 г.			
N0	1,22	1,46	1,34
N30	1,28	1,56	1,42
N45	1,40	1,45	1,43
N60	1,35	1,41	1,38
N75	1,33	1,39	1,36
N90	1,24	1,35	1,29
N105	1,20	1,27	1,23
N120	1,19	1,22	1,20
Среднее по А, $НСР_{05}$ гл. эфф. = 0,04	1,28	1,39	$НСР_{05}$ гл. эфф. = 0,11
$НСР_{05}$ для частных различий	А		0,12
	В		0,16

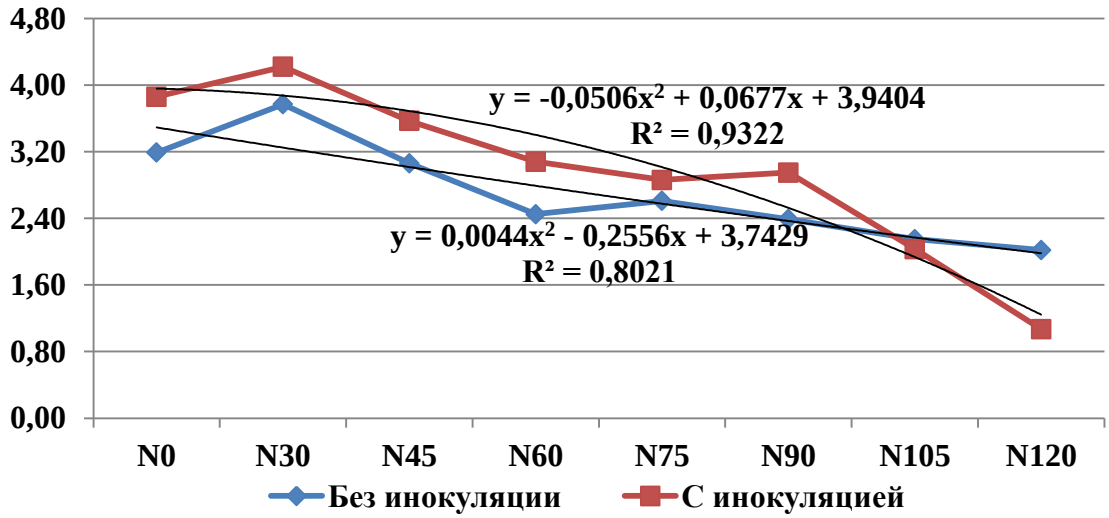
Продолжение приложения 20

Потенциал урожайности безлисточкового сорта гороха Вельвет в зависимости от источника азотного питания (2014-2016 гг.)

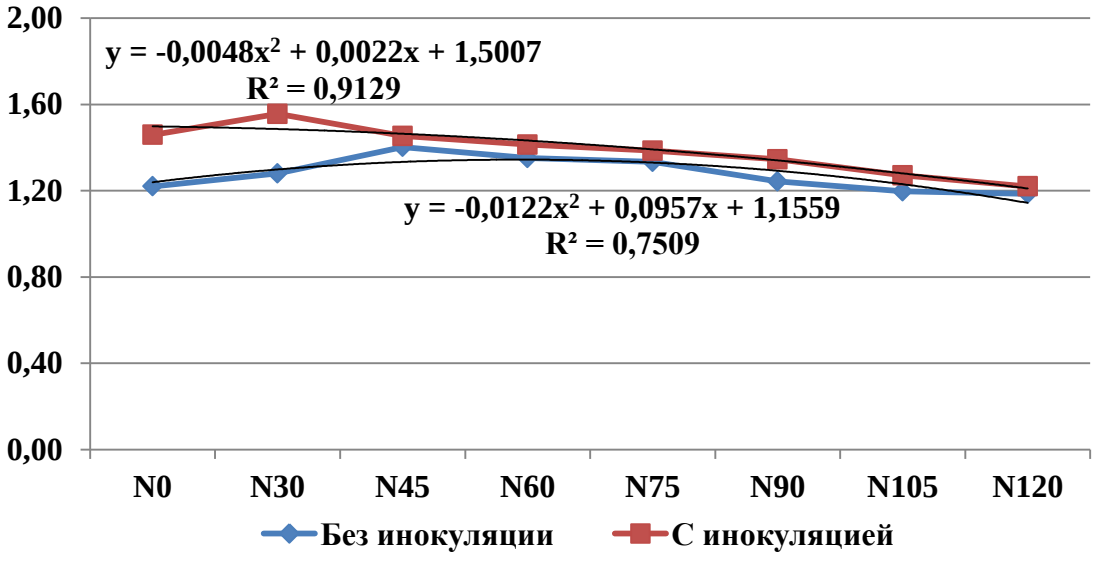
2014 г.



2015 г.



2016 г.



Приложение 21

Урожайность зерносенажной массы в одновидовых и смешанных агроценозах яровой пшеницы и гороха посевного при влажности 55% по годам проведения исследований, т/га

Состав агроценоза (фактор А)		Дозы азота (фактор В)			Среднее по фактору А
		N_0	N_{30}	N_{60}	
2012 г.					
Пшеница 100 %		5,05	6,25	6,73	6,01
Пшеница 75 % + горох 25 %		6,54	7,05	7,28	6,96
Пшеница 50 % + горох 50 %		10,47	11,84	12,46	11,59
Пшеница 25 % + горох 75 %		11,34	12,75	14,23	12,77
Горох 100 %		6,11	6,48	7,31	6,63
Среднее по В, $НСР_{05}$ гл. эфф. = 0,74		7,90	8,87	9,60	$НСР_{05}$ гл. эфф. = 1,52
$НСР_{05}$ для частных различий по фактору	А	2,61			
	В	1,59			
2013 г.					
Пшеница 100 %		5,72	6,24	7,14	6,37
Пшеница 75 % + горох 25 %		6,06	7,65	8,35	7,35
Пшеница 50 % + горох 50 %		6,41	7,79	9,29	7,83
Пшеница 25 % + горох 75 %		7,57	9,17	10,87	9,20
Горох 100 %		4,45	5,18	6,39	5,34
Среднее по В, $НСР_{05}$ гл. эфф. = 0,37		6,04	7,21	8,41	$НСР_{05}$ гл. эфф. = 0,87
$НСР_{05}$ для частных различий по фактору	А	1,49			
	В	0,80			
2014 г.					
Пшеница 100 %		6,85	7,03	8,92	7,60
Пшеница 75 % + горох 25 %		8,07	8,10	9,52	8,56
Пшеница 50 % + горох 50 %		8,16	9,33	10,76	9,42
Пшеница 25 % + горох 75 %		8,64	9,47	10,42	9,45
Горох 100 %		5,36	6,16	7,48	6,33
Среднее по В, $НСР_{05}$ гл. эфф. = 0,54		7,42	8,02	9,38	$НСР_{05}$ гл. эфф. = 0,91
$НСР_{05}$ для частных различий по фактору	А	1,56			
	В	1,15			

Приложение 22

Урожайность зерна в одновидовых и смешанных агроценозах яровой пшеницы и гороха посевного по годам проведения исследований, т/га

Состав агроценоза (фактор А)		Дозы азота (фактор В)			Среднее по фактору А
		N0	N30	N60	
2012 г.					
Пшеница 100 %		3,46	3,72	3,94	3,71
Пшеница 75 % + горох 25 %		3,75	3,86	4,25	3,95
Пшеница 50 % + горох 50 %		3,58	3,78	3,89	3,75
Пшеница 25 % + горох 75 %		3,41	2,93	2,74	3,03
Горох 100 %		2,71	2,52	2,30	2,51
Среднее по В, $НСР_{05}$ гл. эфф. = 0,21		3,38	3,36	3,42	$НСР_{05}$ гл. эфф. = 0,54
$НСР_{05}$ для частных различий по фактору	А	0,93			
	В	0,46			
2013 г.					
Пшеница 100 %		1,74	1,94	2,20	1,96
Пшеница 75 % + горох 25 %		1,90	2,16	2,37	2,14
Пшеница 50 % + горох 50 %		1,94	2,29	2,48	2,24
Пшеница 25 % + горох 75 %		1,96	2,15	1,87	1,99
Горох 100 %		2,07	1,96	1,89	1,97
Среднее по В, $НСР_{05}$ гл. эфф. = 0,13		1,92	2,10	2,16	$НСР_{05}$ гл. эфф. = 0,23
$НСР_{05}$ для частных различий по фактору	А	0,40			
	В	0,29			
2014 г.					
Пшеница 100 %		2,07	2,67	2,92	2,55
Пшеница 75 % + горох 25 %		2,67	2,98	3,65	3,10
Пшеница 50 % + горох 50 %		3,48	3,57	3,43	3,49
Пшеница 25 % + горох 75 %		2,58	3,06	2,30	2,65
Горох 100 %		2,39	2,53	1,79	2,24
Среднее по В, $НСР_{05}$ гл. эфф. = 0,12		2,64	2,96	2,82	$НСР_{05}$ гл. эфф. = 0,44
$НСР_{05}$ для частных различий по фактору	А	0,76			
	В	0,27			

Приложение 23

Долевое соотношение зерна пшеницы и гороха (П, % + Г, %) в урожае смешанных агроценозов по годам проведения исследований, %

Состав смешанного агроценоза	Дозы азота			Среднее по дозам
	N0	N30	N60	
2012 г.				
Пшеница 75 % + горох 25 %	72,0 + 28,0	73,6 + 26,4	75,0 + 25,0	73,5 + 26,5
Пшеница 50 % + горох 50 %	43,0 + 57,0	42,2 + 57,8	44,3 + 55,7	43,2 + 56,8
Пшеница 25 % + горох 75 %	29,1 + 70,9	30,3 + 69,7	32,0 + 68,0	30,5 + 69,5
2013 г.				
Пшеница 75 % + горох 25 %	69,0 + 31,0	71,6 + 28,4	71,9 + 28,1	70,8 + 29,2
Пшеница 50 % + горох 50 %	42,0 + 58,0	40,9 + 59,1	42,4 + 57,6	41,8 + 58,2
Пшеница 25 % + горох 75 %	25,8 + 74,2	27,7 + 72,3	28,8 + 71,2	27,4 + 72,6
2014 г.				
Пшеница 75 % + горох 25 %	73,5 + 26,5	74,8 + 25,2	76,0 + 24,0	74,8 + 25,2
Пшеница 50 % + горох 50 %	42,6 + 57,4	41,8 + 58,2	44,2 + 55,8	42,9 + 57,1
Пшеница 25 % + горох 75 %	30,2 + 69,8	31,5 + 68,5	31,8 + 68,2	31,2 + 68,8

Приложение 24

Урожайность зерносенажной массы одновидовых и смешанных агроценозов озимой тритикале и озимой вики при влажности 55% по годам проведения исследований, т/га

Состав агроценоза (фактор А)		Дозы азота (фактор В)				Среднее по фактору А
		N_0	N_{30}	N_{45}	N_{60}	
2014 г.						
Тритикале 100 %		6,5	8,9	10,7	11,7	9,4
Тритикале 75 % + вика 25 %		12,0	13,7	15,2	16,5	14,4
Тритикале 50 % + вика 50 %		13,1	14,3	16,9	16,5	15,2
Тритикале 25 % + вика 75 %		13,5	14,4	16,1	13,3	14,3
Вика 100 %		10,7	13,1	11,2	10,0	11,2
Среднее по В, $НСР_{05}$ гл. эфф. = 0,4		11,2	12,9	14,0	13,6	$НСР_{05}$ гл. эфф. = 0,3
$НСР_{05}$ для частных различий по фактору	А	0,5				
	В	0,8				
2015 г.						
Тритикале 100 %		7,6	10,8	13,6	14,4	11,6
Тритикале 75 % + вика 25 %		15,1	16,9	19,2	20,5	17,9
Тритикале 50 % + вика 50 %		16,7	17,1	17,8	18,7	17,6
Тритикале 25 % + вика 75 %		13,1	14,5	16,9	14,2	14,7
Вика 100 %		11,7	9,4	8,9	8,0	9,5
Среднее по В, $НСР_{05}$ гл. эфф. = 0,5		12,8	13,7	15,3	15,2	$НСР_{05}$ гл. эфф. = 0,7
$НСР_{05}$ для частных различий по фактору	А	2,1				
	В	2,9				
2016 г.						
Тритикале 100 %		4,0	5,7	6,5	7,5	5,9
Тритикале 75 % + вика 25 %		7,5	9,0	10,5	11,4	9,6
Тритикале 50 % + вика 50 %		8,3	10,5	14,4	12,5	11,4
Тритикале 25 % + вика 75 %		12,1	12,6	14,5	11,0	12,6
Вика 100 %		10,5	13,0	11,9	10,3	11,4
Среднее по В, $НСР_{05}$ гл. эфф. = 0,5		8,5	10,2	11,6	10,5	$НСР_{05}$ гл. эфф. = 0,7
$НСР_{05}$ для частных различий по фактору	А	1,4				
	В	1,1				
Среднее за 2014-2016 гг.						
Тритикале 100 %		6,0	8,5	10,3	11,2	9,0
Тритикале 75 % + вика 25 %		11,6	13,2	15,0	16,1	14,0
Тритикале 50 % + вика 50 %		12,7	13,9	16,4	15,9	14,7
Тритикале 25 % + вика 75 %		12,9	13,8	15,8	12,8	13,9
Вика 100 %		11,0	11,8	10,7	9,4	10,7
Среднее по В, $НСР_{05}$ гл. эфф. = 0,6		10,8	12,2	13,6	13,1	$НСР_{05}$ гл. эфф. = 3,8
$НСР_{05}$ для частных различий по фактору	А	7,6				
	В	1,4				

Приложение 25

Урожайность зерна в одновидовых и смешанных агроценозах озимого тритикале и озимой вики по годам проведения исследований, т/га

Состав агроценоза (фактор А)		Дозы азота (фактор В)				Среднее по фактору А
		N_0	N_{30}	N_{45}	N_{60}	
2014 г.						
Тритикале 100 %		2,70	3,18	3,36	3,74	3,25
Тритикале 75 % + вика 25 %		3,28	2,75	3,60	3,97	3,40
Тритикале 50 % + вика 50 %		2,73	2,67	3,26	2,50	2,79
Тритикале 25 % + вика 75 %		2,42	2,28	2,15	1,76	2,15
Вика 100 %		1,52	0,81	0,77	0,49	0,90
Среднее по В, $НСР_{05}$ гл. эфф. = 0,18		2,53	2,34	2,63	2,49	$НСР_{05}$ гл. эфф. = 0,25
$НСР_{05}$ для частных различий по фактору	А	0,50				
	В	0,39				
2015 г.						
Тритикале 100 %		2,16	2,78	3,61	3,72	3,06
Тритикале 75 % + вика 25 %		2,47	3,59	4,30	3,21	3,39
Тритикале 50 % + вика 50 %		2,26	3,44	2,75	2,41	2,71
Тритикале 25 % + вика 75 %		2,35	1,34	1,50	1,58	1,69
Вика 100 %		1,06	1,01	0,83	0,72	0,90
Среднее по В, $НСР_{05}$ гл. эфф. = 0,13		2,06	2,43	2,60	2,33	$НСР_{05}$ гл. эфф. = 0,22
$НСР_{05}$ для частных различий по фактору	А	0,45				
	В	0,28				
2016 г.						
Тритикале 100 %		2,11	2,28	2,45	2,69	2,38
Тритикале 75 % + вика 25 %		3,01	3,41	3,84	3,69	3,49
Тритикале 50 % + вика 50 %		2,30	3,37	3,53	3,42	3,16
Тритикале 25 % + вика 75 %		1,81	2,16	1,52	1,13	1,65
Вика 100 %		1,04	0,58	0,57	0,51	0,67
Среднее по В, $НСР_{05}$ гл. эфф. = 0,42		2,05	2,36	2,38	2,29	$НСР_{05}$ гл. эфф. = 0,48
$НСР_{05}$ для частных различий по фактору	А	0,95				
	В	0,94				
Среднее за 2014-2016 гг.						
Тритикале 100 %		2,32	2,74	3,14	3,38	2,90
Тритикале 75 % + вика 25 %		2,92	3,25	3,91	3,62	3,43
Тритикале 50 % + вика 50 %		2,43	3,16	3,18	2,78	2,89
Тритикале 25 % + вика 75 %		2,20	1,93	1,72	1,49	1,83
Вика 100 %		1,20	0,80	0,72	0,57	0,82
Среднее по В, $НСР_{05}$ гл. эфф. = 0,25		2,21	2,38	2,53	2,37	$НСР_{05}$ гл. эфф. = 0,51
$НСР_{05}$ для частных различий по фактору	А	1,02				
	В	0,57				

Приложение 26

Долевое соотношение зерна озимой тритикале и озимой вики (Т, % + В, %) в урожае смешанных агроценозов по годам проведения исследований, %

Состав агроценоза (фактор А)	Дозы азота (фактор В)				Среднее по дозам
	N_0	N_{30}	N_{45}	N_{60}	
2014 г.					
Тритикале 75 % + вика 25 %	88 + 12	91 + 9	94 + 6	96 + 4	92,3 + 7,7
Тритикале 50 % + вика 50 %	79 + 21	84 + 16	89 + 11	92 + 8	86,0 + 14,0
Тритикале 25 % + вика 75 %	58 + 42	63 + 37	74 + 26	80 + 20	68,8 + 31,2
2015 г.					
Тритикале 75 % + вика 25 %	90 + 10	93 + 7	95 + 5	96 + 4	93,5 + 6,5
Тритикале 50 % + вика 50 %	76 + 24	82 + 18	85 + 15	90 + 10	83,3 + 16,7
Тритикале 25 % + вика 75 %	64 + 36	66 + 34	70 + 30	73 + 27	68,3 + 31,8
2016 г.					
Тритикале 75 % + вика 25 %	89 + 11	94 + 6	94 + 6	95 + 5	93,0 + 7,0
Тритикале 50 % + вика 50 %	80 + 20	85 + 15	88 + 12	91 + 9	86,0 + 14,0
Тритикале 25 % + вика 75 %	66 + 34	70 + 30	76 + 24	81 + 19	73,3 + 26,7

Приложение 27

Содержание сырого протеина в зерне безлисточковых сортов гороха Агроинтел и Вельвет по годам проведения исследований, % на а.с.в.

Дозы азота (В)	Агроинтел		Среднее по В	Вельвет		Среднее по В
	A_0	A_1		A_0	A_1	
2014 г.						
N0	18,96	20,81	19,89	18,94	19,23	19,09
N30	22,31	23,77	23,04	21,74	20,69	21,22
N45	21,24	22,14	21,69	21,21	20,83	21,02
N60	20,80	20,24	20,52	21,15	21,70	21,42
N75	19,11	19,67	19,39	22,45	19,23	20,84
N90	18,66	19,49	19,08	21,64	18,98	20,31
N105	18,80	19,59	19,20	20,91	18,60	19,75
N120	17,83	18,77	18,30	17,59	17,60	17,60
Среднее по А,	19,71	20,56	$НСР_{05}$ гл. эфф.	20,70	19,61	$НСР_{05}$ гл. эфф.
$НСР_{05}$ для гл. эфф.	0,72		0,50	0,49		0,47
$НСР_{05}$ для частных различий по фактору	А		2,02	А		1,40
	В		0,71	В		0,66
2015 г.						
N0	20,20	21,77	20,98	19,17	19,63	19,40
N30	22,66	22,56	22,61	21,29	20,30	20,80
N45	21,62	21,95	21,78	21,47	21,18	21,32
N60	21,30	21,05	21,18	22,14	22,36	22,25
N75	21,01	20,80	20,91	20,98	23,80	22,39
N90	21,08	20,80	20,94	21,09	22,13	21,61
N105	20,12	20,50	20,31	19,84	21,72	20,78
N120	19,33	19,02	19,17	18,54	18,56	18,55
Среднее по А,	20,91	21,06	$НСР_{05}$ гл. эфф.	20,56	21,21	$НСР_{05}$ гл. эфф.
$НСР_{05}$ для гл. эфф.	0,27		0,25	0,46		0,47
$НСР_{05}$ для частных различий по фактору	А		1,74	А		1,31
	В		0,48	В		0,67
2016 г.						
N0	21,43	22,74	22,08	19,41	20,03	19,72
N30	23,00	21,35	22,17	20,84	19,91	20,38
N45	22,00	21,77	21,88	21,72	21,54	21,63
N60	23,22	21,86	22,54	23,13	23,02	23,08
N75	22,91	23,40	23,15	22,72	25,16	23,94
N90	23,50	22,10	22,80	23,20	22,63	22,91
N105	21,44	22,05	21,75	21,09	22,53	21,81
N120	20,82	19,27	20,05	19,47	19,53	19,50
Среднее по А,	22,29	21,82	$НСР_{05}$ гл. эфф.	21,45	21,79	$НСР_{05}$ гл. эфф.
$НСР_{05}$ для гл. эфф.	0,99		1,55	2,32		0,96
$НСР_{05}$ для частных различий по фактору	А		2,80	А		6,55
	В		2,19	В		1,36

Приложение 28

Содержание сырой клетчатки в зерне безлисточковых сортов гороха Агроинтел и Вельвет по годам проведения исследований, % на а.с.в.

Дозы азота (В)	Агроинтел		Среднее по В	Вельвет		Среднее по В
	A_0	A_1		A_0	A_1	
2014 г.						
N0	6,22	6,39	6,30	6,44	6,98	6,71
N30	6,65	6,39	6,52	6,90	7,46	7,18
N45	6,73	6,25	6,49	6,90	7,97	7,44
N60	6,01	5,92	5,97	7,25	6,76	7,01
N75	5,71	6,71	6,21	7,63	6,16	6,90
N90	6,85	6,72	6,78	6,71	7,17	6,94
N105	7,06	6,11	6,58	7,61	5,98	6,79
N120	6,02	5,29	5,65	7,19	6,16	5,68
Среднее по А,	6,40	6,22	$НСР_{05}$ гл. эфф.	7,08	6,58	$НСР_{05}$ гл. эфф.
$НСР_{05}$ для гл. эфф.	0,32		0,41	0,03		0,26
$НСР_{05}$ для частных различий по фактору	А		0,90	А		0,07
	В		0,58	В		0,37
2015 г.						
N0	6,36	6,79	6,57	6,90	7,20	7,05
N30	6,86	6,69	6,77	7,18	7,34	7,26
N45	6,85	6,57	6,71	7,30	7,76	7,53
N60	6,48	6,38	6,43	7,22	7,10	7,16
N75	6,44	6,96	6,70	7,53	6,66	7,09
N90	7,04	7,02	7,03	7,19	7,20	7,19
N105	7,23	6,56	6,90	7,49	6,62	7,05
N120	6,70	6,28	6,49	7,47	5,69	6,58
Среднее по А,	6,74	6,66	$НСР_{05}$ гл. эфф.	7,28	6,95	$НСР_{05}$ гл. эфф.
$НСР_{05}$ для гл. эфф.	0,02		0,13	0,28		0,12
$НСР_{05}$ для частных различий по фактору	А		0,05	А		0,80
	В		0,19	В		0,17
2016 г.						
N0	6,51	7,19	6,85	7,37	7,43	7,40
N30	7,07	7,00	7,03	7,47	7,23	7,35
N45	6,97	6,90	6,93	7,70	7,56	7,63
N60	6,95	6,84	6,89	7,19	7,44	7,31
N75	7,17	7,21	7,19	7,43	7,16	7,29
N90	7,24	7,33	7,28	7,66	7,24	7,45
N105	7,41	7,02	7,22	7,37	7,26	7,31
N120	7,39	7,27	7,33	7,75	7,21	7,48
Среднее по А,	7,09	7,09	$НСР_{05}$ гл. эфф.	7,49	7,31	$НСР_{05}$ гл. эфф.
$НСР_{05}$ для гл. эфф.	0,02		0,13	0,28		0,12
$НСР_{05}$ для частных различий по фактору	А		0,05	А		0,80
	В		0,19	В		0,17

Приложение 29

Содержание сырого жира в зерне безлисточковых сортов гороха Агроинтел и Вельвет по годам проведения исследований, % на а.с.в.

Дозы азота (В)	Агроинтел		Среднее по В	Вельвет		Среднее по В
	A_0	A_1		A_0	A_1	
2014 г.						
N0	3,85	3,73	3,79	5,03	4,13	4,58
N30	4,46	4,84	4,65	4,21	3,83	4,02
N45	3,85	3,88	3,86	4,11	4,38	4,24
N60	3,36	3,80	3,58	4,65	4,16	4,40
N75	3,98	4,03	4,00	4,07	4,16	4,12
N90	5,19	3,88	4,54	4,92	5,72	5,32
N105	3,87	3,89	3,88	4,23	3,94	4,09
N120	4,14	5,22	4,68	4,17	4,15	4,16
Среднее по А,	4,09	4,16	$НСР_{05}$ гл. эфф.	4,42	4,31	$НСР_{05}$ гл. эфф.
$НСР_{05}$ для гл. эфф.	0,02		0,36	0,44		0,54
$НСР_{05}$ для частных различий по фактору	А		0,07	А		1,24
	В		0,51	В		0,76
2015 г.						
N0	4,23	4,16	4,20	4,45	4,09	4,27
N30	4,63	4,68	4,65	4,30	4,17	4,24
N45	4,30	4,13	4,22	4,27	4,22	4,25
N60	4,02	4,22	4,12	4,50	4,17	4,33
N75	4,17	4,23	4,20	4,25	4,34	4,30
N90	4,78	4,16	4,47	4,64	5,11	4,87
N105	4,08	3,99	4,04	4,13	4,20	4,17
N120	4,41	4,77	4,59	4,22	4,19	4,21
Среднее по А,	4,33	4,29	$НСР_{05}$ гл. эфф.	4,35	4,31	$НСР_{05}$ гл. эфф.
$НСР_{05}$ для гл. эфф.	0,04		0,10	0,01		0,16
$НСР_{05}$ для частных различий по фактору	А		0,12	А		0,04
	В		0,15	В		0,23
2016 г.						
N0	2,36	2,35	2,35	1,96	2,05	2,01
N30	2,45	2,31	2,38	2,23	2,29	2,26
N45	2,43	2,25	2,34	2,25	2,06	2,15
N60	2,40	2,37	2,38	2,21	2,12	2,16
N75	2,23	2,27	2,25	2,24	2,29	2,27
N90	2,24	2,27	2,25	2,21	2,28	2,24
N105	2,19	2,10	2,14	2,05	2,26	2,15
N120	2,39	2,21	2,30	2,17	2,14	2,15
Среднее по А,	2,33	2,26	$НСР_{05}$ гл. эфф.	2,16	2,18	$НСР_{05}$ гл. эфф.
$НСР_{05}$ для гл. эфф.	0,04		0,10	0,01		0,16
$НСР_{05}$ для частных различий по фактору	А		0,12	А		0,04
	В		0,15	В		0,23

Приложение 30

Содержание сырой золы в зерне безлисточковых сортов гороха Агроинтел и Вельвет по годам проведения исследований, % на а.с.в.

Дозы азота (В)	Агроинтел		Среднее по В	Вельвет		Среднее по В
	A_0	A_1		A_0	A_1	
2014 г.						
N0	2,93	2,97	2,95	2,79	2,79	2,79
N30	3,18	2,85	3,01	2,88	2,94	2,91
N45	3,36	3,10	3,23	2,72	2,88	2,80
N60	2,90	2,95	2,92	2,79	2,86	2,82
N75	2,93	2,89	2,91	2,74	2,87	2,80
N90	3,06	3,17	3,11	2,88	2,82	2,85
N105	3,07	2,82	2,95	2,85	2,82	2,84
N120	2,86	2,92	2,89	2,92	2,82	2,87
Среднее по А,	3,04	2,96	$НСР_{05}$ гл. эфф.	2,82	2,85	$НСР_{05}$ гл. эфф.
$НСР_{05}$ для гл. эфф.	0,19		0,17	0,05		0,05
$НСР_{05}$ для частных различий по фактору	A		0,55	A		0,14
	B		0,24	B		0,07
2015 г.						
N0	2,69	2,71	2,70	2,69	2,75	2,72
N30	2,81	2,63	2,72	2,76	3,01	2,89
N45	2,82	2,74	2,78	2,83	2,79	2,81
N60	2,62	2,65	2,63	2,74	2,86	2,80
N75	2,66	2,70	2,68	2,85	2,85	2,85
N90	2,72	2,58	2,65	2,98	2,98	2,98
N105	2,73	2,56	2,64	2,70	2,78	2,74
N120	2,64	2,71	2,68	2,75	2,88	2,82
Среднее по А,	2,71	2,66	$НСР_{05}$ гл. эфф.	2,79	2,86	$НСР_{05}$ гл. эфф.
$НСР_{05}$ для гл. эфф.	0,03		0,13	0,11		0,06
$НСР_{05}$ для частных различий по фактору	A		0,09	A		0,31
	B		0,19	B		0,09
2016 г.						
N0	2,45	2,45	2,45	2,63	2,69	2,66
N30	2,43	2,41	2,42	2,66	2,98	2,82
N45	2,29	2,37	2,33	2,77	2,79	2,78
N60	2,34	2,34	2,34	2,61	2,82	2,72
N75	2,40	2,51	2,45	2,79	2,80	2,80
N90	2,39	1,99	2,19	2,95	2,95	2,95
N105	2,38	2,30	2,34	2,64	2,76	2,70
N120	2,43	2,51	2,47	2,65	2,86	2,76
Среднее по А,	2,39	2,36	$НСР_{05}$ гл. эфф.	2,71	2,83	$НСР_{05}$ гл. эфф.
$НСР_{05}$ для гл. эфф.	0,03		0,13	0,22		0,07
$НСР_{05}$ для частных различий по фактору	A		0,09	A		0,61
	B		0,19	B		0,10

Приложение 31

Содержание сырого протеина в зерносенаже одновидовых и смешанных агроценозов яровой пшеницы и посевного гороха по годам проведения исследований, % на а.с.в.

Состав агроценоза (фактор А)		Дозы азота (фактор В)			Среднее по А
		N0	N30	N60	
2012 г.					
Пшеница 100 %		8,28	8,48	9,45	8,74
Пшеница 75 % + горох 25 %		8,79	9,31	9,98	9,36
Пшеница 50 % + горох 50 %		10,66	9,94	8,45	9,68
Пшеница 25 % + горох 75 %		13,40	12,11	12,00	12,50
Горох 100 %		17,77	18,11	17,76	17,88
Среднее по В, $НСР_{05}$ гл. эфф. = 0,19		11,8	11,6	11,5	$НСР_{05}$ гл. эфф. = 0,55
$НСР_{05}$ для частных различий по фактору	А	0,95			
	В	0,43			
2013 г.					
Пшеница 100 %		7,57	8,48	9,87	8,64
Пшеница 75 % + горох 25 %		7,13	8,27	9,21	8,20
Пшеница 50 % + горох 50 %		8,46	11,20	11,01	10,22
Пшеница 25 % + горох 75 %		11,60	15,95	16,50	14,68
Горох 100 %		16,36	17,18	19,74	17,76
Среднее по В, $НСР_{05}$ гл. эфф. = 0,23		10,22	12,22	13,27	$НСР_{05}$ гл. эфф. = 0,32
$НСР_{05}$ для частных различий по фактору	А	0,56			
	В	0,51			
2014 г.					
Пшеница 100 %		7,19	7,63	8,13	7,65
Пшеница 75 % + горох 25 %		11,02	11,88	12,16	11,69
Пшеница 50 % + горох 50 %		13,05	13,12	14,38	13,52
Пшеница 25 % + горох 75 %		16,79	16,30	16,14	16,41
Горох 100 %		19,34	18,61	17,18	18,38
Среднее по В, $НСР_{05}$ гл. эфф. = 0,34		13,48	13,51	13,60	$НСР_{05}$ гл. эфф. = 0,49
$НСР_{05}$ для частных различий по фактору	А	0,85			
	В	0,77			

Приложение 32

Содержание сырой клетчатки в зерносенаже одновидовых и смешанных агроценозов яровой пшеницы и посевного гороха по годам проведения исследований, % на а.с.в.

Состав агроценоза (фактор А)		Дозы азота (фактор В)			Среднее по А
		N0	N30	N60	
2012 г.					
Пшеница 100 %		30,86	30,99	32,33	31,39
Пшеница 75 % + горох 25 %		29,28	31,20	27,73	29,40
Пшеница 50 % + горох 50 %		27,72	31,42	28,32	29,15
Пшеница 25 % + горох 75 %		27,86	34,33	32,70	31,63
Горох 100 %		28,66	28,77	29,15	28,86
Среднее по В, $НСР_{05}$ гл. эфф. = 0,28		28,88	31,34	30,05	$НСР_{05}$ гл. эфф. = 0,36
$НСР_{05}$ для частных различий по фактору	А	0,53			
	В	0,34			
2013 г.					
Пшеница 100 %		31,90	24,90	28,20	28,33
Пшеница 75 % + горох 25 %		26,30	22,90	26,50	25,23
Пшеница 50 % + горох 50 %		25,40	27,90	28,10	27,13
Пшеница 25 % + горох 75 %		24,70	23,10	23,50	23,77
Горох 100 %		19,70	21,90	21,90	21,17
Среднее по В, $НСР_{05}$ гл. эфф. = 0,34		25,60	24,14	25,64	$НСР_{05}$ гл. эфф. = 0,35
$НСР_{05}$ для частных различий по фактору	А	0,60			
	В	0,77			
2014 г.					
Пшеница 100 %		28,08	31,08	31,53	30,23
Пшеница 75 % + горох 25 %		24,50	23,42	22,71	23,54
Пшеница 50 % + горох 50 %		24,53	23,04	23,44	23,67
Пшеница 25 % + горох 75 %		21,79	21,54	25,20	22,84
Горох 100 %		20,75	20,94	23,46	21,72
Среднее по В, $НСР_{05}$ гл. эфф. = 0,28		23,93	24,00	25,27	$НСР_{05}$ гл. эфф. = 0,36
$НСР_{05}$ для частных различий по фактору	А	0,63			
	В	0,64			

Приложение 33

Содержание сырого жира в зерносенаже одновидовых и смешанных агроценозов яровой пшеницы и посевного гороха по годам проведения исследований, % на а.с.в.

Состав агроценоза (фактор А)		Дозы азота (фактор В)			Среднее по А
		N0	N30	N60	
2012 г.					
Пшеница 100 %		1,36	1,87	1,61	1,61
Пшеница 75 % + горох 25 %		1,37	1,89	1,83	1,70
Пшеница 50 % + горох 50 %		2,67	2,07	1,69	2,14
Пшеница 25 % + горох 75 %		1,43	1,97	2,06	1,82
Горох 100 %		1,93	1,74	1,94	1,87
Среднее по В, $НСР_{05}$ гл. эфф. = 0,31		1,75	1,91	1,83	$НСР_{05}$ гл. эфф. = 0,42
$НСР_{05}$ для частных различий по фактору	А	0,72			
	В	0,50			
2013 г.					
Пшеница 100 %		1,45	1,58	1,73	1,59
Пшеница 75 % + горох 25 %		2,38	2,58	2,02	2,33
Пшеница 50 % + горох 50 %		2,21	2,06	2,02	2,10
Пшеница 25 % + горох 75 %		3,74	3,13	2,95	3,27
Горох 100 %		2,55	2,49	3,10	2,71
Среднее по В, $НСР_{05}$ гл. эфф. = 0,46		2,47	2,37	2,36	$НСР_{05}$ гл. эфф. = 0,43
$НСР_{05}$ для частных различий по фактору	А	0,74			
	В	1,03			
2014 г.					
Пшеница 100 %		1,59	1,79	1,73	1,70
Пшеница 75 % + горох 25 %		2,38	2,33	1,77	2,16
Пшеница 50 % + горох 50 %		2,21	2,57	2,44	2,41
Пшеница 25 % + горох 75 %		3,25	2,67	2,63	2,85
Горох 100 %		3,35	3,86	3,85	3,69
Среднее по В, $НСР_{05}$ гл. эфф. = 0,31		2,56	2,64	2,48	$НСР_{05}$ гл. эфф. = 0,42
$НСР_{05}$ для частных различий по фактору	А	0,72			
	В	0,92			

Приложение 34

Содержание сырой золы в зерносенаже одновидовых и смешанных агроценозов яровой пшеницы и посевного гороха по годам проведения исследований, % на а.с.в.

Состав агроценоза (фактор А)		Дозы азота (фактор В)			Среднее по А
		N0	N30	N60	
2012 г.					
Пшеница 100 %		2,47	2,84	2,33	2,55
Пшеница 75 % + горох 25 %		3,11	3,67	3,21	3,33
Пшеница 50 % + горох 50 %		3,95	4,10	4,00	4,02
Пшеница 25 % + горох 75 %		4,35	4,35	4,10	4,27
Горох 100 %		4,60	4,65	4,55	4,60
Среднее по В, $НСР_{05}$ гл. эфф. = 0,28		3,70	3,92	3,64	$НСР_{05}$ гл. эфф. = 0,35
$НСР_{05}$ для частных различий по фактору	А	0,60			
	В	0,73			
2013 г.					
Пшеница 100 %		1,61	1,73	2,00	1,78
Пшеница 75 % + горох 25 %		2,70	2,38	2,51	2,53
Пшеница 50 % + горох 50 %		3,18	3,58	4,20	3,65
Пшеница 25 % + горох 75 %		4,81	4,77	3,61	4,40
Горох 100 %		4,41	5,11	5,75	5,09
Среднее по В, $НСР_{05}$ гл. эфф. = 0,29		3,34	3,51	3,61	$НСР_{05}$ гл. эфф. = 0,35
$НСР_{05}$ для частных различий по фактору	А	0,60			
	В	0,66			
2014 г.					
Пшеница 100 %		1,52	1,26	1,89	1,56
Пшеница 75 % + горох 25 %		2,68	1,85	2,60	2,38
Пшеница 50 % + горох 50 %		3,59	3,52	3,01	3,37
Пшеница 25 % + горох 75 %		3,57	4,80	4,60	4,32
Горох 100 %		4,51	5,24	5,82	5,19
Среднее по В, $НСР_{05}$ гл. эфф. = 0,21		3,17	3,33	3,58	$НСР_{05}$ гл. эфф. = 0,26
$НСР_{05}$ для частных различий по фактору	А	0,46			
	В	0,47			

Приложение 35

Содержание сырого протеина в зерне яровой пшеницы в одновидовом и смешанных агроценозах по годам проведения исследований, % на а.с.в.

Состав агроценоза (фактор А)		Дозы азота (фактор В)			Среднее по А
		N0	N30	N60	
2012 г.					
Пшеница 100 %		1,65	1,66	1,75	1,69
Пшеница 75 % + горох 25 %		1,69	1,72	1,87	1,76
Пшеница 50 % + горох 50 %		1,83	1,88	2,13	1,95
Пшеница 25 % + горох 75 %		2,06	2,16	2,15	2,13
Среднее по В, $НСР_{05}$ гл. эфф. = 0,05		1,80	1,86	1,98	$НСР_{05}$ гл. эфф. = 0,05
$НСР_{05}$ для частных различий по фактору	А	0,09			
	В	0,09			
2013 г.					
Пшеница 100 %		1,62	1,68	1,73	1,68
Пшеница 75 % + горох 25 %		1,72	1,78	1,93	1,81
Пшеница 50 % + горох 50 %		2,05	2,06	2,05	2,05
Пшеница 25 % + горох 75 %		2,18	2,17	2,32	2,22
Среднее по В, $НСР_{05}$ гл. эфф. = 0,06		1,89	1,92	2,01	$НСР_{05}$ гл. эфф. = 0,03
$НСР_{05}$ для частных различий по фактору	А	0,05			
	В	0,11			
2014 г.					
Пшеница 100 %		1,71	1,84	1,81	1,78
Пшеница 75 % + горох 25 %		1,86	1,90	1,82	1,86
Пшеница 50 % + горох 50 %		2,01	2,13	2,16	2,10
Пшеница 25 % + горох 75 %		2,09	2,16	2,19	2,14
Среднее по В, $НСР_{05}$ гл. эфф. = 0,14		1,92	2,01	1,99	$НСР_{05}$ гл. эфф. = 0,11
$НСР_{05}$ для частных различий по фактору	А	0,08			
	В	0,10			

Приложение 36

Содержание сырой клетчатки в зерне яровой пшеницы в одновидовом и смешанных агроценозах по годам проведения исследований, % на а.с.в.

Состав агроценоза (фактор А)		Дозы азота (фактор В)			Среднее по А
		N0	N30	N60	
2012 г.					
Пшеница 100 %		2,17	2,10	2,07	2,11
Пшеница 75 % + горох 25 %		2,58	2,41	2,21	2,40
Пшеница 50 % + горох 50 %		2,61	2,41	2,18	2,40
Пшеница 25 % + горох 75 %		2,62	2,39	2,25	2,42
Среднее по В, $НСР_{05}$ гл. эфф. = 0,06		2,49	2,33	2,18	$НСР_{05}$ гл. эфф. = 0,11
$НСР_{05}$ для частных различий по фактору	А	0,19			
	В	0,12			
2013 г.					
Пшеница 100 %		2,79	2,56	2,41	2,59
Пшеница 75 % + горох 25 %		2,67	2,82	2,38	2,62
Пшеница 50 % + горох 50 %		2,76	2,24	2,10	2,37
Пшеница 25 % + горох 75 %		2,70	2,22	2,14	2,35
Среднее по В, $НСР_{05}$ гл. эфф. = 0,12		2,73	2,46	2,26	$НСР_{05}$ гл. эфф. = 0,17
$НСР_{05}$ для частных различий по фактору	А	0,24			
	В	0,14			
2014 г.					
Пшеница 100 %		2,67	2,39	2,06	2,37
Пшеница 75 % + горох 25 %		2,59	2,24	2,09	2,31
Пшеница 50 % + горох 50 %		2,65	2,55	2,19	2,46
Пшеница 25 % + горох 75 %		2,56	2,21	2,14	2,30
Среднее по В, $НСР_{05}$ гл. эфф. = 0,05		2,62	2,34	2,12	$НСР_{05}$ гл. эфф. = 0,16
$НСР_{05}$ для частных различий по фактору	А	0,28			
	В	0,10			

Приложение 37

Содержание сырого жира в зерне яровой пшеницы в одновидовом и смешанных агроценозах по годам проведения исследований, % на а.с.в.

Состав агроценоза (фактор А)		Дозы азота (фактор В)			Среднее по А
		N0	N30	N60	
2012 г.					
Пшеница 100 %		1,84	1,89	1,54	1,76
Пшеница 75 % + горох 25 %		1,91	2,11	1,95	1,99
Пшеница 50 % + горох 50 %		1,71	1,40	1,51	1,54
Пшеница 25 % + горох 75 %		2,11	1,69	1,67	1,82
Среднее по В, $НСР_{05}$ гл. эфф. = 0,14		1,89	1,77	1,67	$НСР_{05}$ гл. эфф. = 0,08
$НСР_{05}$ для частных различий по фактору	А	0,15			
	В	0,27			
2013 г.					
Пшеница 100 %		2,03	1,85	1,80	1,89
Пшеница 75 % + горох 25 %		1,74	1,84	1,80	1,79
Пшеница 50 % + горох 50 %		1,98	2,08	2,02	2,03
Пшеница 25 % + горох 75 %		1,46	1,92	1,61	1,66
Среднее по В, $НСР_{05}$ гл. эфф. = 0,21		1,80	1,92	1,81	$НСР_{05}$ гл. эфф. = 0,06
$НСР_{05}$ для частных различий по фактору	А	0,13			
	В	0,34			
2014 г.					
Пшеница 100 %		1,47	1,99	1,90	1,79
Пшеница 75 % + горох 25 %		1,70	1,92	1,75	1,79
Пшеница 50 % + горох 50 %		1,56	2,01	1,95	1,84
Пшеница 25 % + горох 75 %		1,82	2,31	1,31	1,82
Среднее по В, $НСР_{05}$ гл. эфф. = 0,09		1,64	2,06	1,73	$НСР_{05}$ гл. эфф. = 0,22
$НСР_{05}$ для частных различий по фактору	А	0,38			
	В	0,18			

Приложение 38

Содержание сырой золы в зерне яровой пшеницы в одновидовом и смешанных агроценозах по годам проведения исследований, % на а.с.в.

Состав агроценоза (фактор А)		Дозы азота (фактор В)			Среднее по А
		N0	N30	N60	
2012 г.					
Пшеница 100 %		2,16	2,35	2,50	2,34
Пшеница 75 % + горох 25 %		2,22	2,54	2,69	2,48
Пшеница 50 % + горох 50 %		2,50	2,50	2,67	2,56
Пшеница 25 % + горох 75 %		2,48	2,66	3,04	2,73
Среднее по В, $НСР_{05}$ гл. эфф. = 0,17		2,34	2,51	2,73	$НСР_{05}$ гл. эфф. = 0,14
$НСР_{05}$ для частных различий по фактору	А	0,25			
	В	0,34			
2013 г.					
Пшеница 100 %		2,45	2,45	2,44	2,45
Пшеница 75 % + горох 25 %		2,46	2,46	2,48	2,47
Пшеница 50 % + горох 50 %		2,44	2,46	2,47	2,46
Пшеница 25 % + горох 75 %		2,58	2,49	2,52	2,53
Среднее по В, $НСР_{05}$ гл. эфф. = 0,03		2,49	2,47	2,48	$НСР_{05}$ гл. эфф. = 0,03
$НСР_{05}$ для частных различий по фактору	А	0,05			
	В	0,07			
2014 г.					
Пшеница 100 %		2,04	2,35	2,49	2,30
Пшеница 75 % + горох 25 %		2,21	2,46	2,56	2,41
Пшеница 50 % + горох 50 %		2,56	2,56	2,56	2,56
Пшеница 25 % + горох 75 %		2,71	2,80	2,97	2,83
Среднее по В, $НСР_{05}$ гл. эфф. = 0,06		2,38	2,54	2,64	$НСР_{05}$ гл. эфф. = 0,22
$НСР_{05}$ для частных различий по фактору	А	0,38			
	В	0,11			

Приложение 39

Содержание сырого протеина в зерне гороха посевного в одновидовом и смешанных агроценозах по годам проведения исследований, % на а.с.в.

Состав агроценоза (фактор А)		Дозы азота (фактор В)			Среднее по А
		N0	N30	N60	
2012 г.					
Пшеница 75 % + горох 25 %		3,14	3,29	3,50	3,31
Пшеница 50 % + горох 50 %		3,58	3,52	3,76	3,62
Пшеница 25 % + горох 75 %		3,62	3,71	3,57	3,63
Горох 100 %		3,85	3,86	3,68	3,80
Среднее по В, $НСР_{05}$ гл. эфф. = 0,07		3,55	3,59	3,63	$НСР_{05}$ гл. эфф. = 0,15
$НСР_{05}$ для частных различий по фактору	А	0,26			
	В	0,14			
2013 г.					
Пшеница 75 % + горох 25 %		3,19	3,17	3,16	3,17
Пшеница 50 % + горох 50 %		3,44	3,41	3,29	3,38
Пшеница 25 % + горох 75 %		3,57	3,76	3,75	3,69
Горох 100 %		3,70	3,43	3,63	3,59
Среднее по В, $НСР_{05}$ гл. эфф. = 0,06		3,48	3,44	3,46	$НСР_{05}$ гл. эфф. = 0,05
$НСР_{05}$ для частных различий по фактору	А	0,09			
	В	0,13			
2014 г.					
Пшеница 75 % + горох 25 %		3,20	3,21	3,27	3,23
Пшеница 50 % + горох 50 %		3,28	3,33	3,44	3,35
Пшеница 25 % + горох 75 %		3,48	3,62	3,67	3,59
Горох 100 %		3,69	3,79	3,64	3,71
Среднее по В, $НСР_{05}$ гл. эфф. = 0,04		3,41	3,49	3,51	$НСР_{05}$ гл. эфф. = 0,08
$НСР_{05}$ для частных различий по фактору	А	0,13			
	В	0,09			

Приложение 40

Содержание сырой клетчатки в зерне гороха посевного в одновидовом и смешанных агроценозах по годам проведения исследований, % на а.с.в.

Состав агроценоза (фактор А)		Дозы азота (фактор В)			Среднее по А
		N0	N30	N60	
2012 г.					
Пшеница 75 % + горох 25 %		4,08	3,55	4,04	3,89
Пшеница 50 % + горох 50 %		4,63	5,11	5,08	4,94
Пшеница 25 % + горох 75 %		5,29	5,71	5,80	5,60
Горох 100 %		5,54	5,95	6,30	5,93
Среднее по В, $НСР_{05}$ гл. эфф. = 0,06		4,88	5,08	5,30	$НСР_{05}$ гл. эфф. = 0,15
$НСР_{05}$ для частных различий по фактору	А	0,25			
	В	0,11			
2013 г.					
Пшеница 75 % + горох 25 %		2,89	3,70	3,64	3,41
Пшеница 50 % + горох 50 %		4,01	4,56	4,19	4,25
Пшеница 25 % + горох 75 %		4,24	5,19	5,48	4,97
Горох 100 %		5,26	5,78	6,11	5,72
Среднее по В, $НСР_{05}$ гл. эфф. = 0,10		4,10	4,80	4,85	$НСР_{05}$ гл. эфф. = 0,13
$НСР_{05}$ для частных различий по фактору	А	0,23			
	В	0,21			
2014 г.					
Пшеница 75 % + горох 25 %		4,09	4,19	4,07	4,12
Пшеница 50 % + горох 50 %		4,79	5,05	5,09	4,98
Пшеница 25 % + горох 75 %		5,13	5,81	6,32	5,75
Горох 100 %		6,04	6,35	6,40	6,26
Среднее по В, $НСР_{05}$ гл. эфф. = 0,14		5,01	5,35	5,47	$НСР_{05}$ гл. эфф. = 0,12
$НСР_{05}$ для частных различий по фактору	А	0,21			
	В	0,29			

Приложение 41

Содержание сырого жира в зерне гороха посевного в одновидовом и смешанных агроценозах по годам проведения исследований, % на а.с.в.

Состав агроценоза (фактор А)		Дозы азота (фактор В)			Среднее по А
		N0	N30	N60	
2012 г.					
Пшеница 75 % + горох 25 %		4,29	4,07	4,20	4,18
Пшеница 50 % + горох 50 %		4,22	3,55	4,02	3,93
Пшеница 25 % + горох 75 %		4,36	3,42	3,90	3,89
Горох 100 %		4,00	3,69	3,55	3,75
Среднее по В, $НСР_{05}$ гл. эфф. = 0,05		4,22	3,68	3,92	$НСР_{05}$ гл. эфф. = 0,08
$НСР_{05}$ для частных различий по фактору	А	0,13			
	В	0,11			
2013 г.					
Пшеница 75 % + горох 25 %		3,72	3,64	4,00	3,79
Пшеница 50 % + горох 50 %		4,25	3,30	3,74	3,76
Пшеница 25 % + горох 75 %		4,02	2,97	3,34	3,44
Горох 100 %		3,23	3,30	3,11	3,21
Среднее по В, $НСР_{05}$ гл. эфф. = 0,06		3,80	3,30	3,55	$НСР_{05}$ гл. эфф. = 0,06
$НСР_{05}$ для частных различий по фактору	А	0,10			
	В	0,11			
2014 г.					
Пшеница 75 % + горох 25 %		4,38	3,96	4,25	4,20
Пшеница 50 % + горох 50 %		4,18	3,52	4,04	3,91
Пшеница 25 % + горох 75 %		4,32	3,28	3,85	3,82
Горох 100 %		3,82	3,76	3,23	3,60
Среднее по В, $НСР_{05}$ гл. эфф. = 0,06		4,17	3,63	3,84	$НСР_{05}$ гл. эфф. = 0,07
$НСР_{05}$ для частных различий по фактору	А	0,11			
	В	0,12			

Приложение 42

Содержание сырой золы в зерне гороха посевного в одновидовом и смешанных агроценозах по годам проведения исследований, % на а.с.в.

Состав агроценоза (фактор А)		Дозы азота (фактор В)			Среднее по А
		N0	N30	N60	
2012 г.					
Пшеница 75 % + горох 25 %		4,05	4,27	4,35	4,23
Пшеница 50 % + горох 50 %		4,57	4,85	4,73	4,72
Пшеница 25 % + горох 75 %		4,71	4,91	4,78	4,80
Горох 100 %		4,93	5,31	5,38	5,21
Среднее по В, $НСР_{05}$ гл. эфф. = 0,07		4,57	4,84	4,81	$НСР_{05}$ гл. эфф. = 0,05
$НСР_{05}$ для частных различий по фактору	А	0,09			
	В	0,15			
2013 г.					
Пшеница 75 % + горох 25 %		4,23	4,46	4,63	4,44
Пшеница 50 % + горох 50 %		4,83	4,60	4,83	4,75
Пшеница 25 % + горох 75 %		4,65	4,76	5,07	4,82
Горох 100 %		5,35	5,06	5,28	5,23
Среднее по В, $НСР_{05}$ гл. эфф. = 0,11		4,76	4,72	4,95	$НСР_{05}$ гл. эфф. = 0,09
$НСР_{05}$ для частных различий по фактору	А	0,16			
	В	0,23			
2014 г.					
Пшеница 75 % + горох 25 %		4,20	4,32	4,87	4,46
Пшеница 50 % + горох 50 %		4,40	4,61	4,81	4,61
Пшеница 25 % + горох 75 %		4,53	4,69	4,73	4,65
Горох 100 %		4,91	5,05	5,15	5,04
Среднее по В, $НСР_{05}$ гл. эфф. = 0,10		4,51	4,67	4,89	$НСР_{05}$ гл. эфф. = 0,04
$НСР_{05}$ для частных различий по фактору	А	0,08			
	В	0,20			

Приложение 43

Содержание сырого протеина в зерносенаже одновидовых и смешанных агроценозов озимого тритикале и озимой вики по годам проведения исследований, % на а.с.в.

Состав агроценоза (фактор А)		Дозы азота (фактор В)				Среднее по фактору А
		N_0	N_{30}	N_{45}	N_{60}	
2014 г.						
Тритикале 100 %		9,42	10,64	11,08	11,63	10,69
Тритикале 75 % + вика 25 %		10,98	12,34	13,41	14,46	12,80
Тритикале 50 % + вика 50 %		13,69	14,13	14,99	15,61	14,61
Тритикале 25 % + вика 75 %		15,09	16,07	16,42	17,34	16,23
Вика 100 %		17,05	17,19	17,96	18,33	17,63
Среднее по В, $НСР_{05}$ гл. эфф. = 1,19		13,25	14,07	14,77	15,47	$НСР_{05}$ гл. эфф. = 0,77
$НСР_{05}$ для частных различий по фактору	А	1,55				
	В	2,65				
2015 г.						
Тритикале 100 %		10,66	11,08	11,80	12,66	11,55
Тритикале 75 % + вика 25 %		11,69	12,20	13,63	13,85	12,84
Тритикале 50 % + вика 50 %		14,41	14,71	14,96	15,52	14,90
Тритикале 25 % + вика 75 %		14,92	15,62	16,06	16,50	15,77
Вика 100 %		15,32	15,67	16,12	16,58	15,92
Среднее по В, $НСР_{05}$ гл. эфф. = 0,94		13,40	13,86	14,51	15,02	$НСР_{05}$ гл. эфф. = 1,18
$НСР_{05}$ для частных различий по фактору	А	2,35				
	В	2,11				
2016 г.						
Тритикале 100 %		9,06	10,85	11,23	11,75	10,72
Тритикале 75 % + вика 25 %		10,87	11,48	12,16	12,79	11,82
Тритикале 50 % + вика 50 %		11,77	13,07	14,45	15,36	13,66
Тритикале 25 % + вика 75 %		13,19	14,21	14,85	15,37	14,41
Вика 100 %		16,30	17,11	17,32	17,62	17,08
Среднее по В, $НСР_{05}$ гл. эфф. = 0,61		12,24	13,34	14,00	14,58	$НСР_{05}$ гл. эфф. = 0,71
$НСР_{05}$ для частных различий по фактору	А	1,43				
	В	1,37				

Приложение 44

Содержание сырой клетчатки в зерносенаже одновидовых и смешанных агроценозов озимого тритикале и озимой вики по годам проведения исследований, % на а.с.в.

Состав агроценоза (фактор А)		Дозы азота (фактор В)				Среднее по фактору А
		N_0	N_{30}	N_{45}	N_{60}	
2014 г.						
Тритикале 100 %		26,05	28,51	30,34	28,03	28,23
Тритикале 75 % + вика 25 %		27,97	28,88	29,13	27,18	28,29
Тритикале 50 % + вика 50 %		28,68	29,23	26,95	25,29	27,53
Тритикале 25 % + вика 75 %		26,98	23,54	25,44	22,33	24,57
Вика 100 %		23,10	24,35	25,47	25,34	24,56
Среднее по В, $НСР_{05}$ гл. эфф. = 0,51		26,56	26,90	27,47	25,63	$НСР_{05}$ гл. эфф. = 0,45
$НСР_{05}$ для частных различий по фактору	А	0,91				
	В	1,14				
2015 г.						
Тритикале 100 %		28,85	30,02	32,19	29,52	30,15
Тритикале 75 % + вика 25 %		30,17	30,62	28,90	26,90	29,15
Тритикале 50 % + вика 50 %		30,89	30,52	28,45	24,07	28,48
Тритикале 25 % + вика 75 %		28,07	26,37	25,27	23,95	26,57
Вика 100 %		24,94	27,51	27,27	26,30	26,57
Среднее по В, $НСР_{05}$ гл. эфф. = 0,90		28,58	29,01	28,41	26,15	$НСР_{05}$ гл. эфф. = 1,05
$НСР_{05}$ для частных различий по фактору	А	2,10				
	В	2,02				
2016 г.						
Тритикале 100 %		31,01	29,80	29,40	29,18	29,8
Тритикале 75 % + вика 25 %		29,37	28,57	28,10	27,57	28,4
Тритикале 50 % + вика 50 %		28,72	28,39	27,54	26,91	27,9
Тритикале 25 % + вика 75 %		28,01	27,23	26,56	26,03	27,0
Вика 100 %		25,89	25,13	24,63	23,95	24,9
Среднее по В, $НСР_{05}$ гл. эфф. = 0,90		28,6	27,8	27,2	26,7	$НСР_{05}$ гл. эфф. = 1,52
$НСР_{05}$ для частных различий по фактору	А	3,04				
	В	2,02				

Приложение 45

Содержание сырого жира в зерносенаже одновидовых и смешанных агроценозов озимого тритикале и озимой вики по годам проведения исследований, % на а.с.в.

Состав агроценоза (фактор А)		Дозы азота (фактор В)				Среднее по фактору А
		N_0	N_{30}	N_{45}	N_{60}	
2014 г.						
Тритикале 100 %		1,37	1,73	1,73	1,97	1,70
Тритикале 75 % + вика 25 %		1,61	2,02	1,77	1,74	1,79
Тритикале 50 % + вика 50 %		1,83	2,38	2,38	2,06	2,16
Тритикале 25 % + вика 75 %		1,89	2,58	2,33	1,93	2,18
Вика 100 %		2,67	2,21	2,21	1,94	2,26
Среднее по В, $НСР_{05}$ гл. эфф. = 0,19		1,87	2,18	2,08	1,93	$НСР_{05}$ гл. эфф. = 0,48
$НСР_{05}$ для частных различий по фактору	А	0,96				
	В	0,42				
2015 г.						
Тритикале 100 %		2,03	2,07	2,18	2,28	2,14
Тритикале 75 % + вика 25 %		2,00	2,18	2,16	2,38	2,18
Тритикале 50 % + вика 50 %		2,18	2,32	2,34	2,43	2,32
Тритикале 25 % + вика 75 %		2,05	2,30	2,41	2,47	2,30
Вика 100 %		2,21	2,36	2,43	2,73	2,43
Среднее по В, $НСР_{05}$ гл. эфф. = 0,11		2,09	2,24	2,30	2,46	$НСР_{05}$ гл. эфф. = 0,17
$НСР_{05}$ для частных различий по фактору	А	0,34				
	В	0,26				
2016 г.						
Тритикале 100 %		1,88	1,73	1,67	1,11	1,60
Тритикале 75 % + вика 25 %		1,83	1,71	1,54	1,44	1,63
Тритикале 50 % + вика 50 %		1,76	1,72	1,67	1,44	1,64
Тритикале 25 % + вика 75 %		2,09	1,75	1,75	1,62	1,80
Вика 100 %		2,19	1,94	1,89	1,82	1,96
Среднее по В, $НСР_{05}$ гл. эфф. = 0,09		1,95	1,77	1,70	1,48	$НСР_{05}$ гл. эфф. = 0,17
$НСР_{05}$ для частных различий по фактору	А	0,33				
	В	0,20				

Приложение 46

Содержание сырой золы в зерносенаже одновидовых и смешанных агроценозов озимого тритикале и озимой вики по годам проведения исследований, % на а.с.в.

Состав агроценоза (фактор А)		Дозы азота (фактор В)				Среднее по фактору А
		N_0	N_{30}	N_{45}	N_{60}	
2014 г.						
Тритикале 100 %		4,58	4,70	5,09	5,15	4,88
Тритикале 75 % + вика 25 %		7,17	6,83	7,16	7,49	7,16
Тритикале 50 % + вика 50 %		7,71	7,40	8,15	6,61	7,47
Тритикале 25 % + вика 75 %		7,90	8,66	8,60	8,43	8,40
Вика 100 %		9,46	9,78	10,17	8,99	9,60
Среднее по В, $НСР_{05}$ гл. эфф. = 0,33		7,36	7,47	7,83	7,34	$НСР_{05}$ гл. эфф. = 0,54
$НСР_{05}$ для частных различий по фактору	А	1,09				
	В	0,73				
2015 г.						
Тритикале 100 %		4,60	4,67	5,07	5,25	4,90
Тритикале 75 % + вика 25 %		6,23	6,94	7,18	7,51	6,96
Тритикале 50 % + вика 50 %		6,72	7,35	8,18	8,52	7,69
Тритикале 25 % + вика 75 %		7,89	8,51	8,58	8,69	8,42
Вика 100 %		8,47	9,82	10,20	9,05	9,39
Среднее по В, $НСР_{05}$ гл. эфф. = 0,29		6,78	7,46	7,84	7,80	$НСР_{05}$ гл. эфф. = 0,36
$НСР_{05}$ для частных различий по фактору	А	0,73				
	В	0,66				
2016 г.						
Тритикале 100 %		4,96	5,45	4,98	4,23	4,91
Тритикале 75 % + вика 25 %		5,60	5,68	5,90	5,56	5,68
Тритикале 50 % + вика 50 %		5,70	5,94	6,29	5,73	5,91
Тритикале 25 % + вика 75 %		6,40	6,59	6,76	7,54	6,82
Вика 100 %		8,91	9,43	9,48	9,88	9,43
Среднее по В, $НСР_{05}$ гл. эфф. = 0,12		6,31	6,62	6,68	6,59	$НСР_{05}$ гл. эфф. = 0,14
$НСР_{05}$ для частных различий по фактору	А	0,29				
	В	0,27				

Приложение 47

Содержание сырого протеина в зерне озимого тритикале в одновидовом и смешанных агроценозах по годам проведения исследований, % на а.с.в.

Состав агроценоза (фактор А)		Дозы азота (фактор В)				Среднее по фактору А
		N_0	N_{30}	N_{45}	N_{60}	
2014 г.						
Тритикале 100 %		14,03	14,59	15,54	16,24	15,10
Тритикале 75 % + вика 25 %		14,40	15,08	15,95	16,37	15,45
Тритикале 50 % + вика 50 %		14,98	15,38	15,71	16,45	15,63
Тритикале 25 % + вика 75 %		15,65	15,97	16,15	16,73	16,13
Среднее по В, $НСР_{05}$ гл. эфф. = 0,74		14,77	15,25	15,84	16,45	$НСР_{05}$ гл. эфф. = 1,27
$НСР_{05}$ для частных различий по фактору	А	2,30				
	В	1,52				
2015 г.						
Тритикале 100 %		12,06	13,63	14,19	14,89	13,69
Тритикале 75 % + вика 25 %		14,07	15,81	16,18	16,52	15,64
Тритикале 50 % + вика 50 %		15,54	16,10	16,72	17,00	16,34
Тритикале 25 % + вика 75 %		16,32	16,58	17,03	17,21	16,78
Среднее по В, $НСР_{05}$ гл. эфф. = 0,54		14,50	15,53	16,03	16,40	$НСР_{05}$ гл. эфф. = 0,78
$НСР_{05}$ для частных различий по фактору	А	0,21				
	В	0,23				
2016 г.						
Тритикале 100 %		9,06	10,85	11,23	11,75	10,72
Тритикале 75 % + вика 25 %		10,87	11,48	12,16	12,79	11,82
Тритикале 50 % + вика 50 %		11,77	13,07	14,45	15,36	13,66
Тритикале 25 % + вика 75 %		13,19	14,21	14,85	15,37	14,41
Среднее по В, $НСР_{05}$ гл. эфф. = 0,45		11,22	12,40	13,17	13,82	$НСР_{05}$ гл. эфф. = 0,73
$НСР_{05}$ для частных различий по фактору	А	1,57				
	В	1,08				

Приложение 48

Содержание сырой клетчатки в зерне озимого тритикале в одновидовом и смешанных агроценозах по годам проведения исследований, % на а.с.в.

Состав агроценоза (фактор А)		Дозы азота (фактор В)				Среднее по фактору А
		N_0	N_{30}	N_{45}	N_{60}	
2014 г.						
Тритикале 100 %		3,51	3,78	3,58	3,85	3,68
Тритикале 75 % + вика 25 %		3,65	3,65	3,71	3,85	3,71
Тритикале 50 % + вика 50 %		3,65	4,11	4,24	4,24	4,06
Тритикале 25 % + вика 75 %		3,85	3,98	4,18	4,44	4,11
Среднее по В, $НСР_{05}$ гл. эфф. = 0,42		3,66	3,88	3,93	4,09	$НСР_{05}$ гл. эфф. = 0,50
$НСР_{05}$ для частных различий по фактору	А	0,93				
	В	0,71				
2015 г.						
Тритикале 100 %		4,97	4,91	4,77	4,84	4,87
Тритикале 75 % + вика 25 %		4,77	4,51	3,85	2,72	3,96
Тритикале 50 % + вика 50 %		2,52	2,85	3,05	2,52	2,73
Тритикале 25 % + вика 75 %		2,39	2,32	2,19	1,99	2,22
Среднее по В, $НСР_{05}$ гл. эфф. = 0,31		3,66	3,65	3,46	3,02	$НСР_{05}$ гл. эфф. = 0,56
$НСР_{05}$ для частных различий по фактору	А	1,13				
	В	0,62				
2016 г.						
Тритикале 100 %		7,09	6,52	6,03	4,93	6,14
Тритикале 75 % + вика 25 %		5,58	5,64	5,92	4,77	5,48
Тритикале 50 % + вика 50 %		4,64	5,24	5,53	4,62	5,01
Тритикале 25 % + вика 75 %		4,40	4,22	4,07	3,83	4,13
Среднее по В, $НСР_{05}$ гл. эфф. = 0,29		5,43	5,40	5,39	4,54	$НСР_{05}$ гл. эфф. = 0,52
$НСР_{05}$ для частных различий по фактору	А	1,05				
	В	1,58				

Приложение 49

Содержание сырого жира в зерне озимого тритикале в одновидовом и смешанных агроценозах по годам проведения исследований, % на а.с.в.

Состав агроценоза (фактор А)		Дозы азота (фактор В)				Среднее по фактору А
		N_0	N_{30}	N_{45}	N_{60}	
2014 г.						
Тритикале 100 %		1,37	1,21	1,44	1,78	1,45
Тритикале 75 % + вика 25 %		1,43	1,14	1,52	1,76	1,46
Тритикале 50 % + вика 50 %		1,32	1,42	1,95	1,71	1,60
Тритикале 25 % + вика 75 %		1,52	1,76	1,73	1,94	1,74
Среднее по В, $НСР_{05}$ гл. эфф. = 0,14		1,41	1,38	1,66	1,80	$НСР_{05}$ гл. эфф. = 0,15
$НСР_{05}$ для частных различий по фактору	А	0,30				
	В	0,23				
2015 г.						
Тритикале 100 %		2,39	2,10	2,22	2,27	2,25
Тритикале 75 % + вика 25 %		2,27	2,50	1,93	2,22	2,23
Тритикале 50 % + вика 50 %		1,65	2,27	2,10	2,27	2,07
Тритикале 25 % + вика 75 %		1,76	1,88	2,27	2,16	2,02
Среднее по В, $НСР_{05}$ гл. эфф. = 0,11		2,02	2,19	2,13	2,23	$НСР_{05}$ гл. эфф. = 0,20
$НСР_{05}$ для частных различий по фактору	А	0,21				
	В	0,23				
2016 г.						
Тритикале 100 %		2,78	3,09	2,36	2,71	2,74
Тритикале 75 % + вика 25 %		2,16	2,28	2,79	2,67	2,48
Тритикале 50 % + вика 50 %		2,04	2,77	2,60	2,79	2,55
Тритикале 25 % + вика 75 %		2,10	2,53	2,70	2,73	2,51
Среднее по В, $НСР_{05}$ гл. эфф. = 0,24		2,27	2,67	2,61	2,73	$НСР_{05}$ гл. эфф. = 0,15
$НСР_{05}$ для частных различий по фактору	А	0,30				
	В	0,49				

Приложение 50

Содержание сырой золы в зерне озимого тритикале в одновидовом и смешанных агроценозах по годам проведения исследований, % на а.с.в.

Состав агроценоза (фактор А)		Дозы азота (фактор В)				Среднее по фактору А
		N_0	N_{30}	N_{45}	N_{60}	
2014 г.						
Тритикале 100 %		2,03	2,10	1,96	2,21	2,08
Тритикале 75 % + вика 25 %		2,07	2,20	2,08	2,07	2,11
Тритикале 50 % + вика 50 %		2,03	2,04	2,09	2,07	2,06
Тритикале 25 % + вика 75 %		2,07	2,09	2,13	2,10	2,10
Среднее по В, $НСР_{05}$ гл. эфф. = 0,11		2,05	2,11	2,07	2,11	$НСР_{05}$ гл. эфф. = 0,20
$НСР_{05}$ для частных различий по фактору	А	0,21				
	В	0,27				
2015 г.						
Тритикале 100 %		1,73	1,95	1,91	2,08	1,92
Тритикале 75 % + вика 25 %		1,90	1,81	1,79	1,89	1,85
Тритикале 50 % + вика 50 %		1,85	1,93	1,80	1,79	1,84
Тритикале 25 % + вика 75 %		1,84	1,87	1,84	1,82	1,84
Среднее по В, $НСР_{05}$ гл. эфф. = 0,04		1,83	1,89	1,84	1,90	$НСР_{05}$ гл. эфф. = 0,06
$НСР_{05}$ для частных различий по фактору	А	0,12				
	В	0,09				
2016 г.						
Тритикале 100 %		1,92	1,81	1,70	1,80	1,81
Тритикале 75 % + вика 25 %		1,86	1,85	1,74	1,76	1,80
Тритикале 50 % + вика 50 %		1,80	1,88	1,78	1,72	1,80
Тритикале 25 % + вика 75 %		1,80	1,81	1,80	1,77	1,80
Среднее по В, $НСР_{05}$ гл. эфф. = 0,05		1,85	1,84	1,76	1,76	$НСР_{05}$ гл. эфф. = 0,08
$НСР_{05}$ для частных различий по фактору	А	0,16				
	В	0,12				

Приложение 51

Содержание сырого протеина в зерне озимой вики в одновидовом и смешанных агроценозах по годам проведения исследований, % на а.с.в.

Состав агроценоза (фактор А)		Дозы азота (фактор В)				Среднее по фактору А
		N_0	N_{30}	N_{45}	N_{60}	
2014 г.						
Тритикале 75 % + вика 25 %		22,76	23,53	24,18	22,83	23,32
Тритикале 50 % + вика 50 %		23,66	24,18	24,08	23,25	23,79
Тритикале 25 % + вика 75 %		25,47	25,17	24,38	23,64	24,66
Вика 100 %		26,15	25,19	24,39	23,45	24,79
Среднее по В, $НСР_{05}$ гл. эфф. = 1,07		24,51	24,52	24,26	23,29	$НСР_{05}$ гл. эфф. = 1,13
$НСР_{05}$ для частных различий по фактору	А	1,21				
	В	1,30				
2015 г.						
Тритикале 75 % + вика 25 %		28,31	27,29	26,72	25,81	27,03
Тритикале 50 % + вика 50 %		28,43	26,95	26,04	25,58	26,75
Тритикале 25 % + вика 75 %		30,47	28,54	26,49	25,81	27,83
Вика 100 %		30,70	29,79	29,00	28,43	29,48
Среднее по В, $НСР_{05}$ гл. эфф. = 1,62		29,48	28,14	27,06	26,41	$НСР_{05}$ гл. эфф. = 1,61
$НСР_{05}$ для частных различий по фактору	А	3,23				
	В	3,24				
2016 г.						
Тритикале 75 % + вика 25 %		18,90	21,17	22,67	21,23	20,99
Тритикале 50 % + вика 50 %		20,38	20,79	21,76	21,44	21,09
Тритикале 25 % + вика 75 %		22,42	22,61	23,08	22,16	22,57
Вика 100 %		26,60	26,04	25,03	24,44	25,53
Среднее по В, $НСР_{05}$ гл. эфф. = 1,12		22,07	22,65	23,13	22,32	$НСР_{05}$ гл. эфф. = 0,95
$НСР_{05}$ для частных различий по фактору	А	1,30				
	В	1,93				

Приложение 52

Содержание сырой клетчатки в зерне озимой вики в одновидовом и смешанных агроценозах по годам проведения исследований, % на а.с.в.

Состав агроценоза (фактор А)		Дозы азота (фактор В)				Среднее по фактору А
		N_0	N_{30}	N_{45}	N_{60}	
2014 г.						
Тритикале 75 % + вика 25 %		5,50	5,50	5,60	5,80	5,60
Тритикале 50 % + вика 50 %		5,80	5,90	6,30	6,10	6,03
Тритикале 25 % + вика 75 %		6,30	6,30	6,50	6,70	6,45
Вика 100 %		6,40	7,10	7,80	8,30	7,40
Среднее по В, $НСР_{05}$ гл. эфф. = 0,32		6,00	6,20	6,55	6,73	$НСР_{05}$ гл. эфф. = 0,38
$НСР_{05}$ для частных различий по фактору	А	0,48				
	В	0,37				
2015 г.						
Тритикале 75 % + вика 25 %		5,60	5,43	5,06	3,91	5,00
Тритикале 50 % + вика 50 %		3,87	4,08	4,35	3,60	3,98
Тритикале 25 % + вика 75 %		3,81	3,92	3,80	3,77	3,83
Вика 100 %		3,94	3,93	3,88	3,84	3,90
Среднее по В, $НСР_{05}$ гл. эфф. = 0,40		4,31	4,34	4,27	3,78	$НСР_{05}$ гл. эфф. = 0,53
$НСР_{05}$ для частных различий по фактору	А	1,04				
	В	0,80				
2016 г.						
Тритикале 75 % + вика 25 %		8,20	7,90	7,20	6,70	7,50
Тритикале 50 % + вика 50 %		7,90	7,40	6,90	6,10	7,08
Тритикале 25 % + вика 75 %		7,70	7,30	6,80	6,05	6,96
Вика 100 %		7,00	6,90	6,50	5,80	6,55
Среднее по В, $НСР_{05}$ гл. эфф. = 0,37		7,70	7,38	6,85	6,16	$НСР_{05}$ гл. эфф. = 0,49
$НСР_{05}$ для частных различий по фактору	А	0,97				
	В	0,74				

Приложение 53

Содержание сырого жира в зерне озимой вики в одновидовом и смешанных агроценозах по годам проведения исследований, % на а.с.в.

Состав агроценоза (фактор А)		Дозы азота (фактор В)				Среднее по фактору А
		N_0	N_{30}	N_{45}	N_{60}	
2014 г.						
Тритикале 75 % + вика 25 %		1,32	1,53	1,64	1,43	1,48
Тритикале 50 % + вика 50 %		1,43	1,67	1,93	2,38	1,85
Тритикале 25 % + вика 75 %		2,33	2,61	2,71	1,51	2,29
Вика 100 %		1,82	2,37	2,11	2,43	2,18
Среднее по В, $НСР_{05}$ гл. эфф. = 0,20		1,73	2,05	2,10	1,94	$НСР_{05}$ гл. эфф. = 0,22
$НСР_{05}$ для частных различий по фактору	А	0,31				
	В	0,44				
2015 г.						
Тритикале 75 % + вика 25 %		1,50	1,80	1,50	1,60	1,60
Тритикале 50 % + вика 50 %		1,60	1,60	1,50	1,50	1,55
Тритикале 25 % + вика 75 %		1,80	2,10	2,10	1,90	1,98
Вика 100 %		2,70	2,30	2,60	2,20	2,45
Среднее по В, $НСР_{05}$ гл. эфф. = 0,18		1,90	1,95	1,93	1,80	$НСР_{05}$ гл. эфф. = 0,27
$НСР_{05}$ для частных различий по фактору	А	0,54				
	В	0,36				
2016 г.						
Тритикале 75 % + вика 25 %		1,09	1,09	1,05	1,03	1,07
Тритикале 50 % + вика 50 %		1,02	1,28	1,02	1,15	1,12
Тритикале 25 % + вика 75 %		1,30	1,50	1,42	1,18	1,35
Вика 100 %		1,50	1,90	1,79	1,33	1,63
Среднее по В, $НСР_{05}$ гл. эфф. = 0,16		1,23	1,44	1,32	1,17	$НСР_{05}$ гл. эфф. = 0,23
$НСР_{05}$ для частных различий по фактору	А	0,47				
	В	0,31				

Приложение 54

Содержание сырой золы в зерне озимой вики в одновидовом и смешанных агроценозах по годам проведения исследований, % на а.с.в.

Состав агроценоза (фактор А)		Дозы азота (фактор В)				Среднее по фактору А
		N_0	N_{30}	N_{45}	N_{60}	
2014 г.						
Тритикале 75 % + вика 25 %		2,90	2,53	2,82	2,83	2,77
Тритикале 50 % + вика 50 %		3,20	3,25	4,09	3,70	3,56
Тритикале 25 % + вика 75 %		4,13	4,18	4,86	4,23	4,35
Вика 100 %		4,20	4,03	4,02	4,30	4,14
Среднее по В, $НСР_{05}$ гл. эфф. = 0,24		3,61	3,5	3,95	3,77	$НСР_{05}$ гл. эфф. = 0,27
$НСР_{05}$ для частных различий по фактору	А	0,34				
	В	0,47				
2015 г.						
Тритикале 75 % + вика 25 %		2,90	2,80	2,90	2,80	2,85
Тритикале 50 % + вика 50 %		2,80	2,80	2,80	2,90	2,83
Тритикале 25 % + вика 75 %		2,90	2,80	3,00	2,90	2,90
Вика 100 %		2,90	2,90	2,80	2,90	2,88
Среднее по В, $НСР_{05}$ гл. эфф. = 0,04		2,88	2,83	2,88	2,88	$НСР_{05}$ гл. эфф. = 0,06
$НСР_{05}$ для частных различий по фактору	А	0,13				
	В	0,07				
2016 г.						
Тритикале 75 % + вика 25 %		3,11	3,00	3,11	3,04	3,06
Тритикале 50 % + вика 50 %		3,00	3,00	3,00	3,11	3,03
Тритикале 25 % + вика 75 %		3,11	3,00	3,21	3,11	3,11
Вика 100 %		3,39	3,27	3,39	3,32	3,34
Среднее по В, $НСР_{05}$ гл. эфф. = 0,07		3,15	3,07	3,18	3,14	$НСР_{05}$ гл. эфф. = 0,10
$НСР_{05}$ для частных различий по фактору	А	0,22				
	В	0,12				

Приложение 55

Содержание азота в зерне безлисточковых сортов гороха Агроинтел и Вельвет по годам проведения исследований, % на а.с.в.

Дозы азота (В)	Агроинтел		Среднее по В	Вельвет		Среднее по В
	A_0	A_1		A_0	A_1	
2014 г.						
N0	3,03	3,33	3,18	3,03	3,08	3,05
N30	3,57	3,80	3,69	3,48	3,31	3,39
N45	3,40	3,54	3,47	3,39	3,33	3,36
N60	3,33	3,24	3,28	3,38	3,47	3,43
N75	3,06	3,15	3,10	3,08	3,59	3,33
N90	2,99	3,12	3,05	3,04	3,46	3,25
N105	3,01	3,13	3,07	2,98	3,35	3,16
N120	2,85	3,00	2,93	2,82	2,81	2,82
Среднее по А,	3,15	3,29	$НСР_{05}$ гл. эфф.	3,15	3,30	$НСР_{05}$ гл. эфф.
$НСР_{05}$ для гл. эфф.	0,11		0,08	0,08		0,07
$НСР_{05}$ для частных различий по фактору	А		0,32	А		0,22
	В		0,11	В		0,11
2015 г.						
N0	3,49	3,83	3,66	3,44	3,59	3,52
N30	4,15	4,39	4,27	4,02	3,78	3,90
N45	3,84	4,10	3,97	3,87	3,81	3,84
N60	3,86	3,77	3,81	3,95	4,01	3,98
N75	3,45	3,57	3,51	4,17	3,51	3,84
N90	3,39	3,59	3,49	3,93	3,43	3,68
N105	3,42	3,60	3,51	3,87	3,41	3,64
N120	3,30	3,50	3,40	3,24	3,21	3,23
Среднее по А,	3,61	3,79	$НСР_{05}$ гл. эфф.	3,81	3,59	$НСР_{05}$ гл. эфф.
$НСР_{05}$ для гл. эфф.	0,06		0,05	0,04		0,04
$НСР_{05}$ для частных различий по фактору	А		0,19	А		0,12
	В		0,07	В		0,06
2016 г.						
N0	3,35	3,61	3,48	3,22	3,21	3,21
N30	4,20	4,08	4,14	3,54	3,45	3,50
N45	3,34	3,54	3,44	3,81	3,81	3,81
N60	3,53	3,28	3,40	3,65	3,74	3,69
N75	3,12	3,21	3,16	3,64	3,66	3,65
N90	3,22	3,26	3,24	3,54	3,56	3,55
N105	3,27	3,30	3,28	3,40	3,48	3,44
N120	3,33	3,37	3,35	3,22	3,40	3,31
Среднее по А,	3,42	3,46	$НСР_{05}$ гл. эфф.	3,50	3,54	$НСР_{05}$ гл. эфф.
$НСР_{05}$ для гл. эфф.	0,02		0,04	0,02		0,02
$НСР_{05}$ для частных различий по фактору	А		0,05	А		0,04
	В		0,06	В		0,03

Приложение 56

Содержание азота в соломе безлисточковых сортов гороха Агроинтел и Вельвет по годам проведения исследований, % на а.с.в.

Дозы азота (В)	Агроинтел		Среднее по В	Вельвет		Среднее по В
	A_0	A_1		A_0	A_1	
2014 г.						
N0	1,33	1,36	1,34	1,40	1,38	1,39
N30	1,38	1,39	1,39	1,48	1,60	1,54
N45	1,35	1,24	1,30	1,39	1,55	1,47
N60	1,54	1,40	1,47	1,46	1,49	1,47
N75	1,44	1,56	1,50	1,53	1,44	1,48
N90	1,49	1,44	1,47	1,57	1,44	1,50
N105	1,46	1,57	1,51	1,52	1,51	1,52
N120	1,39	1,40	1,39	1,43	1,47	1,45
Среднее по А, $НСР_{05}$ для гл. эфф.	1,42	1,42	$НСР_{05}$ гл. эфф. 0,23	1,47	1,48	$НСР_{05}$ гл. эфф. 0,24
	0,08			0,14		
$НСР_{05}$ для частных различий по фактору	А		0,21	А		0,40
	В		0,32	В		0,33
2015 г.						
N0	1,43	1,29	1,36	1,39	1,46	1,42
N30	1,40	1,32	1,36	1,41	1,45	1,43
N45	1,28	1,43	1,36	1,34	1,43	1,38
N60	1,36	1,48	1,42	1,38	1,44	1,41
N75	1,31	1,42	1,37	1,48	1,46	1,47
N90	1,27	1,35	1,31	1,42	1,49	1,46
N105	1,46	1,48	1,47	1,46	1,41	1,43
N120	1,27	1,46	1,37	1,31	1,42	1,37
Среднее по А, $НСР_{05}$ для гл. эфф.	1,35	1,40	$НСР_{05}$ гл. эфф. 0,26	1,40	1,43	$НСР_{05}$ гл. эфф. 0,22
	0,11			0,23		
$НСР_{05}$ для частных различий по фактору	А		0,31	А		0,66
	В		0,37	В		0,31
2016 г.						
N0	1,38	1,32	1,35	1,39	1,42	1,41
N30	1,39	1,39	1,39	1,45	1,52	1,48
N45	1,32	1,34	1,33	1,36	1,45	1,41
N60	1,45	1,44	1,45	1,42	1,43	1,43
N75	1,36	1,46	1,41	1,50	1,45	1,48
N90	1,38	1,38	1,38	1,44	1,47	1,45
N105	1,46	1,53	1,49	1,49	1,46	1,47
N120	1,32	1,43	1,37	1,37	1,45	1,41
Среднее по А, $НСР_{05}$ для гл. эфф.	1,38	1,41	$НСР_{05}$ гл. эфф. 0,07	1,43	1,45	$НСР_{05}$ гл. эфф. 0,05
	0,07			0,05		
$НСР_{05}$ для частных различий по фактору	А		0,20	А		0,13
	В		0,10	В		0,08

Приложение 57

Структура баланса азота в почве при возделывании безлисточкового сорта гороха Агроинтел на зерно в одновидовом агроценозе, кг/га (среднее за 2014-2016 гг.)

Вариант	Без инокуляции								При инокуляции							
	N0	N30	N45	N60	N75	N90	N105	N120	N0	N30	N45	N60	N75	N90	N105	N120
Приход:	62,3	99,7	120,8	137,1	148,8	162,5	187,6	193,6	65,8	102,2	119,2	142,1	152,6	164,5	190,8	195,8
с осадками	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
с семенами	8,4	8,4	8,4	8,4	8,4	8,4	8,4	8,4	8,4	8,4	8,4	8,4	8,4	8,4	8,4	8,4
с удобрением	0	30	45	60	75	90	105	120	0	30	45	60	75	90	105	120
за счёт свободноживущих азотфиксаторов	6	10	10	10	10	10	10	10	6	10	10	10	10	10	10	10
за счёт симбиотической азотфиксации	42,9	46,2	52,4	53,6	50,4	49,1	59,2	50,2	46,3	48,8	50,8	58,7	54,2	51,1	62,4	52,4
Расход:	90,0	109,9	123,6	129,5	123,3	123,7	144,7	126,8	101,9	115,3	121,2	138,0	132,1	127,2	153,5	130,3
вынос (зерном + соломой)	81,4	94,7	104,1	106,8	98,2	95,9	111,9	92,7	92,6	99,6	102,0	114,3	106,2	98,9	120,0	95,8
газообразные потери из удобрения	0,0	6,0	9,0	12,0	15,0	18,0	21,0	24,0	0,0	6,0	9,0	12,0	15,0	18,0	21,0	24,0
газообразные потери биологического N	8,6	9,2	10,5	10,7	10,1	9,8	11,8	10,0	9,3	9,8	10,2	11,7	10,8	10,2	12,5	10,5
Итог:	-27,7	-10,3	-2,9	7,6	25,5	38,8	42,8	66,8	-36,1	-13,1	-2,0	4,1	20,5	37,4	37,3	65,6
В % к выносу	-34,0	-10,8	-2,7	7,1	25,9	40,5	38,3	72,1	-39,0	-13,2	-1,9	3,6	19,3	37,8	31,1	68,4
Интенсивность баланса, %	69	91	98	106	121	131	130	153	65	89	98	103	116	129	124	150
Изменение содержания подвижных форм, мг/кг	-9,2	-3,4	-1,0	2,5	8,5	12,9	14,3	22,3	-12,0	-4,4	-0,7	1,4	6,8	12,5	12,4	21,9

Приложение 58

Структура баланса азота в почве при возделывании безлисточкового сорта гороха Вельвет на зерно в одновидовом агроценозе, кг/га (среднее за 2014-2016 гг.)

Вариант	Без инокуляции								При инокуляции							
	N0	N30	N45	N60	N75	N90	N105	N120	N0	N30	N45	N60	N75	N90	N105	N120
Приход:	74,3	119,9	126,3	138,0	152,5	162,5	172,9	184,2	84,7	126,4	133,8	142,4	158,0	168,2	173,7	180,5
с осадками	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
с семенами	8,0	8,0	8,0	8,0	8,0	8,0	8,0	8,0	8,0	8,0	8,0	8,0	8,0	8,0	8,0	8,0
с удобрением	0	30	45	60	75	90	105	120	0	30	45	60	75	90	105	120
за счёт свободноживущих азотфиксаторов	6	10	10	10	10	10	10	10	6	10	10	10	10	10	10	10
за счёт симбиотической азотфиксации	55,3	66,9	58,3	55,0	54,6	49,5	45,0	41,2	65,7	73,4	65,8	59,4	60,0	55,2	45,7	37,5
Расход:	112,3	144,0	135,5	133,4	131,5	124,1	114,0	106,1	135,8	159,6	151,5	149,6	153,4	140,5	120,1	96,1
вынос (зерном + соломой)	101,2	124,6	114,8	110,4	105,6	96,2	84,0	73,8	122,7	138,9	129,4	125,7	126,4	111,4	89,9	64,6
газообразные потери из удобрения	0,0	6,0	9,0	12,0	15,0	18,0	21,0	24,0	0,0	6,0	9,0	12,0	15,0	18,0	21,0	24,0
газообразные потери биологического N	11,1	13,4	11,7	11,0	10,9	9,9	9,0	8,2	13,1	14,7	13,2	11,9	12,0	11,0	9,1	7,5
Итог:	-38,0	-24,1	-9,2	4,6	21,0	38,4	59,0	78,1	-51,1	-33,2	-17,8	-7,2	4,6	27,7	53,6	84,4
В % к выносу	-37,5	-19,3	-8,0	4,2	19,9	39,9	70,2	105,8	-41,7	-23,9	-13,7	-5,7	3,6	24,9	59,6	130,7
Интенсивность баланса, %	66	83	93	103	116	131	152	174	62	79	88	95	103	120	145	188
Изменение содержания подвижных форм, мг/кг	-12,7	-8,0	-3,1	1,5	7,0	12,8	19,7	26,0	-17,0	-11,1	-5,9	-2,4	1,5	9,2	17,9	28,1

Приложение 59

Содержание азота в зерносенаже одновидовых и смешанных агроценозов яровой пшеницы и посевного гороха по годам проведения исследований, % на а.с.в.

Состав агроценоза (фактор А)		Дозы азота (фактор В)			Среднее по А
		N0	N30	N60	
2012 г.					
Пшеница 100 %		1,23	1,31	1,46	1,33
Пшеница 75 % + горох 25 %		1,44	1,57	1,67	1,56
Пшеница 50 % + горох 50 %		1,72	1,83	1,80	1,78
Пшеница 25 % + горох 75 %		2,23	2,37	2,38	2,33
Горох 100 %		2,85	2,87	2,92	2,88
Среднее по В, $НСР_{05}$ гл. эфф. = 0,15		1,89	1,99	2,05	$НСР_{05}$ гл. эфф. = 0,38
$НСР_{05}$ для частных различий по фактору	А	0,67			
	В	0,34			
2013 г.					
Пшеница 100 %		1,21	1,36	1,58	1,39
Пшеница 75 % + горох 25 %		1,14	1,32	1,47	1,31
Пшеница 50 % + горох 50 %		1,35	1,79	1,76	1,63
Пшеница 25 % + горох 75 %		1,86	2,55	2,64	2,35
Горох 100 %		2,62	2,75	3,16	2,84
Среднее по В, $НСР_{05}$ гл. эфф. = 0,17		1,64	1,96	2,12	$НСР_{05}$ гл. эфф. = 0,28
$НСР_{05}$ для частных различий по фактору	А	0,48			
	В	0,38			
2014 г.					
Пшеница 100 %		1,15	1,22	1,30	1,22
Пшеница 75 % + горох 25 %		1,76	1,90	1,95	1,87
Пшеница 50 % + горох 50 %		2,09	2,10	2,30	2,16
Пшеница 25 % + горох 75 %		2,69	2,61	2,58	2,63
Горох 100 %		3,09	2,98	2,75	2,94
Среднее по В, $НСР_{05}$ гл. эфф. = 0,15		2,16	2,16	2,18	$НСР_{05}$ гл. эфф. = 0,44
$НСР_{05}$ для частных различий по фактору	А	0,76			
	В	0,33			

Приложение 60

Структура баланса азота в почве при возделывании яровой пшеницы и посевного гороха на зерносенаж в одновидовых и смешанных агроценозов, кг/га (среднее за 2012-2014 гг.)

Вариант	Пшеница 100%			Пшеница 75% + горох 25%			Пшеница 50% + горох 50%			Пшеница 25% + горох 75%			Горох 100%		
	N0	N30	N60	N0	N30	N60	N0	N30	N60	N0	N30	N60	N0	N30	N60
Приход:	15,3	49,3	79,3	27,2	62,3	93,5	43,5	81,5	115,0	61,4	102,7	138,7	49,4	86,8	122,7
с осадками	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
с семенами	4,3	4,3	4,3	5,8	5,8	5,8	7,4	7,4	7,4	8,9	8,9	8,9	10,4	10,4	10,4
с удобрением	0	30	60	0	30	60	0	30	60	0	30	60	0	30	60
за счёт свободноживущих азотфиксаторов	6	10	10	6	10	10	6	10	10	6	10	10	6	10	10
за счёт симбиотической азотфиксации	0	0	0	10,4	11,5	12,6	25,2	29,1	32,7	41,6	48,9	54,8	28,1	31,4	37,4
Расход:	32,5	44,4	62,1	46,6	62,0	77,6	69,5	91,2	106,6	100,4	130,8	152,7	73,8	89,1	112,1
вынос (зерном + соломой)	32,5	38,4	50,1	44,5	53,7	63,1	64,5	79,3	88,0	92,1	115,0	129,7	68,1	76,8	92,6
газообразные потери из удобрения	0,0	6,0	12,0	0,0	6,0	12,0	0,0	6,0	12,0	0,0	6,0	12,0	0,0	6,0	12,0
газообразные потери биологического азота	0,0	0,0	0,0	2,1	2,3	2,5	5,0	5,8	6,5	8,3	9,8	11,0	5,6	6,3	7,5
Итог:	-17,1	4,9	17,3	-19,4	0,3	15,9	-26,0	-9,7	8,5	-39,0	-28,0	-14,0	-24,3	-2,3	10,6
В % к выносу	-52,7	12,8	34,5	-43,5	0,5	25,2	-40,3	-12,2	9,6	-42,3	-24,4	-10,8	-35,7	-3,0	11,4
Интенсивность баланса, %	47,3	111,1	127,9	58,4	100,5	120,5	62,6	89,4	108,0	61,2	78,6	90,8	67,0	97,4	109,4
Изменение содержания подвижных форм, мг/кг	-5,7	1,6	5,8	-6,5	0,1	5,3	-8,7	-3,2	2,8	-13,0	-9,3	-4,7	-8,1	-0,8	3,5

Приложение 61

Содержание азота в зерне яровой пшеницы в одновидовом и смешанных агроценозах по годам проведения исследований, % на а.с.в.

Состав агроценоза (фактор А)		Дозы азота (фактор В)			Среднее по А
		N0	N30	N60	
2012 г.					
Пшеница 100 %		1,65	1,66	1,75	1,69
Пшеница 75 % + горох 25 %		1,69	1,72	1,87	1,76
Пшеница 50 % + горох 50 %		1,83	1,88	2,13	1,95
Пшеница 25 % + горох 75 %		2,06	2,16	2,15	2,13
Среднее по В, $НСР_{05}$ гл. эфф. = 0,05		1,80	1,86	1,98	$НСР_{05}$ гл. эфф. = 0,05
$НСР_{05}$ для частных различий по фактору	А	0,09			
	В	0,09			
2013 г.					
Пшеница 100 %		1,62	1,68	1,73	1,68
Пшеница 75 % + горох 25 %		1,72	1,78	1,93	1,81
Пшеница 50 % + горох 50 %		2,05	2,06	2,05	2,05
Пшеница 25 % + горох 75 %		2,18	2,17	2,32	2,22
Среднее по В, $НСР_{05}$ гл. эфф. = 0,06		1,89	1,92	2,01	$НСР_{05}$ гл. эфф. = 0,03
$НСР_{05}$ для частных различий по фактору	А	0,05			
	В	0,11			
2014 г.					
Пшеница 100 %		1,71	1,84	1,81	1,78
Пшеница 75 % + горох 25 %		1,86	1,90	1,82	1,86
Пшеница 50 % + горох 50 %		2,01	2,13	2,16	2,10
Пшеница 25 % + горох 75 %		2,09	2,16	2,19	2,14
Среднее по В, $НСР_{05}$ гл. эфф. = 0,06		1,92	2,01	1,99	$НСР_{05}$ гл. эфф. = 0,05
$НСР_{05}$ для частных различий по фактору	А	0,09			
	В	0,10			

Приложение 62

Содержание азота в соломе яровой пшеницы в одновидовом и смешанных агроценозах по годам проведения исследований, % на а.с.в.

Состав агроценоза (фактор А)		Дозы азота (фактор В)			Среднее по А
		N0	N30	N60	
2012 г.					
Пшеница 100 %		0,48	0,46	0,42	0,46
Пшеница 75 % + горох 25 %		0,50	0,47	0,51	0,49
Пшеница 50 % + горох 50 %		0,54	0,42	0,46	0,48
Пшеница 25 % + горох 75 %		0,50	0,41	0,40	0,44
Среднее по В, $НСР_{05}$ гл. эфф. = 0,05		0,51	0,44	0,45	$НСР_{05}$ гл. эфф. = 0,08
$НСР_{05}$ для частных различий по фактору	А	0,14			
	В	0,10			
2013 г.					
Пшеница 100 %		0,49	0,41	0,45	0,45
Пшеница 75 % + горох 25 %		0,51	0,46	0,52	0,50
Пшеница 50 % + горох 50 %		0,56	0,43	0,41	0,47
Пшеница 25 % + горох 75 %		0,54	0,51	0,44	0,49
Среднее по В, $НСР_{05}$ гл. эфф. = 0,07		0,52	0,45	0,45	$НСР_{05}$ гл. эфф. = 0,16
$НСР_{05}$ для частных различий по фактору	А	0,28			
	В	0,14			
2014 г.					
Пшеница 100 %		0,49	0,44	0,43	0,45
Пшеница 75 % + горох 25 %		0,51	0,47	0,52	0,50
Пшеница 50 % + горох 50 %		0,55	0,42	0,44	0,47
Пшеница 25 % + горох 75 %		0,52	0,46	0,42	0,46
Среднее по В, $НСР_{05}$ гл. эфф. = 0,10		0,52	0,45	0,45	$НСР_{05}$ гл. эфф. = 0,23
$НСР_{05}$ для частных различий по фактору	А	0,40			
	В	0,19			

Приложение 63

Содержание азота в зерне гороха посевного в одновидовом и смешанных агроценозах по годам проведения исследований, % на а.с.в.

Состав агроценоза (фактор А)		Дозы азота (фактор В)			Среднее по А
		N0	N30	N60	
2012 г.					
Пшеница 75 % + горох 25 %		3,14	3,29	3,50	3,31
Пшеница 50 % + горох 50 %		3,58	3,52	3,76	3,62
Пшеница 25 % + горох 75 %		3,62	3,71	3,57	3,63
Горох 100 %		3,85	3,86	3,68	3,80
Среднее по В, $НСР_{05}$ гл. эфф. = 0,07		3,55	3,59	3,63	$НСР_{05}$ гл. эфф. = 0,15
$НСР_{05}$ для частных различий по фактору	А	0,26			
	В	0,14			
2013 г.					
Пшеница 75 % + горох 25 %		3,19	3,17	3,16	3,17
Пшеница 50 % + горох 50 %		3,44	3,41	3,29	3,38
Пшеница 25 % + горох 75 %		3,57	3,76	3,75	3,69
Горох 100 %		3,70	3,43	3,63	3,59
Среднее по В, $НСР_{05}$ гл. эфф. = 0,06		3,48	3,44	3,46	$НСР_{05}$ гл. эфф. = 0,05
$НСР_{05}$ для частных различий по фактору	А	0,09			
	В	0,13			
2014 г.					
Пшеница 75 % + горох 25 %		3,20	3,21	3,27	3,23
Пшеница 50 % + горох 50 %		3,28	3,33	3,44	3,35
Пшеница 25 % + горох 75 %		3,48	3,62	3,67	3,59
Горох 100 %		3,69	3,79	3,64	3,71
Среднее по В, $НСР_{05}$ гл. эфф. = 0,04		3,41	3,49	3,51	$НСР_{05}$ гл. эфф. = 0,08
$НСР_{05}$ для частных различий по фактору	А	0,13			
	В	0,09			

Приложение 64

Содержание азота в соломе гороха посевного в одновидовом и смешанных агроценозах по годам проведения исследований, % на а.с.в.

Состав агроценоза (фактор А)		Дозы азота (фактор В)			Среднее по А
		N0	N30	N60	
2012 г.					
Пшеница 75 % + горох 25 %		1,31	1,51	1,30	1,37
Пшеница 50 % + горох 50 %		1,38	1,44	1,49	1,44
Пшеница 25 % + горох 75 %		1,44	1,34	1,32	1,37
Горох 100 %		1,58	1,26	1,30	1,38
Среднее по В, $НСР_{05}$ гл. эфф. = 0,16		1,43	1,39	1,35	$НСР_{05}$ гл. эфф. = 0,29
$НСР_{05}$ для частных различий по фактору	А	0,50			
	В	0,32			
2013 г.					
Пшеница 75 % + горох 25 %		1,41	1,52	1,39	1,44
Пшеница 50 % + горох 50 %		1,22	1,33	1,52	1,36
Пшеница 25 % + горох 75 %		1,47	1,24	1,35	1,35
Горох 100 %		1,38	1,49	1,52	1,46
Среднее по В, $НСР_{05}$ гл. эфф. = 0,15		1,37	1,39	1,45	$НСР_{05}$ гл. эфф. = 0,10
$НСР_{05}$ для частных различий по фактору	А	0,18			
	В	0,31			
2014 г.					
Пшеница 75 % + горох 25 %		1,36	1,52	1,35	1,41
Пшеница 50 % + горох 50 %		1,30	1,39	1,51	1,40
Пшеница 25 % + горох 75 %		1,45	1,29	1,34	1,36
Горох 100 %		1,48	1,37	1,41	1,42
Среднее по В, $НСР_{05}$ гл. эфф. = 0,12		1,40	1,39	1,40	$НСР_{05}$ гл. эфф. = 0,16
$НСР_{05}$ для частных различий по фактору	А	0,28			
	В	0,24			

Приложение 65

Структура баланса азота в почве при возделывании яровой пшеницы и посевного гороха на зерно в одновидовых и смешанных агроценозах, кг/га (среднее за 2012-2014 гг.)

Состав агроценоза	Пшеница 100%			Пшеница 75% + горох 25%			Пшеница 50% + горох 50%			Пшеница 25% + горох 75%			Горох 100%		
Дозы азота	N0	N30	N60	N0	N30	N60	N0	N30	N60	N0	N30	N60	N0	N30	N60
Приход:	15,3	49,3	79,3	33,8	68,9	99,2	54,5	92,9	123,8	61,8	93,2	117,7	80,1	111,2	133,4
с осадками	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
с семенами	4,3	4,3	4,3	5,8	5,8	5,8	7,4	7,4	7,4	8,9	8,9	8,9	10,4	10,4	10,4
с удобрением	0	30	60	0	30	60	0	30	60	0	30	60	0	30	60
за счёт свободноживущих азотфиксаторов	6	10	10	6	10	10	6	10	10	6	10	10	6	10	10
за счёт симбиотической азотфиксации	0	0	0	16,9	18,1	18,4	36,2	40,5	41,4	42,0	39,4	33,8	58,7	55,8	48,1
Расход:	46,7	59,9	71,3	77,3	90,0	108,1	112,0	127,5	139,0	115,0	119,5	109,4	128,3	127,2	115,6
вынос (зерном + соломой)	46,7	53,9	59,3	73,9	80,4	92,5	104,8	113,4	118,7	106,6	105,7	90,6	116,6	110,0	94,0
газообразные потери из удобрения	0,0	6,0	12,0	0,0	6,0	12,0	0,0	6,0	12,0	0,0	6,0	12,0	0,0	6,0	12,0
газообразные потери биологического азота	0,0	0,0	0,0	3,4	3,6	3,7	7,2	8,1	8,3	8,4	7,9	6,8	11,7	11,2	9,6
Итог:	-31,3	-10,6	8,0	-43,6	-21,1	-8,9	-57,5	-34,6	-15,3	-53,2	-26,3	8,3	-48,2	-16,0	17,8
В % к выносу	-67,1	-19,6	13,5	-58,9	-26,3	-9,6	-54,9	-30,5	-12,9	-49,9	-24,9	9,1	-41,4	-14,6	19,0
Интенсивность баланса, %	32,9	82,4	111,3	43,7	76,5	91,8	48,7	72,9	89,0	53,8	78,0	107,6	62,4	87,4	115,4
Изменение содержания подвижных форм, мг/кг	-10,4	-3,5	2,7	-14,5	-7,0	-3,0	-19,2	-11,5	-5,1	-17,7	-8,8	2,8	-16,1	-5,3	5,9

Приложение 66

Содержание азота в зерносенаже одновидовых и смешанных агроценозов озимого тритикале и озимой вики по годам проведения исследований, % на а.с.в.

Состав агроценоза (фактор А)		Дозы азота (фактор В)				Среднее по фактору А
		N_0	N_{30}	N_{45}	N_{60}	
2014 г.						
Тритикале 100 %		1,51	1,70	1,77	1,86	1,71
Тритикале 75 % + вика 25 %		1,76	1,98	2,15	2,31	2,05
Тритикале 50 % + вика 50 %		2,19	2,26	2,40	2,50	2,34
Тритикале 25 % + вика 75 %		2,41	2,57	2,63	2,77	2,60
Вика 100 %		2,73	2,75	2,87	2,93	2,82
Среднее по В, $НСР_{05}$ гл. эфф. = 0,19		2,12	2,25	2,36	2,48	$НСР_{05}$ гл. эфф. = 0,12
$НСР_{05}$ для частных различий по фактору	А	0,25				
	В	0,42				
2015 г.						
Тритикале 100 %		1,70	1,77	1,89	2,03	1,85
Тритикале 75 % + вика 25 %		1,87	1,95	2,18	2,22	2,05
Тритикале 50 % + вика 50 %		2,31	2,35	2,39	2,48	2,38
Тритикале 25 % + вика 75 %		2,39	2,50	2,57	2,64	2,52
Вика 100 %		2,45	2,51	2,58	2,65	2,55
Среднее по В, $НСР_{05}$ гл. эфф. = 0,15		2,14	2,22	2,32	2,40	$НСР_{05}$ гл. эфф. = 0,19
$НСР_{05}$ для частных различий по фактору	А	0,38				
	В	0,34				
2016 г.						
Тритикале 100 %		1,45	1,74	1,80	1,88	1,72
Тритикале 75 % + вика 25 %		1,74	1,84	1,94	2,05	1,89
Тритикале 50 % + вика 50 %		1,88	2,09	2,31	2,46	2,19
Тритикале 25 % + вика 75 %		2,11	2,27	2,38	2,46	2,31
Вика 100 %		2,61	2,74	2,77	2,82	2,73
Среднее по В, $НСР_{05}$ гл. эфф. = 0,10		1,96	2,13	2,24	2,33	$НСР_{05}$ гл. эфф. = 0,11
$НСР_{05}$ для частных различий по фактору	А	0,23				
	В	0,22				

Приложение 67

Структура баланса азота в почве при возделывании озимой тритикале и озимой вики на зерносенаж в одновидовых и смешанных агроценозах, кг/га (среднее за 2014-2016 гг.)

Состав агроценоза	Тритикале 100%				Тритикале 75% + вика 25%				Тритикале 50% + вика 50%				Тритикале 25% + вика 75%				Вика 100%			
Дозы азота	N0	N30	N45	N60	N0	N30	N45	N60	N0	N30	N45	N60	N0	N30	N45	N60	N0	N30	N45	N60
Приход:	13,7	47,7	62,7	77,7	30,8	67,7	86,1	103,5	51,1	90,0	113,8	128,4	70,9	110,7	136,9	139,1	70,3	110,3	120,9	130,1
с осадками	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
с семенами	2,7	2,7	2,7	2,7	2,6	2,6	2,6	2,6	2,4	2,4	2,4	2,4	2,2	2,2	2,2	2,2	2,0	2,0	2,0	2,0
с удобрением	0	30	45	60	0	30	45	60	0	30	45	60	0	30	45	60	0	30	45	60
за счёт свободноживущих азотфиксаторов	6	10	10	10	6	10	10	10	6	10	10	10	6	10	10	10	6	10	10	10
за счёт симбиотической азотфиксации	0	0	0	0	17,2	20,2	23,5	25,9	37,7	42,6	51,4	51,1	57,7	63,5	74,6	61,8	57,2	63,3	58,8	53,1
Расход:	43,9	72,1	93,1	108,7	96,6	124,1	154,3	176,4	128,8	154,8	193,7	199,6	145,5	171,2	203,7	175,9	139,5	160,3	152,4	141,4
вынос (зерном + соломой)	43,9	66,1	84,1	96,7	93,1	114,0	140,6	159,2	121,3	140,2	174,4	177,3	133,9	152,5	179,8	151,6	128,0	141,6	131,6	118,8
газообразные потери из удобрения	0,0	6,0	9,0	12,0	0,0	6,0	9,0	12,0	0,0	6,0	9,0	12,0	0,0	6,0	9,0	12,0	0,0	6,0	9,0	12,0
газообразные потери $N_{биол.}$	0,0	0,0	0,0	0,0	3,4	4,0	4,7	5,2	7,5	8,5	10,3	10,2	11,5	12,7	14,9	12,4	11,4	12,7	11,8	10,6
Итог:	-30,1	-24,3	-30,3	-30,9	-65,8	-56,3	-68,3	-72,9	-77,7	-64,8	-79,8	-71,1	-74,6	-60,5	-66,9	-36,9	-69,2	-49,9	-31,5	-11,3
В % к выносу	-10,0	-8,1	-10,1	-10,3	-21,9	-18,8	-22,8	-24,3	-25,9	-21,6	-26,6	-23,7	-24,9	-20,2	-22,3	-12,3	-23,1	-16,6	-10,5	-3,8
Интенсивность баланса, %	-68,7	-36,8	-36,1	-32,0	-70,6	-49,4	-48,5	-45,8	-64,1	-46,2	-45,8	-40,1	-55,7	-39,7	-37,2	-24,3	-54,1	-35,3	-24,0	-9,5
Изменение содержания подвижных форм, мг/кг	31	66	67	72	32	55	56	59	40	58	59	64	49	65	67	79	50	69	79	92

Приложение 68

Содержание азота в зерне озимой тритикале в одновидовом и смешанных агроценозах по годам проведения исследований, % на а.с.в.

Состав агроценоза (фактор А)		Дозы азота (фактор В)				Среднее по фактору А
		N_0	N_{30}	N_{45}	N_{60}	
2014 г.						
Тритикале 100 %		2,25	2,33	2,49	2,62	2,42
Тритикале 75 % + вика 25 %		2,30	2,41	2,55	2,60	2,47
Тритикале 50 % + вика 50 %		2,40	2,46	2,51	2,63	2,50
Тритикале 25 % + вика 75 %		2,50	2,56	2,58	2,68	2,58
Среднее по В, $НСР_{05}$ гл. эфф. = 0,23		2,36	2,44	2,53	2,63	$НСР_{05}$ гл. эфф. = 0,41
$НСР_{05}$ для частных различий по фактору	А	0,82				
	В	0,46				
2015 г.						
Тритикале 100 %		1,93	2,18	2,27	2,38	2,19
Тритикале 75 % + вика 25 %		2,25	2,53	2,59	2,64	2,50
Тритикале 50 % + вика 50 %		2,49	2,58	2,68	2,72	2,62
Тритикале 25 % + вика 75 %		2,60	2,66	2,72	2,75	2,68
Среднее по В, $НСР_{05}$ гл. эфф. = 0,32		2,32	2,49	2,57	2,62	$НСР_{05}$ гл. эфф. = 0,72
$НСР_{05}$ для частных различий по фактору	А	1,45				
	В	0,63				
2016 г.						
Тритикале 100 %		1,45	1,74	1,80	1,88	1,72
Тритикале 75 % + вика 25 %		1,74	1,84	1,94	2,05	1,89
Тритикале 50 % + вика 50 %		1,88	2,10	2,31	2,46	2,19
Тритикале 25 % + вика 75 %		2,12	2,27	2,38	2,46	2,31
Среднее по В, $НСР_{05}$ гл. эфф. = 0,28		1,80	1,99	2,11	2,21	$НСР_{05}$ гл. эфф. = 0,31
$НСР_{05}$ для частных различий по фактору	А	0,62				
	В	0,56				

Приложение 69

Содержание азота в соломе озимой тритикале в одновидовом и смешанных агроценозах по годам проведения исследований, % на а.с.в.

Состав агроценоза (фактор А)		Дозы азота (фактор В)				Среднее по фактору А
		N_0	N_{30}	N_{45}	N_{60}	
2014 г.						
Тритикале 100 %		0,63	0,63	0,64	0,58	0,62
Тритикале 75 % + вика 25 %		0,64	0,52	0,47	0,59	0,56
Тритикале 50 % + вика 50 %		0,53	0,38	0,48	0,41	0,45
Тритикале 25 % + вика 75 %		0,43	0,45	0,43	0,40	0,43
Среднее по В, $НСР_{05}$ гл. эфф. = 0,09		0,56	0,50	0,51	0,50	$НСР_{05}$ гл. эфф. = 0,15
$НСР_{05}$ для частных различий по фактору	А	0,31				
	В	0,18				
2015 г.						
Тритикале 100 %		0,49	0,51	0,45	0,45	0,47
Тритикале 75 % + вика 25 %		0,46	0,52	0,56	0,44	0,49
Тритикале 50 % + вика 50 %		0,41	0,54	0,39	0,44	0,44
Тритикале 25 % + вика 75 %		0,42	0,40	0,39	0,43	0,41
Среднее по В, $НСР_{05}$ гл. эфф. = 0,06		0,45	0,49	0,45	0,44	$НСР_{05}$ гл. эфф. = 0,05
$НСР_{05}$ для частных различий по фактору	А	0,10				
	В	0,12				
2016 г.						
Тритикале 100 %		0,56	0,57	0,55	0,51	0,55
Тритикале 75 % + вика 25 %		0,55	0,52	0,52	0,51	0,52
Тритикале 50 % + вика 50 %		0,47	0,46	0,44	0,43	0,45
Тритикале 25 % + вика 75 %		0,42	0,42	0,41	0,41	0,42
Среднее по В, $НСР_{05}$ гл. эфф. = 0,06		0,50	0,49	0,48	0,47	$НСР_{05}$ гл. эфф. = 0,13
$НСР_{05}$ для частных различий по фактору	А	0,25				
	В	0,12				

Приложение 70

Содержание азота в зерне озимой вики в одновидовом и смешанных агроценозах по годам проведения исследований, % на а.с.в.

Состав агроценоза (фактор А)		Дозы азота (фактор В)				Среднее по фактору А
		N_0	N_{30}	N_{45}	N_{60}	
2014 г.						
Тритикале 75 % + вика 25 %		3,64	3,77	3,87	3,65	3,73
Тритикале 50 % + вика 50 %		3,79	3,87	3,85	3,72	3,81
Тритикале 25 % + вика 75 %		4,08	4,03	3,90	3,78	3,95
Вика 100 %		4,19	4,03	3,89	3,74	3,96
Среднее по В, $НСР_{05}$ гл. эфф. = 0,13		3,92	3,92	3,88	3,72	$НСР_{05}$ гл. эфф. = 0,64
$НСР_{05}$ для частных различий по фактору	А	1,27				
	В	0,27				
2015 г.						
Тритикале 75 % + вика 25 %		4,53	4,37	4,27	4,13	4,33
Тритикале 50 % + вика 50 %		4,54	4,31	4,18	4,10	4,28
Тритикале 25 % + вика 75 %		4,87	4,57	4,24	4,14	4,46
Вика 100 %		4,90	4,76	4,64	4,55	4,71
Среднее по В, $НСР_{05}$ гл. эфф. = 0,31		4,71	4,51	4,33	4,23	$НСР_{05}$ гл. эфф. = 0,29
$НСР_{05}$ для частных различий по фактору	А	0,58				
	В	0,61				
2016 г.						
Тритикале 75 % + вика 25 %		3,02	3,39	3,64	3,41	3,37
Тритикале 50 % + вика 50 %		3,25	3,32	3,48	3,43	3,37
Тритикале 25 % + вика 75 %		3,59	3,63	3,69	3,55	3,61
Вика 100 %		4,27	4,18	4,02	3,90	4,09
Среднее по В, $НСР_{05}$ гл. эфф. = 0,25		3,53	3,63	3,71	3,57	$НСР_{05}$ гл. эфф. = 0,52
$НСР_{05}$ для частных различий по фактору	А	1,04				
	В	0,49				

Приложение 71

Содержание азота в соломе озимой вики в одновидовом и смешанных агроценозах по годам проведения исследований, % на а.с.в.

Состав агроценоза (фактор А)		Дозы азота (фактор В)				Среднее по фактору А
		N_0	N_{30}	N_{45}	N_{60}	
2014 г.						
Тритикале 75 % + вика 25 %		1,41	1,43	1,44	1,40	1,42
Тритикале 50 % + вика 50 %		1,41	1,42	1,38	1,39	1,40
Тритикале 25 % + вика 75 %		1,41	1,41	1,37	1,36	1,39
Вика 100 %		1,42	1,39	1,35	1,32	1,37
Среднее по В, $НСР_{05}$ гл. эфф. = 0,07		1,41	1,41	1,39	1,37	$НСР_{05}$ гл. эфф. = 0,26
$НСР_{05}$ для частных различий по фактору	А	0,51				
	В	0,14				
2015 г.						
Тритикале 75 % + вика 25 %		1,51	1,50	1,50	1,52	1,51
Тритикале 50 % + вика 50 %		1,57	1,53	1,51	1,52	1,53
Тритикале 25 % + вика 75 %		1,61	1,57	1,53	1,52	1,56
Вика 100 %		1,62	1,60	1,59	1,57	1,59
Среднее по В, $НСР_{05}$ гл. эфф. = 0,13		1,58	1,55	1,53	1,53	$НСР_{05}$ гл. эфф. = 0,17
$НСР_{05}$ для частных различий по фактору	А	0,33				
	В	0,26				
2016 г.						
Тритикале 75 % + вика 25 %		1,26	1,31	1,35	1,34	1,32
Тритикале 50 % + вика 50 %		1,29	1,32	1,34	1,36	1,33
Тритикале 25 % + вика 75 %		1,33	1,35	1,37	1,37	1,36
Вика 100 %		1,42	1,42	1,41	1,42	1,42
Среднее по В, $НСР_{05}$ гл. эфф. = 0,06		1,32	1,35	1,37	1,37	$НСР_{05}$ гл. эфф. = 0,12
$НСР_{05}$ для частных различий по фактору	А	0,25				
	В	0,13				

Приложение 72

Структура баланса азота в почве при возделывании озимой тритикале и озимой вики на зерно в одновидовых и смешанных агроценозах, кг/га (среднее за 2014-2016 гг.)

Состав агроценоза	Тритикале 100%				Тритикале 75% + вика 25%				Тритикале 50% + вика 50%				Тритикале 25% + вика 75%				Вика 100%			
Дозы азота	N0	N30	N45	N60	N0	N30	N45	N60	N0	N30	N45	N60	N0	N30	N45	N60	N0	N30	N45	N60
Приход:	15,0	49,0	64,0	79,0	42,2	75,2	89,6	103,9	64,6	96,9	109,8	123,3	87,6	119,0	131,1	144,2	86,7	114,2	128,7	141,5
с осадками	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
с семенами	4,0	4,0	4,0	4,0	3,6	3,6	3,6	3,6	3,2	3,2	3,2	3,2	2,8	2,8	2,8	2,8	2,4	2,4	2,4	2,4
с удобрением	0	30	45	60	0	30	45	60	0	30	45	60	0	30	45	60	0	30	45	60
за счёт свободноживущих азотфиксаторов	6	10	10	10	6	10	10	10	6	10	10	10	6	10	10	10	6	10	10	10
за счёт симбиотической азотфиксации	0	0	0	0	27,6	26,6	26,0	25,3	50,4	48,7	46,6	45,1	73,8	71,2	68,3	66,4	73,3	66,8	66,3	64,1
Расход:	37,5	55,2	67,9	78,7	62,8	77,7	96,6	94,5	64,5	86,8	91,3	85,6	72,7	70,3	66,1	62,3	60,7	49,0	48,3	44,7
вынос (зерном + соломой)	37,5	49,2	58,9	66,7	57,2	66,4	82,4	77,5	54,4	71,1	73,0	64,6	58,0	50,1	43,4	37,0	46,1	29,6	26,0	19,9
газообразные потери из удобрения	0,0	6,0	9,0	12,0	0,0	6,0	9,0	12,0	0,0	6,0	9,0	12,0	0,0	6,0	9,0	12,0	0,0	6,0	9,0	12,0
газообразные потери $N_{биол.}$	0,0	0,0	0,0	0,0	5,5	5,3	5,2	5,1	10,1	9,7	9,3	9,0	14,8	14,2	13,7	13,3	14,7	13,4	13,3	12,8
Итог:	-22,4	-6,2	-3,9	0,3	-20,6	-2,5	-7,0	9,4	0,1	10,1	18,6	37,7	14,9	48,7	65,1	81,9	25,9	65,2	80,4	96,8
В % к выносу	-41,3	-8,9	-4,8	0,3	-22,5	-2,5	-5,9	8,4	0,1	9,5	17,8	41,0	16,0	60,6	91,7	134,7	26,1	85,8	113,7	156,7
Интенсивность баланса, %	40	89	94	100	67	97	93	110	100	112	120	144	120	169	198	231	143	233	266	316
Изменение содержания подвижных форм, мг/кг	-7,5	-2,1	-1,3	0,1	-6,9	-0,8	-2,3	3,1	0,0	3,4	6,2	12,6	5,0	16,2	21,7	27,3	8,6	21,7	26,8	32,3

Приложение 73

Урожайность зерна ярового овса, возделываемого после одновидовых агроценозов посевного гороха по годам проведения исследований, т/га

Дозы азота (В)	Агроинтел		Среднее по В	Вельвет		Среднее по В
	A_0	A_1		A_0	A_1	
2015 г.						
N0	2,29	2,94	2,61	3,78	3,39	3,58
N30	2,47	3,13	2,80	3,68	3,70	3,69
N45	3,08	3,30	3,19	3,79	3,95	3,87
N60	3,40	3,63	3,51	3,63	3,85	3,74
N75	3,20	3,25	3,23	3,30	3,47	3,38
N90	3,12	3,19	3,16	3,21	3,27	3,24
N105	3,34	3,28	3,31	3,33	3,41	3,37
N120	3,36	3,42	3,39	3,46	3,48	3,47
Среднее по А,	3,03	3,27	$НСР_{05}$ гл. эфф.	3,52	3,56	$НСР_{05}$ гл. эфф.
$НСР_{05}$ для гл. эфф.	0,37		0,25	0,58		0,43
$НСР_{05}$ для частных различий по фактору	А		1,05	А		1,63
	В		0,35	В		0,60
2016 г.						
N0	2,65	2,63	2,64	1,59	1,72	1,65
N30	2,73	2,87	2,80	1,75	2,18	1,97
N45	2,56	2,81	2,68	1,76	2,15	1,95
N60	2,48	2,68	2,58	1,86	2,01	1,94
N75	2,21	2,46	2,33	2,10	1,89	2,00
N90	2,11	2,23	2,17	1,91	1,78	1,85
N105	2,24	2,56	2,40	1,61	1,63	1,62
N120	2,28	2,52	2,40	1,62	1,71	1,66
Среднее по А,	2,41	2,59	$НСР_{05}$ гл. эфф.	1,77	1,88	$НСР_{05}$ гл. эфф.
$НСР_{05}$ для гл. эфф.	0,74		0,29	0,54		0,25
$НСР_{05}$ для частных различий по фактору	А		2,09	А		1,52
	В		0,41	В		0,35
2017 г.						
N0	4,21	4,17	4,19	4,13	5,14	4,64
N30	4,42	4,28	4,35	4,34	5,21	4,78
N45	4,86	5,13	4,99	4,49	4,92	4,70
N60	4,47	5,08	4,78	4,62	5,19	4,91
N75	4,25	4,72	4,49	4,48	5,13	4,80
N90	4,08	4,48	4,28	4,61	5,15	4,88
N105	4,06	4,28	4,17	4,76	5,21	4,99
N120	4,20	4,30	4,25	4,88	5,25	5,07
Среднее по А,	4,32	4,55	$НСР_{05}$ гл. эфф.	4,54	5,15	$НСР_{05}$ гл. эфф.
$НСР_{05}$ для гл. эфф.	0,10		0,43	0,06		0,28
$НСР_{05}$ для частных различий по фактору	А		0,40	А		0,16
	В		0,60	В		0,40

Приложение 74

Урожайность зерна ярового ячменя, возделываемого после одновидовых и смешанных агроценозов яровой пшеницы и посевного гороха по годам проведения исследований, т/га

Предшественник (фактор А)		Дозы азота под предшественник (фактор В)			Среднее по фактору А
		N_0	N_{30}	N_{60}	
2013 г.					
Пшеница 100 %		1,64	1,70	1,80	1,71
Пшеница 75 % + горох 25 %		1,97	1,70	1,78	1,83
Пшеница 50 % + горох 50 %		1,89	1,85	2,03	1,87
Пшеница 25 % + горох 75 %		1,84	2,01	2,12	1,99
Горох 100 %		2,27	2,18	2,01	2,15
Среднее по В, $НСР_{05}$ гл. эфф. = 0,16		1,92	1,89	1,95	$НСР_{05}$ гл. эфф. = 0,30
$НСР_{05}$ для частных различий по фактору	А	0,51			
	В	0,35			
2014 г.					
Пшеница 100 %		2,92	3,07	3,09	3,02
Пшеница 75 % + горох 25 %		3,34	3,20	3,25	3,27
Пшеница 50 % + горох 50 %		4,04	4,26	3,75	4,15
Пшеница 25 % + горох 75 %		4,02	3,97	3,42	3,80
Горох 100 %		4,04	4,05	4,06	4,05
Среднее по В, $НСР_{05}$ гл. эфф. = 0,20		3,65	3,63	3,61	$НСР_{05}$ гл. эфф. = 0,22
$НСР_{05}$ для частных различий по фактору	А	0,38			
	В	0,46			
2015 г.					
Пшеница 100 %		1,90	2,05	2,11	2,02
Пшеница 75 % + горох 25 %		2,12	2,27	2,38	2,26
Пшеница 50 % + горох 50 %		2,41	2,36	2,69	2,49
Пшеница 25 % + горох 75 %		2,73	2,60	2,57	2,63
Горох 100 %		2,90	2,77	2,67	2,78
Среднее по В, $НСР_{05}$ гл. эфф. = 0,16		2,41	2,41	2,48	$НСР_{05}$ гл. эфф. = 0,29
$НСР_{05}$ для частных различий по фактору	А	0,50			
	В	0,37			

Приложение 75

Урожайность зерна яровой пшеницы, возделываемой после одновидовых и смешанных агроценозов озимой тритикале и озимой вики, по годам проведения исследований, т/га

Предшественник (фактор А)		Дозы азота под предшественник (фактор В)				Среднее по фактору А
		N_0	N_{30}	N_{45}	N_{60}	
2015 г.						
Тритикале 100 %		2,58	2,40	2,45	2,83	2,57
Тритикале 75 % + вика 25 %		2,78	2,65	2,83	3,05	2,83
Тритикале 50 % + вика 50 %		3,15	3,25	3,05	3,21	3,16
Тритикале 25 % + вика 75 %		2,84	3,06	3,44	3,14	3,12
Вика 100 %		2,77	2,75	3,02	3,26	2,95
Среднее по В, $НСР_{05}$ гл. эфф. = 0,30		2,83	2,82	2,96	3,10	$НСР_{05}$ гл. эфф. = 0,31
$НСР_{05}$ для частных различий по фактору	А	0,63				
	В	0,66				
2016 г.						
Тритикале 100 %		2,47	2,93	2,89	2,99	2,82
Тритикале 75 % + вика 25 %		2,50	3,36	3,05	3,05	2,99
Тритикале 50 % + вика 50 %		3,30	3,42	3,39	3,05	3,29
Тритикале 25 % + вика 75 %		3,10	3,42	3,56	3,42	3,38
Вика 100 %		3,15	3,35	3,10	3,42	3,26
Среднее по В, $НСР_{05}$ гл. эфф. = 0,30		2,91	3,30	3,20	3,19	$НСР_{05}$ гл. эфф. = 0,37
$НСР_{05}$ для частных различий по фактору	А	0,74				
	В	0,67				
2017 г.						
Тритикале 100 %		2,35	2,33	2,67	2,76	2,53
Тритикале 75 % + вика 25 %		3,00	2,43	2,55	2,70	2,67
Тритикале 50 % + вика 50 %		2,85	2,81	2,96	2,45	2,77
Тритикале 25 % + вика 75 %		2,85	2,67	3,10	2,78	2,85
Вика 100 %		2,56	2,60	2,96	3,07	2,80
Среднее по В, $НСР_{05}$ гл. эфф. = 0,28		2,72	2,57	2,85	2,75	$НСР_{05}$ гл. эфф. = 0,42
$НСР_{05}$ для частных различий по фактору	А	0,84				
	В	0,63				