

Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
«Красноярский государственный аграрный университет»

На правах рукописи

Казанов Виталий Викторович

**ПОЧВЕННО-ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ВОЗДЕЛЫВАНИЯ
МАСЛИЧНЫХ КАПУСТНЫХ КУЛЬТУР В УСЛОВИЯХ КАНСКОЙ
ЛЕСОСТЕПИ**

1.5.15. Экология

Диссертация на соискание ученой степени
кандидата сельскохозяйственных наук

Научный руководитель:
доктор биологических наук,
профессор
Кураченко Наталья Леонидовна

Красноярск – 2024

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	4
ГЛАВА 1. ПОЧВЕННО-ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ ПРОДУКТИВНОСТИ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР.....	10
1.1 Современные тенденции производства и потребления масличных капустных культур.....	10
1.2 Особенности формирования водного и пищевого режимов под масличными культурами	16
ГЛАВА 2. ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ ПОЧВООБРАЗОВАНИЯ КАНСКОЙ ЛЕСОСТЕПИ	24
ГЛАВА 3. ОБЪЕКТЫ, МЕТОДЫ И УСЛОВИЯ ПРОВЕДЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ.....	33
3.1 Объекты и методика проведения полевых исследований	33
3.2 Методы аналитических исследований	37
3.3 Погодные условия	38
4.1 Морфологические особенности агрочерноземов.....	42
4.2 Химические и физико-химические свойства почв	47
ГЛАВА 5. ОСОБЕННОСТИ ПРОСТРАНСТВЕННОГО ВАРЬИРОВАНИЯ АГРОФИЗИЧЕСКИХ И АГРОХИМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ АГРОЧЕРНОЗЕМОВ	50
ГЛАВА 6. ГИДРОТЕРМИЧЕСКИЙ И ПИЩЕВОЙ РЕЖИМ АГРОЧЕРНОЗЕМОВ В ПОСЕВАХ МАСЛИЧНЫХ КУЛЬТУР	58
6.1 Температурный режим.....	58
6.2 Водный режим и баланс влаги в агрочерноземе.....	61
6.3 Запасы растительного вещества	71
6.4 Пищевой режим агрочернозема.....	81
ГЛАВА 7. ВЛИЯНИЕ СРЕДСТВ ИНТЕНСИФИКАЦИИ ВОЗДЕЛЫВАНИЯ МАСЛИЧНЫХ КУЛЬТУР НА СВОЙСТВА И РЕЖИМЫ АГРОЧЕРНОЗЕМА И ПРОДУКТИВНОСТЬ ЯРОВОГО РАПСА	102
7.1 Гидротермический режим агрочернозема	102
7.2 Запасы растительного вещества в агроценозе ярового рапса.....	105
7.3 Пищевой режим агрочернозема.....	109
7.4 Продуктивность ярового рапса	115
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	121
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	124
ПРИЛОЖЕНИЯ	149

Приложение 1 – Результаты дисперсионного анализа гидротермических показателей и плотности сложения агрочерноземов.....	149
Приложение 2 – Результаты дисперсионного анализа пространственного распределения содержания гумуса в агрочерноземах.....	150
Приложение 3 – Результаты дисперсионного анализа пространственного распределения питательных веществ в агрочерноземах.....	151
Приложение 4 – Содержание влаги и запасов продуктивной влаги в агрочерноземах в посевах ярового рапса и рыжика посевного в 2019-2020 гг....	153
Приложение 5 – Статистические показатели содержания минерального азота агрочерноземов при возделывании ярового рапса	156
Приложение 6 – Статистические показатели содержания подвижного фосфора агрочерноземов при возделывании масличных культур.....	157
Приложение 7 – Статистические показатели содержания обменного калия агрочерноземов при возделывании масличных культур.....	158
Приложение 8 – Дисперсионный анализ влияния факторов «Вариант» и «Срок отбора» на температурный режим агрочерноземов в посевах ярового рапса	159
Приложение 9 – Дисперсионный анализ влияния факторов «Вариант» и «Срок отбора» на запасы продуктивной влаги агрочерноземов в посевах ярового рапса	160
Приложение 10 – Дисперсионный анализ влияния факторов «Вариант» и «Срок отбора» на формирование надземного растительного вещества в посевах ярового рапса.....	161
Приложение 11 – Дисперсионный анализ влияния факторов «Вариант» и «Срок отбора» на формирование подземного растительного вещества в посевах ярового рапса.....	162
Приложение 12 – Акты внедрения результатов научных исследований	163

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность работы. Масличные культуры в настоящее время имеют большое продовольственное, кормовое, техническое, агротехническое и экологическое значение. Расширение посевных площадей масличных капустных культур, способных хорошо переносить низкие температуры в начале вегетации в условиях резкоконтинентального климата имеет широкие перспективы в Красноярском крае, прежде всего для производства растительного масла и высокопитательных кормов (Кашеваров, 2014; Олейникова, 2019; Бопп, 2019). Масличным культурами отводится также особая фитосанитарная и средообразующая роль, так как эти культуры за счет мощной корневой системы улучшают структуру почвы, уменьшают засоренность полей и являются хорошими предшественниками для зерновых культур. Севообороты, расположенные на пашне, по-прежнему остаются ключевым звеном современных систем земледелия и решают весь комплекс задач по рациональному использованию земли, воспроизводству плодородия почвы, ее защите от эрозии, по охране окружающей среды и всего агроландшафта. Для повышения эффективного использования пашни, возможно увеличение ротации севооборотов и введение в структуру площадей масличных культур (Чибис, 2014). Возделывание высокопродуктивных капустных масличных культур с применением научно-обоснованной технологии позволит увеличить поступление в почву растительных остатков как в течение вегетации за счет частичного отмирания надземных органов растений, так и после уборки семян за счет пожнивных остатков и мощных корневых систем растений. Таким образом, изучение почвенно-экологических аспектов возделывания масличных капустных культур в условиях Канской лесостепи является актуальным исследованием.

Степень разработанности темы исследования.

Проблеме возделывания масличных капустных культур уделяется большое внимание (Артемов, 1989; Зерфус, 1993; Осепчук, 2006; Шевцова, 2008; Нурлыгаянов, 2013; Гилев, 2014; Тулькубаева, Васин, 2015; Шалагина, 2020;

Bertazzini, 2016; Heuzé, 2020 и др.). Производство высококачественных маслосемян в условиях Красноярского края – задача сложная, решение которой зависит не только от правильно подобранных сортов и агротехнологий, но и от погодных и почвенных условий. В значительной части исследования, выполненные в условиях региона, посвящены вопросам технологии возделывания масличных культур (Кураченко и др., 2015; Кураченко и др., 2019; Бопп и др., 2019; Kurachenko et al., 2019; Бопп и др., 2020; Бопп и др., 2021). При этом в ряде работ (Прахова, 2009; Волошин, Аветисян, 2017) показано, что такие культуры как яровой рапс и рыжик посевной предъявляют различные требования к условиям увлажнения почв, их физическому состоянию и обеспеченности элементами питания. Отсутствие объективных данных позволяющих оценить влияние капустных масличных культур на плодородие почв земледельческой зоны Красноярского края является нерешенной научной задачей, что и определило необходимость проведения исследований.

Цель исследований – изучить почвенно-экологические аспекты возделывания масличных капустных культур в условиях Канской лесостепи.

Задачи исследований:

1. Дать морфогенетическую характеристику агрочерноземам Канской лесостепи.
2. Выявить особенности пространственного варьирования агрофизических и агрохимических свойств агрочерноземов и их пригодность для возделывания капустных масличных культур.
3. Оценить температурный, водный и пищевой режим агрочерноземов при возделывании масличных капустных культур.
4. Охарактеризовать структуру и запасы растительного вещества в посевах ярового рапса и рыжика посевного.
5. Провести эколого-почвенную оценку технологий возделывания масличных культур в системе почва-растение.
6. Определить влияние абиотических факторов на продуктивность ярового рапса при применении средств интенсификации.

Научная новизна. Получены новые материалы по водному и пищевому режиму агрочерноземов Канской лесостепи при возделывании масличных капустных культур на маслосемена. Установлены закономерности формирования надземных и подземных запасов растительного вещества. Определен химический состав фитомассы и корней масличных культур, а также поступление в почву элементов питания с корневыми и пожнивными остатками. Установлено, что существенное потребление минерального азота масличными культурами должно быть компенсировано минеральными удобрениями и подкормками. Показано, что применение некорневого питания и регуляторов роста при возделывании ярового рапса является эффективным приёмом сохранения плодородия почв и увеличения урожайности маслосемян.

Теоретическая значимость работы. Полученные результаты расширяют представление о возможности управления процессами самовосстановления плодородия почв за счет сельскохозяйственных культур в севообороте. Количественные изменения свойств и режимов почв при возделывании в севооборотах масличных культур необходимы для оценки темпов воспроизводства плодородия агрочерноземов и их агроэкологической роли в севообороте. Они являются научной основой для разработки принципов создания искусственных экосистем и управления их устойчивым функционированием.

Практическая значимость работы. Материалы диссертации служат основой рационального землепользования и позволяют определить агромелиоративное и агроэкологическое воздействие масличных капустных культур на почву. Результаты диссертационного исследования прошли производственную проверку и внедрены в ООО «ОПХ Солянское» (прил. 12). Материалы исследований используются в учебном процессе при изучении дисциплин «Агрочвоведение», «Агрохимия» (для направлений 35.03.03 «Агрохимия и агропочвоведение», 35.03.04 «Агрономия») и «Управление плодородием почв», «Устойчивость почв» (для направления 35.04.03 «Агрохимия и агропочвоведение») (прил. 12).

Методология и методы исследований. Методология базировалась на поиске отечественных и зарубежных литературных источников по теме исследований. Исследования проведены в соответствии с классическими методами в почвоведении и агроэкологии. Результаты аналитических исследований получены с использованием ГОСТов и общепринятых методик. Полученные данные не противоречат известным положениям агрономических и биологических наук и базируются на доказанных выводах многолетних исследований. Статистическая обработка полученных экспериментальных данных проведена методом описательной статистики и дисперсионного анализа по Е.А. Дмитриеву (1995) и Б.А. Доспехову (2014) на персональном компьютере в специализированной программе Microsoft Excel и показали высокую степень достоверности.

Защищаемые положения:

1. Функционирование агроценозов ярового рапса и рыжика посевного сопровождается преимущественным расходом влаги за счет летних осадков из 0-50 см слоя агрочернозема и интенсивным потреблением минерального азота.

2. При схожем характере поступления элементов питания в надземную фитомассу и корни масличных культур наибольший возврат приходится на N и K с максимальными количественными оценками в агроценозе рапса, что обусловлено различиями в интенсивности продукционного процесса.

3. Формирование продукционного потенциала ярового рапса при применении средств интенсификации в технологии возделывания культуры детерминируется температурой почвы и содержанием минерального азота.

Степень достоверности результатов проведенных исследований:

Научные положения, заключение и рекомендации, сформулированные в диссертации, обоснованы теоретическими решениями, и экспериментальными данными и не противоречат известным положениям сельскохозяйственных наук, базируются на обоснованных выводах, подтверждаются значительным объемом экспериментальных данных. Полевые исследования проводились на территории ООО «ОПХ Солянковое». Основные химические и агрофизические показатели по

характеристике почв получены при помощи общепринятых методов. Исходные данные и результаты экспериментов анализировались методами математической статистики (описательная статистика, дисперсионный анализ, корреляционный анализ) в программе Microsoft Excel и показали высокую степень достоверности.

Апробация работы: Материалы диссертации опубликованы в 17 научных работах, в том числе в изданиях «Перечня...» ВАК РФ – 2, в периодических научных изданиях Scopus – 2. Результаты исследований представлялись и обсуждались на конференциях: XII, XIII Международной научно-практической конференции молодых ученых «Инновационные тенденции развития Российской науки» (Красноярск, 2019, 2020); Национальной научной конференции «Научно-практические аспекты развития АПК» (Красноярск, 2020, 2021); XII Национальной научно-практической конференции с международным участием «Экологические чтения-2021» (Омск, 2021); IV Всероссийской конференции молодых ученых АПК «Актуальные вопросы развития отраслей сельского хозяйства: теория и практика» (Ростовская область, 2022); Международной научно-практической конференции «Наука и образование: опыт, проблемы, перспективы развития» (Красноярск, 2023). Ежегодно результаты исследований заслушивались и обсуждались на заседаниях кафедры почвоведения и агрохимии ФГБОУ ВО Красноярский ГАУ (2018-2022 гг.).

Структура диссертационной работы. Диссертация изложена на 163 страницах, включая 30 таблиц, 19 рисунков, 12 приложений. Состоит из введения, 7 глав, выводов, списка литературы, который представлен 245 источниками, в том числе 28 на иностранном языке.

Личный вклад. Автор принимал непосредственное участие в проведении экспериментальных работ, выполнении аналитических определений, статистической обработке материалов, публикации научных исследований. Исследование выполнено при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований, Правительства Красноярского края, Красноярского краевого фонда науки и общества с ограниченной ответственностью ООО «ОПХ Соляное» в рамках научного проекта

«Исследование механизмов формирования пула легкоминерализуемого органического вещества в агрогеннопреобразованных почвах Канской лесостепи». В диссертации автор указывает, что в соавторстве с Н.Л. Кураченко, О.А. Ульяновой, О.А. Власенко, В.Л. Бопп и Е.Ю. Казановой, Л.Ф. Казюлиным, Ф. Халилзода получены результаты по особенностям пространственного варьирования агрофизических и агрохимических свойств почв, по структуре запасов растительного вещества, по температурному, водному, пищевому режиму агрочерноземов.

Благодарности. Автор выражает благодарность научному руководителю доктору биологических наук, профессору Н.Л. Кураченко за ценные советы и консультации, директору ООО «ОПХ Соляное» Я.Я. Энгелю за помощь в организации проведения полевых опытов и сотрудникам кафедры почвоведения и агрохимии за поддержку на всех этапах выполнения работы.

ГЛАВА 1. ПОЧВЕННО-ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ ПРОДУКТИВНОСТИ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР

1.1 Современные тенденции производства и потребления масличных капустных культур

В современном сельском хозяйстве в связи с перенасыщенностью севооборотов зерновыми культурами, яровому рапсу и рыжику посевному отводится особая роль. Благодаря своей пластичности в отношении гидротермических условий они являются одними из перспективных масличных культур для возделывания в сложных условиях резкоконтинентального климата (Казанов, 2020). Научный и производственный опыт, накопленный специалистами, свидетельствует о перспективности их возделывания наравне с посевами подсолнечника (Mirwais, 2012; Nabeelaa, 2015).

Рапс – культура многоцелевого назначения. Он является сырьем для высококачественного растительного масла, используемого в пищевых и технических целях, источником для производства жмыхов и шротов как высокобелковых добавок в комбикорма, зеленой массы и сидерата (Нурлыгаянов, 2013). В настоящее время производство рапса выходит на новые рубежи, превращаясь в одну из ведущих не только сельскохозяйственных, но и энергетических отраслей. Основным мировым экспортером рапса является Канада: общий объем его экспорта в 2019-2020 гг. составил 9,5 млн. тонн (или 62 %). Главными импортерами являются страны Евросоюза (6 млн. т.), Китай (2,5 млн. т.) и Япония (2,4 млн. т.) (Демчук, 2019).

В прошлом рапсовое масло широко использовалось как на пищевые, так и технические цели. Изначально его применяли для освещения помещений, в парфюмерии и мыловарении, затем в лакокрасочной промышленности и как смазочный материал машин и механизмов. С выведением двулулевых сортов (канола) рапсовое масло стремительно стало использоваться как пищевое. Рапсовое масло является заменителем дизельного масла (биодизель) потребление

которого увеличивается во всем мире из-за экологических мотивов (Нурлыгаянов, 2019).

Основным фактором, длительное время сдерживающим широкое использование рапсовых кормов в животноводстве и птицеводстве, было наличие в них глюкозинолатов и эруковой кислоты. Решением этой проблемы стало создание низкоглюкозинолатных безэруковых сортов рапса 00-типа. Это позволило определять нормы скармливания рапсовых кормов по их питательной ценности, без поправок на концентрацию вредных для здоровья веществ. Растительные корма, получаемые из капустных масличных культур, содержат больше ненасыщенных жирных кислот, чем корма, приготовленные из злаковых и бобовых растений (Осепчук, 2006; Qaderia, 2012). При переработке рапса для производства масла в качестве побочного продукта получают рапсовый шрот с высоким содержанием белка, который с успехом широко используют в кормлении крупного рогатого скота, а также свиней и птицы, который может конкурировать с соей (Mäderetal, 2002; Heuzé 2020,).

Рапс обладает высоким медоносным потенциалом, являясь одной из основных кормовых культур для пчел. Чистый рапсовый мед имеет беловатый или молочно-желтый цвет, острый вкус и, благодаря быстрой кристаллизации, умеренно твердую консистенцию. Низкое соотношение фруктозы и глюкозы в рапсовом меде вызывает его быстрая кристаллизация в сотах, вынуждая пчеловодов извлекать мед в течение 24 часов после его запечатывания пчелами (Bertazzini, 2016).

Рапс улучшает структурное состояние почвы, повышает ее плодородие, подавляет развитие сорных растений, и является наилучшим предшественником для зерновых культур. Для самого же ярового рапса хорошие предшественники – чистый пар, озимые и яровые зерновые, горох, многолетние травы и пропашные культуры. Важным фактором стабилизации и повышения почвенного плодородия является оптимизация гумусного состояния почв. Н.Г. Малюга с соавт. (1989) считал, что, использование чернозёмов в условиях экстенсивного земледелия приводит к ухудшению их свойств, также он отмечает, что, получая среднюю

урожайность основных полевых культур только третья часть расхода гумуса возвращается за счёт растительных остатков. Внесение органических удобрений и заделка в почву растительных остатков является наиболее эффективным способом поддержания положительного баланса гумуса. Корни и неотчуждаемые надземные части растения обогащают почву гумусовыми веществами и пополняют её элементами минерального питания (Левин, 1977; Донос, 1980; Шапошникова, 1985).

И.А. Ниджляевой (2018) установлено фитомелиоративное действие ярового рапса в рисовом севообороте. Оно проявляется в улучшение водно-физических свойств почвы и снижению плотности сложения на 8-10 %. Разложение растительных остатков рапса способствует поступлению органического вещества до 4,3 т/га, что позволяет увеличить содержание гумуса на 14-17 %. При запашке корневых и пожнивных остатков рапса в почву возвращается около 15 кг азота, 15 – фосфора, 70 – кальция и 12 кг серы, что эквивалентно внесению в почву 15 т/га навоза. Благодаря сильному развитию корневой системы улучшаются свойства почвы. При использовании растений рапса в качестве поживного сидерата улучшаются не только агрофизические свойства почвы, но и увеличивается интенсивность биологических процессов, повышается продуктивность сельскохозяйственных растений (Худолеева, 2015).

В исследованиях С.А. Тулькубаева и В.Г. Васина (2016) яровой рапс на маслосемена являлся хорошим предшественником для яровой пшеницы, тем самым обеспечил наибольшую урожайность пшеницы (2,1 т/га). Для самого рапса лучшим предшественником оказался гербицидный пар – 1,51 т/га.

По данным Татарского НИИСХ, возделывание рапса ярового и сурепицы может обеспечить бездефицитный баланс гумуса. Эти культуры оставляют в почве 4-6 т/га корневых остатков, в несколько раз больше, чем озимая пшеница и в 1,5 раза больше клеверов. Расширение посевов промежуточных культур также рассматривается как важный фактор создания бездефицитного баланса гумуса (О значении промежуточных, 1986).

В лесостепи Западной Сибири в стационарном опыте модернизировали схемы полевых севооборотов путем введения в ротацию масличных культур (рапс, соя). Содержание гумуса за ротацию в слое почвы 0-40 см увеличивалось на 0,19% в севообороте «рапс – пшеница яровая – ячмень – соя – пшеница яровая». Самое большое накопление гумуса (0,83 %) было в севообороте «соя – пшеница яровая – ячмень – овес». Повышение выхода кормопротеиновых единиц наблюдалось в севооборотах, насыщенных масличными культурами (рапс и соя), и составило 3,4–4,0 т/га. Отсутствие в севооборотах сои и рапса приводило к понижению содержания гумуса в вариантах «чистый пар – пшеница яровая – пшеница яровая – овес» на 0,29 %, а при бессменном возделывании пшеницы – на 0,16 %. Установлено, что рапс на маслосемена и соя являются не плохими предшественниками для выращивания основной культуры, и для поддержания плодородия почв (Чиби́с, 2017).

Исследованиями Л.М. Козловой (2014) в опытах с промежуточными культурами установлено, что яровой рапс и горчица белая являются источником гумуса, поступающего в почву под агрофитоценозами. При содержании в почвах гумуса 1,7-2,2 % минерализация его под зерновыми культурами и зернобобовыми смесями составляет 0,5-0,6 т/га. Из корневых и стерневых остатков образуется 0,6-1,2 т/га гумуса. При позднем сроке посева промежуточных культур (первая декада августа) с растительной массой в почву дополнительно поступает 0,2 т/га органического вещества (гумуса) и в двухпольном звене (озимая рожь + промежуточная культура – ячмень) складывается бездефицитный баланс гумуса.

Посевы рапса ярового обладают выраженным ингибирующим действием на сорные растения и способны снижать их развитие по численности, биомассе и видовому составу. Это обуславливает их использование в качестве компонента в системе адаптивно-ландшафтного земледелия. Причем действие рапса ярового максимально на черноземных почвах (Осепчук, 2006).

По мнению Л.П. Шевцовой (2008), посевы рапса – это резерв в повышении плодородия почв, т.к. запаханная зеленая масса равноценна внесению в почву

40...50 т/га навоза, или 4 ц аммиачной селитры, 2,5 ц суперфосфата и 2 ц калийной соли (Ненайденко, Митин, 2003).

Одной из важных составляющих эффективности плодородия, особенно, тяжелых почв, к которым относится чернозём выщелоченный, является его структурное состояние. С агрономической точки зрения более ценными считаются агрегаты с фракцией 0,25-10 мм, которые в большей мере оказывают влияние на химические и биологические процессы в почве (Тарасенко, 2015; Lotfi, 2018). Развитая корневая система рапса улучшает структуру почвы, ее агрофизические свойства и способствует повышению плодородия (Артемов, 1989).

Рапс по своим морфологическим и биологическим особенностям является разрыхлителем пахотного горизонта почвы, что является очень важным положительным фактором в условиях минимизации почвенных обработок (Каскарбаев, 2009; Масак, 2015). Для активного роста и развития рапсу требуется достаточное количество влаги и минерального питания, которое он успешно использует с пахотного и нижележащих горизонтов почвы, не оставляя достаточного количества для последующей культуры (Гилев, 2014). По наблюдениям С.Д. Гилева (2014), рапс как предшественник значительно уступает другим предшественникам, изучаемым в опыте. Автор считает, что его можно возделывать на фоне минеральных удобрений в заключительном поле севооборота.

В исследованиях Ю.К. Новоселова (2009) показано, что возделывание рапса положительно влияет на физические и биологические свойства почвы: нитрификационные процессы в ней повышаются на 14-15 %, водопрочность агрегатов – на 56-73 %, потери питательных веществ с инфильтрационными водами при промывном режиме снижаются на 50-60 %. При этом пораженность пшеницы, размещенной после рапса, уменьшатся на 30-40 %, а урожайность зерновых увеличивается на 0,38-1,04 т/га.

В работе В.М. Зерфус (1993) доказано, что включение рапса в полевые севообороты приводит к снижению распространенности корневых гнилей

зерновых культур в период кущения растений. В повторных посевах пшеницы после пшеницы данные показатели были выше в 1,3–1,5 раза. В посевах пшеницы, высеваемой после рапса, фитосанитарное состояние улучшается в связи со снижением активности возбудителя – гриба *Bipolaris sorokiniana*. Урожайность яровой пшеницы по рапсовому предшественнику повышалась на 0,42 т/га.

В последние годы в России постепенно возрождается старинная культура рыжика посевного (*Camelina sativa Crantz*). Известно, что эта культура отличается широким практическим применением, так как в настоящее время часть перерабатывающих предприятий отдает предпочтение рыжику посевному в качестве альтернативы традиционным масличным культурам – подсолнечнику и рапсу. Рыжиковое масло имеет высокий коэффициент усвояемости для человека. В состав масла входит высокое содержание каротиноидов (0,5–2,0 мг %), витамина Е (40–120 мг %) и фосфолипидов (0,8 %), и полиненасыщенные жирные кислоты: линоленовая (омега-3) и линолевая (омега-6) (Кшникаткина, 2018; Гулидова, 2021). Следует отметить, что для масла рыжика характерно достаточно высокое содержание эйкозеновой кислоты, которая редко обнаруживается в маслах других растений (Байбеков, 2019).

Жирно-кислотный состав масла рыжика используют для производства биотоплива второго поколения (Горлов, 2016; Кшникаткина, 2018; Прахова, 2018; Гулидова, 2021), которое имеет хорошие физико-химические характеристики и эксплуатационные параметры (Sharma, 2017).

Рыжик является ценной кормовой культурой. Жмых этой культуры – источник биологически активных и высокопротеиновых веществ. В 100 кг рыжикового жмыха содержится 115 кормовых единиц и 17 кг переваримого протеина, который богат незаменимыми аминокислотами (Chengci, 2015; Буянкин, 2016; Tomasi, 2015).

Рыжик посевной скороспелая засухоустойчивая культура. Его вегетационный период от 70 до 90 дней (Прахова, 2017; Campbell, 2018). У рыжика высокая адаптивность к различным почвенно-климатическим условиям (Турина, 2020). Рыжик созревает раньше озимых и яровых зерновых культур, что

снижает напряженность во время уборочных работ (Кузнецова, 2016; Кшникаткина, 2018; Гулидова, 2021).

Агрономическая ценность культуры состоит в том, что она нетребовательна к почвам, хорошо переносит почвенную и воздушную засуху, способна формировать хорошие урожаи семян. Не требует массированного применения пестицидов, является хорошим фитосанитаром почвы и предшественником для других сельскохозяйственных культур (Тулькубаева, 2017).

Рыжик посевной часто используют как страховую культуры в регионах, где произошла гибель озимой пшеницы. Некоторые исследования, проводимые во Франции, России и Австрии показывают, что рыжик можно использовать в «бинарных» посевах с другими сельскохозяйственными культурами (Буянкин, 2016; Morales et al., 2017; Бекузарова, 2018; Лупова, 2019; Zanetti et al., 2021). По данным американских ученых, рыжик является толерантной культурой к почвам со средней степенью засоления, что позволяет оценить его как солеустойчивую культуру (Matthees et al., 2018).

Таким образом, возделывание масличных капустных культур в севооборотах способствует регулированию и воспроизводству плодородия почв. Это обусловлено высокой агрономической ценностью культур как предшественников в севообороте, и выполнением ими средообразующей и фитосанитарной роли.

1.2 Особенности формирования водного и пищевого режимов под масличными культурами

Непосредственное влияние на рост и развитие растений оказывают многие показатели плодородия почвы, важнейшим из которых является влагообеспеченность. Степень увлажнения почвы определяет пищевой, воздушный, тепловой режимы и все биологические процессы, происходящие в почве (Бушнев, 2014).

Все количественные изменения влаги (поступление в почву и расход), взаимосвязь влаги, содержащейся в твердой части почвы, с атмосферной и влагой живых организмов, составляют водный режим почвы (Роде, 1965). Водный режим почв связан с растениями и зависит от мощности и структуры надземного и корневой систем, ритма их жизни (роста и покоя) и потребности растений в воде; от количества осадков и влажности почвы и воздуха и от условий поступления воды и расхода ее растениями (Кауричев, 1969).

Рапс имеет повышенную требовательность к влаге. Его транспирационный коэффициент больше, чем у зерновых культур (Возделывание рапса..., 1986). По данным А.Ф. Неклюдова (1990), в южной лесостепи Омской области на формирование 1 т зерна яровой пшеницы в зависимости от предшественника расходуется от 1110 до 1410 т воды. Это экономнее, чем у рапса, в два раза и более.

Следует отметить, что стерня и пожнивные остатки после возделывания ярового рапса создают ровный снеговой покров, предохраняя почву от глубокого промерзания и зимнего выдувания. Мульчирующий экран из растительных остатков способствует лучшему сбережению влаги в предпосевной период (Гринец, 2012; Näsholm, 2009).

По данным М.И. Мальцева (2010), сидеральный пар в виде рапса летнего срока посева с оставлением кулис при заделке зеленой массы в почву оптимизирует физическое состояние эродированных черноземов не хуже сеяных многолетних злаковых трав двухлетнего года пользования. Рапсовый пар дает возможность рационально использовать осадки второй половины лета для создания биомассы культуры, служит источником пополнения органического вещества в почву, способствует сокращению эрозионных процессов и стабильному получению урожая последующей культуры.

Исследованиями С.В. Гольцмана (2017), проведенными в Омской области в посевах ярового рапса показано, что наиболее продуктивное использование влаги отмечено в условиях комплексной защиты растений на фоне удобрений ($N_{40}P_{26}$).

На 1 т маслосемян рапса в среднем за четыре года затрачивалось 1199 т воды, что меньше контрольного варианта на 61 %.

А.М. Зайцев (2013) отмечает, что посевы пшеницы по чистому пару и по сидеральному с использованием рапса, редьки масличной были лучше обеспечены влагой, чем в вариантах опыта с применением клевера и донника.

М.И. Мальцевым (2016) изучена эффективность парозанимающих культур летнего срока сева в лесостепи Алтайского Приобья. Автором установлено, что пополнение запасов влаги после рапсового пара составляло 51 мм (75%), викоовсяного – 28 (41%) и просяного пара – 25 мм (37%). Наличие стерни после парозанимающей культуры способствует большему снегоотложению, а в результате рассеивающего действия корневых остатков талые воды лучше поглощаются почвой. Это, в конечном итоге, позволяет сокращать сток талых вод и уменьшать проявление водной эрозии.

Обеспечение растений достаточным количеством питательных веществ достигается путем регулирования питательного режима почв с учетом бездефицитного баланса элементов питания. Основная их часть поступает из почв. Источником поступления питательных веществ служат органические и минеральные удобрения, азотофиксация, растительные остатки при их минерализации, перевод труднорастворимых соединений в усвояемую для растений форму, атмосферные осадки, приток поверхностными и грунтовыми водами. Пищевой режим почвы зависит от влажности почвы. Минеральное питание является одним из важнейших регулируемых факторов внешней среды, обуславливающих рост и продуктивность растений (Панников, 1987; Мосолов, 1979). Создание оптимального пищевого режима в корнеобитаемом слое почвы под масличными культурами является решающим условием получения высоких урожаев. Питательный режим – один из важнейших показателей эффективного плодородия почвы. Культивируемые сельскохозяйственные виды растений неодинаково влияют на свойства почвы, особенно на содержание и трансформацию биогенных элементов (Бушнев, 2014).

Питательный режим почвы, безусловно, влияет на масличность. Каждый ботанический вид масличного растения имеет свой оптимум в отношении содержания различных питательных веществ в почве, и при отклонении от этого оптимума как в ту, так и в другую сторону процент жира в семенах понижается (Шевцова, 2008).

Устойчивое функционирование агроэкосистем обеспечивается созданием оптимальных условий азотного режима почв и питания растений азотом. Оптимизация содержания гумуса и различных форм азота в почве достигается системой удобрения (Черников и др., 2001; Минакова, 2011).

Рапс положительно отзывается на внесение минеральных удобрений, особенно азотных, фосфорных и калийных. При урожайности семян 2,5-3,0 т/га из почвы выносятся 140-160 кг азота, 60-70 кг фосфора и 115-140 кг калия. Таким образом, из минеральных удобрений рапс наиболее отзывчив на азотные. Дефицит азота является основным фактором, ограничивающим рост, ассимиляцию CO_2 и продуктивность масличных культур, что приводит к резкому снижению урожая и качества семян (Мокрушина, 2018).

По данным В. А. Бугреева (1989), яровой рапс в расчете на 10 т зеленой массы в поукосных посевах выносит 24–29 кг азота, 11–14 кг фосфора, 35-42 кг калия. Н. И. Кашеваровым (2014) приводятся следующие данные по выносу на 100 ц зеленой массы рапса: азот 35–55, фосфор 10-20, калий 60–70 кг. Вынос элементов питания изменяется, в том числе, в зависимости от условий, складывающихся в агробиоценозе.

Азот – один из основных элементов, необходимых для растений. Он входит в состав всех простых и сложных белков, в состав нуклеиновых кислот. Азот содержится в хлорофилле, фосфотидах алкалоидах, ферментах и во многих других органических веществах растительных клеток. В пахотном горизонте разных почв содержание азота колеблется в широких пределах (от 0,05 до 0,5 %). Основная масса азота в почвах содержится в различных органических соединениях и растениям недоступна. Только малое количество азота (около 1 %) содержится в легкоусвояемых растениями минеральных формах (Кузина, 2008).

Главный путь поступления азота из атмосферы в почву связан с биологической деятельностью микроорганизмов и растений. Основным источником азота в почве являются растительные остатки, органические удобрения и тела микроорганизмов (Осипов, 2016; Rena, 2015; Kenobi, 2017).

Исследованиями В.В. Глушкова (2013) доказано, что использование капустных культур (рапс и горчица) в качестве пожнивных сидератов эффективно. В среднем, за три года рапс яровой и горчица белая сформировали 1,6 т/га и 1,4 т/га (с учетом массы корневых остатков) абсолютно сухой биомассы. После использования сидератов урожайность ячменя увеличилась на 0,15-0,29 т/га. Содержание белка в зерне ячменя от их влияния увеличилась по сравнению с контролем на 0,74 -1,05 %.

В.А. Пелевин (2012) доказал, что яровой рапс способствует повышению продуктивности севооборота на 10-15 %, так как содержание питательных веществ в стерневых остатках рапса на 1 га соответствует внесению 15 т навоза.

В исследованиях Н.М. Тишкова (2006) показано, что послеуборочные растительные остатки и удобрения в зернопропашном севообороте с масличными культурами не снижают потери гумуса от минерализации, обеспечивают положительный баланс фосфора и калия и уменьшают дефицит азота.

П.А. Постниковым (2016) установлено благоприятное воздействие на продуктивность зерновых культур при использовании рапса в качестве зеленого удобрения. Обогащение почвы легкоусвояемым азотом при заделке рапса в паровом поле снизило отрицательный момент минимализации обработки почвы, а именно, в обеспечении растений минеральным азотом в течение всей вегетации культуры.

По исследованиям Н.А. Лапшинова (2010), измельчение и заделка ярового рапса в фазе цветения в верхний слой почвы с повторной обработкой дисковой бороной, с целью уничтожения сорной растительности и лучшего перемешивания рапса с почвой обеспечивает накопление в верхнем слое почвы в осенний период до 11,0-19,2 мг/кг нитратного азота. Без заделки дисковой бороной разложение органического вещества проходит очень медленно.

А.П. Батудаев (2015) провел анализ растительной массы культур. Показано, что наибольшее количество азота накапливается в биологической массе зернобобовых культур, а фосфора и калия – в капустных культурах (рапс и редька масличная).

Солому рапса целесообразно и экономически эффективно использовать как органическое удобрение. По сравнению с соломой зерновых культур она содержит больше азота, в связи, с чем обладает более узким соотношением C:N, что способствует ее быстрому разложению в почве. Рапсовая солома как источник органического удобрения служит благоприятным субстратом для развития почвенных микроорганизмов. Так, содержание грибов после уборки пшеницы по рапсу в 2-3 раза больше, чем после других предшественников (Новоселов, 2009).

Вторым важнейшим элементом, формирующим рост и развитие рапса, является фосфор. Внесение фосфорных удобрений позволяет растениям лучше переносить засуху, ускоряет созревание семян и повышает продуктивность рапса, влияет на образование жира (Боровко, 2006).

Содержание фосфора резко убывает с глубиной, что подтверждают работы А.Н. Лебеяднцева (1924), Н.П. Ремезова (1957). При сухой погоде доступные формы фосфора переходят в труднодоступные, и ускоряется их переход в нижележащие горизонты. Также понижение температуры корнеобитаемого слоя затрудняет поглощение фосфора, тем самым снижая продуктивность растений. При понижении температуры питательной среды количество фосфора, поступающего в листья, уменьшается примерно в 3-4 раза и наблюдается снижение его содержания в корнях (Дадыкин, 1951; Susan, 2014).

Обработка почвы и возделывание растений с глубокой корневой системой и высокой растворяющей способностью труднодоступных фосфатов способствует тому, что фосфаты почвы становятся доступнее. Особенно хорошей растворяющей способностью обладает горчица, корни которой уходят глубоко в почву, может использовать фосфаты подпахотного слоя (Муха, 2003).

А.А. Васильевым (2014) показано, что возделывание ярового рапса в севооборотах способствовало повышению P_2O_5 на 16,5 мг/кг. Это связано со

способностью капустных культур усваивать фосфор из труднодоступных соединений почвы. Исследования W.J. Horst et al. (2001) доказали, что возделывание ярового рапса в качестве зеленых удобрений стимулируют биологическую активность почвы, а как следствие – повышают доступность фосфора для растений.

В исследованиях Н.М. Новикова (2015), проведенных в ГНУ ВНИИОУ Владимирской области показано преимущество возделывания масличных культур в смешанных посевах с люпином, ячменём, кукурузой, райграсом. Научные опыты показали, что под смешанными посевами увеличилась до 40 % корневая масса растений, содержание подвижного фосфора увеличилось на 6-19 % и не отмечено снижения обменного калия и влажности почвы.

В.М. Филоновым (2011) установлено, что к фазе цветения накопление биомассы рапсом резко возрастает, соответственно повышается потребность в фосфорном и азотном питании. Внесение в рядки P_{20} суперфосфата увеличивало урожайность на 35 %, а на варианте P_{20} с поверхностным внесением 40 кг селитры - на 59 %.

Еще одним необходимым элементом является калий. При недостатке калия задерживается развитие растения, снижается масличность семян. Полноценное калийное питание обеспечивает повышение урожайности на 0,2-0,3 т/га и содержания масла в семенах на 1,2-3,9 % (Schroder, 1992).

В.В. Бородычевым (2021) установлено, что среди изученных предшественников наибольшая урожайность зерна получена при размещении ячменя после ярового рапса. Это объясняется тем, что благодаря мощно развитой стержневой корневой системе яровой рапс является эффективным природным мелиорантом, улучшающим в условиях переувлажнения агрофизические и биологические свойства почвы. Кроме того, яровой рапс, из-за особенностей корневой системы, способен перемещать вымытый осадками калий из нижних горизонтов в пахотный слой почвы и тем самым улучшать калийный режим полевых культур.

С корне-поживными остатками ярового рапса в сидеральном пару в почву поступает максимальное количество калия (84,2 кг/га). Но при этом, рапс в меньшей степени обогащает почву азотом (Пигорев, 2018).

В работе А.Н. Бабичева (2015) показано, что при определении баланса органического вещества в почве наивысшие показатели получены в вариантах, где в качестве сидеральных культур использовали горчицу и рапс. Наибольшее накопление нитратного азота отмечено на участках, где возделывался рапс и горох. Баланс подвижного фосфора в почве после уборки урожая картофеля свидетельствует, что наибольшие показатели имеют образцы, отобранные в вариантах, где сидеральными культурами были горох и горчица. При расчете баланса обменного калия произошло снижение его содержания в варианте после гречихи. Наилучшие значения отмечены на участках после рапса и гороха.

Таким образом, возделывание масличных культур способствует обогащению почвы органическим веществом. Рапс и рыжик являются хорошими предшественниками для многих сельскохозяйственных культур. Обладают фитосанитарными и сороочищающими действиями, за счет своих высоких аллелопатических свойств и конкурентоспособности.

ГЛАВА 2. ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ ПОЧВООБРАЗОВАНИЯ КАНСКОЙ ЛЕСОСТЕПИ

Канский природный округ расположен в восточной части края и является наиболее крупным округом (2892 тыс. га). В округе выделяются лесостепная и подтаежная зоны. Последняя разделяется на равнинную и предгорную. Канская лесостепь является самой крупной из всех лесостепных регионов края. Общая её площадь 1533 тыс. га, площадь пашни 783 тыс. га. На территории лесостепи полностью или частично размещаются 12 административных районов, в том числе Тасеевский, Дзержинский, Абанский, Нижне-Ингашский, Иланский, Канский, Ирбейский, Рыбинский, Уярский, Саянский, Партизанский, Манский. Часть территорий перечисленных районов находится в подтаежно-таежных равнинных и предгорно-горных зонах (Система земледелия ..., 2015).

Канская лесостепь представляет собой замкнутую котловину, обрамленную с запада, юго-запада, юга и юго-востока горными сооружениями Енисейского кряжа и Восточного Саяна. Днище котловины представляет собой волнистую равнину с высотными отметками 200–300 м над уровнем моря, повышаясь к окраинам до 450 м (Сергеев, 1975).

Канская лесостепь имеет сложное геологическое строение, характеризуется развитием карбонатных пород, сильным эрозионным расчленением. Микрорельеф Канской лесостепи связан с мерзлотными процессами (Средняя Сибирь, 1964). Северная часть лесостепи представлена водораздельным пространством рек Кана и Усолки. Абсолютные высоты водораздела – 350–400 м. Южная часть лесостепи – водораздельное пространство рек Кана и Есауловки. В Канской впадине, обрамленной горными массивами, увеличивается континентальность климата и формируются более сухие лесостепи, чем Красноярская и Ачинская (Кудрявцев, 1955; Спицына, 2014).

Почвообразующими породами являются светло-бурые лессовидные глины, желтовато-бурые лессовидные суглинки, буровато-красные и коричневатобурые тяжелые суглинки, глины и песчано-галечниковые отложения. Их происхождение

связано с элювиально-делювиальными и пролювиально-делювиальными процессами. В центральной части Канско-Усольской равнины глины и суглинки находятся на склонах изолированных возвышенностей, сложенных красноцветными отложениями девона. Мощность их достигает до 5 м. Желто-бурые облессованные карбонатные песчанистые глины довольно значительной мощности (от 5 до 15 м и больше) развиты на полого увалистой и увалистой поверхности водоразделов главных рек - Кана и Усолки, Усолки и Поймы, а также на левобережье Кана на юрских песчано-глинистых отложениях. Высокие террасы Кана, также, как и террасы Енисея, перекрыты лессовидными суглинками, достигающими мощности более 10 м. Буровато-красные и коричнево-бурые тяжелые суглинки, и глины встречаются реже, главным образом в западной и южной частях территории – на высоких сильно расчлененных водораздельных поверхностях. Песчано-галечниковые отложения не имеют широкого распространения. Они слагают поймы и первые надпойменные террасы рек (Спицына, 2014).

Наиболее широко распространены светло-бурые лессовидные глины. Они почти сплошь покрывают плоские, слабоволнистые и полого-увалистые водораздельные поверхности центральной, северной и северо-восточной части территории. Эти породы характеризуются карбонатностью, отсутствием заметной слоистости, способностью при высыхании растрескиваться на столбчатые отдельности.

Климатические различия являются важным фактором, влияющим на характер распределения растительности на рассматриваемой территории. От центра к периферии ясно прослеживается зона степи и зона лесостепи. Степь расположена в окрестностях г. Канска, в основном в бассейне р. Кана. Ее окружает южная лесостепь, занимающая пространства к югу и юго-востоку. Южная лесостепь сменяется северной, границы которой определяются окружающими предгорьями (Спицына, 2014).

Абсолютный минимум температуры воздуха достигает здесь минус 51 °С, средняя температура самого холодного месяца января минус 20,2...19,8 °С.

Средняя температура самого теплого месяца июля составляет плюс 19,2 ...18,4 °С. Сумма температур выше 10 °С равна 1600–1800 С°. Среднегодовое количество осадков, выпадающих в Канской лесостепи, несколько меньше, чем в Красноярской лесостепи (445 мм) и Назаровской котловине (508 мм), и составляет 436 мм. Для лесостепи характерно преобладание ветров западных и юго-западных направлений (до 30 %) во все времена года, достигающих максимальных значений в весенние месяцы. Средняя скорость ветра здесь – 3,5 м/с (примерно 40 % от общего числа случаев). Снежный покров в северной части округа появляется в начале октября, в южной – около 10 октября и в центральной – около 20 октября. Максимальная высота снежного покрова в центральной и южной частях составляет 30 см, а в северной 50-55 см. Снежный покров сходит в первую очередь в центре Канской котловины, наиболее быстро прогревающей, затем в южной части, и позже всего в северной части (Спицына, 2014).

В Канской лесостепи проявляется концентрическая зональность растительного покрова: от центра к периферии возрастает залесенность территории, и соответственно уменьшается остепенение. Редкостойные леса, которые присутствуют в северной лесостепи насыщены березой повислой (*Betula pendula Roth.*), сосной обыкновенной (*Pinus silvestris L.*) лиственницей сибирской (*Larix sibirica Ledeb.*). В прошлом в сосновых лесах были большие площади лиственницы, об этом свидетельствует наличие старых пней и сохранившееся небольшое количество отдельных лиственниц (Любимова, 1964; Спицына, 2014).

В распространении растительности и почв отмечается концентрическая поясность. Окраины лесостепи заняты подтайгой с серыми лесными почвами, часто имеющими второй гумусовый горизонт. Затем, ближе к центру лесостепи, распространены луговые степи с оподзоленными выщелоченными черноземами. Центр лесостепи вдоль р. Кана занят настоящими степями. Однако и в луговой, и настоящей степи имеются березовые колки и перелески (Безруких, 2009). Березовые насаждения в Канской лесостепи занимают 116154 га. Из них на долю

средневозрастных и приспевающих насаждений приходится примерно 84 %, что свидетельствует об интенсивной их эксплуатации в прошлом (Спицына, 2014).

Среди травянистой растительности преобладают луговые простреловые растительные ассоциации. Они встречаются в понижениях, сухих ложках, на склонах южной экспозиции, где происходит накопление снега. В травяном покрове господствует прострел желтеющий (*Pulsatilla flavescens*), из злаков – трищетинник сибирский (*Trisetum sibiricum*), ковыль сибирский (*Stipa sibirica*), из разнотравья – зопник клубненосный (*Phlomis tuberosa*), осока стоповидная (*Carex pediformis*), полынь широколистная (*Artemisia tanacetifolia*) (Любимова, 1964).

Ковыльно-разнотравные степи разбросаны небольшими пятнами на пологих склонах на всей территории лесостепи. В травяном покрове господствуют перистые ковыли и разнотравье. К основным видам относят ковыль красный (*Stipa rubens*), крупную полынь Гмелина (*Artemisia Gmelini*), порезник промежуточный (*Libanotis intermedia*), змееголовники Риуша и поникший (*Dracocophalum ruischiana.D. nutans*). Эти степи используются под сенокосы и пастбища (Природное районирование ..., 1962).

Крупнополынно-ковыльные степи распространены в южной лесостепи и степи центральной части Канской котловины на высоких террасах р. Кана и его притоков. Основными растениями являются ковыль изменчивый (*Stipa decipiens*) и полынь сизая (*Artemisia glauca*). К характерным видам относятся типчак ложноовечный (*Festuca pseudovina*), тонконог стройный (*Koeleria gracilis*), вероника белойлочная (*Veronica incana*). Мелкодерновинные степи широкой полосой протянулись по крутым эродированным склонам южной экспозиции и днищам сухих долин Канской лесостепи. Основные их виды – осочки твердоватая и Коржинского (*Carexderiuscula, C.Korschinskiy*), лапчатка бесстебельная (*Potentilla acaulis*), володушка козлецоволистная (*Bupleurum scorconerifolium*).

В Канской лесостепи к северу от р. Кана, местами в долинах рек и по берегам озер встречаются участки растительности солончаков: заросли сочных солянок, образованные солеросом (*Salicornia herbaceae*), солончаковые луга из

лисохвоста солончакового (*Alopecurus ventricosus*), горичника солончакового (*Peucedanum salinum*) (Природное районирование ..., 1962).

Пойменные злаковые и злаково-разнотравные луга развиты в поймах р. Кан. В их состав входят много хороших кормовых злаков – мятлик луговой (*Poa pratensis*), лисохвоста лугового (*Alopecurus pratensis*), костер безостый (*Bromus inermis*), клевер луговой (*Trifolium pratense*) (Любимова, 1964).

Растительный покров Канской лесостепи крайне разнообразен, что отражается на процессе формирования почвенного покрова и свойств почв, в том числе и черноземов.

В Канской лесостепи почвенный покров неоднороден, это связано с биоклиматическими условиями, пестротой почвообразующих пород и условиями микрорельефа. В центральной, степной части территории преобладают типичные черноземы, в подзоне южной лесостепи выщелоченные черноземы и в подзоне северной лесостепи серые лесные почвы (Природное районирование ..., 1962). Климат является одним из самых главных факторов, влияющих на формирование различных почв. Известно, что чем больше выпадает осадков и чем меньше тепла на территории, тем сильнее происходит выщелачивание и оподзоливание черноземов. Также гидротермический режим влияет и на процессы гумификации (Крупкин, 2002).

По структуре почвенного покрова в данной зоне четко выделяется три подзоны – северная, типичная и южная лесостепи, площадь которых от общей площади в 1697 тыс. га составляет, соответственно, 38,7; 39,2 и 22,1 % (Крупкин, 2002). В северной лесостепи фоновыми почвами являются серые лесные (43,1 %) с преобладанием темно-серых (33,1 %) (Крупкин, 2002). В южной лесостепи они формируются главным образом на высоких, сильно расчлененных водоразделах, сложенных красноцветными девонскими и кембрийскими отложениями. Эти почвы развиваются под травянистыми разреженными березовыми и березово-сосновыми лесами. Они подразделяются на три типа: светло-серые лесные почвы встречаются в северной лесостепи. В южной и западной частях северной лесостепи они формируются на высоких всхолмленно-увалистых водоразделах,

сложенных девонскими и кембрийскими красноцветными отложениями. На севере и северо-востоке этой лесостепи светло-серые лесные почвы развиваются на плоско-увалистых водоразделах, сложенных светло-бурыми лессовидными глинами. Формируются под разреженными травяными сосново-березовыми лесами с примесью лиственницы. Количество гумуса в горизонте A_1A_2 светло-серых лесных почв равно 3-4,5 %. Распределение его характеризуется довольно резким падением по профилю.

В пределах изучаемой территории выделяются три подтипа черноземов: оподзоленные, выщелоченные и обыкновенные. Наиболее распространенным является подтип выщелоченных черноземов, удельный вес которых составляет 27 - 23%. Оподзоленные черноземы имеют ограниченное распространение, занимая переходное положение между черноземами выщелоченными и темно-серыми почвами. В остепненной части лесостепи развиваются обыкновенные черноземы. Различия между подтипами черноземов обусловлены их приуроченностью к различным элементам микрорельефа. В микропонижениях, характеризующихся повышенным увлажнением и обильной луговой растительностью, формируются оподзоленные черноземы. На вершинах микроповышений с иными условиями увлажнения и степной растительностью - обыкновенные или слабовыщелоченные укороченные черноземы с небольшим содержанием гумуса. На промежуточных элементах формируются черноземы выщелоченные (Топтыгин, 1972; Крупкин, 2002).

Особенностью черноземных почв является темная окраска верхнего горизонта от интенсивно черной до темно-серой с буроватым оттенком. Темная окраска обусловлена наличием разного количества гумуса гуматного типа. Чем интенсивнее черная окраска, тем больше гумуса в почве, больше питательных веществ для растений, активнее микробиологическая деятельность, более благоприятные физические и водные свойства, выше плодородие. Среди черноземов лучше гумусированы оподзоленные подтипы пахотных горизонтов, в которых содержание гумуса в среднем 9,7 %, далее следуют выщелоченные (8,5 %) и обыкновенные (7,7 %). Мощность гумусового горизонта в основном от 20 до

80 см (Крупкин, 2002). Черноземы Канской лесостепи имеют тяжелосуглинистый гранулометрический состав, что является более благоприятным для развития растений, а также это способствует защите почвы от эрозионных процессов. Одной из провинциальных особенностей черноземов края является их «карманистость» (глубокие гумусовые затеки разной формы) и наличие оглеения на глубине 1,5-2 м, что обусловлено длительной сезонной мерзлотой (Семина, Вередченко, 1962).

Черноземы оподзоленные имеют строение профиля Апах–АВ–В₁–В₂–В_С–С_к. Черноземы характеризуются темно-окрашенным верхним горизонтом с ясно выраженной комковато-зернистой или комковато-пылеватой структурой и слабой кремнеземистой присыпкой снизу. Иллювиальный горизонт уплотнен, ореховатой или комковато-ореховатой структуры с коричневым глянцем от полуторных оксидов и гумусовых затеков; имеет кремнеземистую присыпку. Карбонатный горизонт залегает с глубины 100-120 см. Оподзоленные черноземы имеют хорошо выраженную макроструктуру, ясно выраженную микроагрегатность. Емкость поглощения колеблется от 40 до 60 м-экв/100 г. Высокая обменная поглотительная способность в значительной степени обусловлена высокой гумусированностью, это значит, что эти почвы обладают и повышенной буферностью. Оподзоленные черноземы характеризуются повышенной гидролитической кислотностью: в верхнем горизонте она составляет 7 мг-экв/100 г. По величине рН – слабокислые. Оподзоленные черноземы характеризуются неплохим природным плодородием. Но уровень урожая на них часто лимитируется низкой обеспеченностью усвояемым азотом в ранние периоды вегетации, и не всегда оптимальными условиями увлажнения и температурного режима (Крупкин, 2009).

Черноземы выщелоченные имеют горизонты Апах–АВ–В₁–В₂–С_к. Черноземы выщелоченные характеризуются морфологическими признаками: гумусовый горизонт однородно темноокрашенный, зернистой и комковато-пылеватой структуры. Переходный горизонт с преобладанием гумусовой окраски имеет зернисто-комковатую или комковато-ореховатую структуру; граница

перехода в подстилающий горизонт часто языковатая (карманистая). Выщелоченный горизонт, мощностью 20 - 60 см, обычно светло - бурой окраски, уплотнен, со слабыми признаками вымывания ила и полуторных оксидов. Карбонатный горизонт с карбонатами большей частью в виде псевдомицелия совпадает с границей вскипания. Ниже 120 - 150 см псевдомицелий сменяется карбонатами в виде мучнистых пятен. Признаки оглеения в форме ржавых пятен и сизых примазок чаще всего появляются с глубины 75 - 150 см. Гранулометрический состав преимущественно тяжелый. Наряду с илистой фракцией преобладает крупнопылеватая. Реакция почвенного раствора в верхней части профиля близка к нейтральной и нейтральная; книзу, с появлением карбонатов, переходит в слабощелочную. Изменение по профилю емкости поглощения, как правило, типичное для черноземов: в верхней части профиля достигает 53 - 56 м-экв/100 г, вследствие большого содержания органического вещества, постепенно снижаясь вниз по профилю и достигая в породе 20 - 29 м-экв/100 г. Ясно выраженный максимум карбонатов наблюдается у границы вскипания (5 - 11 %) с постепенным падением вниз по профилю (Крупкин, 2009).

В обыкновенных черноземах обычно выделяют горизонты Апах-АВ-В_к-С_к. Чернозем характеризуется отличается от профиля выщелоченных, наличием карбонатов у нижней границы гумусового горизонта, меньшей мощностью гумусового горизонта и более выраженной языковатостью. Верхний слой, в связи с большой пылеватостью породы, слабооструктурен, после распашки распыляется и часто подвержен дефляции. Закономерных передвижений илистой фракции по профилю не обнаруживается. Емкость поглощения в верхнем горизонте составляет 40 - 54 м-экв/100 г. В поглощающем комплексе преобладает кальций. Реакция почвенного раствора в верхней части гумусового горизонта нейтральная и слабощелочная в нижней. Максимальное содержание карбонатов отмечается у верхней границы карбонатного горизонта и достигает 10 - 24 % CO₂ (Крупкин, 2002).

Таким образом, Канская лесостепь является благоприятной для развития сельского хозяйства. Однако, следует учитывать почвенные условия, рельеф и микроклимат.

ГЛАВА 3. ОБЪЕКТЫ, МЕТОДЫ И УСЛОВИЯ ПРОВЕДЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ

3.1 Объекты и методика проведения полевых исследований

Диссертационная работа по изучению почвенно-экологических аспектов возделывания масличных капустных культур выполнена в 2019-2021 гг. на территории землепользования ООО «ОПХ Соляное» Канско-Рыбинского геоморфологического округа.

Объектами исследования явились агрочерноземы и масличные капустные культуры – яровой рапс (*Brassica napus oleifera annual, Metzld*) гибрида Контра КЛ и рыжик посевной сорта Ужурский (*Camelina sativa (L.) Crantz*).

Изучение почвенного покрова опытных полей, и характеристика почв проведена в 6 разрезах, заложенных на типичных формах рельефа пробных площадей. Использовали спутниковую фотографию картографического [online-сервиса](#) «Яндекс. Карты», выполненную в ранневесенний период. При закладке разрезов применены стандартные профильный и морфологический методы, предполагающие получение описательных, фотографических и морфологических данных по изучаемым почвам. Для определения классификационной принадлежности почв применена «Классификация и диагностика почв России» (2004). Морфологическое описание почв и отбор почвенных образцов проведен по генетическим горизонтам. В образцах определяли реакцию почвенного покрова, сумму обменных оснований, гидролитическую кислотность, обменный кальций и магний, общий углерод, валовой азот.

Особенности пространственного варьирования агрофизических и агрохимических свойств агрочерноземов изучали перед посевом масличных культур. На пробных площадях № 1 и 2 общей площадью по 5 га для отбора почвенных образцов были выделены учетные делянки размером 5 000 м². Отбор почвенных образцов проведен на 10 пробных площадках с шагом 50 м. Глубина

отбора образцов 0-20 и 20-40 см. В образцах определяли: влажность, плотность сложения, содержание гумуса, аммонийный, нитратный азот, подвижный фосфор и обменный калий. Температуру почвы учитывали на глубине 0-20 см.

Водный и пищевой режим агрочерноземов изучали в посевах масличных капустных культур – ярового рапса и рыжика посевного. В 2019 году культуры возделывали по занятому пару (горохо-овсяная смесь), в 2020 году – по чистому пару.

Гибрид яровой рапс Контра КЛ - отличается высокой урожайностью и масличностью, среднепоздним началом цветения и средним сроком созревания. Вегетационный период – 98 дней. Он относится к группе с высокой устойчивостью к полеганию. Гибрид проявляет хорошую толерантность к болезням, высокую пластичность, универсальность, компактный стручковый пакет, высокую компенсационную способность. Средняя урожайность семян 1,6 т/га. Содержание жира в семенах 46 %.

Рыжик посевной сорта Ужурский выведен в Сибирском НИИ кормов методом индивидуально-семейного отбора и включен в Госреестр по Российской Федерации в 1996 году. Средняя урожайность семян 1,5 т/га. Вегетационный период 71 день. Содержание жира в семенах 36-40 %. Устойчив к полеганию.

Обработка почвы под масличные культуры состояла из осенней вспашки плугом ПСКУ-8, весной – ранневесеннего боронования и предпосевной культивации. Норма высева ярового рапса – 0,8 млн. шт./га всхожих семян, рыжика – 4 - 5 млн. шт./га. При возделывании масличных культур использовались средства защиты, стимуляторы роста и азотные подкормки. В технологии возделывания ярового рапса применялись следующие препараты:

Табу, ВСК 6 л/т (д.в. имидаклоприд, 500 г/л) – Миура 0,8 л/га (д.в. хизалофоп-П-этил, 125 г/л) + Хакер, ВРГ 0,12 л/га (д.в. клопиралид, 750 г/кг) + Гуминатрин масличный содержит К-4000 мг/л, Р-300 мг/л, N-6000 мг/л, S – 2500 мг/л, В-700 мг/л и др. (2,2 л/га) – Брейк, МЭ 0,06 л/га (д.в. лямбда-цигалотрин, 100 г/л) + Магниева селитра содержит N-11,1 %, СаО-1%, MgO-15,5

% и др. (3 кг/га) – Борей Нео, СК 0,1 л/га (д.в. альфа-циперметрин, 125 г/л, имидаклоприд, 100 г/л и клотианидин, 50 г/л).

При возделывании рыжика:

Табу, ВСК 6 л/т (д.в. имидаклоприд, 500 г/л) – Миура 0,8 л/га (д.в. хизалофоп-П-этил, 125 г/л) + Гуминатрин масличный содержит К-4000 мг/л, Р-300 мг/л, N-6000 мг/л, S – 2500 мг/л, В-700 мг/л и др. (2,2 л/га) – Брейк, МЭ 0,06 л/га (д.в. лямбда-цигалотрин 100 г/л) + Магниева селитра содержит N-11,1 %, СаО-1%, MgO-15,5 % и др. (3 кг/га).

Гидротермический режим агрочерноземов исследовали на 4 пробных площадях (100 м²), выделенных в пределах каждого поля с интервалом 12-20 дней. Влажность почвы определяли в слое 0-100 см через каждые 10 см буром «BurkleMole». Температурный режим изучали в слоях почвы 0-10 и 10-20 см термометром «Вауег». Для сравнительной оценки температурного режима использовались данные Солянской агрометеорологической станции.

Агрохимические показатели определяли в смешанных почвенных образцах, состоящих из 10 индивидуальных проб, отобранных на глубину 0-20 и 20-40 см в период с мая по сентябрь. В образцах определяли: нитратный азот, обменный аммоний, подвижный фосфор, обменный калий.

Надземное и подземное растительное вещество учитывали в 4-кратной повторности. Надземное растительное вещество определяли методом укосов, площадь укоса – 0,25 м². Далее его разбирали на фракции: фитомассу культуры, фитомассу сорняков, надземную мортмассу (отмершие и опавшие на поверхность почвы части растений). Подземное растительное вещество учитывали одновременно с надземным в те же сроки и на тех же пробных площадях методом монолитов на глубину 0–20 и 20–40 см. Площадь монолита – 0,02 м². Монолиты отмывали от почвы в проточной воде на сите с диаметром ячеек 0,25 мм. Отмытое подземное растительное вещество разбирали на фракции: корни, крупную мортмассу >0,5 мм, мелкую мортмассу <0,5 мм. Все фракции растительного вещества доводили до воздушно-сухого состояния, взвешивали и определяли запасы.

Исследования по оценке влияния средств интенсификации возделывания ярового рапса на систему «почва-растение» провели в полевом опыте на яровом рапсе гибрида Контра КЛ. В качестве дополнительных средств к химической защите ярового рапса (гербициды: Хакер + Миура и инсектициды: Брейк + Борей Нео) в фазу бутонизации использовали биологические стимуляторы Регги (1,2 л/га) и Берес 8 (0,2 л/га) и концентрированное комплексное жидкое удобрение Ультрамаг Комби для масличных культур (2 л/га). Схема полевого опыта включала следующие варианты: 1. Контроль (фон): Табу, ВСК 6 л/т (д.в. имидаклоприд, 500 г/л) – Миура 0,8 л/га (д.в. хизалофоп-П-этил, 125 г/л) + Хакер, ВРГ 0,12 л/га (д.в. клопиралид, 750 г/кг) – Брейк, МЭ 0,06 л/га (д.в. лямбда-цигалотрин, 100 г/л) – Борей Нео, СК 0,1 л/га (д.в. альфа-циперметрин, 125 г/л, имидаклоприд, 100 г/л и клотианидин, 50 г/л); 2. Ультрамаг Комби содержит N-187,5 г/л, MgO-31,25 г/л, SO₃- 31,25 г/л, Fe-6,25 г/л, Mn-6,25 г/л и др. (2 л/га); 3. Регги 1,2 л/га (д.в. хлормекватхлорид, 750 г/л); 4. Ультрамаг Комби (2 л/га) + Регги (1,2 л/га); 5. Берес 8 содержит гуминовые кислоты 70 г/л, фульвовые кислоты 30 г/л, N-17,3 г/л, K-10,6 г/л и др.(0,2 л/га); 6. Берес 8 (0,2 л/га) + Ультрамаг Комби (2 л/га); 7. Регги (1,2 л/га) + Берес 8 (0,2 л/га); 8. Регги (1,2 л/га) + Берес 8 (0,2 л/га) + Ультрамаг Комби (2л/га).

Общая площадь делянки – 100 м², учетная – 60 м². Размещение делянок систематическое, повторность 4-кратная. Отбор почвенных образцов проводили в июне - сентябре. Повторность образцов 3-кратная. Основная обработка почвы для возделывания ярового рапса состояла из осенней вспашки плугом ПСКУ-8, ранневесеннего боронования и предпосевной культивации. Посев рапса производили во второй декаде мая. Глубина отбора образцов – 0-20 см и 20-40 см. В почвенных образцах определяли: содержание аммонийного и нитратного азота, подвижного фосфора, обменного калия. На 3 пробных площадках, выделенных в пределах каждой делянки, изучали режим влажности с интервалом 12-20 дней на глубину 0-100 см через каждые 10 см; температуру почвы в слое 0-10 и 10-20 см и надземное и подземное растительное вещество. Густоту стояния растений перед уборкой и отбор снопов для определения структуры урожая проводили на

площади 1 м² в 3-кратной повторности. Учет урожая проводили сплошным методом. Урожайность ярового рапса приведена к 12 % влажности семян.

3.2 Методы аналитических исследований

Основные показатели по характеристике почв получены при помощи общепринятых методов:

- общая влага термовесовым методом (Вадюнина, Корчагина, 1986);
- реакция почвенного раствора ионометрическим методом (ГОСТ 26423-85);
- сумма обменных оснований по методу Каппена (ГОСТ 27821-88);
- гидролитическая кислотность по методу Каппена (ГОСТ 26212-91);
- обменные кальций и магний титрованием Трилоном Б по индикатору (ГОСТ 26487-85);
- общий углерод гумуса по Тюрину (Аринушкина, 1970);
- валовой азот (ГОСТ 26107-84);
- нитратный азот (ГОСТ 26488-85);
- аммонийный азот (ГОСТ 26489-85);
- подвижный фосфор (ГОСТ 26204-91);
- обменный калий (ГОСТ 26204-91).

Основные показатели по химическому составу растительного вещества получены при помощи следующих методов:

- азот (ГОСТ 32044.1-2012);
- фосфор (ГОСТ ISO 6491-2016);
- калий (ГОСТ 30504-97).

Результаты аналитических определений обработаны методами описательной статистики, корреляционного и дисперсионного анализа при помощи программы Excel (Доспехов, 2014; Дмитриев, 1995).

3.3 Погодные условия

Погодные условия вегетационного периода являются определяющим фактором в продуктивном процессе роста растений и эффективности сельскохозяйственного производства. Количество осадков, температурные условия, их распределение по месяцам решающим образом влияют на рост и развитие растений, на формирование урожаев сельскохозяйственных культур и их качество.

В результате проведенного анализа погодных условий по данным Солянской агрометеорологической станции в годы исследований, выявили, что вегетационные периоды отличались между собой. Начало вегетационного периода 2019 года характеризовалась высокой температурой воздуха (6-12 °С) и небольшим количеством осадков (18 мм) (рис. 1, 2). Температура воздуха в июне была средней (15-19 °С), осадки распределялись неравномерно: наибольшее их количество выпало в III декаде - 84 мм (Кураченко, 2019). Всего за месяц выпало 111 мм, что превысило норму на 101 %. ГТК в этот период составил 2,2 что характеризует июньский период как избыточно влажный. Июль характеризовался средней температурой воздуха (17-20 °С), наибольшее количество осадков приходилось на I декаду – 33 мм. Осадки этого периода превышали норму на 42 % (ГТК 1,0). В августе температура воздуха постепенно снижалась с 21 °С в начале месяца до 15 °С в конце. Температура воздуха выше среднемноголетней на 1,5 °С. Осадки превышают норму всего на 15 % (ГТК 1,0). К концу вегетации масличных культур сохраняется наиболее комфортная температура воздуха (9-11 °С), осадки выше нормы на 9 %. Как правило, при снижении увлажненности возрастает теплообеспеченность территории.

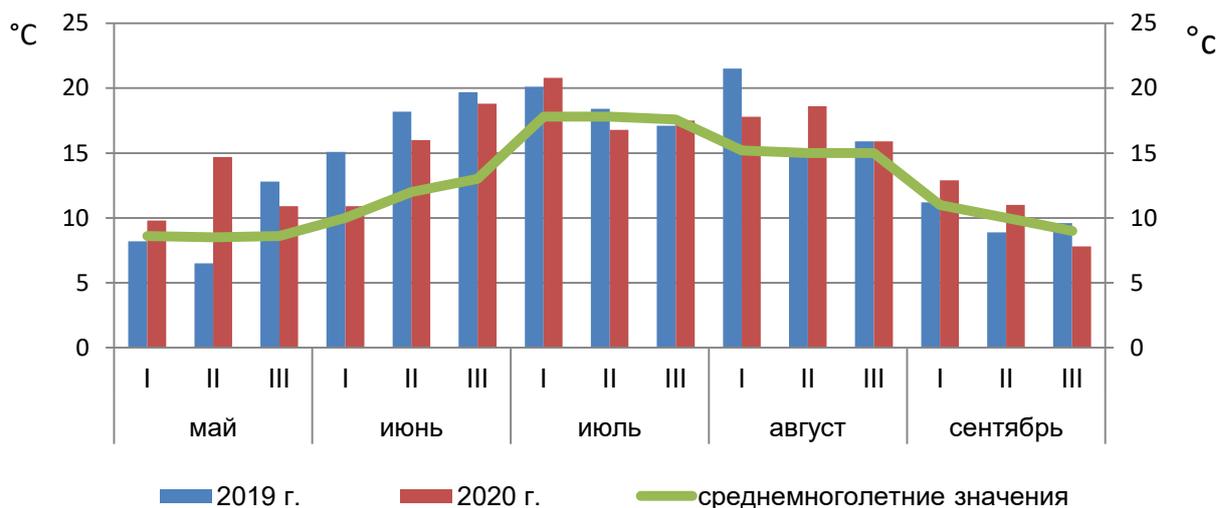


Рисунок 1 - Динамика температуры воздуха за вегетационный сезон 2019-2020 гг. по данным Солянской агрометеорологической станции, °С

Вегетационный период 2020 г. сопровождался высокой температурой воздуха в мае (9-15°C), и большим количеством осадков, превышающим среднемноголетний уровень на 124 % (рис. 1, 2). Июнь характеризовался как теплый и достаточно влажный. Температура воздуха превышала среднемноголетний уровень на 4 °С (10-18 °С). При этом осадки превышали норму на 14 % (ГТК - 1,2). В первой декаде июля отмечалась наиболее высокая температура за весь вегетационный период (21 °С). В этот период выпадает месячная сумма осадков (78 мм), что характеризует этот период как избыточно влажный (ГТК - 2,3). В августе температура воздуха выше среднемноголетней на 2-3°С. Наибольшее количество осадков выпадает в III декаде (29 мм). Всего за месяц выпало 47 мм, что ниже нормы на 28 %. ГТК этого периода составило 1,5. Сентябрь характеризовался как теплый и превышал среднемноголетние показатели температуры воздуха на 2,2°С. При этом количество осадков в период уборки культуры было ниже на 11 %.

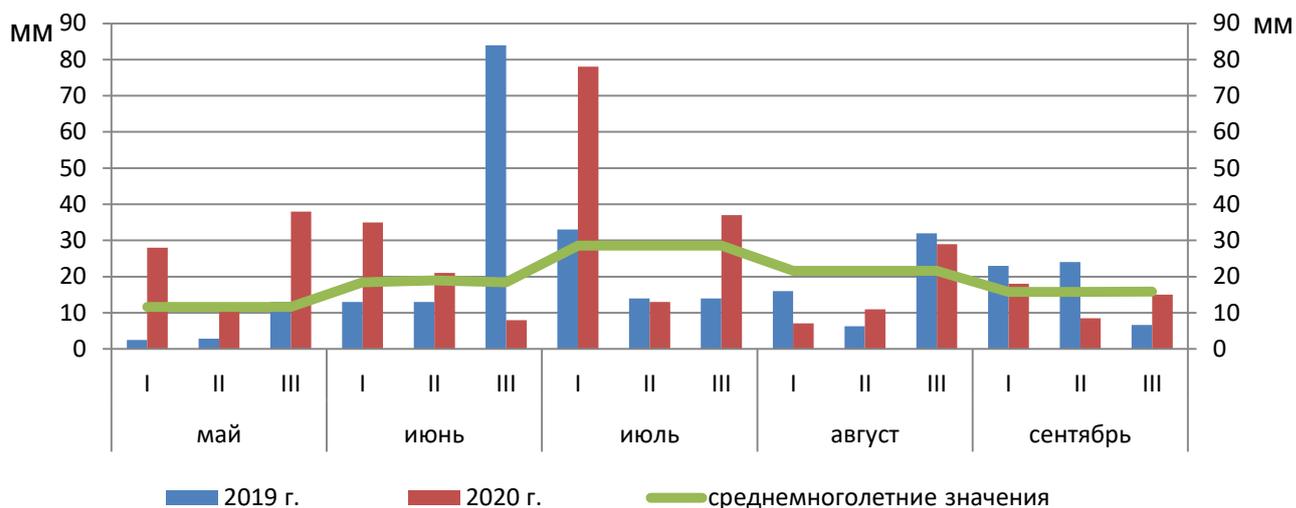


Рисунок 2 - Динамика осадков за вегетационный сезон 2019-2020 гг. по данным Солянской агрометеорологической станции, мм

Вегетационные сезоны 2019-2020 гг. характеризовались как влажные, об этом свидетельствует гидротермический коэффициент, рассчитанный за период с температурами выше плюс 10°C (рис. 3). Величина показателя ГТК за период от появления всходов масличных культур до созревания семян оценивается в среднем по годам величиной 1,4-1,5. Расчет среднегодовых значений ГТК за последние 15 лет по данным метеостанции «Солянская» показывает, что величина этого показателя варьирует от 1,2 до 1,6 за период активной вегетации растений. Среднегодовое значение гидротермического коэффициента за период июнь-август для территории землепользования ООО «ОПХ Солянское» составляет 1,4. Полученные результаты позволяют утверждать, что годы исследований были типичными для этой территории.

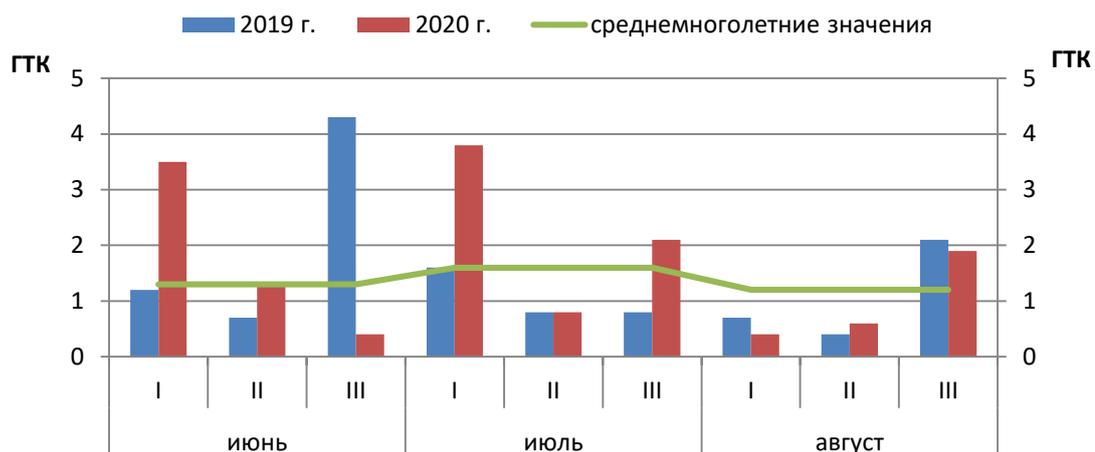


Рисунок 3 - Динамика ГТК за период с температурами выше плюс 10° С по данным Солянской агрометеорологической станции (2019-2020 гг.)

Наряду с типичными показателями для этой зоны наблюдались отклонения от среднеголетних значений по количеству выпавших осадков, температуре воздуха и ГТК в отдельные декады месяцев, что неизбежно оказало влияние на рост и развитие масличных культур.

ГЛАВА 4. МОРФОГЕНЕТИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА АГРОЧЕРНОЗЕМОВ

4.1 Морфологические особенности агрочерноземов

В процессе почвообразования в профилях почвы, в их строении и структурных элементах видны результаты многих разнокачественных элементарных процессов. Воздействие факторов внешней среды на горную породу приводит к формированию и накоплению наиболее устойчивых почвенных признаков, характерных для определения условий почвообразования (Шоба, 1999; Кураченко, 2019). Профиль почвы является источником информации о свойствах и режимах почв.

Ниже приведена морфологическая характеристика агрочерноземов глинисто-иллювиальных типичных, оподзоленных, криогенно-мицелярных, господствующих в пределах опытных полей.

Разрез 1 – Агрочернозем глинисто-иллювиальный типичный мощный. Заложен в небольшом понижении широкого увала.

PU 0-23 см. Чёрный, при подсыхании серый, свежий, комковато-пылеватый, тяжелосуглинистый, рыхлый, тонкопористый, тонкотрециноватый, много корней. Не вскипает от 10 % HCl, переход резкий по «плужной подошве».

AU 23-47 см. Черный, свежий, рыхлый, комковато-творожистый, тяжелосуглинистый, обилие тонких корней, тонкопористый, тонкотрециноватый, не вскипает, переход постепенный «языковатый».

AUB 47-68 см. Неоднородный по окраске. На желто-буrom фоне черные гумусовые затеки. Свежий, уплотнен, комковато-ореховатой структуры, глинистый, слоистой текстуры, не вскипает, встречаются тонкие корни, переход ясный, граница «языковатая».

VI 68-84 см. Желто-бурый с гумусовыми затеками, свежий, комковато-ореховатый, глинистый, слоистой текстуры, уплотнен, не вскипает, пористый, тонкотрециноватый, переход резкий по цвету.

Vtc 84-100 см. Желто-бурый с белесоватым оттенком, свежий, уплотнен, комковато-глыбистый, глинистый пористый, тонкотрециноватый, обильно вскипает от 10 % HCl, карбонаты в форме псевдомицелия.

Cca 100 см и глубже. Желто-бурая карбонатная глина.

Разрез 2 – Агрочернозем глинисто-иллювиальный оподзоленный мощный. Заложен в 100 метрах северо-восточнее р. 1-19 в понижении небольшого увала.

PU 0-22 см. Черный, при подсыхании серый. Рыхлый, комковато-зернистый с обилием тонких корней, тяжелосуглинистый. Тонкопористый, тонкотрециноватый. Не вскипает от 10 % HCl. Граница перехода резкая по «плужной подошве».

AU 22-52 см. Черный, при подсыхании белесоватый, рыхлый, комковато-творожистый, тяжелосуглинистый, гумусовые вещества. Тонкопористый, тонкотрециноватый, не вскипает. Переход ясный по окраске.

AUe 52-69 см. Черный с белесоватой присыпкой. Свежий, рыхлый, комковато-порошистый, среднесуглинистый, не вскипает. При подсыхании хорошо заметна кремнеземистая присыпка. Переход ясный по цвету.

VIe 69-93 см. Черно-бурый, уплотнен, свежий, ореховатый, глинистый. Тонкопористый, тонкотрециноватый. Встречаются гумусовые вещества. По граням отдельностей – кремнеземистая присыпка. Не вскипает от 10 % HCl. Переход постепенный.

VI 93-110 см. Желто-бурый, свежий, уплотнен, глинистый, ореховатый. Не вскипает, пористый, тонкотрециноватый.

C 110 и глубже. Желто-бурая глина.

Разрез 3 – Агрочернозем глинисто-иллювиальный типичный среднемоощный. Заложен на вершине пологого увала крутизной 1°.

PU 0-23 см. Темно-серый с буроватым оттенком, свежий, рыхлый, комковато-порошистый, тяжелосуглинистый. Обилие тонких корней. Тонкопористый, тонкотрециноватый, не вскипает от 10 % HCl. Переход ясный, граница ровная.

AU 23-38 см. Буровато-темно-серый, уплотнен, свежий, комковато-порошистый, тяжелосуглинистый. Много тонких корней, не вскипает, тонкопористый, тонкотрециноватый. Переход постепенный «языковатый».

AUB 38-53 см. Неоднородный по окраске. На желто-буром фоне темно-серые «языки» и «заклинки» гумусовых веществ. Свежий, комковато-порошистый, уплотнен, тяжелосуглинистый. Корней мало. Не вскипает. Переход заметный по цвету.

VI 53-70 см. Желто-бурый с редкими гумусовыми затеками и линзами. Свежий, уплотненный, комковатый с плитчатой структурой, тяжелосуглинистый. Встречаются тонкие корни. Пористый, тонкотрециноватый, не вскипает. Переход ясный по границе псевдомицелия карбонатов.

Vtc 70-96 см. Неоднородный по окраске. На желто-буром фоне белые вкрапления карбонатов в форме псевдомицелия. Свежий, уплотнен, комковато-глыбистый, тяжелосуглинистый, пористый, обильно вскипает от 10 % HCl.

Cca 96 см и глубже. Желто-бурый карбонатный суглинок.

Разрез 4 – Агрочернозем глинисто-иллювиальный типичный среднемоощный. Заложен на возвышенной части пологого склона.

PU 0-22 см. Темно-серый с буроватым оттенком, свежий, рыхлый, комковатый, тяжелосуглинистый. Встречаются обильно тонкие корни. Тонкопористый, тонкотрециноватый, не вскипает. Переход резкий по «плужной подошве».

AU 22-40 см. Серовато-бурый, свежий, рыхлый, комковато-зернистый с обилием тонких корней, тяжелосуглинистый. Тонкопористый, тонкотрециноватый, не вскипает, переход резкий по цвету.

AUB 40-57 см. Желто-бурый, свежий, комковато-глыбистый, несколько уплотнен, тяжелосуглинистый. Встречаются затеки гумусовых веществ, единичные корни. Тонкопористый, тонкотрещиноватый. Не вскипает, переход резкий по границе псевдомицелия карбонатов.

Втс 57-98 см. Желто-бурый с белесоватым оттенком. Свежий, глыбистый, глинистый, уплотнен. Вскипает от 10 % HCl. Пористый, тонкотрещиноватый.

Сса 98 см и глубже. Желто-бурая карбонатная глина.

Разрез 5 – Агрочернозем глинисто-иллювиальный оподзоленный мощный. Заложен в нижней части пологого склона.

PU 0-23 см. Черный, свежий, комковато-зернистый, тяжелосуглинистый, рыхлый, тонкопористый, тонкотрещиноватый. Много тонких корней. Не вскипает от 10 % HCl, переход резкий по «плужной подошве».

AU 23-56 см. Черный, свежий, рыхлый с уплотнением в нижней части. Глыбисто-комковатый, тяжелосуглинистый, встречаются тонкие корни. Тонкопористый, тонкотрещиноватый, не вскипает, переход резкий по цвету.

AUe 56-90 см. Черный с белесоватым оттенком. Очень рыхлый, комковато-порошистый с кремнеземистой присыпкой, среднесуглинистый. Встречаются тонкие корни. Тонкопористый, тонкотрещиноватый. Переход постепенный.

ВIe 90-110 см. Бурый с гумусовыми веществами в виде пятен. Свежий, уплотнен, комковато-ореховатый, глинистый, пористый, не вскипает. На гранях отдельностей кремнеземистая присыпка. Переход постепенный.

С 110 и глубже. Желто-бурая глина.

Разрез 6 – Агрочернозем криогенно-мицелярный маломощный. Заложен в средней части пологого склона на вершине небольшого бугра.

PU 0-22 см. Темно-серый, свежий, рыхлый, комковато-глыбистый, глинистый. Встречаются обильно корни и остатки соломы. Тонкопористый, тонкотрещиноватый. Не вскипает от 10 % HCl. Переход постепенный «языковатый».

AUB 22-28 см. Желто-бурый с гумусовыми затеками. Свежий, рыхлый, глыбистый, глинистый. Встречаются тонкие корни. Тонкопористый, тонкотрециноватый. Обильно вскипает от 10 % HCl. Переход резкий по цвету.

Vmc 28-73 см. Желто-бурый с белесоватым оттенком, уплотнен, свежий, глыбистый, глинистый. Карбонаты в форме псевдомицелия. Пористый, тонкотрециноватый. Переход постепенный.

Cca 73 см и глубже. Желто-бурая карбонатная глина.

Почвенный покров опытных участков представлен агрочерноземами. Генетический профиль разрезов 1, 3, 4 диагностирован на уровне типа агрочернозем глинисто-иллювиальный, подтипа – типичный (по прежней классификации соответствует черноземам выщелоченным).

Гумусовые горизонты (PU+AU+AUB) на видовом уровне характеризуются как мощные и среднemocные и изменяются от 53 до 68 см. Характерными морфологическими признаками для агрочерноземов глинисто-иллювиальных типичных является интенсивная гумусовая окраска верхних горизонтов. Агротемногумусовый горизонт имеет рыхлую, комковатую, комковато-пылеватую и комковато-порошистую структуру. Глинисто-иллювиальные горизонты (VI) и аккумулятивно-карбонатные (Vmc) обычно уплотнены, присутствует комковато-ореховатая, комковато-глыбистая, глыбистая структуры, мелкослоистой криогенной текстуры. В нижней части профиля выделяют карбонаты в форме псевдомицелия.

В пределах поля также выделены агрочерноземы глинисто-иллювиальные оподзоленные (чернозем оподзоленный). Они встречаются в понижении увалов. Агрочернозем глинисто-иллювиальный оподзоленный отличается хорошо выраженным рыхлым гумусовым горизонтом с комковато-зернистой структурой, хорошо заметной кремнеземистой присыпкой, создающей эффект «белесоватости», что послужило основанием для выделения оподзоленного подтипа.

На микроповышении в разрезе 6 диагностирован агрочернозем криогенно-мицелярный. Этот подтип отличается от профиля агрочерноземов глинисто-

иллювиальных типичных вскипанием в гор. АУВ. Среди агрочерноземов криогенно-мицелярных распространены маломощные и среднемощные виды тяжелосуглинистого и глинистого гранулометрического состава. Мощность гумусового горизонта агрочерноземов криогенно-мицелярных в условиях пашни составила 28 см.

Таким образом, фоновыми почвами опытных полей являются агрочерноземы глинисто-иллювиальные типичные. Им сопутствуют агрочерноземы глинисто-иллювиальные оподзоленные и криогенно-мицелярные.

4.2 Химические и физико-химические свойства почв

Для выявления агроэкологического состояния почвенного покрова агрочерноземов Канской лесостепи, находящихся в одинаковых климатических условиях, необходимо проанализировать их почвенные свойства. Данные табл. 1 указывают на то, что агрочерноземы глинисто-иллювиальные типичные отличаются высоким содержанием гумуса, которое в обрабатываемых горизонтах колеблется от 6 до 8 %. Содержание валового азота составляет 0,27- 0,42 % в горизонте PU и постепенно снижается до 0,04 % в горизонте В_{тс}. Сумма обменных оснований в этом подтипе очень высокая (62-34 ммоль/100г), что обусловлено тяжелым гранулометрическим составом почв и высоким содержанием гумуса. С падением гумусированности по профилю сумма обменных оснований закономерно уменьшается. В составе обменных катионов агрочерноземов доминирует Ca²⁺, но в значительных количествах присутствует и Mg²⁺. Агрочерноземы глинисто-иллювиальные типичные имеют нейтральную реакцию почвенного раствора. Отношение C:N в этом подтипе изменяется от 11 до 13.

Агрочерноземы глинисто-иллювиальные оподзоленные, формируясь в нижней части увалов, отличаются существенной мощностью гумусовых горизонтов, достигающей 70-90 см. Содержание гумуса в гор. PU составляет 6-9 %.

Таблица 1 – Некоторые химические и физико-химические свойства агрочерноземов

Горизонт	Глубина, см	Гумус, %	Азот, %	C:N	pHвод н	Обменные катионы		S	Нг
						Ca ²⁺	Mg ²⁺		
ммоль/100г									
Р. 1 Агрочернозем глинисто-иллювиальный типичный мощный									
PU	0-23	7,9	0,42	10,9	6,6	27,1	4,3	55,5	8,5
AU	23-47	6,5	0,34	11,1	6,6	26,5	3,5	53,0	6,9
AUB	47-68	2,8	0,13	12,5	6,7	27,8	3,3	41,5	5,0
BI	68-84	1,1	0,06	10,6	6,8	28,1	3,1	35,5	4,4
Bmc	84-100	0,8	0,06	7,7	7,4	27,4	2,6	-	-
Р. 2 Агрочернозем глинисто-иллювиальный оподзоленный мощный									
PU	0-22	8,7	0,47	10,7	6,8	28,0	4,0	57,0	9,4
AU	22-52	8,3	0,36	13,4	6,8	28,8	4,0	56,5	10,0
AUe	52-69	8,0	0,33	14,1	6,2	28,8	4,1	55,5	13,7
Ble	69-93	4,9	0,23	12,4	6,1	27,5	4,0	45,5	14,7
BI	93-110	3,3	0,15	12,8	6,1	24,9	3,8	40,0	5,6
Р. 3 Агрочернозем глинисто-иллювиальный типичный среднемощный									
PU	0-23	6,0	0,27	12,9	6,5	27,0	3,9	51,0	1,2
AU	23-38	5,9	0,27	12,7	6,5	28,5	3,5	54,0	0,9
AUB	38-53	2,3	0,11	12,1	6,8	25,8	3,6	40,5	1,0
BI	53-70	1,0	0,06	9,7	6,9	25,4	2,8	33,5	1,1
Bmc	70-96	0,9	0,06	8,7	7,5	23,3	2,5	-	-
Р. 4 Агрочернозем глинисто-иллювиальный типичный среднемощный									
PU	0-22	5,8	0,29	11,6	6,9	24,6	3,5	61,5	1,5
AU	22-40	5,0	0,22	13,2	6,9	25,6	3,5	40,0	2,1
AUB	40-57	0,9	0,04	13,5	7,0	23,8	3,0	34,0	1,5
Bmc	57-98	0,6	0,04	8,7	7,9	22,3	3,0	-	-
Р.5 Агрочернозем глинисто-иллювиальный оподзоленный мощный									
PU	0-23	6,0	0,29	12,0	7,0	27,5	3,4	55,0	2,5
AU	23-56	6,7	0,29	13,4	6,8	23,6	3,3	44,0	9,4
AUe	56-90	4,7	0,18	15,1	6,1	20,0	2,5	34,0	14,7
Ble	90-110	2,4	0,10	13,9	6,1	19,4	3,0	29,5	15,2
Р. 6 Агрочернозем криогенно-мицелярный маломощный									
PU	0-22	5,6	0,27	12,0	7,3	30,8	3,1	63,5	-
AUB	22-28	2,7	0,14	11,2	7,6	27,9	3,5	46,0	-
Bmc	28-73	0,9	0,05	10,4	8,0	22,0	2,5	-	-

Вниз по профилю содержание гумуса уменьшается постепенно. Содержание валового азота в этих подтипах составляет 0,29 % до 0,47 %. В профиле агрочернозема глинисто-иллювиального оподзоленного реакция почвенного

раствора в горизонтах PU, AU нейтральная (6,8 - 7,0), в нижележащих горизонтах – слабокислая (6,2- 6,1).

Агрочерноземы глинисто-иллювиальные оподзоленные характеризуются повышенной гидролитической кислотностью. В гор. AUe и VIe она достигает 14-15 ммоль/100г. Отношение C:N в этом подтипе в горизонте PU составляет от 11 – 12. Затем происходит его повышение. Так, в горизонте AUe отмечено наибольшее широкое отношение C:N (14-15).

Агрочерноземы криогенно-мицелярные повышенных участков исследуемой территории являются маломощными среднегумусными с довольно резким уменьшением содержания гумуса с глубиной. Содержание гумуса в горизонте PU почв разреза 6 составляет 6 %, снижаясь до 3 % в горизонте AUB. Содержание азота в этом подтипе самое низкое (0,14-0,27 %). В горизонтах PU и AUB отмечается слабощелочная реакция почвенного раствора, в горизонте Vmc – среднещелочная. Отношение C:N не превышает 12. В составе обменных катионов доминирует Ca^{2+} , его содержится 31 ммоль/100 г в горизонте PU, что является наибольшим количеством среди всех подтипов агрочерноземов.

Таким образом, можно утверждать, что агрочерноземы Канской лесостепи обладают высоким потенциальным плодородием: они имеют высокое содержание гумуса, высокую поглотительную способность, нейтральную и слабощелочную реакцию среды.

ГЛАВА 5. ОСОБЕННОСТИ ПРОСТРАНСТВЕННОГО ВАРЬИРОВАНИЯ АГРОФИЗИЧЕСКИХ И АГРОХИМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ АГРОЧЕРНОЗЕМОВ

Почва - сложный природный объект, ей свойственна естественная пространственная неоднородность относительно питательного, кислотного, основного, газо-регуляторного, водно-физического и токсикологического режимов (Цапко, 2013).

Считается, что почвы черноземной зоны отличаются высокой однородностью свойств в пространстве, что принято связывать со слабым варьированием основных факторов почвообразования и гомогенизацией свойств черноземов в процессе многолетнего использования (Сидорова, 2004). В то же время имеются данные, что в результате естественной вариации свойств, так и в результате антропогенного воздействия пространственное распределение свойств также может быть неоднородным (Бугаков, 1964; Михеева, 2001; Кураченко и др., 2019).

Масличные капустные культуры предъявляют различные требования к условиям увлажнения почвы, ее физическому состоянию и к обеспеченности питательными веществами. Известно, что рапс более требователен к уровню плодородия почв и их влагообеспеченности, по сравнению с горчицей и рыжиком (Волошин, 2017; Кураченко и др., 2019). По мнению Т.Г. Кольцовой (2015), именно черноземные почвы способны обеспечивать сельскохозяйственным культурам оптимальные условия произрастания и повышать их устойчивость к экстремальным условиям возделывания.

Особенностью лесостепной зоны Красноярского края является преобладание черноземных почв в структуре почвенного покрова пахотных угодий и значительная его комплексность, связанная с выраженным западинно-увалистым и бугристым микрорельефом и проявлением эрозионных процессов (Крупкин, 2002; Чупрова, 2015).

Исследованиями установлено, что в структуре почвенного покрова пробной площади № 1, выделенную под под посевы ярового рапса доминируют агрочерноземы глинисто-иллювиальные типичные среднеспособные и мощные. Встречаются разные виды агрочерноземов глинисто-иллювиальных типичных среднеспособных и мощных (Кураченко и др., 2019).

Пробная площадь № 2 под посевы рыжика посевного характеризуется большей комплексностью почвенного покрова и представлена сочетанием агрочерноземов глинисто-иллювиальных типичных разных видов, агрочерноземов глинисто-иллювиальных оподзоленных мощных и агрочерноземов криогенно-мицелярных маломощных.

Оценка пространственного варьирования свойств агрочерноземов показала, что запасы продуктивной влаги в агрочерноземах к посеву масличных культур оцениваются как удовлетворительные, и характеризуются в слое 0-40 см близкими величинами (табл. 2). Перед посевом ярового рапса среднестатистические запасы влаги в почве составляют 28-32 мм и имеют равномерный характер распределения. По пробным площадям в слое 0-40 см они варьируют в незначительной степени – от 28 до 30 мм ($C_v = 8-23\%$). Абсолютный интервал варьирования (min-max), по сравнению с участком пашни, выделенной под посеы рыжика посевного, был меньше в 2 раза. Пробная площадь № 2 характеризуется незначительным снижением запасов продуктивной влаги ($p = 0,28...0,39$; прил. 1) и более неравномерному распределению. Неоднородность высоты снежного покрова и перераспределение почвенной влаги в микропонижениях в результате поверхностного стока определили среднее варьирование запасов продуктивной влаги в слое 0-40 см ($C_v = 21\%$), изменявшееся от 21 до 39 мм (Кураченко и др., 2019).

В исследованиях А.И. Новикова (1970), определяющим фактором исходных запасов почвенной влаги являются агрофизические свойства почвы, которые зависят от предшественников и перераспределением влаги по элементам рельефа. Глубина сезонного промачивания и весенние запасы продуктивной влаги

определяются внутривольным варьированием высоты снежного покрова (Малыхин, 2004).

Таблица 2 – Статистические параметры пространственного распределения гидротермических показателей и плотности сложения агрочерноземов (n=10)

Показатель	Слой, см	Статистический показатель*			
		$X \pm S_x$	min	max	$C_v, \%$
<i>Пробная площадь № 1</i>					
Запасы продуктивной влаги, мм	0-20	30,5±3,70	27,0	37,5	12
	20-40	31,8±2,80	29,3	37,4	8
Плотность сложения, г/см ³	0-20	0,78±0,10	0,70	0,97	12
	20-40	0,83±0,09	0,70	0,97	11
Температура, °С	0-20	2,9±0,70	2,00	4,0	24
<i>Пробная площадь № 2</i>					
Запасы продуктивной влаги, мм	0-20	28,4±6,50	21,0	39,2	23
	20-40	30,3±3,20	26,0	36,1	11
Плотность сложения, г/см ³	0-20	0,77±0,07	0,70	0,91	9
	20-40	0,81±0,12	0,67	0,97	14
Температура, °С	0-20	4,4±0,50	4,00	5,5	11

*Здесь и далее: X - среднее; S_x - стандартная ошибка средней; min - минимум; max - максимум; C_v, % - коэффициент вариации

Агрочерноземы Канской лесостепи характеризуются рыхлым сложением, что обусловлено их высокой гумусированностью, хорошей оструктуренностью и длительным пребыванием в мерзлотном состоянии. Плотность почвы в слое 0-20 см на пробных площадях оценивается в среднем величиной 0,77 г/см³ при небольшой и незначительной изменчивости в пределах поля (C_v = 9-14 %). В слое 20-40 см она возрастает на 0,04-0,05 г/см³, сохраняя рыхлость сложения. В исследованиях Д.И. Еремина и А.Н. Моисеева (2012) доказано, что культуры севооборотов не оказывают влияния на плотность сложения пахотного слоя, которая изменяется только под действием обработки почвы (Кураченко и др., 2019).

Температура почвы пробных площадей изменяется в небольшой степени (C_v = 11 - 24 %). У агрочерноземов пробной площади № 1 перед посевом ярового

рапса температура 0-20 см слоя варьирует от 2 до 4 °С. Пробная площадь № 2 перед посевом рыжика посевного отличается лучшей прогреваемостью ($p = 0,0001$). Температура пахотного слоя варьирует от 4 до 6 °С. Исследованиями установлено, что температура почвы пробных площадей зависит от влажности почв, что подтверждает сильная обратная корреляция между величинами этих показателей ($r = - 0,72...- 0,80$) (табл. 3). Плотность сложения пробной площади № 1 перед посевом ярового рапса также достоверно определяет пространственную неоднородность температуры поля ($r = 0,84$).

Таблица 3 – Результаты корреляционного анализа влияния влажности, плотности сложения и температуры атмосферы на температуру почвы, ($n=10$)

Культура	Влажность, %		Плотность сложения, г/см ³		Температура атмосферы, °С	
	$r \pm Sr$	r^2	$r \pm Sr$	r^2	$r \pm Sr$	r^2
Рапс	$0,67 \pm 0,26$	0,44	$-0,86 \pm 0,17$	0,74	$0,62 \pm 0,26$	0,39
Рыжик	$-0,41 \pm 0,31$	0,16	$0,27 \pm 0,33$	0,07	$0,93 \pm 0,10$	0,86

По мнению Н.А. Шапориной с соавт. (2016), возникновение и развитие пространственных неоднородностей в температурном режиме почвенного покрова обусловлена свойствами почв, и метеорологическими условиями.

Содержание гумуса – один из главных параметров, характеризующих плодородие почвы. Он обеспечивает стабильное и устойчивое функционирование почвы во времени и пространстве, сохраняя ее свойства и режимы даже при высоких агрогенных нагрузках (Kiryushin, 2019). Гумусовые вещества выполняют функцию источника пищи для гетеротрофных микроорганизмов, поддерживают биологическую активность почвы и процессы минерализации, в результате которых высвобождаются элементы питания для растений, обеспечивая эффективное почвенное плодородие (Шапорина, 2016).

Исследованиями установлено, что агрочерноземы характеризуются высоким (6-8 %) содержанием гумуса в слое пахотном и подпахотном слоях почвы (табл. 4). Статистические параметры содержания гумуса на пробных

площадях свидетельствуют о слабой степени его пространственного варьирования, которая не превышает 9 %, как в радиальном, так и в латеральном направлении. Несмотря на сочетание различных подтипов агрочерноземов по величине этого показателя изученные почвенные комбинации достаточно однородные ($p=0,0200-0,0001$) (прил. 2).

Таблица 4 – Статистические параметры пространственного распределения содержания гумуса в агрочерноземах, % (n=10)

Глубина, см	Статистический показатель			
	$X \pm S_x$	min	max	$C_v, \%$
<i>Пробная площадь № 1</i>				
0-20	7,5±0,68	6,9	8,7	9
20-40	6,8±0,65	5,8	7,6	9
<i>Пробная площадь № 2</i>				
0-20	7,6±0,36	7,0	8,1	5
20-40	6,3±0,36	5,9	6,7	6

Следует отметить, что подпахотный 20-40 см слой характеризуется высокой гумусированностью по пробным площадям (6-7 %). Это является положительным фактором для возделывания масличных крестоцветных культур, которые имеют стержневую корневую систему, а также развивают большое количество боковых побегов в гумусовом горизонте. В результате увеличивается площадь их питания, повышается продуктивность и устойчивость растений к неблагоприятным факторам окружающей среды, что очень актуально во время засух, регулярно повторяющихся в южной части Канской лесостепи в начале и середине вегетации сельскохозяйственных культур (Кураченко и др., 2019).

Потенциальное плодородие почвы характеризуется содержанием макроэлементов. Азот входит в состав многих важнейших веществ, определяющих рост и развитие растительного организма. Растения поглощают азот, преимущественно, в нитратной и аммонийной формах. Содержание минерального азота в целом не является стабильным и подвержено изменениям в течение сезона (а аммонийного даже в течение суток) (Кузин и др., 2014).

Нитратный азот может вымываться в грунтовые воды, а аммонийный – улетучиваться в атмосферу. Исследованиями установлено, что агрочерноземы Канской лесостепи имеют низкую обеспеченность нитратным азотом (5-8 мг/кг) перед посевом масличных культур и преобладанием в пахотных и подпахотных горизонтах аммонийной формы (8-10 мг/кг) (табл. 5). Это обусловлено, прежде всего, флюктуацией погодных условий и низкими температурами почв, ингибирующими процессами нитрификации к началу их посева. Схожая количественная оценка сопровождается некоторыми различиями по пробным площадям в содержании нитратного азота и характере его пространственной изменчивости. На пробной площади № 2 перед посевом рыжика посевного отмечается снижение среднего содержания нитратного азота на 2 мг/кг и увеличение пространственного варьирования показателя на 8 % в слое 0-20 см ($p=0,003$) (прил. 3). Такую же закономерность можно отметить и по содержанию аммонийной формы азота (Кураченко и др., 2019).

Содержание подвижных форм фосфора и калия – один из важнейших агрохимических показателей плодородия почв. Хорошая обеспеченность фосфором улучшает углеводный обмен, приводит к накоплению сахаров, что обеспечивает экономное расходование влаги и увеличение засухоустойчивости растений. При недостатке доступного фосфора замедляется синтез белков, возрастает содержание нитратного азота в тканях растений. При очень высоких фосфорных нагрузках может наступать отравление растений: ингибируется дыхание, замедляется скорость метаболических процессов, растения отстают в росте, урожайность сильно снижается (Иванов, 2012). Высокая обогащенность почв гумусом и тяжелый гранулометрический состав агрочерноземов определили очень высокую обеспеченность 0-40 см слоя подвижным фосфором (279-307 мг/кг) при незначительной ($C_v = 12-15 \%$) и средней его изменчивости в пространстве ($C_v = 29-31 \%$) (табл. 5; прил. 3). Пространственное распределение соединений фосфора в почвах связано, прежде всего, с минералогическим составом горных пород, что, зависит от истории формирования рельефа территории. Установлено, что при содержании в почве подвижного фосфора в

количестве 130-160 мг/кг яровой рапс удовлетворяет свои потребности в этом минеральном элементе на 70-80 %. Исходная величина этого показателя определяет полное удовлетворение потребностей масличных культур в фосфоре без дополнительного внесения с удобрениями (Кураченко и др., 2019).

Таблица 5 – Статистические параметры пространственного распределения агрохимических свойств агрочерноземов (n=10), мг/кг

Показатель	Слой, см	Статистический показатель			
		$X \pm S_x$	min	max	$C_v, \%$
<i>Пробная площадь № 1</i>					
Нитратный азот, мг/кг	0-20	7,8±2,0	4,9	11,2	26
	20-40	7,1±1,5	4,6	9,6	21
Аммонийный азот, мг/кг	0-20	9,3±1,1	7,3	11,3	12
	20-40	10,2±1,7	8,0	13,5	16
Подвижный фосфор, мг/кг	0-20	307,1±37,2	250,0	359,0	12
	20-40	295,0±43,3	253,0	371,0	15
Обменный калий, мг/кг	0-20	76,0±11,9	58,9	94,6	16
	20-40	69,1±5,49	61,8	79,1	17
<i>Пробная площадь № 2</i>					
Нитратный азот, мг/кг	0-20	5,0±1,7	3,5	9,4	34
	20-40	5,1±1,6	3,9	9,4	31
Аммонийный азот, мг/кг	0-20	8,5±0,8	7,3	9,9	9
	20-40	8,3±1,6	8,0	8,6	19
Подвижный фосфор, мг/кг	0-20	279,4±82,9	98,0	399,0	29
	20-40	282,1±89,0	100,0	409,0	31
Обменный калий, мг/кг	0-20	77,4±10,1	66,2	94,6	13
	20-40	81,2±18,1	66,7	116,3	22

Потребность масличных культур в калии на создание единицы урожая семян в 1,5-2 раза выше, чем у зерновых. Агрочерноземы Канской лесостепи характеризуются средней обеспеченностью обменной формой калия (69-77 мг/кг). Содержание K_2O_5 является варьирующим показателем в пространстве. Величина коэффициента вариации свидетельствует о небольшом и среднем варьировании элемента перед посевом масличных культур ($C_v = 16-29 \%$).

Исследованиями П.С. Бугакова (1981) доказано, что содержание обменного калия в почвах увеличивается к июню и июлю, что, возможно связано с уменьшением влажности почв, повышением температуры почвы и усилением деятельности силикатных бактерий. D. Chatterjee (2014) установлено, что благодаря неравномерности выпадения осадков происходит чередование периодом сильного иссушения почвы и ее обильного смачивания. Это способствует высвобождению и фиксации калия, и, следовательно, сезонной изменчивости содержания его форм.

Таким образом, агрочерноземы Канской лесостепи характеризуются высоким уровнем потенциального плодородия и средним – эффективным плодородия. Имея тяжелый гранулометрический состав, они отличаются рыхлым сложением ($0,77 \text{ г/см}^3$), удовлетворительными запасами почвенной влаги (28-30 мм), высоким содержанием гумуса (6-7 %), низкой обеспеченностью нитратным азотом (5-8 мг/кг), очень высокой – подвижным фосфором (307 мг/кг) и средней – обменным калием (58-66 мг/кг) в слое почвы 0-20 см перед посевом ярового рапса и рыжика посевного. Количественные оценки влажности почв, плотности сложения, содержания и пространственного распределения гумуса, а также подвижных элементов питания в агрочерноземе определяются особенностями структуры почвенного покрова. Комплекс агрочерноземов глинисто-иллювиальных типичных, глинисто-иллювиальных оподзоленных и агрочерноземов криогенно-мицелярных на пробной площади № 2 при снижении запасов продуктивной влаги, содержания гумуса и нитратного азота определил усиление неоднородности пространственного распределения гумуса и продуктивной влаги в слое 0-20 см до 12-23 %, подвижных элементов питания в слое 0-40 см до 29-34%. Такие поля с наличием маломощных видов агрочерноземов лучше использовать под посевы рыжика посевного, так как эта культура является менее требовательной к почвенным условиям, чем яровой рапс (Кураченко и др., 2019).

ГЛАВА 6. ГИДРОТЕРМИЧЕСКИЙ И ПИЩЕВОЙ РЕЖИМ АГРОЧЕРНОЗЕМОВ В ПОСЕВАХ МАСЛИЧНЫХ КУЛЬТУР

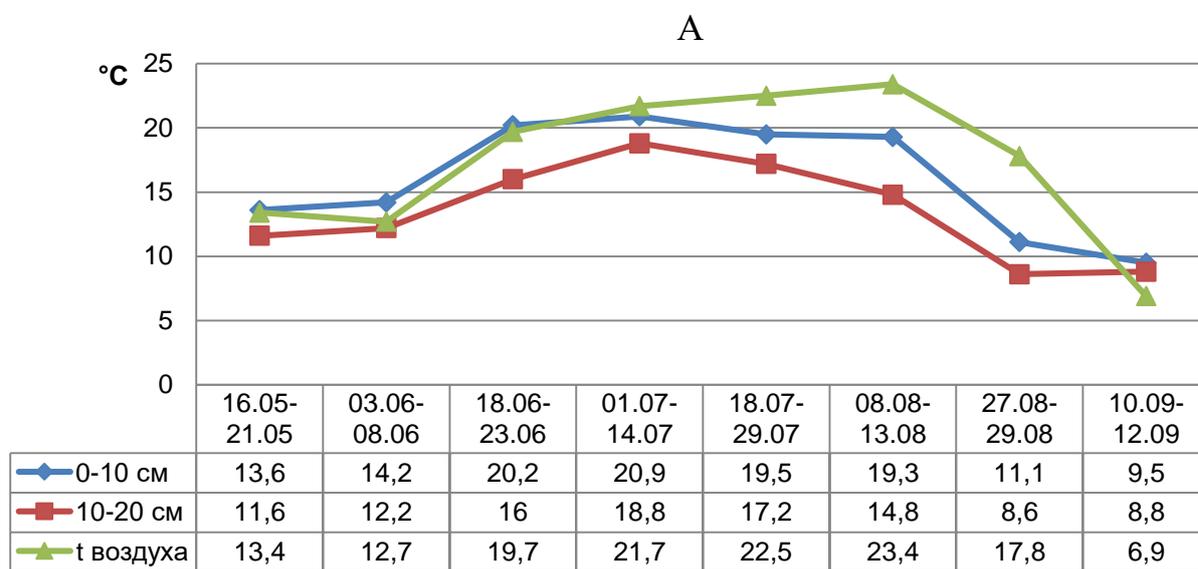
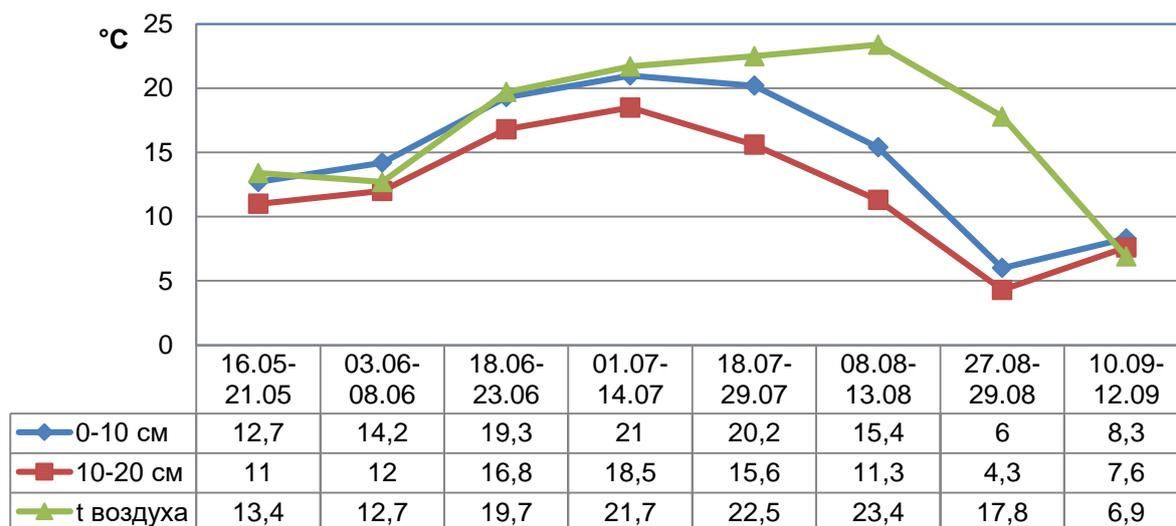
6.1 Температурный режим

Температурный режим почв, оказывая большое влияние на развитие корневых систем растений, жизнедеятельности почвенных микроорганизмов и интенсивность биологических и биогеохимических преобразований в почвах играет определяющую роль в развитии почвообразовательного процесса. Температура почвы оказывает влияние не только на глубину проникновения корней, но и на развитие и питание растений. Жизнедеятельность корневой системы травянистой растительности ограничена как низкими, так и очень высокими температурами почв (Кречетов, 2009).

В соответствии с районированием территории России по температурному режиму почв, проведенному В.Н. Димо (1972), Канская лесостепь отнесена к Западно-Присаянской почвенной провинции. Суммарная солнечная радиация составляет для этой территории 80–100 ккал/см²-год, величина радиационного баланса равна 20 ккал/см²-год. Эти показатели существенно ниже по сравнению с лесостепной зоной Западно-Сибирской Предалтайской провинции и свидетельствуют о напряженном температурном режиме черноземов Канской лесостепи (Кураченко и др., 2019). Климатические условия земледельческой части Красноярского края обуславливают довольно глубокое промерзание черноземов. По классификации температурного режима почв (Димо, 1972), земледельческая часть Красноярского края относится к длительно-сезоннопромерзающему типу. Среднегодовая температура почвы в лесостепи 2,7 °С. Небольшая мощность снежного покрова (20-40 см) в лесостепях приводит к длительному и глубокому промерзанию почв. На открытых участках до 2,5-3,5 м в течение 9-10 месяцев, а под лесом – до 2 м на протяжении 7-8 месяцев (Верещенко, 1961). По данным П.И. Крупкина (2002), оттаивание черноземов Канской лесостепи сверху начинается во второй декаде апреля. В третьей декаде

этого месяца фиксируются устойчивые положительные температуры на глубине 20 см.

Исследованиями установлено, что агрочерноземы Канской лесостепи в период посева масличных культур характеризуются температурой, варьирующей на глубине 0-20 см, от плюс 11 до плюс 13 °С, что обусловлено температурой в приземном слое атмосферы (рис. 4).



Б

Рисунок 4 – Динамика температуры агрочерноземов в посевах рапса (А) и ржи посевного (Б) (2019-2020 гг.), °С

От мая к июню температура почвы на глубине 0-20 см постепенно повышается до плюс 16-20 °С. В июльский период поверхность почвы в посевах масличных культур прогревается до плюс 18-21 °С. К августу масличные

культуры имеют мощную фитомассу, в этот период агрочерноземы быстро охлаждаются. В посевах ярового рапса и рыжика посевного отмечается снижение температуры почвы до плюс 4-11 °С и отставание на 6-13 °С от температуры воздуха. В сентябре температура почвы 0-20 см слоя составляла плюс 7-9 °С по полям.

Различный ход температуры 0-20 см слоя агрочерноземов в период май-сентябрь отразился на среднестатистических величинах параметра (табл. 6). Установлено, что слой почвы 0-10 см прогревается на 2-3 °С больше, чем слой 10-20 см. При отсутствии достоверных отличий в температурном режиме почвы в посевах масличных культур определено, что 0-20 см слой агрочернозема в агроценозе рыжика посевного в среднем на 2 °С теплее (15 °С), чем в посевах ярового рапса (13 °С). Исследованиями установлено, что агроценоз ярового рапса и рыжика посевного в слоях почвы 0-20 см характеризуется средней вариабельностью ($C_v = 28-38\%$) (Кураченко и др., 2019; Казанов, 2020).

Таблица 6 – Статистические параметры температуры 0-20 см слоя агрочерноземов в период май-сентябрь, °С (2019-2020 гг.)

Глубина, см	Статистические параметры			
	$X \pm S_x$	min	max	$C_v, \%$
<i>рапс</i>				
0-10	14,6±5,5	6,0	21,0	38
10-20	12,1±4,7	4,3	18,5	39
<i>рыжик</i>				
0-10	16,0±4,7	9,5	20,9	29
10-20	13,5±3,8	8,6	18,8	28
<i>p₀₋₁₀</i>	0,585			
<i>p₁₀₋₂₀</i>	0,536			

Следует отметить, что температура полей контролировалась влажностью почвы, что подтверждается сильной и средней зависимостью между показателями ($r = 0,67 \dots -0,41$). Плотность сложения в период посева ярового рапса также достоверно определяет пространственную неоднородность температурного поля

($r = -0,86$). Ход сезонной динамики температуры 0-20 см слоя почвы в большей степени определяется температурой приземных слоев атмосферы ($r = 0,62 \dots 0,93$).

Таким образом, среднесезонная температура агрочернозема в посевах рыжика посевного характеризуется более высокими значениями. В вегетационные периоды 2019-2020 гг. почва в посевах ярового рапса прогревалась в среднем до 14 °С, а в агроценозе рыжика посевного до 16 °С. Исследованиями П.И. Крупкина (2002) доказано, что температурный режим черноземов в разные годы на одном и том же поле не одинаковый и зависит главным образом от погодных условий.

6.2 Водный режим и баланс влаги в агрочерноземе

Непосредственное влияние на рост и развитие рапса оказывают многие показатели плодородия почвы, важнейшим из которых является влагообеспеченность (Моисеев, Ерёмин, 2012; Золотухин, Потаракин, 2018). Степень увлажнения почвы в посевах рапса определяет пищевой, воздушный, тепловой режимы и все биологические процессы, происходящие в почве. Многие почвенные процессы и сезонные явления или протекают в жидкой фазе почвы, или связаны с ней самым тесным образом. Степень доступности минеральных и органических веществ в жидкой фазе почвы и самой воды обуславливают состояние растений и их продуктивность. Повышенная требовательность рапса к влаге требует создания благоприятных условий для его произрастания и обеспечения максимально возможного использования растениями влаги из почвы (Graefetall, 2007). Главное агрономическое значение ярового рыжика заключается в его пластичности к природным условиям, он способен произрастать в широком диапазоне гидротермических условий (Прахова, 2018).

Влагообеспеченность растений определяется метеорологическими условиями, способами обработки почвы, особенностями возделывания культур и другими условиями. В результате проникновения в почву атмосферных осадков, накопления их в толще почвы в силу водоудерживающей способности,

перераспределения воды под влиянием сорбционных и капиллярных явлений, а также процессов испарения воды из почвы, в ней в каждый момент сохраняется определенное количество влаги, которое и характеризует влажность почвы. Влажность почвы непрерывно меняется во времени (Кураченко, 2015).

С водой в растения поступают и питательные вещества в виде макро- и микроэлементов, которые при иссушении почвы, при недостатке влаги становятся недоступными для растений. Растения используют почвенную влагу для охлаждения листовой поверхности и поступления элементов питания, растворенных в почвенном растворе.

При недостатке влаги в почве и высокой температуре в период вегетации, растения слабо развиваются, часто отсутствует вторичная корневая система, вследствие чего формируется низкий урожай. В отдельные острозасушливые годы зерновые культуры при недостатке почвенной влаги гибнут. Наличие в почве продуктивной влаги и элементы минерального питания растений являются основным фактором получения стабильных урожаев зерна хорошего качества (Долгов, 1979).

Профили влажности агрочернозема, отражающие распределение влаги в почве за период май-сентябрь (для одного числа каждого месяца) в вегетационный сезон 2019 года, показали иссушение 0-30 см слоя почвы в период от начала роста стеблей (18 июля) до полного созревания (29 августа) ярового рапса (рис. 5). Влажность почвы в процентах от её объема варьировала от 20 до 24 %. Такие значения составляют 52 % от НВ, что ниже оптимальных значений ВРК (65-70 % от НВ) и свидетельствует о дефиците влаги. Извлечение влаги из почвы растениями, среди прочих факторов, зависело от запасов подземного растительного вещества. В пик интенсивного прироста надземной фитомассы ярового рапса, приходящегося на июльский период, запасы корней ярового рапса в слое 0-20 см составляют 1,56 т/га, в слое 20-40 см – 0,94 т/га (Кураченко и др., 2019). В вегетационный период 2020 года отмечено пополнение влагой 0-20 см слоя и иссушение 20-40 см слоя почвы в период от начала (29 июля) до полного созревания (10 сентября) ярового рапса (рис.5). Значительное количество осадков

(194 мм), выпавшее в период с третьей декады мая по третью декаду июля, определяют увлажнение 0-10 см слоя почвы. Максимальные запасы корней ярового рапса в 0-40 см слое почвы июльского периода (1,46-1,04 т/га) определяют интенсивное потребление влаги из пахотного горизонта.

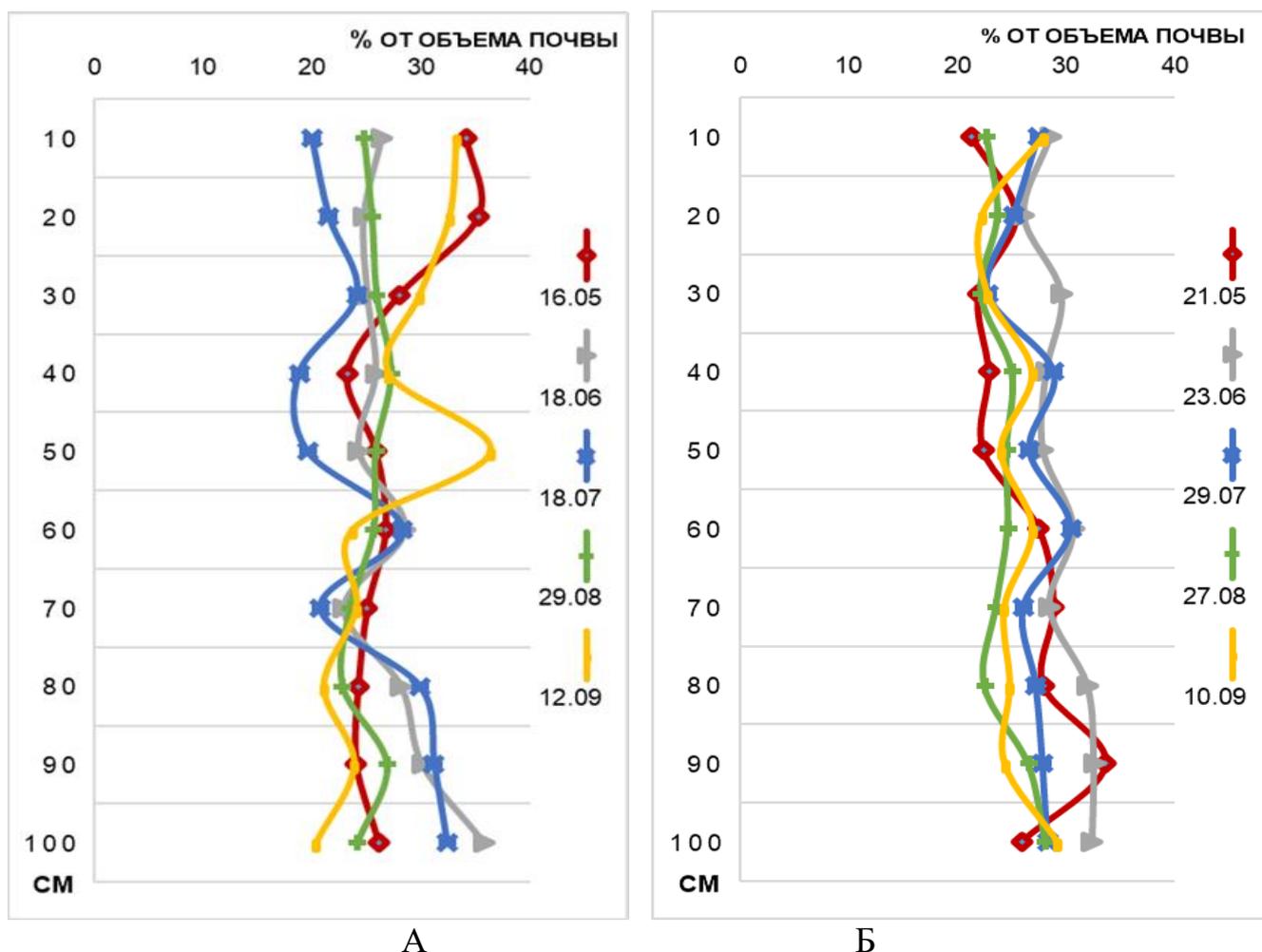


Рисунок 5 - Профили влажности агрочернозема под посевами ярового рапса: А – 2019 г. (по занятому пару); Б – 2020 г. (по чистому пару), %

Исследованиями установлено, что профили влажности агрочернозема при возделывании рыжика посевного в 2019 году показывают иссушение 0-10 и 10-20 см слоя (рис. 6). Влажность 0-40 см слоя профиля агрочернозема в 2020 году в посевах рыжика изменяется в пределах 20-30 % от объема почвы. Во втором полуметре количество влаги увеличивается, достигая диапазона 23-35 %. В пахотном слое почв происходит наиболее интенсивный тепло-, влагообмен, что зачастую приводит к его иссушению. Обильные осадки до фазы образования розетки листьев рыжика не способствуют накоплению влаги в 0-20 см слое почвы.

Повышенный температурный фон и физическое испарение влаги являются этому причиной.

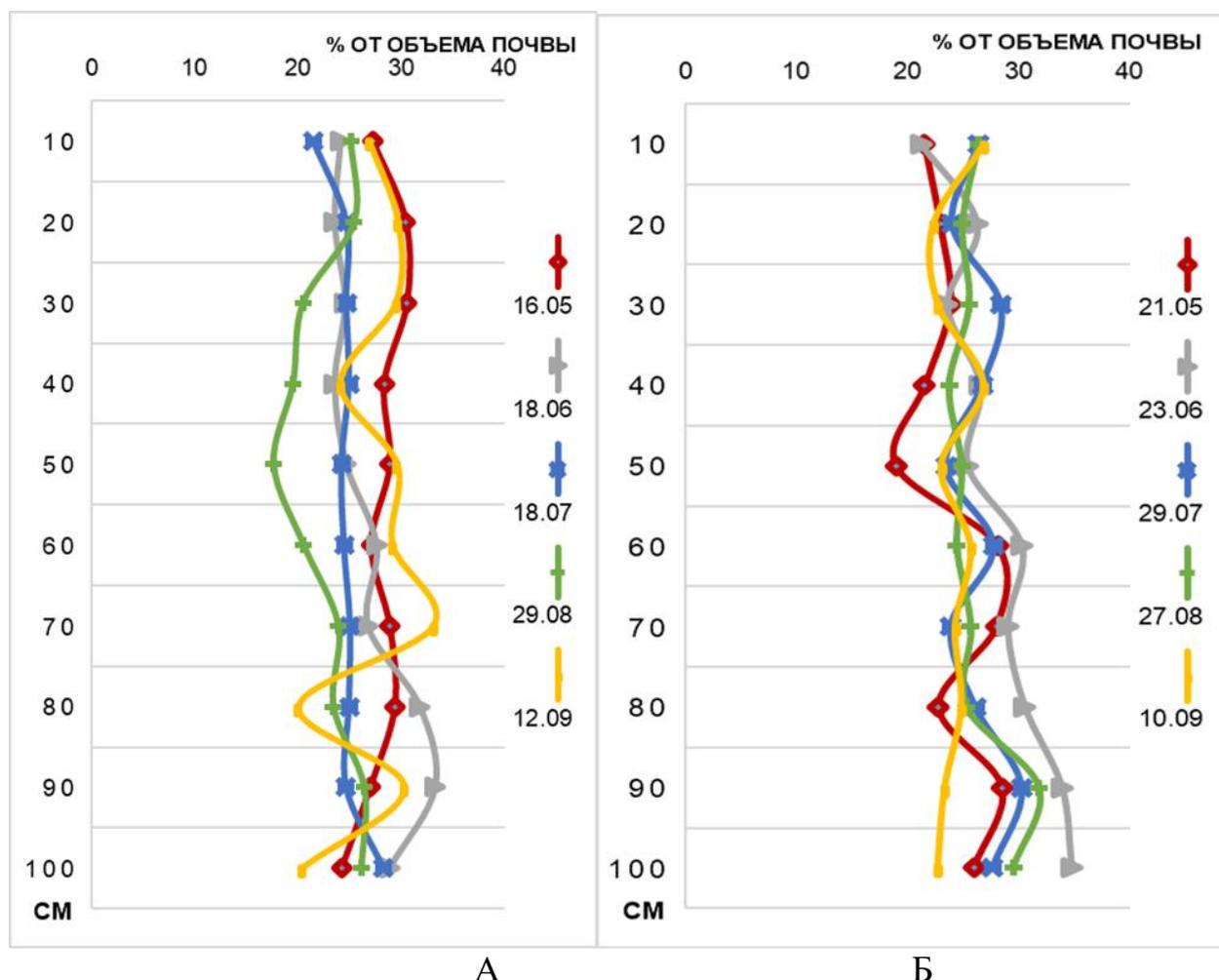


Рисунок 6 - Профили влажности агрочернозема под посевами рожьки посевного: А – 2019 г. (по занятому пару); Б – 2020 г. (по чистому пару), %

Количество влаги, поступающее в почву, не адекватно сумме атмосферных осадков, особенно в период снеготаяния. В областях с накоплением снега и промерзанием почв количество впитавшейся в почву влаги зависит от влажности почвы, её водопроницаемости, глубины и степени промерзания и оттаивания почв, наличия оттепелей в течение зимы, запаса воды в снеге, «дружности» снеготаяния, рельефа, характера растительности. Летние осадки также не полностью поступают в почву, так как это зависит от продолжительности и интенсивности дождя, степени иссушения почвы и её водопроницаемости, растительности, рельефа (Базыкина, 2010).

Водный режим агрочернозема, функционирующий в посевах ярового рапса, определяемый почвенными условиями, биологическими особенностями растений и метеорологическими параметрами, в целом удовлетворительный в метровом слое (табл. 7). Так, во второй декаде мая и сентября в вегетационный период 2019 года в метровом слое почвы накапливается по 122 мм продуктивной влаги, что соответствует удовлетворительной влагообеспеченности. Исследованиями Н.Л. Кураченко с соавт. (2015) установлено, что решающее влияние на величину основных запасов влаги оказывают осадки осеннего и зимнего периодов. Многолетними исследованиями Л.С. Шугалей (1969) установлено, что запасы влаги в лесостепных черноземах Красноярского края формируются большей частью за счет осадков осени. Исследования показывают, что удовлетворительная влагообеспеченность метрового слоя почвы (122-95 мм), как правило, сохраняется до полного созревания семян ярового рапса (прил. 4). Исключение составила первая декада августа, когда запасы продуктивной влаги уменьшаются в два раза (65 мм), что обусловлено интенсивным потреблением влаги культурой и небольшим количеством выпавших осадков к этому периоду (Кураченко и др., 2019). Водный режим пахотных агрочерноземов Канской лесостепи в вегетационный период 2020 года зависит от весенней увлажненности и погодных условий летом (табл.7). Исследованиями установлена недостаточная водонасыщенность почвенного профиля агрочерноземов весной перед посевом ярового рапса, в третьей декаде мая в метровом слое почвы накапливается 107 мм продуктивной влаги, что соответствует удовлетворительной влагообеспеченности. Запасы продуктивной влаги в слое почвы 0-20 см в этот период оцениваются как плохие (16 мм), что обусловлено интенсивным физическим испарением влаги в весенний период на фоне высоких атмосферных температур. Интенсивные осадки преимущественно ливневого характера определяют пополнение запасов продуктивной влаги в почве в начале вегетации культуры. Хорошая влагообеспеченность (150 мм) метровой толщи почвы и удовлетворительная корнеобитаемого слоя (20-30 мм) сохраняется в посевах ярового рапса до начала его созревания. Удовлетворительная

влагообеспеченность метрового слоя почвы (93-103 мм) проявляется до полного созревания семян ярового рапса. Исключение составляет первая декада августа, когда запасы продуктивной влаги уменьшились до 82 мм, что обусловлено интенсивным потреблением влаги культурой и небольшим количеством выпавших осадков к этому периоду.

Таблица 7 – Динамика запасов продуктивной влаги в агрочерноземе под яровым рапсом, мм

Мощность слоя, см	Запасы продуктивной влаги, мм							
	16.05	03.06	18.06	01.07	18.07	08.08	29.08	12.09
<i>2019 г.</i>								
0-20	38,9	13,7	20,5	17,6	10,9	9,3	19,7	35,3
0-50	72,3	41,4	51,7	50,9	29,3	29,3	54,7	84,7
50-100	50,0	66,1	69,4	67,7	66,1	35,2	47,5	37,0
0-100	122,3	107,5	121,1	118,6	95,4	64,5	102,2	121,7
Осадки, выпавшие между сроками, мм	-	16	24	84	38	27	48	26
<i>2020 г.</i>								
Мощность слоя, см	21.05	08.06	23.06	14.07	29.07	13.08	27.08	10.09
0-20	16,2	20,5	24,1	29,5	22,0	8,6	15,9	19,7
0-50	39,6	62,2	65,8	67,6	54,4	36,7	43,9	49,7
50-100	67,3	87,4	79,6	65,0	65,4	45,3	48,9	67,3
0-100	106,9	149,6	145,4	132,6	119,8	82,0	92,8	103,0
Осадки, выпавшие между сроками, мм	-	60	35	99	36	8	22	37

Осадки летнего периода пополняют запасы продуктивной влаги в 0-20 см слое агрочернозема. От всходов ярового рапса до его созревания отмечается удовлетворительная влагообеспеченность корнеобитаемого слоя. В период образования стручков у ярового рапса и созревания семян (с августа по сентябрь) запасы продуктивной влаги в 0-20 см слое составляют 9-20 мм и оцениваются как плохие. Перед посевом рыжика посевного в вегетационный сезон 2019 г. в метровом слое почвы накапливается 101 мм продуктивной влаги, что соответствует удовлетворительной влагообеспеченности (табл. 8). Запасы продуктивной влаги в корнеобитаемом слое в этот период составляют 31 мм

(прил. 4). Начало вегетации культуры сопровождается удовлетворительными запасами влаги в метровой толще (120-121 мм). В период цветения рыжика посевного отмечена хорошая обеспеченность агрочерноземов в слое 0-100 см (151 мм), и удовлетворительная в слое 0-20 см (23 мм). Удовлетворительная влагообеспеченность сохраняется до конца вегетации культуры (84-98 мм).

Динамика запасов продуктивной влаги в посевах рыжика посевного в 2020 году имеет схожую направленность, но меньшую количественную оценку (табл.8). Плохие запасы продуктивной влаги перед посевом рыжика посевного (91 мм) сменяются на удовлетворительные в течение вегетации культуры (107-127 мм).

Таблица 8 - Динамика запасов продуктивной влаги в агрочерноземе под рыжиком посевным, мм

Мощность слоя, см	Запасы продуктивной влаги, мм							
	2019 г.							
	16.05	03.06	18.06	01.07	18.07	08.08	29.08	12.09
0-20	30,7	22,4	20,2	22,9	16,5	14,4	24,4	26,0
0-50	51,5	66,2	57,5	61,7	42,7	24,9	40,3	65,3
50-100	49,6	55,2	62,9	89,3	56,1	43,1	44,6	49,6
0-100	101,1	121,4	120,4	151,0	98,8	68,0	84,9	121,7
Осадки, выпавшие между сроками, мм	-	16	24	84	38	27	48	26
2020 г.								
Мощность слоя, см	21.05	08.06	23.06	14.07	29.07	13.08	27.08	10.09
0-20	13,8	13,6	12,6	17,4	19,9	21,2	17,3	18,7
0-50	34,2	58,6	44,4	53,3	54,8	47,0	43,4	34,2
50-100	56,8	62,0	82,1	68,4	59,4	59,8	60,2	41,7
0-100	91,0	120,6	126,5	121,7	114,2	106,8	103,6	75,9
Осадки, выпавшие между сроками, мм	-	60	35	99	36	8	22	37

До фазы образования розетки листьев запасы продуктивной влаги в 0-20 см слое почвы характеризуются как плохие (14 мм). Интенсивное развитие культуры, сопровождающееся образованием вегетативной зеленой массы, формирование стручков и созреванием семян, проходит на фоне удовлетворительных запасов продуктивной влаги в поверхностном слое почвы (17-20 мм). Подобная

закономерность обусловлена меньшим требованием рыжика посевного по сравнению с яровым рапсом к условиям влагообеспеченности. Главное агрономическое значение рыжика посевного заключается в его пластичности к природным условиям, он способен произрастать в широком диапазоне гидротермических условий, и отличается засухоустойчивостью (Прахова, 2019; Тулькубаева, 2017; Казанов, 2020).

Исследованиями установлено, что интенсивное расходование продуктивной влаги в посевах ярового рапса в вегетационный период 2019 года происходит, в основном, из слоя 0-50 см ($C_v = 38 \%$), и в меньшей степени из слоя 50-100 см ($C_v = 26 \%$). Максимальная сезонная изменчивость запасов влаги отмечается в верхних слоях почвы. Динамические изменения запасов продуктивной влаги в пахотном слое оцениваются как высокие с коэффициентом сезонного варьирования 53 % (табл. 9).

Таблица 9 – Статистические показатели запасов продуктивной влаги в агрочерноземе в посевах ярового рапса, мм

Статистический показатель	Слой почвы, см			
	0-20	0-50	50-100	0-100
<i>2019 г. (n=8)</i>				
<i>X_{ср}</i>	20,7	51,8	54,9	106,7
<i>S_x</i>	10,9	19,4	14,2	19,8
<i>Min</i>	9,3	29,3	35,2	64,5
<i>Max</i>	38,9	84,7	69,4	122,3
<i>C_v, %</i>	53	38	26	26
<i>2020 г. (n=8)</i>				
<i>X_{ср}</i>	19,6	52,5	65,7	116,5
<i>S_x</i>	6,2	11,9	13,9	24,6
<i>Min</i>	8,6	36,7	45,3	82,0
<i>Max</i>	29,5	67,6	87,4	149,6
<i>C_v, %</i>	32	23	21	21

В вегетационный период 2020 года в посевах ярового рапса расход влаги происходит из слоя 0-20 см со средним коэффициентом варьирования 32 %. Небольшое потребление влаги отмечается во втором полуметре ($C_v = 21 \%$).

Динамические изменения запасов продуктивной влаги в посевах рыжика посевного в вегетационный период 2019 года оцениваются в метровой толще агрочернозема как средние ($C_v = 23-28 \%$), в 2020 году – как небольшие ($C_v = 16-20 \%$) (табл. 10).

Таблица 10 – Статистические показатели сезонной динамики запасов продуктивной влаги в агрочерноземе в посевах рыжика посевного, мм

Статистический показатель	Слой почвы, см			
	0-20	0-50	50-100	0-100
<i>2019г. (n=8)</i>				
<i>X_{ср}</i>	22,2	51,3	56,3	108,4
<i>S_x</i>	5,2	14,4	14,8	25,7
<i>Min</i>	14,4	24,9	43,1	68,0
<i>Max</i>	30,7	66,2	89,3	151,0
<i>C_v, %</i>	23	28	26	24
<i>2020 г. (n=8)</i>				
<i>X_{ср}</i>	16,8	46,2	61,3	107,5
<i>S_x</i>	3,2	9,1	11,3	17,1
<i>Min</i>	12,6	34,2	41,7	75,9
<i>Max</i>	21,2	58,6	82,1	126,5
<i>C_v, %</i>	19	20	18	16

Влагообеспеченность посевов ярового рапса, оцениваемая по количеству продуктивной влаги в почве ко времени посева в вегетационные периоды 2019-2020 гг. имеет близкие величины и составляет в слое 0-50 см – 299-309 мм по годам, 0-100 см – 359-367 мм (табл. 11). Анализ расхода влаги на формирование урожая ярового рапса показал, что наибольшее потребление воды культурой происходит из верхнего 0-50 см слоя почвы преимущественно за счет летних осадков (88-92 % по годам), и имеет близкие значения по годам. Так, в 2019 г. водопотребление оценивается величиной 257 мм, в 2020 г. - 256 мм. Эвапотранспирационный расход влаги рапсом из метрового слоя агрочернозема находится на уровне 257 мм в 2019 г., в 2020 г. - 274 мм. Средний расход влаги на формирование 1 т семян рапса при урожайности 1,0 т/га в 2019 году составляет 257 мм, в 2020 году при урожайности 2,6 т/га - 105 мм.

Таблица 11 – Баланс влаги в агрочерноземе в посевах рапса

Мощность слоя, см	Запасы продуктивной влаги в почве, мм		Сумма осадков за период вегетации, мм	Суммарный приход влаги, мм	Эвапотранспирационный расход влаги, мм		
	в начале вегетации	в конце вегетации			за счет запасов в почве	за счет летних осадков	всего
<i>2019 г.</i>							
0-50	72,3	54,7	237	309,3	30,6	224,0	254,6
50-100	50,0	47,5		50,0	2,5	0	2,5
0-100	122,3	102,2		359,3	33,1	224,0	257,1
<i>2020 г.</i>							
0-50	39,6	43,9	260	299,6	17,7	238,0	255,7
50-100	67,3	48,9		67,3	18,4	0	18,4
0-100	106,9	92,8		366,9	36,1	238,0	274,1

В посевах рыжика посевного влагообеспеченность агрочернозема по годам исследований составляет в слое 0-50 см 288-294 мм, 0-100 см – 338-363 мм (табл. 12).

Таблица 12 – Баланс влаги в агрочерноземе в посевах рыжика посевного

Мощность слоя, см	Запасы продуктивной влаги в почве, мм		Сумма осадков за период вегетации, мм	Суммарный приход влаги, мм	Эвапотранспирационный расход влаги, мм		
	в начале вегетации	в конце вегетации			за счет запасов в почве	за счет летних осадков	всего
<i>2019 г.</i>							
0-50	51,5	40,3	237	288,5	24,2	224,0	248,2
50-100	49,6	44,6		49,6	5,0	0	5,0
0-100	101,1	84,9		338,1	29,2	224,0	253,2
<i>2020 г.</i>							
0-50	34,2	43,4	260	294,2	12,8	238,0	250,8
50-100	56,8	60,2		69,4	9,2	0	9,2
0-100	91,0	103,6		363,6	22	238,0	260,0

Наибольшее потребление культурой происходит также, как и в посевах ярового рапса из верхнего 0-50 см слоя почвы, за счет летних осадков (90-95 %).

Эвапотранспирационный расход влаги рыжиком посевным находится на уровне 253-260 мм. Средний расход влаги на формирование 1 т семян рыжика посевного при урожайности 0,9-1,5 т/га составляет 281-173 мм.

Следует отметить, что низкий расход продуктивной влаги в посевах рыжика посевного (5-9 мм) со второго полуметра агрочернозема, по сравнению с рапсом, обусловлен биологическими особенностями рыжика, имеющего менее развитую корневую систему.

Таким образом, агрочерноземы Канской лесостепи, функционирующие в посевах масличных культур, характеризуются удовлетворительными запасами продуктивной влаги в метровом слое в течение вегетационных сезонов. Распределение влаги в профиле почвы свидетельствует об иссушающем действии рапса и рыжика в пахотном и подпахотном слое.

6.3 Запасы растительного вещества

Формирование органического вещества в агрочерноземах зависит от множества факторов, главными из которых являются процессы образования запасов растительных остатков. Накопление в почвах растительных остатков, в свою очередь, зависит от биологических особенностей возделываемых культур, их химического состава, технологии возделывания и приемов интенсификации, которые в современном сельскохозяйственном производстве сопровождаются применением стимуляторов роста и средств защиты растений (Вафина, 2014; Саскевич, 2015; Григорьев, 2018). Продукционный процесс в агроценозах разных ландшафтно-климатических зон более тесно связан с гидротермическими условиями и зависит от особенностей возделываемых культур.

Преимуществом масличных культур является их высокая агрономическая ценность как предшественника в севообороте, заключающаяся в выполнении средообразующей и фитосанитарной роли, что особенно важно для современного сельского хозяйства (Smulikwska, 2003; Graf, 2004; Сатубалдин, 2004; Finlayson, 2016; Кураченко, 2021). Эти культуры оставляют после себя до 4,0 т/га

растительных остатков, разрыхляют почву, улучшая её структурное состояние, уменьшают засоренность полей. Корневая система масличных культур, проникая в подпахотный слой, выносит на поверхность питательные вещества (Тошкина, Бевз, 2019; Агафонов и др., 2020).

Практически во всех экосистемах на долю растений приходится от 92 до 99 % от всего живого органического вещества (Базилевич и др., 1986;2003). На формирование запасов растительного вещества влияют природно-климатические и погодные условия, влажность почвы и запасы питательных элементов. По мнению И.И. Судницына (1979) и Л.С. Шугалей (2002), в растительном сообществе влияние на почву оказывает, непосредственно, и само растение. Воздействие идет за счет опада, жизнедеятельности корней, их отмирания, проникновения вглубь почвы (Карпачевский, 1994), влагопотребления, потребления элементов питания.

Все растительные остатки попадают на поверхность почвы или внутрь почвенного профиля и участвуют в процессе почвообразования. Возделывание высокопродуктивных капустных масличных культур позволит увеличить поступление в почву растительных остатков как в течение вегетации за счет частичного отмирания надземных органов растений, так и после уборки семян за счет пожнивных остатков и мощных корневых систем растений.

Органические остатки растительного происхождения (мортмасса) представлены неразложившимся или полуразложившимся материалом из остатков растений, попавших на почву за текущий сезон и в течение прошлых лет. К мортмассе можно отнести и запасы ветоши - отмершие пожелтевшие части растений (Чупрова, 2001).

Многообразие отмершего растительного вещества на поверхности почвы формирует подстилку. Подстилка представляет собой продукт взаимодействия растительного вещества и почвы. Она способствует накоплению в почве органических веществ, оказывает большое влияние на водный, температурный режимы в верхнем корнеобитаемом слое, выполняет почвозащитную и противозерозионную функцию. Запас подстилки тесно связан с количеством опада

возделываемой культуры. Разложение подстилки происходит в любое время года, при благоприятной температуре почвы и влажности (Безкорвайная, Вишнякова, 1996; Ведрова, 1997; Власенко, 2005).

Мертвые и полуразложившиеся подземные органы, а также надземные части растений, которые попали в почву представляют собой подземную мортмассу. Ее главная функция в почве – хранилище элементов питания. В составе подземной мортмассы особенно важна роль тонких корней <1 мм (Орлов, 1966). Это связано с тем, что они легче подвергаются разложению, а также находятся в непосредственной близости к почвенным животным и микроорганизмам, участвующим в процессах разложения (Наумов, Наумова, 1993). В состав подземной мортмассы могут входить корневые чехлики, фрагменты тканей и клетки, отделяющиеся от корней (Титлянова, 1991; Тейт, 1991).

Н.И. Базилевич (1993), О.А. Власенко с соавторами (2019) показано, что динамика запасов растительного вещества в агроценозах зависит генетической природы культур, погодных условий, обеспеченности почвы запасами влаги и питательных элементов.

Поступающие в почву растительные остатки всех без исключения сельскохозяйственных культур подвергаются сложным процессам превращения, в результате которых часть из них разрушается до простых минеральных соединений, а часть участвует в следующей стадии преобразований – в процессе гумификации и формирования запасов гумуса (Никитин, 2017).

Растительные остатки имеют огромное значение для поддержания плодородия пахотных почв. Это первоисточник органического вещества в почве, которое образуется благодаря процессам гумификации, а также источник элементов минерального питания растений, которые высвобождаются в процессах минерализации. Пожнивные остатки в пахотных горизонтах способствуют разуплотнению и оструктуриванию почвы, предохраняют почву от избыточного испарения, улучшают активность микроорганизмов, при этом происходит накопление биогенных элементов, улучшаются физические, водно-физические и

биологические свойства черноземов (Сергеев, 2010; Кураченко, 2015; Власенко, 2019).

По мнению А.А. Титляновой (1996), растительное вещество, сосредоточенное в фитомассе надземной (зеленая фитомасса, ветошь, подстилка) и подземной (живые и мертвые подземные органы), дает основной материал, из которого формируется органическое вещество почв. Запасы растительных остатков являются важнейшим источником воспроизводства почвенного органического вещества. В.В. Чупровой (2017) доказано, что пул водорастворимого органического вещества увеличивается в почвах с более высокими запасами растительных остатков. Уменьшение поступления свежих растительных остатков приводит к снижению запасов водорастворимого органического вещества.

Исследованиями, проведенными в агроценозах ярового рапса и рыжика посевного, установлен схожий характер динамики надземного растительного вещества по годам (рис. 7, 8). Его общая закономерность - постепенное увеличение фитомассы по мере созревания культуры. Максимальный общий запас надземного растительного вещества в агроценозах масличных культур отмечен в августе. В 2019 году он составляет 5,5 т/га, в 2020 году – 8,2 т/га. В агроценозе рыжика 2,9 – 5,8 т/га соответственно. Стоит отметить, что в вегетационный сезон 2020 года запас надземного растительного вещества в агроценозах масличных культур был выше, что связано с избыточным увлажнением вегетационного сезона. Вегетационный сезон 2019 года отличался более засушливыми условиями начала вегетации культур.

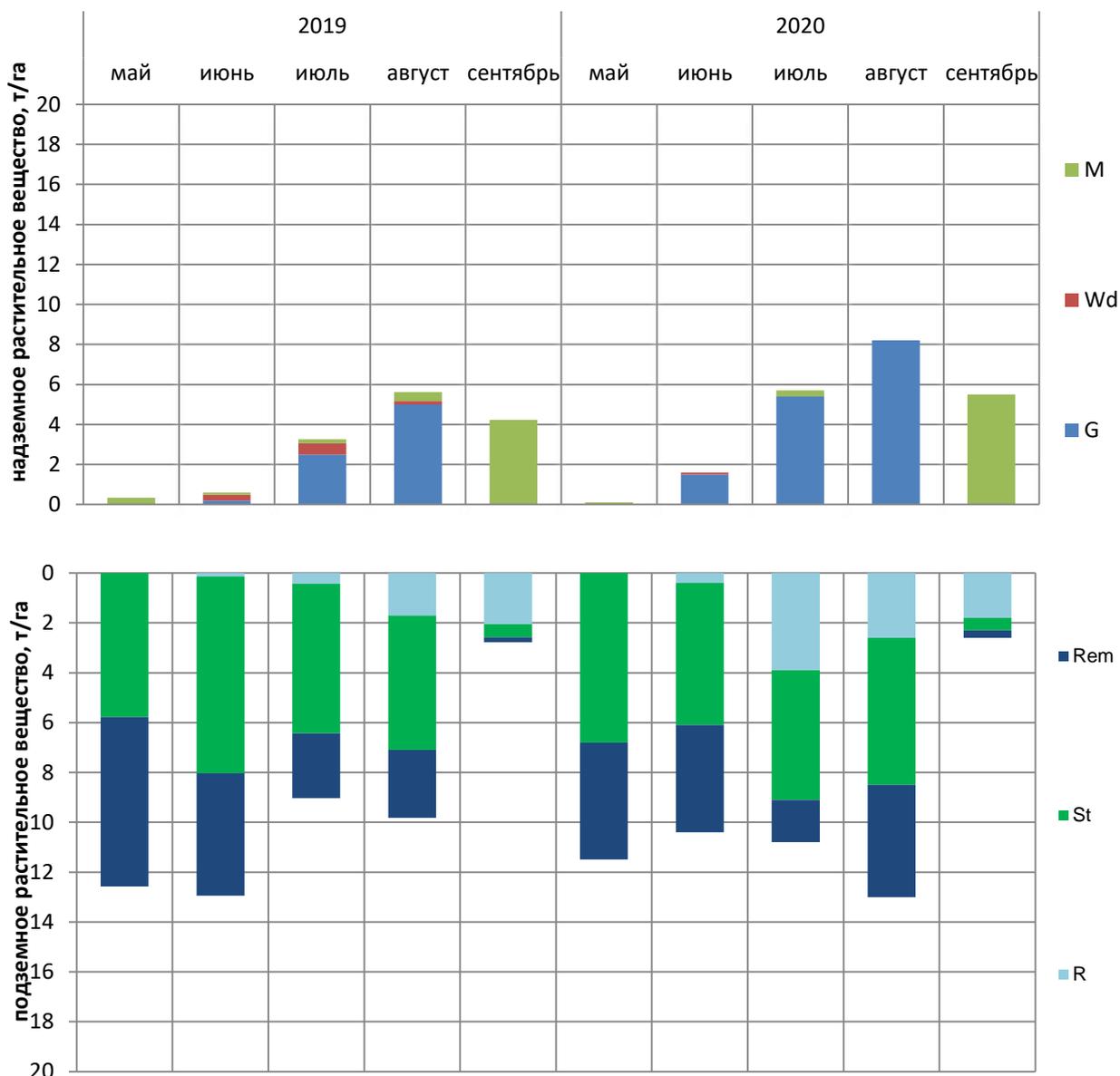


Рисунок 7 – Структура и динамика запасов растительного вещества в агроценозе ярового рапса, т/га. Надземное растительное вещество здесь и далее: G – фитомасса культуры; Wd – фитомасса сорняков; M – надземная мортмасса. Подземное растительное вещество – R – корни культуры; St – крупная мортмасса; Rem – мелкая мортмасса.

Фитомасса сорняков во многом зависит от проведенных гербицидных обработок и биологических особенностей культуры. Известно, что масличные культуры, имея мощную фитомассу в течение вегетации «подавляют» развитие сорных растений. Исследованиями установлено, что в агроценозе ярового рапса в вегетационный сезон 2019 года фитомасса сорняков в период всходов составляет 0,3 т/га, к августу – 0,1 т/га. К концу вегетации культур в составе надземной

мортмассы не было остатков сорных культур. В агроценозе рыжика посевного – 0,1-0,7 т/га соответственно. В вегетационный сезон 2020 года в посевах масличных культур было небольшое количество фитомассы сорных растений. В агроценозе ярового рапса в июне – 0,1 т/га, рыжика посевного – 0,1 т/га в июле. Можно предположить, что это связано с предшественником в виде чистого пара.

Исследованиями установлено, что запас надземной мортмассы увеличивается по мере созревания масличных культур. В вегетационный сезон 2019 года в мае запасы составляют 0,34 т/га перед посевом ярового рапса, перед посевом рыжика посевного – 0,55 т/га, что связано с количеством растительных остатков предшествующей культуры – горохо-овсяной смеси, которые представлены стеблями, листьями и узлами кущения. Этот запас пожнивных остатков постепенно переходит в подземный блок после предпосевной обработки почвы и посева культур (Власенко и др., 2019). В течение сезона запасы составляют 0,1-0,2 т/га в агроценозе ярового рапса, в агроценозе рыжика посевного – 0,2-0,3 т/га. Далее в течение вегетации надземные части растений желтеют, отмирают, опадают на почву, формируя новый запас надземной мортмассы, который к сентябрю увеличивается до 4,2 т/га в посевах ярового рапса, и до 2,5 т/га в посевах рыжика посевного. В вегетационный сезон 2020 года в мае запасы составляют 0,1 т/га по полям, в течение сезона – 0,3-0,4 т/га по полям. После уборки масличных культур в агроценозе ярового рапса они оцениваются величиной 5,5 т/га, рыжика посевного – 2,4 т/га. Таким образом, фитомасса культур занимает значительную долю в структуре надземного растительного вещества агроценозах. Некоторая часть запасов фитомассы отчуждается с урожаем, но большая ее часть измельчается и остается на поверхности, после чего в надземной части агроценозов остаются значительные запасы мортмассы.

Формирование подземной мортмассы является сложным процессом. На него оказывают влияние не только особенности растений, технология их выращивания и погодные условия, но и внутрипочвенные процессы, активность микроорганизмов, запасы растительных остатков прошлых лет и поступление

свежих, которые выполняют роль катализатора для процессов разложения (Чупрова, 2013; Семенов, 2015).

Исследованиями установлено, что в составе подземного растительного вещества преобладает крупная мортмасса. Она представлена растительными остатками предыдущих лет и свежими порциями растительного материала, поступающего с поверхности в течение данного вегетационного сезона. Крупная мортмасса, находясь внутри почвы, претерпевает ряд изменений, связанных с ее перемешиванием и измельчением почвенной мезофауной, а также во время осенней и предпосевной обработки, частичным разложением и переходом в состав мелкой мортмассы. Такая трансформация сказывается на динамике этой фракции в почве. Крупная мортмасса является пластическим материалом для пополнения запасов мелкой мортмассы (Власенко и др., 2019). Динамика ее изменений направлена на постепенное снижение этой фракции к сентябрю. Так, перед посевом ярового рапса в среднем по годам запас мортмассы составляет 6 т/га, в течение вегетации запасы снижаются в среднем до 5,6 т/га. После уборки ярового рапса – 0,5 т/га. Перед посевом рыжика посевного в среднем по годам запасы мортмассы составляют 8,8 т/га. В течение вегетации они варьируют от 5 т/га до 9 т/га. После уборки снижаются до 0,3 т/га.

Мелкая мортмасса является легкодоступным материалом для разложения. Она формируется из крупной мортмассы и корней постепенно, представляя собой частично гумифицированные растительные остатки или так называемое лабильное органическое вещество. Эта фракция может одновременно пополняться за счет новых порций свежего опада, а также активно участвовать в процессах минерализации и гумификации, при этом ее запасы существенно сокращаются (Титлянова, 2003; Власенко, 2015).

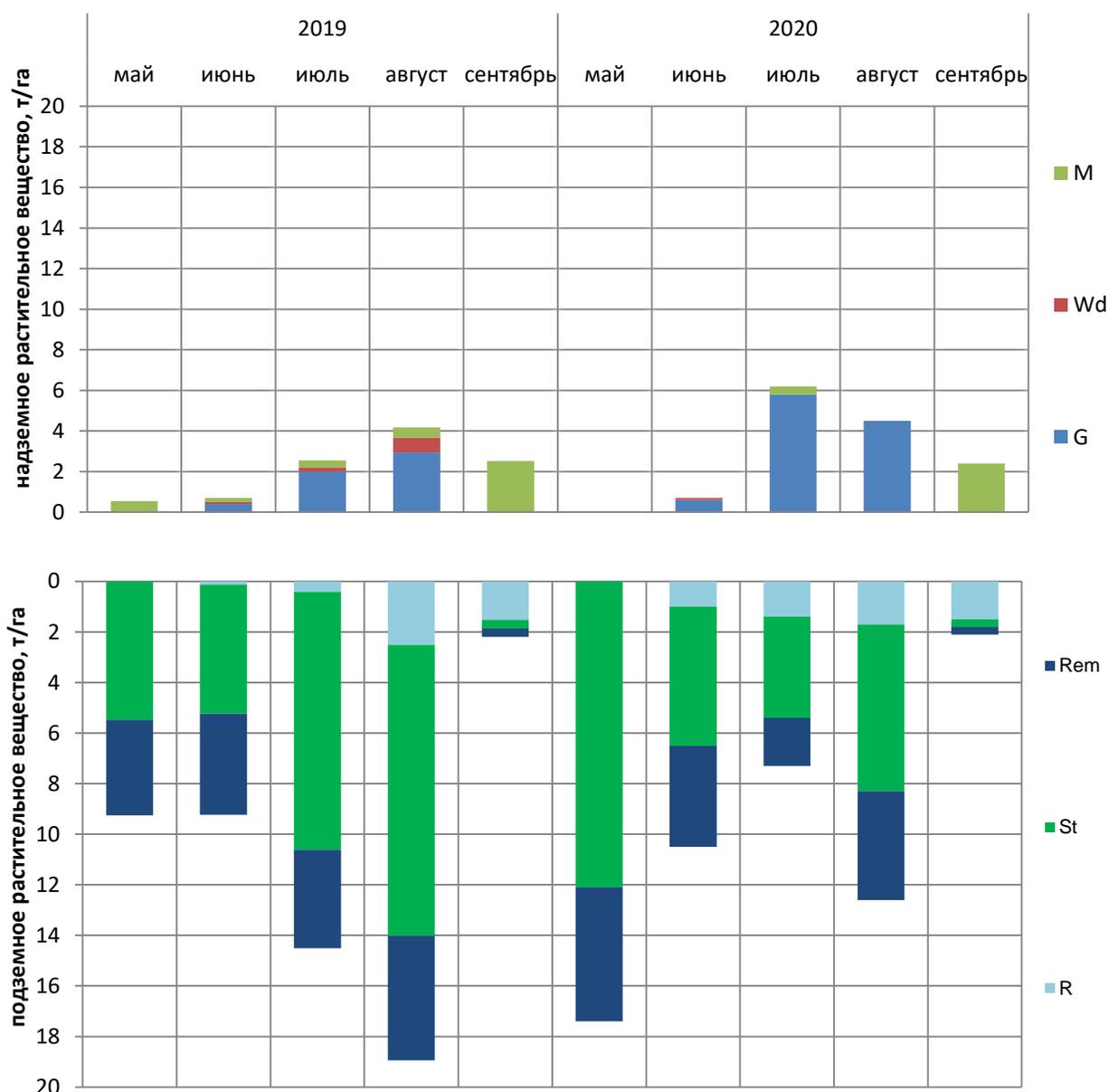


Рисунок 8 – Структура и динамика запасов растительного вещества в агроценозе ярового рыжика, т/га

Исследованиями установлено, что в среднем за вегетационные сезоны 2019-2020 гг. в агроценозе ярового рапса максимальные запасы мелкой мортмассы представлены в майский период – 6 т/га. В течение вегетации запасы имеют тенденцию к постепенному снижению, что связано с разложением и участием в минерализации и гумификации (Сергеев, 2010; Чупрова, 2013; Кураченко, 2022). К концу вегетации ярового рапса запасы мелкой мортмассы составляют в среднем по годам – 0,2 т/га. Перед посевом рыжика посевного в среднем по годам они оцениваются величиной 4,5 т/га, к концу вегетации – 0,3 т/га.

Кроме мортмассы в составе подземного растительного вещества присутствуют корни растений. Формирование запасов корней во многом зависит от биологических особенностей культуры, также от погодных условий. Запасы корней в начале вегетации ярового рапса оцениваются величиной 0,1-0,4 т/га, в посевах рыжика посевного – 0,1 т/га. По мере роста и развития масличных культур запасы корней увеличиваются и становятся максимальными к концу вегетации ярового рапса и рыжика посевного (2 т/га). Существенно снижение запасов корней из-за их отмирания, частичного разложения и перехода в состав подземной мортмассы, отмечены в сентябрьский послеуборочный период. Запасы корней в этот период оцениваются величиной 2 т/га после ярового рапса и 1,5 т/га после уборки рыжика посевного.

Величина ежегодно поступающих в почву растительных остатков определяется интенсивностью продукционного процесса, который зависит от почвенно-климатических условий и агротехнических приемов возделывания полевых культур.

В исследуемых агроценозах в структуре надземного растительного вещества в посевах ярового рапса преобладает фитомасса культуры (77 %) (рис. 9). Фитомасса культур занимает значительную долю в структуре надземного растительного вещества агроценозах. Некоторая часть запасов фитомассы отчуждается с урожаем, но большая ее часть измельчается и остается на поверхности, после чего в надземной части агроценозов остаются значительные запасы мортмассы. На долю надземной мортмассы в среднем приходится – 17 %. На фитомассу сорняков – 6 %. В структуре запасов подземного растительного вещества доля корней в посевах ярового рапса составляет 38 %. Корни культур играют очень важную роль в формировании запасов крупной и мелкой мортмассы, а также гумусовых веществ почвы. В агроценозе ярового рапса на долю крупной мортмассы приходится в среднем 24 %. На долю мелкой мортмассы приходится 39 %.

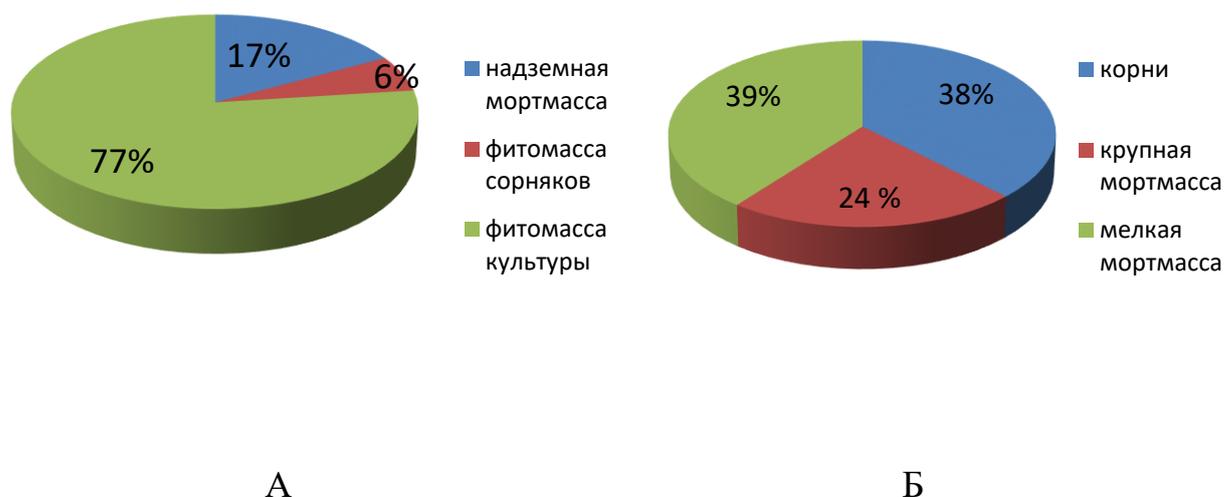


Рисунок 9 – Структура запасов надземного (А) и подземного (Б) растительного вещества в агроценозе ярового рапса (2019-2020 гг.), %

Исследованиями установлено, что в структуре надземного растительного вещества в посевах рыжика посевного также преобладает фитомасса культуры (75 %), на долю надземной мортмассы приходится в среднем – 15 %, фитомасса сорняков занимает 10 % (рис. 10). В структуре подземного растительного вещества крупная мортмасса составляет 43 %, на долю корней и крупной мортмассы приходится равная доля в структуре подземного растительного вещества от всех запасов (28-29 %).

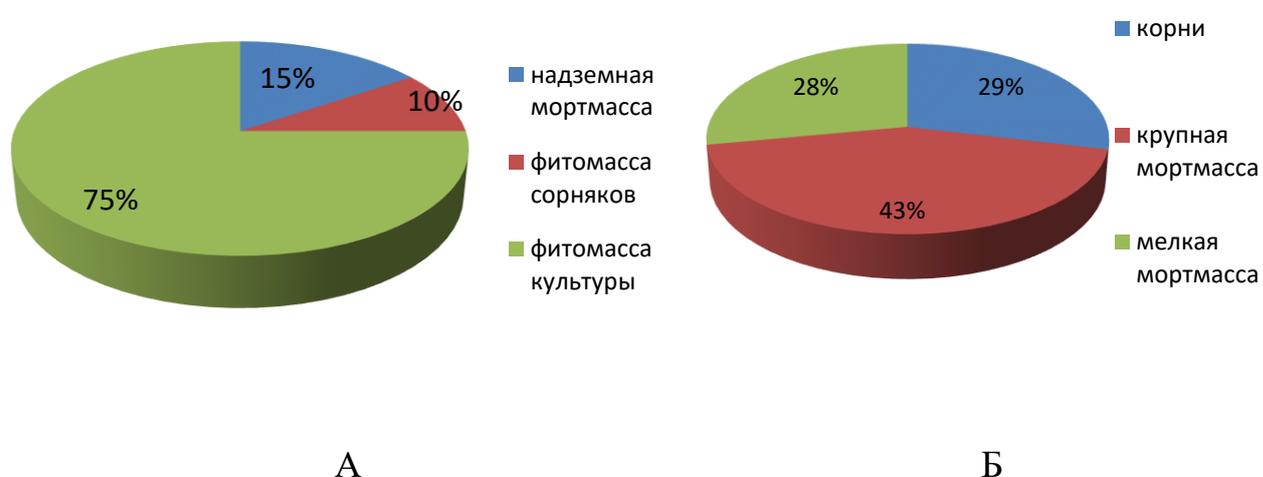


Рисунок 10 – Структура запасов надземного (А) и подземного (Б) растительного вещества в агроценозе рыжика (2019-2020 гг.), %

Таким образом, яровой рапс характеризуется наибольшими запасами надземного растительного вещества, чем агроценоз рыжика посевного. Так, в среднем за 2 вегетационных сезона в посевах рапса запасы составили 7 т/га (17 %), в посевах рыжика посевного – 4 т/га (15 %). Агроценоз ярового рапса характеризуется наименьшим количеством сорных растений (6 %), по сравнению с рыжиком посевным (10 %). Крупная мортмасса в посевах масличных культур в течение вегетации претерпевала разложение и переходила в состав мелкой мортмассы. В агроценозе ярового рапса на долю крупной мортмассы приходится 24 %, в агроценозе рыжика посевного – 43 %. Возможно предположить, что это связано с биологическими особенностями культур. Рапс, имея мощную корневую систему, выполняя разуплотняющую роль для почвы, улучшает ее водно-воздушный режим и служит источником для пополнения фракции мелкой мортмассы. Доля мелкой мортмассы в агроценозах ярового рапса составляет 39 %, что имеет огромное значение для формирования гумусового профиля почв и благоприятных условий корнеобитаемого пространства. В агроценозе рыжика посевного доля мелкой мортмассы составляет – 28 %.

Обобщая результаты отметим, что возделывание масличных культур позволяет увеличить поступление в почву растительных остатков как в течение вегетации за счет частичного отмирания надземных органов растений, так и после уборки семян за счет пожнивных остатков и мощных корневых систем растений.

6.4 Пищевой режим агрочернозема

Эффективное развитие растениеводства наряду с применением современных технологий возделывания сельскохозяйственных культур, рациональное размещение их в севообороте основано на использовании плодородия – основной экологической функции почв (Мелихов и др., 2018). Важным показателем в оценке плодородия почв является содержание биогенных элементов, находящихся в доступном для растений состоянии. Поэтому

правильно организованные и биологически ориентированные севообороты являются важнейшим средством регулирования пищевого режима почв, накопления пожнивно-корневых остатков и биологического азота.

Сельскохозяйственные культуры отличаются не только по требованию к почвенному плодородию, но и характером влияния на свойства почв, в том числе и на пищевой режим (Пенчуков и др., 2012; Кравцова, Рудакова, 2019; Турусов и др., 2019; Казанова и др., 2021). Обеспеченность почвы элементами питания является одним из важнейших показателей плодородия, условием продуктивности и их устойчивости к неблагоприятным факторам.

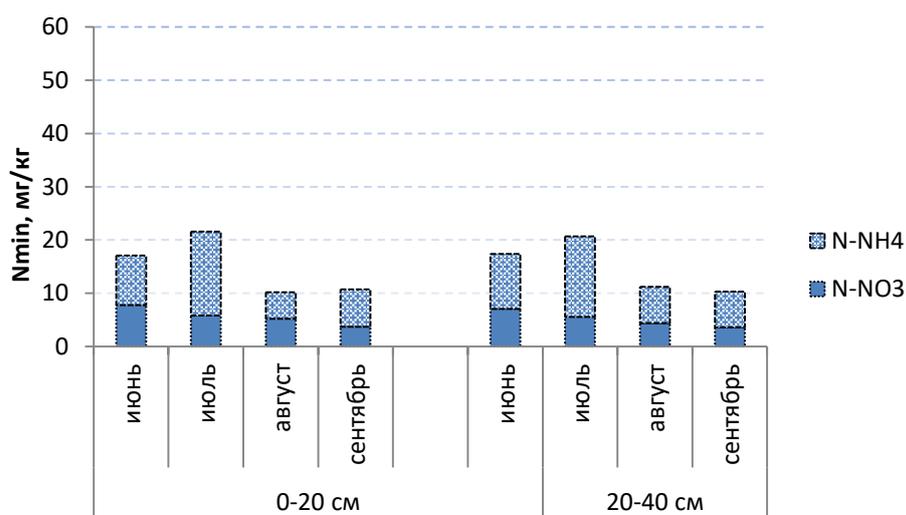
Масличные капустные культуры предъявляют различные требования к обеспеченности почвы элементами питания. Известно, что гибриды ярового рапса обеспечивают прирост урожая по сравнению с традиционными сортами на 20 и более процентов и отличаются высокой стабильностью урожая. По данным Е. И. Луповой (2020) они меньше нуждаются в минеральных удобрениях, что обусловлено мощной, глубокопроникающей корневой системой, высокой всасывающей силой элементов питания корнями растений. В тоже время, по мнению М.А. Страхова с соавт. (2016) и А. В. Мокрушиной с соавт. (2019), гибриды необходимо возделывать на интенсивном фоне. Рыжик посевной неприхотлив к плодородию почвы и отличается хорошей приспособленностью к агроклиматическим условиям (Кшникаткина и др., 2018).

Содержание азота в почве, его запасы, формы и подвижность в существенной степени определяют плодородие почвы (Васбиева, 2019). На долю минерального азота в агропочвах земледельческой части Красноярского края приходится всего 1-2 % (Чупрова, 1997). Поэтому азот в пахотных почвах по обеспеченности питания растений часто бывает в минимуме и лимитирует урожайность сельскохозяйственных культур.

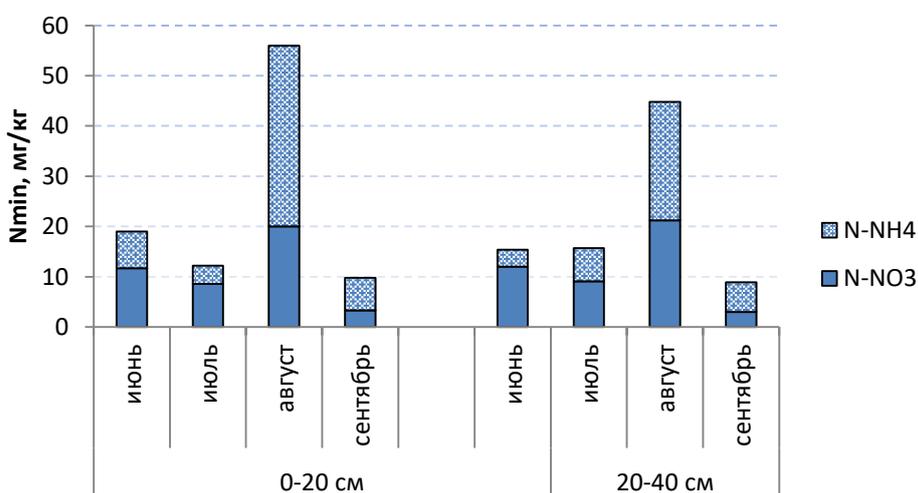
Динамика и содержание доступных и подвижных форм элементов питания в почве в период вегетации культурных растений позволяет судить об обеспеченности их по фазам развития. Непосредственным источником питания растений является минеральный азот. При этом нитратная и аммонийная форма

азота в физиологическом отношении являются равноценными источниками питания для растений.

Исследованиями установлено, что содержание и динамика минеральных форм азота в агрочерноземах Канской лесостепи определялась особенностями культуры, предшественником и погодными условиями вегетационных сезонов (рис. 11, 12).



А



Б

Рисунок 11 – Динамика минерального азота в агрочерноземе агроценоза ярового рапса: А – 2019 г. (по занятому пару); Б – 2020 г. (по чистому пару), мг/кг

При схожей динамике минерального азота в пахотном и подпахотном слоях, установлено, что лучшие условия для его накопления в посевах масличных культур складывались при их возделывании по чистому пару в условиях повышенной влагообеспеченности вегетационного сезона 2020 года за счет интенсивного нитратонакопления.

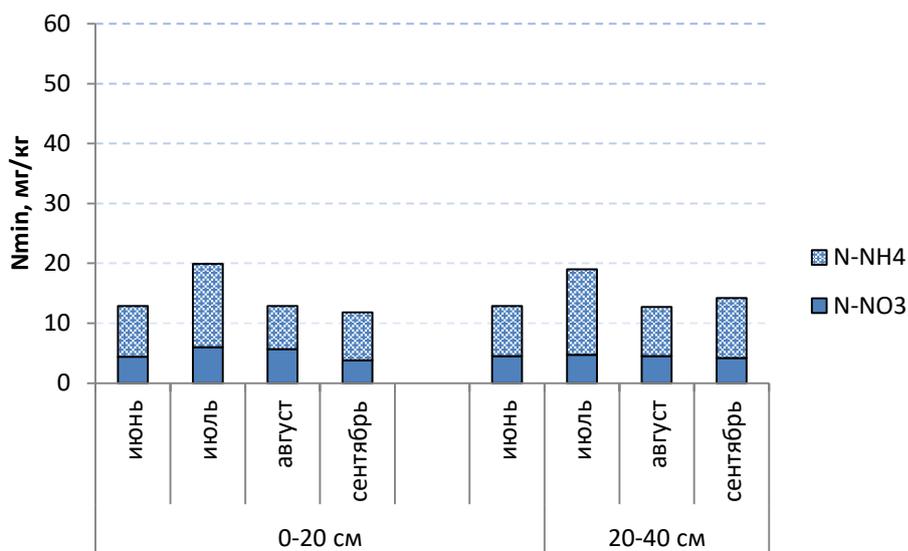
Низкая обеспеченность агрочерноземов нитратным азотом и преобладание аммонийной формы в пахотном и подпахотном горизонтах в период всходов масличных культур в 2019 г. обусловлена низкими температурами почвы к началу посева, ингибированием процессов нитрификации. В динамике аммонийного азота в этот период наблюдается тенденция его количественного роста к цветению ярового рапса (15-16 мг/кг), приходящегося на наиболее теплый и увлажненный июльский период. В фазу плодоношения и созревания содержание аммонийного азота снижается до низкого уровня обеспеченности (5-7 мг/кг).

Постепенное снижение содержания нитратного азота от низкой обеспеченности в период всходов ярового рапса (7-8 мг/кг) до очень низкой к периоду уборки свидетельствует об интенсивном потреблении этой формы азота культурой. Известно, что в межфазный период «всходы – образование розетки», растения рапса поглощают до 20-25 % от общего его количества, потребляемого за весь вегетационный период (Шеуджен и др., 2013).

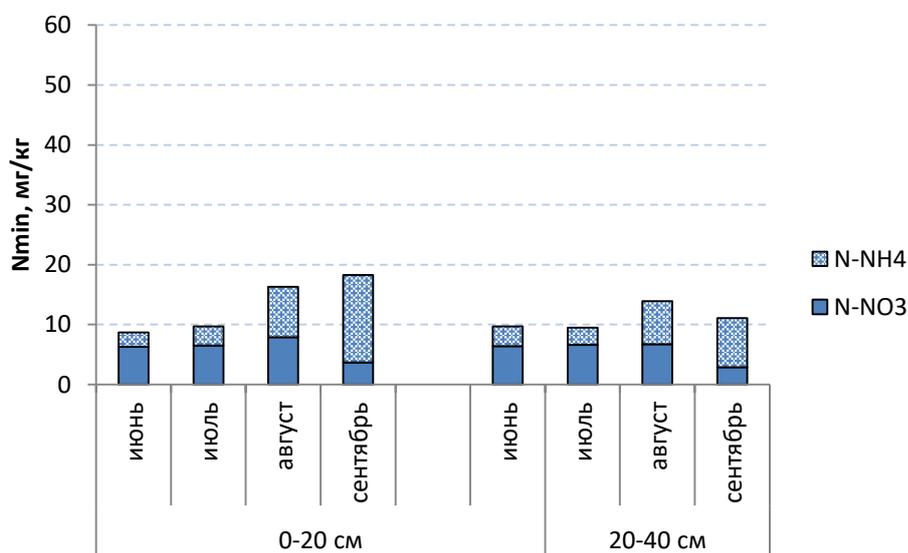
В вегетационный сезон 2020 года в динамике аммонийного азота отмечен иной характер. На фоне низкой и очень низкой обеспеченности аммонийным азотом выделяется августовский период формирования семян, отличающийся очень высокой обеспеченностью аммонийным азотом, достигающей в 0-40 см слое почвы 24-36 мг/кг. Погодные условия способствовали и усилению процессов нитрификации и лучшей обеспеченности почвы нитратным азотом. Средняя обеспеченность нитратным азотом в период от всходов до цветения культуры (9-12 мг/кг) также сменяется на очень высокую в августе (20-21 мг/кг). К уборке ярового рапса количество нитратов не превышает 3 мг/кг. Избыточное увлажнение почвы в июльский период, превышающее в два раза среднемноголетние показатели и среднюю температуру воздуха, достигающую

21°C способствовало усилению процессов аммонификации и нитрификации в почве, что и привело к накоплению минерального азота в почве.

В посевах рыжика посевного, возделываемого по занятому пару установлено преобладание аммонийной формы над нитратной в течение вегетации культуры (рис. 12).



А



Б

Рисунок 12 – Динамика минерального азота в агрочерноземе агроценоза рыжика посевного: А – 2019 г. (по занятому пару); Б – 2020 г. (по чистому пару), мг/кг

На фоне низкой обеспеченности нитратным азотом 0-40 см слоя агрочернозема (4-6 мг/кг) отмечалась, как правило, средняя обеспеченность аммонийной формой. В период цветения рыжика посевного усиление процессов аммонификации, обусловленное оптимальными погодными условиями, определяет повышенное содержание этой формы азота (14 мг/кг). Усиление аммонификационных процессов в период созревания семян рыжика посевного способствовало формированию средней и повышенной обеспеченности 0-20 см слоя агрочернозема аммонийным азотом (8-15 мг/кг).

Хорошая обеспеченность аммонийным азотом почвы посевов ярового рапса и рыжика посевного определяется влиянием предшественника. Это обуславливается активным гидролизом и минерализацией органических веществ остатков горохо-овсяной смеси парового поля. По данным В.В. Чупровой (1997), фактор «предшественник» в большей степени оказывает влияние на мобилизацию минерального азота по сравнению с ГТК.

Известно, что процессы образования аммонийной и нитратной формы азота взаимосвязаны. Пассивная аммонификация тормозит нитратонакопление, а усиление аммонификации приводит к энергичному проявлению нитрификационного процесса. Низкая обеспеченность нитратным азотом 0-40 см слоя агрочернозема в посевах рыжика посевного обусловлена преимущественным потреблением этой формы азота вегетативной массой культуры.

Оценка среднестатистического содержания минерального азота и характера его динамики показывает преимущественное потребление нитратного азота масличными культурами (табл. 13). Результаты показывают среднюю обеспеченность аммонийным азотом в слое 0-40 см агрочернозема в посевах ярового рапса, возделываемых по занятому пару (9-10 мг/кг) при высокой сезонной динамике показателя ($C_v = 41-50 \%$) (прил. 5). В избыточно влажном сезоне 2020 года среднестатистические данные свидетельствуют о повышенной обеспеченности аммонийным азотом 0-20 см слоя (13 мг/кг) при очень высокой сезонной вариабельности показателя ($C_v = 113 \%$). Низкая обеспеченность нитратным азотом под посевами ярового рапса в 2019 г. сменяется на среднюю в

2020 г. ($p = 0,0001$). Избыточное увлажнение вегетационного сезона 2020 г. определило преимущественную аккумуляцию нитратного азота в подпахотном слое. Полученные результаты согласуются с исследованиями Ю.В. Сурковой (2020) на черноземах Зауралья. Автором установлено, что содержание нитратного азота после возделывания ярового рапса были низкими (5-7 мг/кг).

Таблица 13 – Среднестатистические параметры содержания минерального азота в агрочерноземе в посевах ярового рапса, мг/кг

Слой, см (фактор А)	Год (фактор В)				Среднее А
	2019 г. (n = 5)		2020 г. (n = 5)		
	<i>X_{ср}</i>	<i>C_v, %</i>	<i>X_{ср}</i>	<i>C_v, %</i>	
N-NH ₄					
0-20	9,3	50	13,4	113	11,4
20-40	9,7	41	9,9	94	9,8
Среднее В	9,5	45	11,7	103	10,6
<i>p A = 0,0003*</i> ; <i>p B = 0,0001*</i> ; <i>p AB = 0,0001*</i>					
N-NO ₃					
0-20	5,6	27	10,9	64	8,3
20-40	5,2	29	11,3	67	8,3
Среднее В	5,4	29	11,1	65	8,3
<i>p A = 0,9581</i> ; <i>p B = 0,0001*</i> ; <i>p AB = 0,0961</i>					

Эта закономерность подтверждается исследованиями Г.П. Гамзикова (2000), доказавшими преимущественное потребление сельскохозяйственными культурами нитратной формы азота при температурах выше 10°C. Наряду с накоплением нитратного азота за счет текущей нитрификации одновременно происходило обеднение его запаса в результате потребления растениями и микроорганизмами. Возможно, эта часть потерь была обусловлена денитрификацией и поверхностным стоком во время ливневых осадков. Обеспеченность агрочернозема минеральным азотом при возделывании рыжика по чистому пару схожа с яровым рапсом (табл. 14). В посевах рыжика посевного по занятому пару в течение вегетационного сезона в среднем формировалась низкая обеспеченность аммонийным и нитратным азотом, не превышающая 7 мг/кг.

Таблица 14 – Среднестатистические параметры содержания минерального азота в агрочерноземе в посевах рыжика посевного, мг/кг

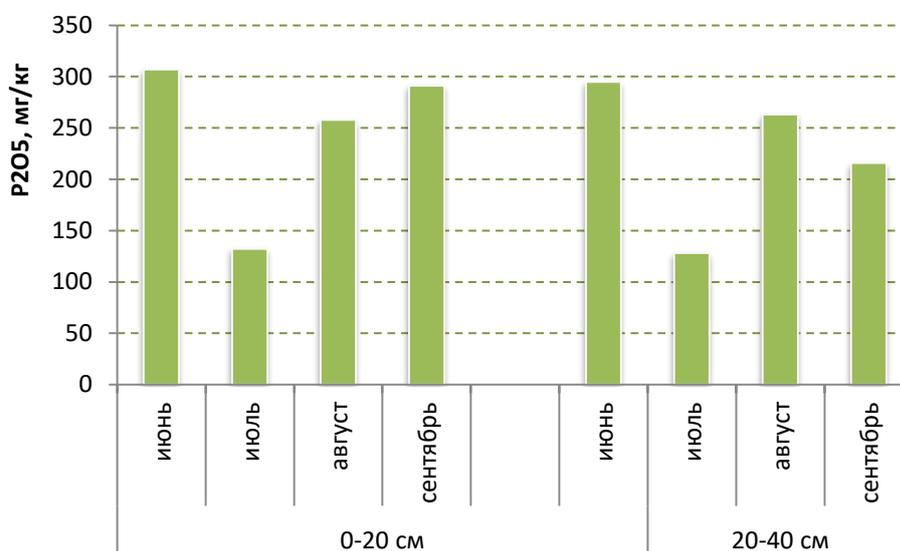
Слой, см (фактор А)	Год (фактор В)				Среднее А
	2019 г. (n = 5)		2020 г. (n = 5)		
	<i>X_{ср}</i>	<i>C_v, %</i>	<i>X_{ср}</i>	<i>C_v, %</i>	
N-NH ₄					
0-20	9,4	32	7,2	78	8,3
20-40	10,2	27	5,4	50	7,8
Среднее В	9,8	29	6,3	64	8,1
<i>p A = 0,0255*</i> ; <i>p B = 0,0001*</i> ; <i>p AB = 0,0010*</i>					
N-NO ₃					
0-20	4,9	20	6,1	29	5,5
20-40	4,5	4	5,7	32	5,1
Среднее В	4,7	12	5,9	30	5,3
<i>p A = 0,0006*</i> ; <i>p B = 0,1111</i> ; <i>p AB = 0,0116*</i>					

Результаты двухфакторного дисперсионного анализа показывают, как правило, достоверные изменения в содержании минеральных форм азота по годам исследований, а также в пахотном и подпахотном слоях ($p < 0,05$). Исключение составляет нитратный азот, достоверно не отличающийся по его содержанию в слоях 0-20 и 20-40 см в посевах ярового рапса и по годам в посевах рыжика посевного.

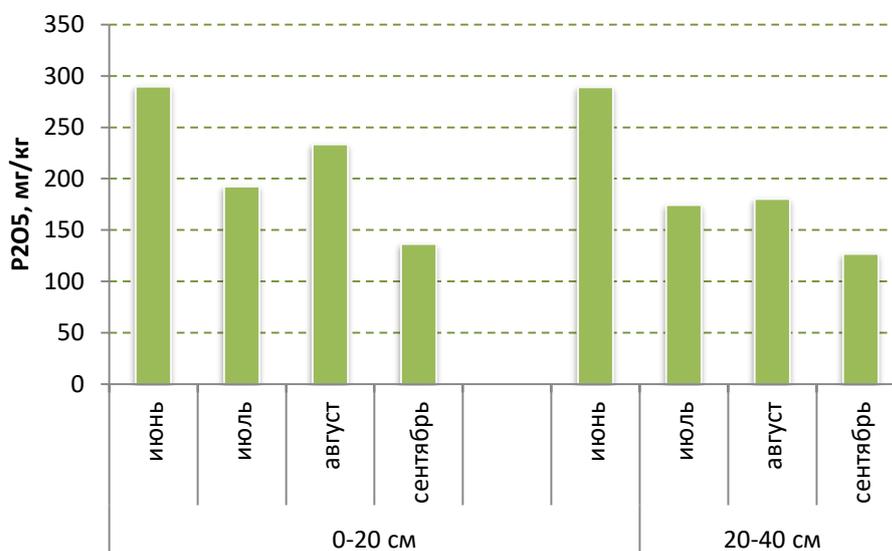
Содержание в почве подвижного фосфора является основным критерием плодородия почв для регулирования их фосфатного режима. Согласно ряда исследований (Аверкина, 1985; Минеев, 2006), регулярное применение фосфорных удобрений приводит к значительному накоплению в почвах остаточных фосфатов, которые могут определенное время служить источником питания растений, переходя в подвижные формы. Для масличных культур фосфор необходим для формирования мощной корневой системы. Он способствует повышению их устойчивости к морозу, засухе, увеличению семенной продуктивности и ускорению созревания семян.

В агрочерноземах Канской лесостепи содержание подвижного фосфора, как показали исследования, динамично как в течение вегетации масличных культур,

так и по годам исследований (рис. 13). В начале вегетации ярового рапса отмечается очень высокая и высокая обеспеченность P_2O_5 в 0-40 см слое почвы по годам исследований (289-307 мг/кг).



А

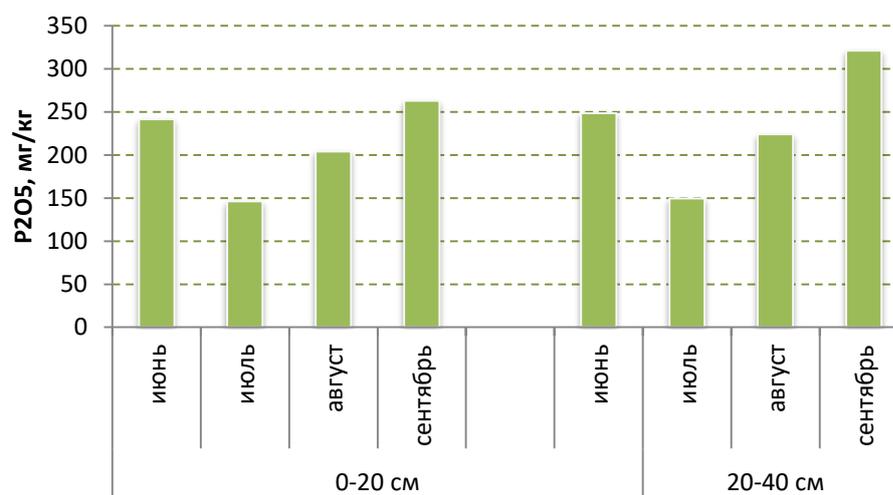


Б

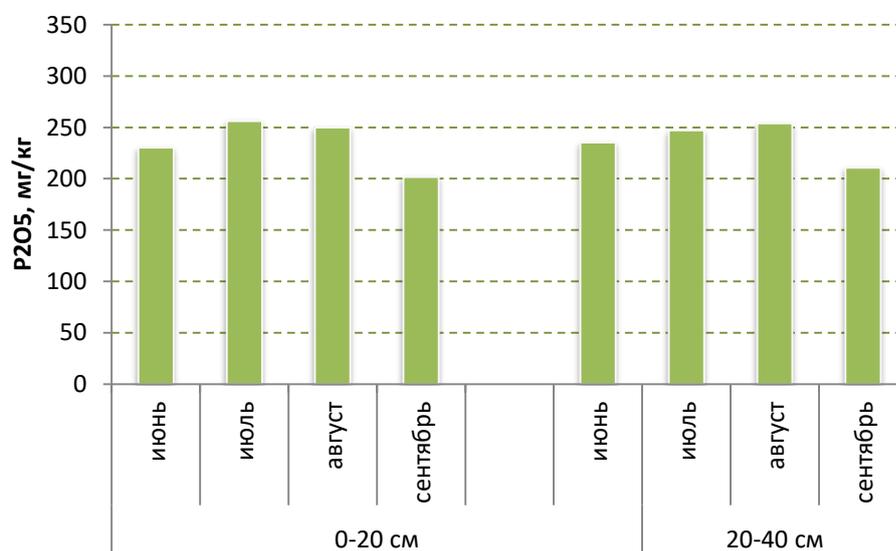
Рисунок 13 – Динамика подвижного фосфора в агрочерноземе агроценоза ярового рапса: А – 2019 г. (по занятому пару); Б – 2020 г. (по чистому пару), мг/кг

Исходный высокий уровень обеспеченности подвижным фосфором в майский период определяет полное удовлетворение потребности ярового рапса этим элементом без дополнительного внесения фосфорных удобрений.

Значительное уменьшение количества подвижных фосфатов до низкого и среднего уровня происходит в период цветения ярового рапса (128-192 мг/кг). Пополнение почвенного раствора подвижными фосфатами, отмеченное в августе и сентябре, в большей степени проявлялось в вегетационный сезон 2019 г. В избыточно влажный сезон 2020 г. вынос P_2O_5 культурой отмечается в межфазный период «цветение - созревание» (рис. 14).



А



Б

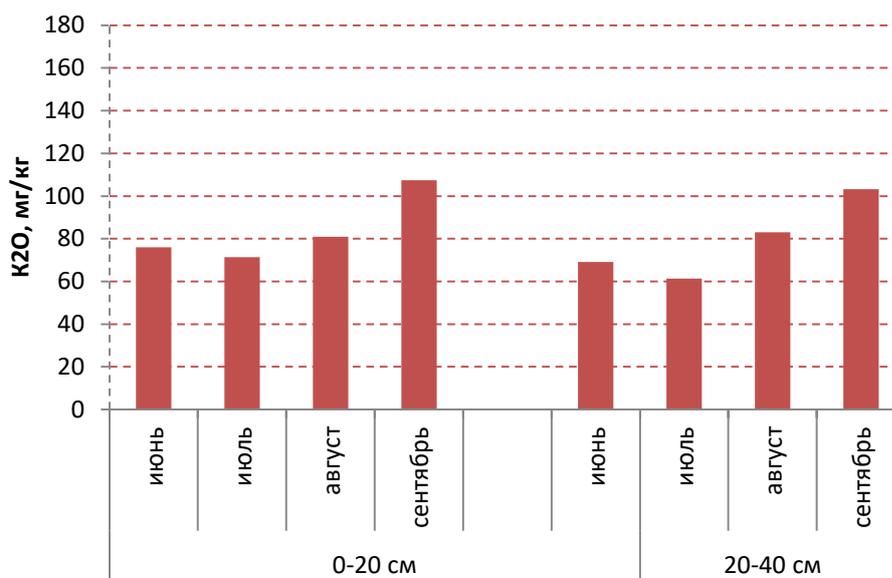
Рисунок 14 – Динамика подвижного фосфора в агрочерноземе агроценоза рыжика посевного: А – 2019 г. (по занятому пару); Б – 2020 г. (по чистому пару), мг/кг

Схожий с яровым рапсом ход динамики подвижного фосфора выявлен и для агроценоза рыжика посевного, возделываемого по занятому пару в 2019 году. При размещении культуры по чистому пару отмечалась повышенная обеспеченность P_2O_5 в течение вегетации культуры

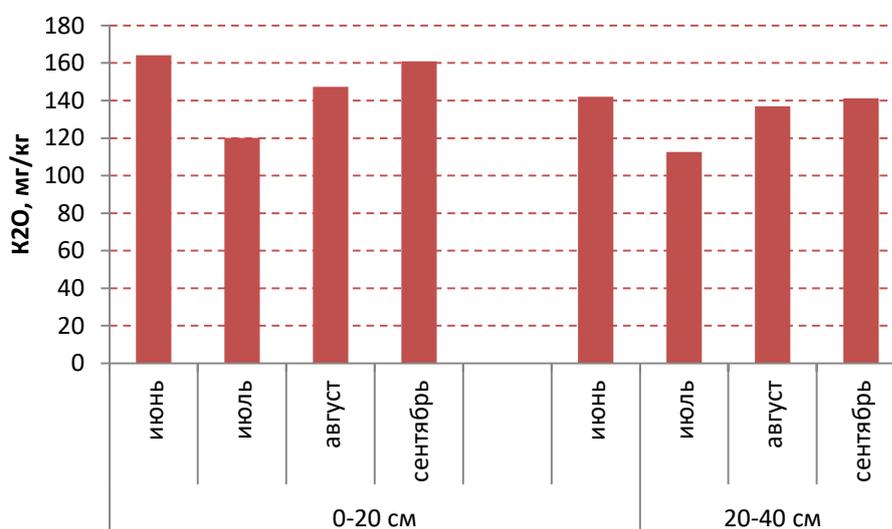
Различный характер динамики накопления подвижного фосфора в агрочерноземе обусловлен влажностью почвы. Хорошо известно, что основное перемещение фосфора к корням растений осуществляется при диффузии ионов. В сухой же почве, когда расстояние перемещения иона превышает 5-10 мм, поглощение фосфора замедляется.

По мнению Т.Я. Праховой и Л.Е. Вельмисевой (2015), у рыжика посевного имеется важная особенность – способность усваивать из почвы труднодоступные для других растений питательные вещества. При этом вынос элементов питания с урожаем небольшой. По данным авторов, больше всего растения рыжика посевного с урожаем выносят азот – 68,2 кг на 1 т основной и сопутствующей продукции. Меньше всего растениями выносятся фосфор (12,2 кг/га).

Калий, наряду с другими элементами, является необходимым и незаменимым элементом в питании растений. В посевах масличных культур он улучшает усвоение азота и фосфора, снижает повреждаемость вредителями и поражаемость болезнями. Исследованиями установлено, что максимальное количество обменного калия содержится в 0-20 см слое агрочерноземов, ниже, в подпахотном горизонте его количество постепенно уменьшается (рис. 15). По мнению П.С. Бугакова с соавт. (1981), причинами накопления калия в верхнем слое являются биогенные процессы, влияние механических обработок почвы, ускоряющих выветривание калиесодержащих минералов, а также отсутствие подвижности этого элемента в тяжелых почвах. Специфика минералогического состава и большое содержание в агрочерноземах ила является причиной хорошей обеспеченности обменным калием. Его содержание варьировало в годы исследований в небольшой степени ($C_v = 10-23 \%$) (прил. 7), что вполне согласуется с исследованиями П.И. Крупкина (2002) на черноземах Канской лесостепи.



А

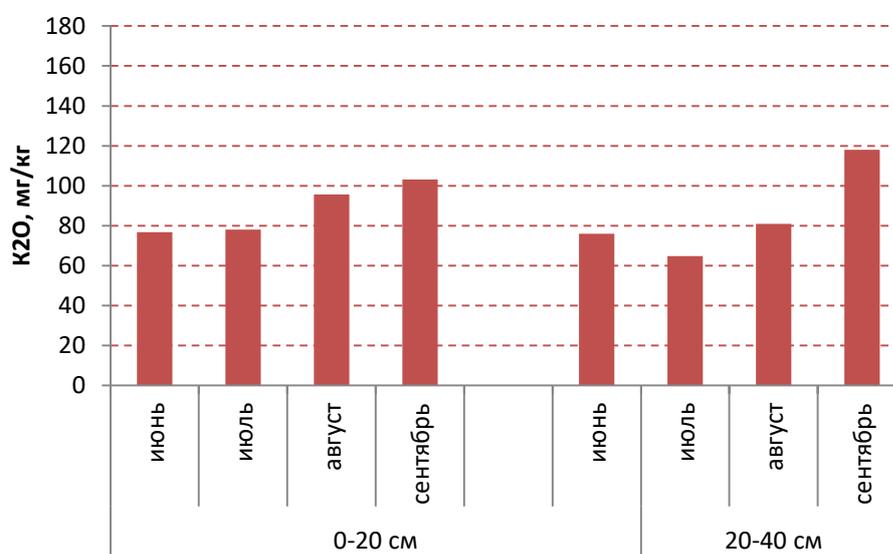


Б

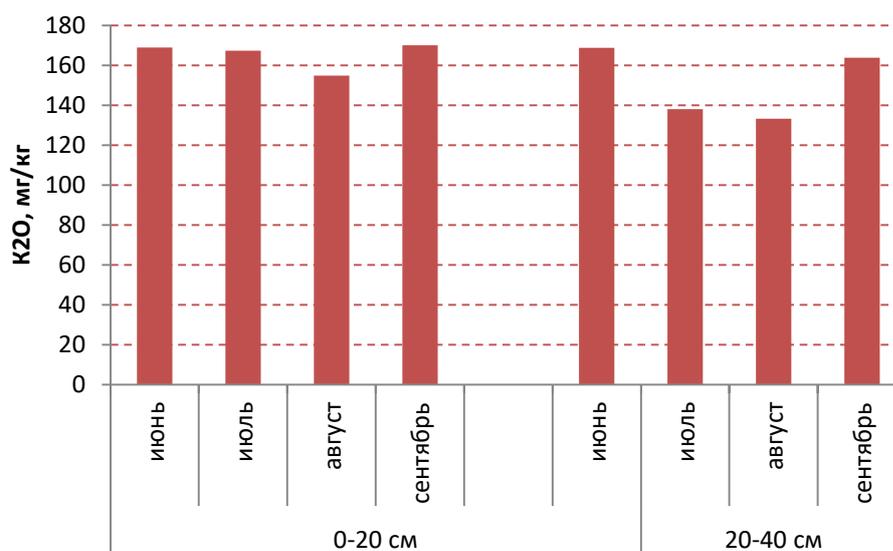
Рисунок 15 – Динамика обменного калия в агрочерноземе агроценоза ярового рапса: А – 2019 г. (по занятому пару); Б – 2020 г. (по чистому пару), мг/кг

При возделывании ярового рапса по занятому пару средняя обеспеченность обменным калием фиксировалась от всходов до созревания семян. После уборки культуры его содержание в 0-40 см слое достигает 103-107 мг/кг и оценивалось на повышенном уровне. Снижение содержания обменного калия в 2020 г. от очень высокой обеспеченности до высокой приходилось на июль и август месяцы, что объясняется как интенсивным потреблением этого элемента, так и процессами фиксации.

Близкий уровень обеспеченности с яровым рапсом и схожий характер динамики обменного калия выявлен в посевах рыжика посевного (рис. 16).



А



Б

Рисунок 16 – Динамика обменного калия в агрочерноземе агроценоза рыжика посевного: А – 2019 г. (по занятому пару); Б – 2020 г. (по чистому пару), мг/кг

В вегетационный сезон 2019 года средняя обеспеченность почвы K_2O отмечается до цветения рыжика посевного (65-78 мг/кг), далее – повышенная и высокая (96-118 мг/кг). Очень высокая обеспеченность агрочернозема обменным

калием в агроценозе рыжика посевного стабильно ($C_v = 4-12\%$) (прил. 7) сохраняется при его возделывании по чистому пару. По мнению В.Н. Якименко (2003), потребность сельскохозяйственных культур в калии меняется в онтогенезе. Наиболее высокая требовательность к уровню калийного питания отмечается на ранних этапах развития и в период максимального нарастания биомассы. Кроме того, культуры с хорошо развитой корневой системой положительно отзываются только на внесение азотных и фосфорных удобрений даже на почвах с относительно истощенными калийными запасами. Это подтверждает их способность усваивать труднодоступные формы калия.

Анализ среднестатистического содержания подвижного фосфора и обменного калия в агрочерноземе при возделывании масличных культур на маслосемена показал достоверное накопление элементов питания в 0-20 см слое и существенные отличия по годам исследований (табл. 15, 16; прил. 6).

Таблица 15 – Среднестатистические параметры содержания подвижного фосфора и обменного калия в агрочерноземе в посевах ярового рапса, мг/кг

Слой, см (фактор А)	Год (фактор В)				Среднее А
	2019 г.		2020 г.		
	<i>X_{ср}</i>	<i>C_v, %</i>	<i>X_{ср}</i>	<i>C_v, %</i>	
P₂O₅					
0-20	247,1	32	213,0	30	230,1
20-40	225,6	32	192,6	36	209,1
Среднее В	236,4	32	202,8	13	219,6
<i>p A = 0,0023*</i> ; <i>p B = 0,0009*</i> ; <i>p AB = 0,9643</i>					
K₂O					
0-20	83,9	19	148,1	14	116,0
20-40	79,2	23	133,2	10	106,2
Среднее В	81,6	21	140,7	12	111,1
<i>p A = 0,0013*</i> ; <i>p B = 0,0001*</i> ; <i>p AB = 0,0356*</i>					

Повышенная обеспеченность почвы подвижным фосфором под посевами ярового рапса и рыжика посевного свидетельствует о способности этих культур восполнять и сохранять запасы подвижного фосфора. Известно, что, проникая в подпахотный слой, корневая система ярового рапса выносит в поверхностный

слой питательные вещества (Graf, 2004). Для рыжика характерен незначительный вынос P_2O_5 – на 1 т 10-15 кг.

Исследованиями Е.И. Луповой (2020) доказано, что использование комплекса азотных и фосфорно-калийных удобрений при возделывании ярового рапса не повлияло на существенную прибавку семян и привело к повышению стоимости затрат в технологии. Наиболее эффективными оказались только азотные удобрения.

Несмотря на интенсивное поглощение обменного калия и его преимущественный вынос из почвы с урожаем масличных культур, сохраняется средняя обеспеченность этим элементом питания в вегетационный сезон 2019 г. (79-88 мг/кг). В условиях 2020 г. среднестатистическое содержание обменного калия под яровым рапсом оценивается как высокое (133-148 мг/кг), под рыжиком посевным – как очень высокое (151-165 мг/кг).

Таблица 16 – Среднестатистические параметры содержания подвижного фосфора и обменного калия в агрочерноземе в посевах рыжика посевного, мг/кг

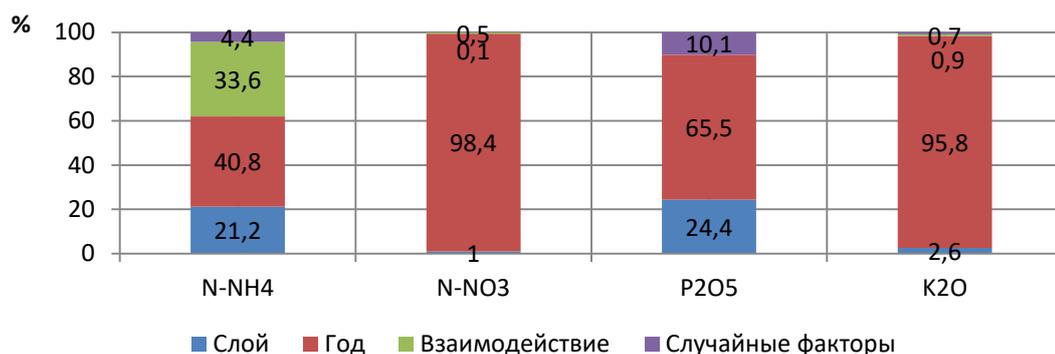
Слой, см (фактор А)	Год (фактор В)				Среднее А
	2019 г.		2020 г.		
	<i>X_{ср}</i>	<i>C_v, %</i>	<i>X_{ср}</i>	<i>C_v, %</i>	
P_2O_5					
0-20	213,7	24	234,5	10	224,1
20-40	235,7	30	236,8	8	236,8
Среднее В	224,7	27	235,7	9	230,4
<i>p A = 0,0024*</i> ; <i>p B = 0,00439*</i> ; <i>p AB = 0,0076*</i>					
K_2O					
0-20	88,4	15	165,4	4	126,6
20-40	84,9	27	151,0	12	118,0
Среднее В	86,7	21	158,2	8	122,3
<i>p A = 0,0033*</i> ; <i>p B = 0,0001*</i> ; <i>p AB = 0,0377*</i>					

Режим калия в посевах масличных культур дает основание говорить о существовании зависимости в его изменениях за счет, главным образом, почвенных процессов – мобилизации (высвобождения) и фиксации. По данным

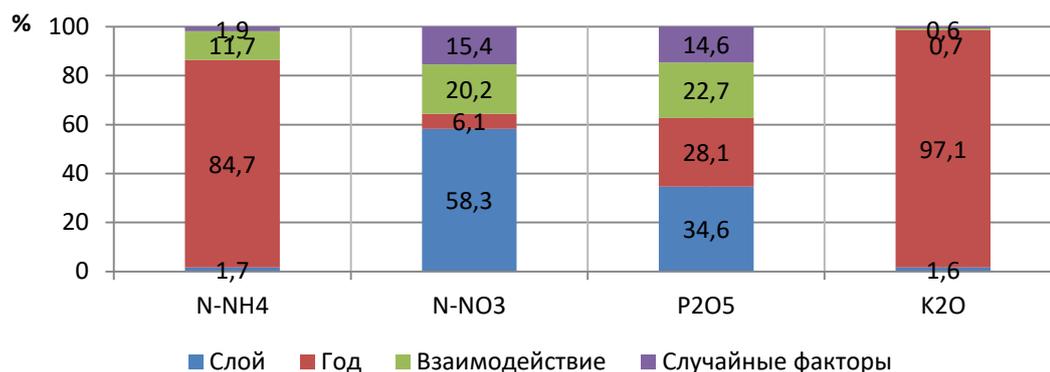
Н.Г. Рудого (2004), при внесении высоких доз калийных удобрений уровень содержания обменного калия в большинстве случаев сохраняется примерно на одном уровне. Это обусловлено динамическим равновесием всех форм почвенного калия. Известно, что фиксация калия почвой происходит при разной степени увлажнения, но более всего она выражена при влажности около 30 % и при переменном чередовании увлажнения и высушивания. Это затрагивает систему всех форм почвенного калия.

Полученные результаты позволяют заключить, что агрочерноземы в климатических условиях Канской лесостепи без дополнительного внесения удобрений способны обеспечивать достаточный уровень фосфорного и калийного питания в посевах масличных культур.

Оценка вклада изученных факторов в обеспеченность агрочерноземов Канской лесостепи элементами питания при возделывании масличных культур показала преимущественную роль фактора «год» в накопление минерального азота, подвижного фосфора и обменного калия (рис. 17). Погодные условия и характер предшественника на 41-98 % влияли на обеспеченность NPK посевов ярового рапса. В наибольшей степени это касается нитратного азота и обменного калия (96-98 %). В агроценозе рыжика посевного величина потребления и накопления аммонийного азота и обменного калия на 85-97 % зависела от года исследований. Содержание в почве нитратного азота и подвижного фосфора на 35-58 % контролировалось фактором «слой» почвы.



А



Б

Рисунок 17 – Оценка вклада агроэкологических факторов в обеспеченность агрочернозема элементами питания при возделывании ярового рапса (А) и рожьки посевного (Б), %

Знание элементного состава сельскохозяйственных культур и их продуктивности позволяет выяснить баланс элементов питания (Трубников, 2012). Для изучения особенностей поступления элементов питания и требования масличных культур к азотному, фосфорному и калийному питанию в различные периоды их онтогенеза проводилось определение содержания этих элементов в растениях в течение вегетации. Данные по химическому составу ярового рапса свидетельствуют, что в сухой надземной фитомассе ярового рапса больше всего накапливается азота и калия (табл. 17).

Таблица 17 – Химический состав фитомассы и корней ярового рапса (2019-2020 гг.), % на сухое вещество

Фаза развития	Химический элемент		
	N	P	K
Надземная фитомасса			
Листовая розетка	2,76	0,53	3,48
Цветение	2,28	0,49	1,74
Зеленая спелость	1,71	0,55	1,16
Среднее	2,25	0,52	2,13
Корни			
Листовая розетка	1,00	0,12	0,14
Цветение	0,70	0,20	0,75
Зеленая спелость	0,35	0,26	0,35
Среднее	0,68	0,19	0,41

Интенсивное поглощение калия от всходов до фазы розетки ярового рапса подтверждается экспериментальными данными. В период формирования листовой розетки в химическом составе фитомассы культуры доминирует калий (3,5 %). Существенное накопление азота в сухом веществе фитомассы ярового рапса отмечается до фазы цветения (2,8-2,3 %), что согласуется с исследованиями Я.Э. Пилюк (2007), доказавшими, что от всходов до цветения яровой рапс использует 96-98 % азота. Содержание азота, фосфора и калия в корнях ярового рапса оценивается меньшей величиной, чем в надземной фитомассе. Для азота и калия характерно изменение химического состава корней по фазам развития культуры. Максимальное количество азота отмечается в период формирования листовой розетки (1 %), калия в цветение - плодоношение – 0,75 %. Независимо от фазы развития культуры содержание фосфора изменялось в корнях от 0,12 до 0,26 %.

Химический состав фитомассы и корней рыжика посевного и его динамика по фазам развития в целом имеет схожие черты с яровым рапсом (табл. 18).

Таблица 18 – Химический состав фитомассы и корней рыжика посевного (2019-2020 гг.), % на сухое вещество

Фаза развития	Химический элемент		
	N	P	K
Надземная фитомасса			
Листовая розетка	2,55	0,50	3,47
Цветение	1,93	0,53	1,00
Зеленая спелость	1,76	0,60	0,69
Среднее	2,08	0,54	1,72
Корни			
Листовая розетка	1,00	0,20	0,21
Цветение	0,56	0,24	0,65
Зеленая спелость	0,89	0,28	0,24
Среднее	0,82	0,24	0,37

Отличия этой культуры проявляются в меньшем накоплении азота и калия в надземной фитомассе – на 0,17-0,41 % соответственно. При этом в корнях рыжика посевного в период зеленой спелости отмечается наибольшее накопление азота (0,82 %).

Поступление в почву элементов питания с учетом запасов пожнивных и корневых остатков масличных культур и их химического состава показало, что с пожнивными остатками ярового рапса в почву возвращается 223 кг/га азота, фосфора и калия, с корневыми – 30 кг/га (табл. 19).

Таблица 19 – Поступление в почву элементов питания с пожнивными и корневыми остатками ярового рапса (2019-2020 гг.), кг/га

Химический элемент	Пожнивные остатки	Корни	Всего
N	108,0	15,8	123,8
P	25,0	4,4	29,4
K	102,2	9,6	111,8
Суммарное поступление	223,2	29,8	265,0

Суммарное поступление элементов питания в почву после уборки ярового рапса составляет 265 кг/га. Наибольшая доля возврата приходится на N и P (47-42 %).

Поступление азота, фосфора и калия с растительными остатками рыжика посевного оценивается величиной 140 кг/га, что в два раза меньше по сравнению с яровым рапсом (табл. 20). С корневыми и пожнивными остатками рыжика посевного в почву возвращается 70 кг/га азота и 51 кг/га калия. Количество фосфора в среднем за период наблюдений не превышает 19 кг/га. Исследованиями установлено, что с 1 т соломы в почву возвращается зернобобовых культур – азота – 6,9-8,2, фосфора – 4,4-4,6, калия – 16,6-18,0 кг/га; озимых культур – азота – 4,1-4,9, фосфора – 2,6-3,1, калия – 15,3-17,7 кг/га (Пехота, 2014).

Сопоставление этих данных с результатами, полученными в исследованиях, позволяет заключить, что с пожнивными остатками масличных культур в почву возвращается значительно больше азота по сравнению с соломой зерновых и зернобобовых культур. Количество растительных остатков, поступающих в почву после гибридов ярового рапса, оказалось сопоставимым с количеством растительных остатков после многолетних трав. Так, по данным А.А. Усеня (2002), после двухлетнего возделывания клеверо-тимофеечной смеси в почве остается 64 ц/га растительных остатков.

Таблица 20 – Поступление в почву элементов питания с пожнивными и корневыми остатками рыжика посевного (2019-2020 гг.), кг/га

Химический элемент	Пожнивные остатки	Корни	Всего
N	52,4	17,3	69,7
P	13,6	5,1	18,7
K	43,3	7,9	51,2
Суммарное поступление	109,3	30,3	139,6

Исследованиями В.Н. Шлапунова с соавт. (2010) доказано, что в соломе и корнях ярового рапса остается 38-46 % от общего потребления фосфора и основная часть калия (83-87 %). Это обстоятельство позволяет отнести яровой рапс к почвоулучшающим культурам севооборота, способным сохранять и восстанавливать плодородие почв.

Полученные результаты по пищевому режиму агрочерноземов в посевах масличных культур позволяют утверждать о преимущественном потреблении культурами нитратного азота, что должно быть компенсировано минеральными удобрениями и подкормками во время вегетации культур.

ГЛАВА 7. ВЛИЯНИЕ СРЕДСТВ ИНТЕНСИФИКАЦИИ ВОЗДЕЛЫВАНИЯ МАСЛИЧНЫХ КУЛЬТУР НА СВОЙСТВА И РЕЖИМЫ АГРОЧЕРНОЗЕМА И ПРОДУКТИВНОСТЬ ЯРОВОГО РАПСА

7.1 Гидротермический режим агрочернозема

При возделывании хозяйственно ценных культур для повышения всхожести, устойчивости и продуктивности растений возможно применение различных стимуляторов роста и коммерческих препаратов. Применение средств интенсификации в условиях интенсивного земледелия является важным резервом повышения продуктивности сельскохозяйственных растений. По мнению В.И. Зотикова (2019), роль стимуляторов роста растений и микроудобрений резко возросла в связи с расширением посевных площадей, увеличением валового сбора семян масличных культур и широким использованием масличных капустных растений. Для возделывания ярового рапса предлагается использовать ряд некорневых жидких подкормок, гербицидов, фунгицидов и стимуляторов роста, которые увеличивают количество продуктивных побегов и качество семян, препятствуют полеганию посевов, повышают устойчивость к болезням и вредителям (Вафина, 2014; Григорьев, 2018).

Сезонная динамика температуры 0-20 см слоя агрочернозема в посевах ярового рапса при применении средств интенсификации оценивается как средняя и высокая ($C_v = 37-51\%$) (табл. 21). Слой почвы 0-10 см прогревается на 3°C больше, чем слой 10-20 см по всем вариантам опыта. Выявлено достоверное влияние вариантов опыта и сроков определения на температурный режим агрочернозема ($p < 0,05$) (прил. 8). Исследованиями установлена тенденция повышения температуры почвы на глубине 0-20 см при применении средств интенсификации в виде подкормок и ростостимулирующих препаратов на $1-2^\circ\text{C}$. И.В. Шориной (2015) показано, что суточный ход температуры на разных глубинах в большей степени зависит от состояния растительности и хода температуры воздуха. Применение жидкого комплексного удобрения Ультрамаг

Комби и стимуляторов роста Берес 8 и Регги при возделывании ярового рапса положительно сказалось на формировании надземной фитомассы культуры, что отразилось на ходе суточных температур почвы и теплообмене между почвой и атмосферой. Загущенные посевы уменьшали суточные колебания температуры почвы и способствовали формированию более устойчивого температурного фона. Это подтверждается снижением коэффициентов сезонной изменчивости температуры агрочернозема по сравнению с контрольным вариантом опыта. По мнению И.В. Шориной с соавт. (2015) во время периодов охлаждения почвы более развитая растительность в течение вегетации также уменьшает интенсивность турбулентного теплообмена между почвой и атмосферой.

Таблица 21 – Статистические показатели температуры 0-20 см слоя агрочернозема в посевах ярового рапса, °С (n=8)

Вариант	<i>X_{ср}</i>		<i>C_v, %</i>	
	0-10 см	10-20 см	0-10 см	10-20 см
Химическая защита (контроль - фон)	17,9	14,4	43	51
Ультрамаг Комби (2 л/га)	18,8	15,8	38	37
Регги (1,2 л/га)	20,0	15,8	32	40
Ультрамаг Комби (2 л/га) + Регги (1,2 л/га)	18,9	15,0	39	46
Берес 8 (0,2 л/га)	19,6	16,8	37	44
Берес 8 (0,2 л/га) + Ультрамаг Комби (2л/га)	18,9	15,5	40	44
Регги (1,2 л/га) + Берес 8 (0,2 л/га)	19,8	16,4	38	45
Регги (1,2 л/га) + Берес 8 (0,2 л/га) + Ультрамаг Комби (2л/га)	18,9	15,8	40	45
<i>p</i> ₀₋₁₀	<i>p</i> _{A (вариант)} = 0,0000*; <i>p</i> _{B (срок)} = 0,0000*; <i>p</i> _{AB (взаимодействие)} = 0,0000*			
<i>p</i> ₁₀₋₂₀	<i>p</i> _{A (вариант)} = 0,0000*; <i>p</i> _{B (срок)} = 0,0000*; <i>p</i> _{AB (взаимодействие)} = 0,0000*			

Яровой рапс очень пластичен к гидротермическим условиям, благодаря этому он является перспективной культурой для возделывания в сложных условиях резкоконтинентального климата, однако необходимо учитывать его высокую потребность в потреблении воды на протяжении всего периода вегетации и низкую устойчивость к засухе (Горлов, 2006; Рычкова, 2009).

Удовлетворительная влагообеспеченность почвы на контроле и при возделывании ярового рапса с применением стимуляторов роста и минеральной подкормки отмечается в среднем за вегетационный период в слоях 0-20 и 0-100 см (табл. 22; прил. 9).

Таблица 22 – Статистические показатели запасов продуктивной влаги в агрочерноземе в посевах ярового рапса, мм (n=8)

Вариант	<i>X_{ср}</i>		<i>C_v, %</i>	
	0-20 см	0-100 см	0-20 см	0-100 см
Химическая защита (контроль – фон)	20,7	106,6	52	18
Ультрамаг Комби (2 л/га)	21,4	108,1	45	15
Регги (1,2 л/га)	22,9	112,4	35	17
Ультрамаг Комби (2 л/га) + Регги (1,2 л/га)	20,9	107,4	43	22
Берес 8 (0,2 л/га)	21,4	112,3	43	19
Берес 8 (0,2 л/га) + Ультрамаг Комби (2л/га)	20,9	110,3	44	14
Регги (1,2 л/га) + Берес 8 (0,2 л/га)	22,6	109,7	40	11
Регги (1,2 л/га) + Берес 8 (0,2 л/га) + Ультрамаг Комби (2л/га)	21,3	113,0	42	13
<i>p</i> ₀₋₂₀	<i>p</i> _{A (вариант)} = 0,0000*; <i>p</i> _{B (срок)} = 0,0000*; <i>p</i> _{AB (взаимодействие)} = 0,0000*			
<i>p</i> ₀₋₁₀₀	<i>p</i> _{A (вариант)} = 0,0010*; <i>p</i> _{B (срок)} = 0,0000*; <i>p</i> _{AB (взаимодействие)} = 0,0000*			

Сезонная динамика запасов продуктивной влаги в слое 0-20 см оценивается средней и высокой величиной ($C_v = 35-52 \%$), в метровой толще она не превышает 22 %. Применение регуляторов роста и комплексного жидкого удобрения при возделывании ярового рапса определяет достоверное увеличение запасов продуктивной влаги ($p = 0,000-0,001$). В корнеобитаемом 0-20 см слое почвы в среднем за сезон произошло пополнение запасов на 1-2 мм, в слое 0-100 мм – на 1-7 мм по сравнению с контрольным вариантом опыта. Максимальные запасы влаги отмечены на варианте опыта, где вегетирующие растения обрабатывались стимулятором роста Регги и его совместным применением с препаратом Берес 8. В 0-20 см слое почвы они в среднем за вегетационный сезон достигали 23 мм. Полученная закономерность подтверждает известное положение К.А. Тимирязева (1937) о том, что на каждую единицу веса образуемого органического вещества растение, получившее удобрение, испаряет менее влаги, чем растения, не получившие его. Исследованиями Ж.К. Кежембаева и А.К. Умбетова (2019) доказано, что удобрения оказывают положительное влияние на экономное расходование влаги из почвы. Особенно это важно для богарных условий, где формирование запасов влаги происходит преимущественно за счет выпадающих осадков.

Таким образом, применение средств интенсификации в виде жидкого удобрения для некорневых подкормок Ультрамаг Комби, ростостимулирующих препаратов Регги и Берес 8 при возделывании ярового рапса на маслосемена способствует повышению температуры 0-20 см слоя агрочернозема на 1-2 °С, сохранению и экономному расходованию запасов влаги в метровом слое.

7.2 Запасы растительного вещества в агроценозе ярового рапса

В структуре надземного растительного вещества преобладает фитомасса ярового рапса. Исследованиями установлено, что применение средств интенсификации повлияло на её количество. В среднем за сезон запасы фитомассы в посевах ярового рапса оценивались на уровне 1,43-2,26 т/га (p

=0,0000). Существенное увеличение фитомассы до 2,18-2,26 т/га было отмечено на вариантах опыта с применением стимулятора Берес 8 совместно с Ультрамаг Комби, стимулятора Регги и при его совмещении с Берес 8 и Ультрамаг Комби (табл. 23; прил. 10).

Таблица 23 – Статистические показатели запасов надземного растительного вещества в посевах ярового рапса, т/га (n=5)

Вариант	Фитомасса культуры		Фитомасса сорняков		Надземная мортмасса	
	<i>X_{ср}</i>	<i>C_v, %</i>	<i>X_{ср}</i>	<i>C_v, %</i>	<i>X_{ср}</i>	<i>C_v, %</i>
Химическая защита (контроль-фон)	1,43	150	0,21	114	0,56	121
Ультрамаг Комби (2 л/га)	1,75	145	0,28	117	0,58	127
Регги (1,2 л/га)	2,25	135	0,17	105	0,51	137
Ультрамаг Комби (2 л/га) + Регги (1,2 л/га)	1,77	142	0,27	125	0,71	121
Берес 8 (0,2 л/га)	1,71	142	0,35	120	0,52	129
Берес 8 (0,2 л/га) + Ультрамаг Комби (2л/га)	2,26	135	0,25	116	0,63	125
Регги (1,2 л/га) + Берес 8 (0,2 л/га)	1,88	151	0,20	115	0,72	159
Регги (1,2 л/га) + Берес 8 (0,2 л/га) + Ультрамаг Комби (2л/га)	2,18	137	0,29	134	0,58	137
<i>p</i>	<i>pA</i> (вариант) = 0,0000*; <i>pB</i> (срок) = 0,0000*; <i>pAB</i> (взаимодействие) = 0,0000*		<i>pA</i> (вариант) = 0,0000*; <i>pB</i> (срок) = 0,0000*; <i>pAB</i> (взаимодействие) = 0,0000*		<i>pA</i> (вариант) = 0,0233*; <i>pB</i> (срок) = 0,0000*; <i>pAB</i> (взаимодействие) = 0,0054*	

Максимальный общий запас надземного растительного вещества в агроценозе ярового рапса по вариантам опыта отмечен в августе. В этот период фитомасса культуры достигала 5,0-6,9 т/га. Таким образом, совместное применение препаратов Берес 8 и Ультрамаг Комби, а также препарата Регги приводит к существенному и стабильному во времени увеличению запасов фитомассы ярового рапса в среднем в 1,5-1,6 раза по сравнению с контролем.

Одновременно с запасами фитомассы ярового рапса в фитоценозе появились сорняки. При появлении сорняков была проведена гербицидная обработка. Кроме того, яровой рапс при своевременной защите от болезней и вредителей на начальных стадиях в дальнейшем способен самостоятельно подавлять развитие сорных растений своей мощной корневой системой и листовой поверхностью (Тулькубаева, 2017). Запасы фитомассы сорняков по вариантам опыта были небольшими и в среднем за сезон изменялись по вариантам опыта от 0,17 до 0,35 т/га ($p=0,0000$) (табл. 23; прил. 10). Пик запасов сорных растений приходится на июльский период (0,45-2,04 т/га). Применение ростостимулирующих препаратов и подкормка вегетирующих растений Ультрамаг Комби определило увеличение запасов фитомассы сорного компонента на 0,04-0,14 т/га по сравнению с контрольным вариантом. Достоверное снижение запаса фитомассы сорняков установлено на варианте с применением препарата Регги (0,17 т/га).

Некоторая часть запасов фитомассы культуры и сорных растений отчуждается с урожаем семян, но большая ее часть измельчается и остается на поверхности, после чего в надземной части агроценоза остаются значительные запасы мортмассы. Среднесезонные запасы надземной мортмассы в посевах ярового рапса, возделываемого на интенсивном фоне, оцениваются величиной 0,51-0,72 т/га ($p=0,023$) (табл. 23; прил. 10). Максимальные запасы надземной мортмассы сформировались на вариантах опыта с применением подкормки Ультрамаг Комби и стимулятора Регги и при совместном применении Регги и Берес 8 (0,71-0,72 т/га). Максимум их накопления приходится на сентябрьский период (2,20-2,70 т/га).

Подземное растительное вещество в агроценозе представлено корнями ярового рапса и мортмассой. Последняя разделяется на крупную ($>0,5$ мм) и мелкую ($<0,5$ мм) фракции. Исследованиями установлено, что применение комплексного жидкого удобрения Ультрамаг Комби и совместного применения Ультрамаг Комби с биологическим стимулятором Берес 8 способствовало наибольшему приросту корней ярового рапса. На этих вариантах опыта запас

корней в среднем за вегетационный сезон достигает 1,21-1,23 т/га (табл. 24; прил. 11). При этом максимум запасов корней приходится на послеуборочный период. На этих вариантах опыта они оцениваются величиной 3,21-3,63 т/га. Запасы крупной мортмассы изменяются по вариантам опыта от 5,15 до 7,69 т/га (табл. 24).

Таблица 24 - Статистические показатели запасов подземного растительного вещества в посевах ярового рапса, т/га (n=5)

Вариант	Корни культуры		Крупная мортмасса		Мелкая мортмасса	
	<i>Хср</i>	<i>Сv, %</i>	<i>Хср</i>	<i>Сv, %</i>	<i>Хср</i>	<i>Сv, %</i>
Химическая защита (контроль - фон)	0,86	109	5,15	50	3,44	73
Ультрамаг Комби (2 л/га)	1,23	118	7,12	61	4,04	61
Регги (1,2 л/га)	0,91	117	6,04	57	4,13	62
Ультрамаг Комби (2 л/га) + Регги (1,2 л/га)	0,84	113	6,85	57	4,41	57
Берес 8 (0,2 л/га)	0,97	112	6,11	54	4,20	57
Берес 8 (0,2 л/га) + Ультрамаг Комби (2л/га)	1,21	127	6,29	57	3,84	62
Регги (1,2 л/га) + Берес 8 (0,2 л/га)	1,09	115	6,55	55	3,91	59
Регги (1,2 л/га) + Берес 8 (0,2 л/га) + Ультрамаг Комби (2л/га)	0,96	124	7,69	74	4,39	55
<i>p</i>	<i>pA (вариант) = 0,0001*; pB (срок) = 0,0000*; pAB (взаимодействие) = 0,0005*</i>		<i>pA (вариант) = 0,0002*; pB (срок) = 0,0001*; pAB (взаимодействие) = 0,0002*</i>		<i>pA (вариант) = 0,0000*; pB (срок) = 0,0022*; pAB (взаимодействие) = 0,0006*</i>	

На вариантах опыта с применением стимуляторов роста и удобрения Ультрамаг Комби, они достоверно превышают контроль на 0,89-2,54 т/га ($p=0,000$). Можно предположить, что приемы интенсификации благоприятно

способствовали на рост ярового рапса, тем самым обеспечивая наибольшее количество свежей порции растительного материала, поступающего с поверхности в течение вегетационного сезона. Мелкая мортмасса, формируясь из крупной мортмассы и корней, представляет собой частично гумифицированные растительные остатки или, так называемое лабильное органическое вещество. Исследованиями установлено, что наименьшие запасы мелкой мортмассы отмечены на контрольном варианте и составляют 3,44 т/га. На вариантах с применением средств интенсификации запасы мелкой мортмассы составляют в среднем 3,84-4,41 т/га.

Таким образом, применение жидкого удобрения Ультрамаг Комби и регуляторов роста Регги и Берес 8 при возделывании ярового рапса на маслосемена способствовало увеличению запасов фитомассы культуры, надземной мортмассы и корней. Максимальные запасы растительного вещества в надземной и подземной сфере были сформированы при применении в фазу бутонизации ярового рапса внекорневой подкормки Ультрамаг Комби и биологического стимулятора Берес 8 (2,26 и 1,21 т/га соответственно).

7.3 Пищевой режим агрочернозема

Для более полной реализации продукционного потенциала ярового рапса большую роль играет не только оптимизация его питания по макроэлементам, но и сбалансированность по микроэлементам. Поэтому при разработке технологии возделывания этой культуры особое значение имеет применение жидких подкормок с микроэлементами в период вегетации культуры (Гулидова, Зубкова, 2012; Цыганов и др., 2014). По мнению А.В. Щур с соавт. (2015), при определенных условиях некорневая подкормка может быть более экономически выгодной.

Перспективным направлением интенсификации и экологизации современного производства рапса является использование регуляторов роста и развития растений. П.А. Паскевич с соавт. (2008) отмечает, что широкое

применение препаратов комплексного действия будет способствовать уменьшению количества используемых агрохимикатов, сохранению и воспроизводству почвенного плодородия. Важно учитывать, что яровой рапс из-за высокого выноса элементов питания относится к культурам высокой химизации. Таким образом, обеспечение посевов ярового рапса минеральным питанием с целью получения высокой урожайности является важным элементом технологии возделывания этой культуры.

Наблюдения за пищевым режимом агрочернозема в посевах ярового рапса, возделываемого с применением регуляторов роста Регги, Берес 8 и некорневой подкормки Ультрамаг Комби, показали схожий характер сезонной динамики минеральных форм азота (табл. 25).

Таблица 25 – Статистические показатели содержания аммонийного азота в агрочерноземе, мг/кг (n = 5)

Вариант	0-20 см		20-40 см	
	<i>X_{ср}</i>	<i>C_v, %</i>	<i>X_{ср}</i>	<i>C_v, %</i>
Химическая защита (контроль - фон)	8,5	52	7,6	67
Ультрамаг Комби (2 л/га)	9,6	41	6,5	85
Регги (1,2 л/га)	9,4	36	9,3	60
Ультрамаг Комби (2 л/га) + Регги (1,2 л/га)	9,4	32	7,3	68
Берес 8 (0,2 л/га)	9,9	44	8,2	68
Берес 8 (0,2 л/га) + Ультрамаг Комби (2л/га)	9,5	52	8,4	65
Регги (1,2 л/га) + Берес 8 (0,2 л/га)	10,2	37	7,2	72
Регги (1,2 л/га) + Берес 8 (0,2 л/га) + Ультрамаг Комби (2л/га)	9,6	40	8,3	64
<i>p</i>	<i>pA</i> (вариант) = 0,0020*; <i>pB</i> (срок) = 0,0000*; <i>pAB</i> (взаимодействие) = 0,0405*		<i>pA</i> (вариант) = 0,1230; <i>pB</i> (срок) = 0,0202*; <i>pAB</i> (взаимодействие) = 0,0560	

При средней и высокой сезонной динамике аммонийного азота в 0-20 см слое почвы ($C_v = 32-52 \%$) и очень высокой ($C_v = 60-85 \%$) в подпахотном слое отмечается пик его накопления до повышенной обеспеченности в период цветения рапса (14-16 мг/кг). Периоды всходов, плодоношения и созревания культуры характеризуются низкой и средней обеспеченностью аммонийным азотом. Влияние дополнительных средств интенсификации на накопление аммонийного азота в 0-40 см слое почвы проявляется в период плодоношения и созревания ярового рапса. Достоверное повышение аммонийного азота до средней обеспеченности (7-9 мг/кг) по сравнению с контролем отмечено в фазу плодоношения рапса на вариантах опыта с применением подкормки Ультрамаг Комби и её сочетании с регулятором роста Регги, при применении Регги и его сочетании со стимулятором Берес 8. В период созревания рапса средняя и повышенная обеспеченность аммонийным азотом выявлена на всех вариантах опыта с применением регуляторов роста и подкормки (9-14 мг/кг).

Оценка среднестатистического содержания указывает на среднюю обеспеченность почвы аммонийным азотом в течение вегетационного сезона. Применение средств интенсификации при возделывании рапса способствует увеличению $N-NH_4$ в 0-20 см слое почвы на 1-2 мг/кг по сравнению с контролем ($p = 0,0020$). В подпахотном 20-40 см слое агрочернозема достоверных изменений не выявлено.

Преимущественное потребление рапсом нитратного азота, на что указывалось ранее, определяет, как правило, низкую и очень низкую обеспеченность 0-40 см слоя почвы (табл. 26). Средняя обеспеченность агрочернозема нитратным азотом (8-10 мг/кг) отмечалась в период всходов и начала образования розетки. Далее по мере роста культуры содержание нитратного азота варьирует в пределах от 3 до 8 мг/кг. Несмотря на интенсивный вынос $N-NO_3$ рапсом отмечено его пополнение в почвенном растворе к периоду созревания культуры. Эти изменения по сравнению с почвой контрольного варианта оцениваются величиной 0,4-3 мг/кг. В целом низкая обеспеченность нитратным азотом почвы сопровождается достоверным повышением его

количества на 1-2 мг/кг только в слое 0-20 см на вариантах опыта, где применялись регуляторы роста Берес 8, Регги и их сочетание с подкормкой Ультамаг Комби (7-8 мг/кг).

Таблица 26 – Статистические показатели содержания нитратного азота в агрочерноземе, мг/кг (n = 5)

Вариант	0-20 см		20-40 см	
	<i>X_{ср}</i>	<i>C_v, %</i>	<i>X_{ср}</i>	<i>C_v, %</i>
Химическая защита (контроль - фон)	6,6	39	5,9	34
Ультрамаг Комби (2 л/га)	6,6	44	5,8	36
Регги (1,2 л/га)	7,2	33	6,8	21
Ультрамаг Комби (2 л/га) + Регги (1,2 л/га)	6,6	42	6,0	28
Берес 8 (0,2 л/га)	7,4	30	6,1	26
Берес 8 (0,2 л/га) + Ультрамаг Комби (2л/га)	7,4	36	6,7	24
Регги (1,2 л/га) + Берес 8 (0,2 л/га)	8,0	20	6,7	22
Регги (1,2 л/га) + Берес 8 (0,2 л/га) + Ультрамаг Комби (2л/га)	7,2	33	6,4	23
<i>p</i>	<i>pA</i> (вариант) = 0,0122*; <i>pB</i> (срок) = 0,0204*; <i>pAB</i> (взаимодействие) = 0,0050*		<i>pA</i> (вариант) = 0,4023; <i>pB</i> (срок) = 0,0050*; <i>pAB</i> (взаимодействие) = 0,0600	

В сезонной динамике подвижного фосфора ($C_v = 28-42\%$) отмечается очень высокая обеспеченность 0-40 см слоя агрочернозема в период всходов ярового рапса (329-339 мг/кг), сменяющаяся на низкую и среднюю в период цветения (122-151 мг/кг) и повышенную в период плодоношения и созревания семян рапса (204-280 мг/кг).

Среднестатистическое содержание подвижного фосфора в агрочерноземе при возделывании гибрида рапса с применением дополнительных средств интенсификации оценивается на высоком уровне обеспеченности в слое 0-20 см и

повышенном в подпахотном 20-40 см слое без существенных различий с контрольным вариантом (табл. 27).

Таблица 27 – Статистические показатели содержания подвижного фосфора в агрочерноземе, мг/кг (n = 5)

Вариант	0-20 см		20-40 см	
	<i>X_{ср}</i>	<i>C_v, %</i>	<i>X_{ср}</i>	<i>C_v, %</i>
Химическая защита (контроль - фон)	229,4	42	222,0	35
Ультрамаг Комби (2 л/га)	226,5	35	230,8	28
Регги (1,2 л/га)	218,0	44	227,5	35
Ультрамаг Комби (2 л/га) + Регги (1,2 л/га)	209,3	42	218,6	36
Берес 8 (0,2 л/га)	226,5	41	237,2	34
Берес 8 (0,2 л/га) + Ультрамаг Комби (2л/га)	227,3	39	237,1	32
Регги (1,2 л/га) + Берес 8 (0,2 л/га)	214,7	41	220,9	38
Регги (1,2 л/га) + Берес 8 (0,2 л/га) + Ультрамаг Комби (2л/га)	231,4	40	246,8	33
<i>p</i>	<i>pA</i> (вариант) = 0,4031; <i>pB</i> (срок) = 0,0050*; <i>pAB</i> (взаимодействие) = 0,3023		<i>pA</i> (вариант) = 0,0702; <i>pB</i> (срок) = 0,0022*; <i>pAB</i> (взаимодействие) = 0,0744	

При возделывании рапса на контрольном варианте и с применением дополнительных средств интенсификации отмечается схожий характер сезонной динамики обменного калия ($C_v = 15-39\%$) (табл. 28). Средняя обеспеченность K_2O фиксировалась от всходов до цветения ярового рапса (75-88 мг/кг). В период цветения и плодоношения культуры содержание обменного калия оценивается на низком и среднем уровне (53-90 мг/кг). После уборки культуры его содержание в 0-40 см слое почвы достигает повышенного уровня. Так, по вариантам опыта величина содержания K_2O в слое 0-20 см составляет 93-117 мг/кг и достоверно не превышает контрольный вариант. В целом сохраняется средняя обеспеченность

обменным калием 0-40 см толщи агрочернозема (79-88 мг/кг) в течение вегетационного сезона без достоверных изменений по сравнению с контрольным вариантом ($p = 0,0630-0,1220$).

Таблица 28 – Статистические показатели содержания обменного калия в агрочерноземе, мг/кг ($n = 5$)

Вариант	0-20 см		20-40 см	
	<i>X_{ср}</i>	<i>C_v, %</i>	<i>X_{ср}</i>	<i>C_v, %</i>
Химическая защита (контроль - фон)	84,5	17	83,3	22
Ультрамаг Комби (2 л/га)	87,0	15	85,4	13
Регги (1,2 л/га)	80,8	21	84,5	29
Ультрамаг Комби (2 л/га) + Регги (1,2 л/га)	81,9	20	83,9	19
Берес 8 (0,2 л/га)	79,0	18	85,6	22
Берес 8 (0,2 л/га) + Ультрамаг Комби (2л/га)	87,7	18	84,6	18
Регги (1,2 л/га) + Берес 8 (0,2 л/га)	79,1	15	81,2	16
Регги (1,2 л/га) + Берес 8 (0,2 л/га) + Ультрамаг Комби (2л/га)	84,6	18	81,3	17
<i>p</i>	<i>pA (вариант) = 0,0630; pB (срок) = 0,0002*; pAB (взаимодействие) = 0,0802</i>		<i>pA (вариант) = 0,1220; pB (срок) = 0,0043*; pAB (взаимодействие) = 0,3200</i>	

Таким образом, применение средств интенсификации в виде регуляторов роста и некорневой подкормки в технологии возделывания ярового рапса существенным образом повлияло на пополнение почвенного раствора 0-20 см слоя агрочернозема минеральным азотом. Это обусловлено влиянием некорневой подкормки удобрением Ультрамаг Комби, содержащим в своем составе минеральный азот и усилением минерализационных процессов в почве на фоне применения регуляторов роста. В исследованиях Н.Л. Кураченко (2021)

подобный механизм действия регуляторов роста и развития был установлен при возделывании яровой пшеницы.

7.4 Продуктивность ярового рапса

Яровой рапс, являясь ценной масличной и высокобелковой культурой пищевого, кормового и технического использования, имеет большой инновационный ресурс для сельскохозяйственного производства Сибири (Бопп и др., 2019; Современные технологии..., 2020). При этом новые высокоинтенсивные гибриды ярового рапса предъявляют более высокие требования к обеспеченности почвы макро- и микроэлементами (Лукомец и др., 2012; Шпаар, 2013). Поэтому повышение продуктивности рапса достигается за счет интенсивных технологий возделывания этой культуры (Кураченко, 2015; Кубасова, 2016). По мнению Н.Л. Кураченко с соавт. (2020), производство высококачественных семян в условиях Сибири – задача сложная. Её решение определяется правильно подобранными сортами, агротехникой, почвенными и погодными условиями.

Анализ структуры урожая ярового рапса показал, что применяемые в полевом опыте регуляторы роста и дополнительная подкормка растений, оказали положительное влияние на её элементы (табл. 29). Отмечено увеличение сохранности растений к уборке на 6-42 % по сравнению с контрольным вариантом. Сочетание некорневой подкормки удобрением Ультрамаг Комби с регулятором роста Регги, предотвращающим вытягивание растений, обусловило максимальную сохранность растений рапса к уборке (85 %). Достоверное положительное влияние биологического стимулятора Берес 8, содержащего комплекс гуминовых, фульвокислот и микроэлементов, выявлено на формирование боковых стеблей в фазу ветвления рапса. Так, опрыскивание вегетирующих растений препаратом Берес 8 и его сочетание с подкормкой жидким удобрением и регулятором роста Регги определило наибольшее число боковых стеблей на растении (9-11 шт.). Минимальное количество стручков,

формирующихся на растении, было выявлено на контрольном варианте (54 шт.). Увеличение числа боковых побегов до 10-11 шт. на растениях вариантов с Берес 8 и сочетающего регуляторы роста Берес 8 и Регги, привело к увеличению числа стручков до 80-84 шт. ($НСР_{05} = 5$).

Таблица 29 – Структура урожая гибрида ярового рапса Контра КЛ (n = 40)

Вариант	Растений к уборке, шт./м ²	Число боковых стеблей, шт./раст.	Число плодов на растении, шт.	Высота растений, см
Химическая защита (контроль - фон)	48	5	54	123
Ультрамаг Комби (2 л/га)	51	7	62	135
Регги (1,2 л/га)	61	8	70	136
Ультрамаг Комби (2 л/га) + Регги (1,2 л/га)	68	7	60	132
Берес 8 (0,2 л/га)	60	10	80	138
Берес 8 (0,2 л/га) + Ультрамаг Комби (2л/га)	51	9	76	145
Регги (1,2 л/га) + Берес 8 (0,2 л/га)	57	11	84	133
Регги (1,2 л/га) + Берес 8 (0,2 л/га) + Ультрамаг Комби (2л/га)	52	7	69	138
НСР ₀₅	4	4	5	8

Гуминовый препарат Берес 8, совмещенный в баковых смесях с некорневой подкормкой Ультрамаг Комби оказал ростостимулирующий эффект на растения ярового рапса. На этом варианте опыта высота растений достигала 145 см, что на 22 см выше контрольного варианта.

В условиях дефицита влаги, складывающегося в течение вегетационного сезона 2019 года, за исключением 3-ей декады июня и 1-ой декады июля, урожайность семян ярового рапса гибрида Контра КЛ была не высокой. На контроле в условиях комплексной защиты культуры она не превышала 1,0 т/га

(рис. 18). Обработка растений по вегетации регуляторами роста и удобрением Ультрамаг Комби способствовала повышению продуктивности гибрида в 1,2-3,0 раза.

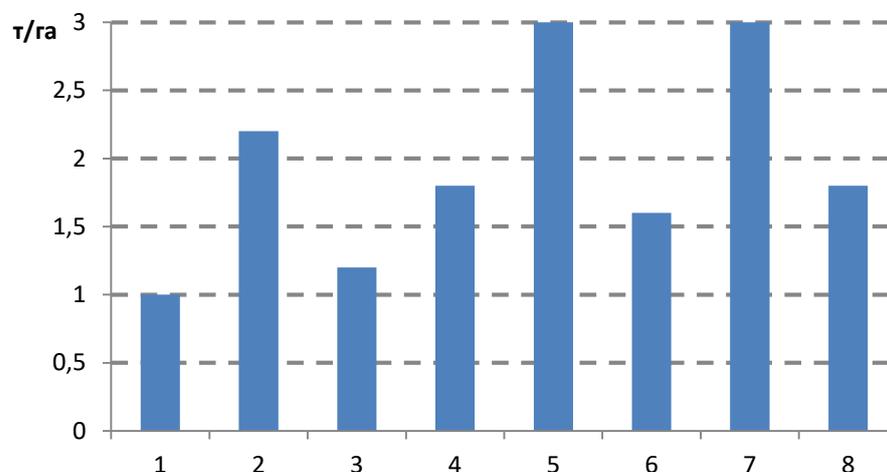


Рисунок 18 – Урожайность ярового рапса (т/га; $HCp_{05} = 0,4$) на вариантах опыта: 1. Контроль (фон): Табу, ВСК (6 л/т) – Миура (0,8 л/га) + Хакер, ВРГ (0,12 л/га) – Брейк, МЭ (0,06 л/га) – Табу Нео, СК (6л/га); 2. Ультрамаг Комби (2 л/га); 3. Регги (1,2 л/га); 4. Ультрамаг Комби (2 л/га) + Регги (1,2 л/га); 5. Берес 8 (0,2 л/га); 6. Берес 8 (0,2 л/га) + Ультрамаг Комби (2 л/га); 7. Регги (1,2 л/га) + Берес 8 (0,2 л/га); 8. Регги (1,2 л/га) + Берес 8 (0,2 л/га) + Ультрамаг Комби (2л/га)

Максимальная урожайность ярового рапса достигала 3 т/га и отмечена на варианте с применением биологического стимулятора Берес 8 и при его сочетании с регулятором роста растений Регги. Полученные результаты согласуются с исследованиями С.В. Засядько и С.В. Кадырова (2022), доказавшими прибавки в урожайности ярового рапса на 12-18 % по сравнению с контролем при дополнительном применении стимулятора роста и жидких комплексных удобрений в критические фазы развития культуры. В исследованиях А.И. Ерохина (2023) показано увеличение урожайности семян ярового рапса на 0,22 т/га при обработке семян и растений культуры гуминовыми препаратами.

Устойчивость агроценоза ярового рапса как способность сохранять и поддерживать значение почвенных свойств и режимов на фоне повышения его продуктивности, обусловлена совершенствованием технологии возделывания культуры. Повышение урожайности маслосемян рапса при применении биологического стимулятора Берес 8 и его сочетание с регулятором роста

растений Регги на 66 % ($R = 0,81$) сопряжено с гидротермическим режимом почвы. Множественная корреляционная зависимость выявлена между урожайностью культуры и агрохимическим состоянием почвы ($R = 0,97$). Среди показателей пищевого режима почв сильная связь с урожайностью маслосемян рапса выявлена по содержанию нитратного ($r = 0,86$) и аммонийного азота ($r = 0,56$). Гуминовый препарат Берес 8, а также его совмещение в баковых смесях с регулятором роста растений Регги, способствует существенному увеличению некоторых показателей почвы и продуктивности растений (рис. 19).

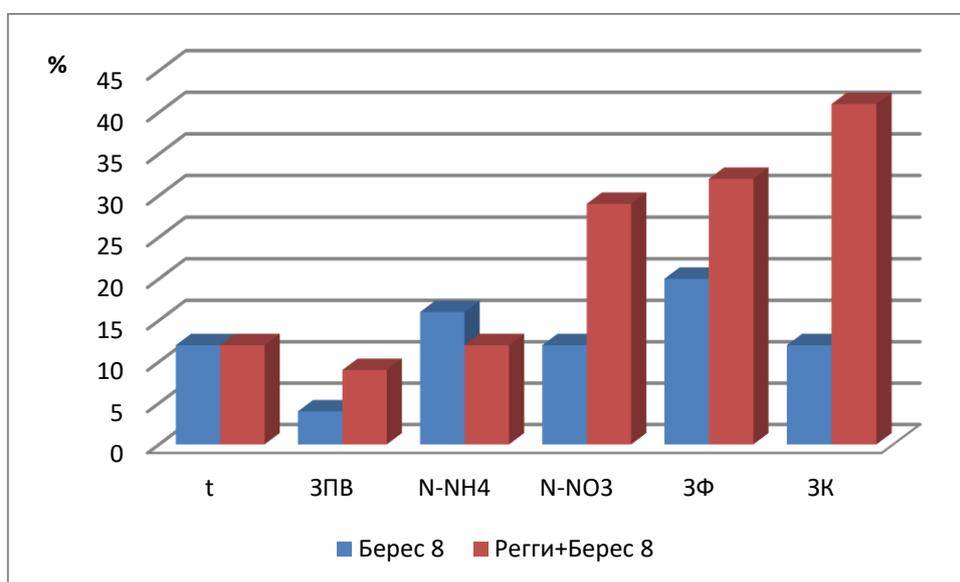


Рисунок 19 – Относительное увеличение показателей агрочернозема (0-20 см) и продуктивности ярового рапса по сравнению с контрольным вариантом, % (t – температура; ЗПВ – запасы продуктивной влаги; N-NH₄ – аммонийный азот; N-NO₃ – нитратный азот, ЗФ – запас фитомассы культуры; ЗК – запас корней)

Установлено, что по сравнению с контрольным вариантом, где применялась комплексная химическая защита растений, отмечается относительное повышение температуры 0-20 см слоя агрочернозема на 12 %, запасов продуктивной влаги до 9 %, содержания минерального азота до 12-29 %. Значительно увеличение запасов фитомассы культуры и корней до 13-41 % отмечается на этих вариантах опыта.

Матрица парных коэффициентов корреляции показателей агрочернозема и продуктивности ярового рапса показывает, что урожайность маслосемян этой культуры в условиях технологии её возделывания с применением средств защиты,

минеральных подкормок, регуляторов и стимуляторов роста на 48-74 % сопряжена с температурным режимом почвы и содержанием в ней нитратного и аммонийного азота ($r = 0,69...0,86$) (табл. 30). Температурный режим агрочернозема в сильной степени влияет на запасы продуктивной влаги ($r = 0,73$), содержание и динамику минерального азота ($r = 0,74...0,88$). Сильная корреляционная связь между формами минерального азота ($r = 0,73$) подтверждает зависимость процессов нитрификации и аммонификации в биогеохимическом цикле азота.

Таблица 30 – Матрица парных коэффициентов корреляции абиотических факторов и показателей продуктивности ярового рапса ($n = 9$; $r_{05} = 0,65$)

	У	t	ЗПВ	ЗФ	ЗК	N-NO ₃	N-NH ₄	P ₂ O ₅	K ₂ O
У	1,000								
t	0,711*	1,000							
ЗПВ	0,252	0,729*	1,000						
ЗФ	-0,142	0,412	0,403	1,000					
ЗК	0,351	0,230	0,049	0,280	1,000				
N-NO ₃	0,859*	0,879*	0,510	0,360	0,450	1,000			
N-NH ₄	0,690*	0,741*	0,581	0,448	0,293	0,725*	1,000		
P ₂ O ₅	-0,175	-0,245	-0,402	-0,006	0,272	-0,285	-0,104	1,000	
K ₂ O	-0,497	-0,625	-0,577	0,147	0,494	-0,425	-0,470	0,544	1,000

* - достоверные значения коэффициента корреляции

В меньшей степени установлено влияние такого абиотического фактора как запасы продуктивной влаги в почве на её пищевой режим и продуктивность культуры. В средней степени они контролируют запасы фитомассы и содержание минерального азота ($r = 0,40...0,58$).

В полученном нами уравнении множественной регрессии доказывається сильное влияние на урожайность маслосемян ярового рапса таких абиотических факторов как температура почвы, содержание в ней нитратного и аммонийного азота:

$Y = - 22,6197745 + 0,090304066 t + 2,936270364 N-NO_3 - 0,727577096 N-NH_4$,
при $R = 0,97$; $R^2 = 0,93$

Таким образом, дополнительное введение в технологию возделывания гибрида ярового рапса стимуляторов и регуляторов роста растений на фоне их комплексной защиты является эффективным приёмом повышения урожайности культуры и сохранения плодородия агрочерноземов Канской лесостепи.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Агрочерноземы Канской лесостепи обладают высоким уровнем потенциального и средним эффективным плодородия. Они отличаются высоким содержанием гумуса (6-9 %), высокой поглотительной способностью (51-64 ммоль/100г), нейтральной и слабощелочной реакцией среды (6,5-7,3) в обрабатываемом горизонте РU.

2. Температурный режим пахотных горизонтов в агроценозах масличных капустных культур обуславливается температурой приземного слоя атмосферы и особенностями культуры. Температура 0-20 см слоя почвы в течение вегетации рыжика посевного, имеющего меньшую надземную фитомассу в среднем на 2°С выше (16 °С), чем в посевах ярового рапса (14 °С).

3. Почвы, функционирующие в посевах масличных культур, характеризуются удовлетворительными запасами продуктивной влаги в метровом слое. В посевах ярового рапса они изменяются от 149 до 94 мм, в посевах рыжика посевного – от 151 до 68 мм.

4. Максимальное потребление воды масличными культурами происходит из верхнего 0-50 см слоя почвы, преимущественно за счет летних осадков (88-95 %). Эвапотранспирационный расход влаги рапсом из метрового слоя агрочернозема оценивается на уровне 257-274 мм, рыжиком – 253-260 мм. Низкий расход продуктивной влаги (3-9 мм) со второго полуметра агрочернозема рыжиком обусловлен биологическими особенностями культуры, имеющей менее развитую корневую систему, чем рапс.

5. В структуре надземного растительного вещества преобладают запасы фитомассы масличных культур. Их доля к августовскому сроку составляет в агроценозе рапса 77 %, в агроценозе рыжика – 75 %. На долю надземной мортмассы приходится 17-15 % соответственно. В структуре подземного растительного вещества агроценоза ярового рапса преобладает мелкая мортмасса (39 %). Доля крупной мортмассы составляет 24 %, корней – 38 %. В агроценозе

рыжика посевного на долю крупной и мелкой мортмассы приходится 43-28 %, корней – 29 %.

6. Максимальный запас надземного растительного вещества в агроценозе рапса оценивается величиной 6-8 т/га, рыжика – 3-6 т/га. Запас надземной мортмассы после уборки рапса составляет 4-6 т/га, рыжика – 2-3 т/га. Запасы корней в 0-40 см слое почвы оцениваются величиной от 2 до 1,5 т/га соответственно.

7. Пищевой режим агрочерноземов определяется особенностями масличных культур, предшественником и погодными условиями. Преимущественное потребление нитратного азота обуславливает низкую обеспеченность им 0-40 см слоя почвы в посевах рыжика и рапса по занятому пару (5-6 мг/кг). В посевах рапса, возделываемых по чистому пару, обеспеченность средняя (11 мг/кг). Повышенная обеспеченность агрочерноземов подвижным фосфором (203-236 мг/кг) проявляется стабильно по годам. Содержание обменного калия, изменяющееся от среднего до очень высокого уровня обеспеченности, на 96-97 % зависит от предшественника и погодных условий.

8. С пожнивными остатками ярового рапса в почву возвращается 235 кг/га азота, фосфора и калия, с корневыми – 30 кг/га. Наибольшая доля возврата приходится на N и K (47-42 %). Поступление азота, фосфора и калия с растительными остатками рыжика посевного оценивается величиной 140 кг/га, что в два раза меньше по сравнению с рапсом. С корневыми и пожнивными остатками рыжика посевного в почву возвращается 70 кг/га азота и 51 кг/га калия. Количество фосфора в среднем за период наблюдений не превышает 19 кг/га.

9. Применение в технологии возделывания ярового рапса некорневой подкормки и регуляторов роста способствует повышению температуры 0-20 см слоя почвы на 1-2°C, более экономному расходованию запасов продуктивной влаги в метровом слое, увеличению запасов фитомассы культуры, надземной мортмассы и корней, увеличению содержания минеральных форм азота на 1-2 мг/кг и повышению урожайности маслосемян культуры в 1,2-3,0 раза по

сравнению с контролем. Доказано существенное влияние на урожайность маслосемян ярового рапса таких абиотических факторов как температура почвы, содержание в ней нитратного и аммонийного азота ($r = 0,69-0,86$).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Аверкина С. С. Накопление в почвах остаточных фосфатов удобрений // Фосфатный режим почв Сибири. – 1985. – С. 79–86.
2. Агафонов О. М., Ревенко В. Ю., Свиридов Н. Н. Оценка продуктивности рапса озимого при использовании различных агротехнических приемов // International Journal of Humanities and Natural Sciences. – 2020. – Vol. 1. – P. 130-133.
3. Агрохимические методы исследования почв / под ред. А. В. Соколова. М.: Наука, 1975. – 487 с.
4. Аринушкина Е. В. Руководство по химическому анализу почв. – М.: Изд-во МГУ, 1970. – 487 с.
5. Артемов И. В. Рапс. – М.: Агропромиздат, 1989. – 44 с.
6. Бабичев А. Н., Балакай Г. Т., Монастырский В. А. Накопление питательных веществ в почве при возделывании картофеля летней посадки после сидеральных культур // Плодородие. – 2015. – № 5. – С. 37–39.
7. Базилевич Н. И., Гребенщиков О. С., Тишков А. А. Географические закономерности структуры и функционирования экосистем.; АН СССР, Институт географии. – Москва: Федеральное государственное унитарное предприятие "Академический научно-издательский, производственно-полиграфический и книгораспространительский центр "Наука", 1986. – 296 с.
8. Базилевич Н. И., Титлянова А. А., Кудряшова С. Я., Косых Н. П. Потребление азота и зольных элементов наземными растительными сообществами Евразии // Известия Российской академии наук. Серия географическая. – 2003. – № 4. – С. 8–16.
9. Базилевич Н. И. Биологическая продуктивность экосистем Северной Евразии. - М.: Наука, 1993. – 294 с.
10. Базыкина Г. С. Анализ многолетней динамики элементов водного баланса типичных черноземов заповедной степи (Курская область) // Почвоведение. – 2010. – № 12. – С. 1468–1478.

11. Байбеков Р. Ф., Белопухов С. Л., Дмитриевская И. И., Дмитриев Л. Б. Сравнительная характеристика состава жирных кислот в липидах масел из семян технических культур // Достижения науки и техники АПК. – 2019. – Т. 33. – № 6. С. 62–65.
12. Батудаев А. П., Батуева М. Б. Использование сидеральных культур в условиях лесостепной зоны Бурятии // Вестник КрасГАУ. – 2015. – № 3. – С. 68–73.
13. Безкоровайная И. Н., Вишнякова З. В. Участие почвенной биоты в деструкции подстилок в лесных культурах // Лесоведение. – 1996. – №2. – С. 53–61.
14. Безруких В. А., Елин О. Ю., Дудник Н. А. Природные предпосылки экономического развития сельскохозяйственных территорий Приенисейской Сибири // Вестник российских университетов. – 2009. – №2. – С.407–410.
15. Бекузарова С. А., Дулаев Т. А., Качмазов Д. Г. Снижение радиации на горных сенокосах и пастбищах // Advances in Agricultural and Biological Sciences. – 2018. – Т. 4. – № 2. – С. 21–26.
16. Бопп В. Л., Пыжикова Н. И., Кураченко Н. Л., Валова Т. И. Обоснование способов и сроков уборки масличных культур (рапс, рыжик, горчица) в условиях Канской лесостепи // Вестник КрасГАУ. – 2019. – № 6. – С. 52–58.
17. Бопп В. Л., Кураченко Н. Л., Халипский А. Н., Чураков А. А., Ступницкий Д. Н. Семенная продуктивность гибридов рапса // Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет). – 2021. – № 4. – С. 6–16.
18. Боровко Л. Влияние минеральных удобрений на продуктивность и качество семян ярового рапса // Рапс: масло, белок, биодизель: матер. междунар. 23 науч.-практ. конф. – 2006. – С. 83–90.
19. Бородычев В. В., Шевченко В. А., Соловьев А. М. Динамика содержания обменного калия при освоении залежных земель в зависимости от системы удобрения и предшественников // Плодородие. – 2021. – №3. – С. 84–88.
20. Бугаков П. С., Горбачева С. М., Чупрова В. В. Почвы Красноярского края. – Красноярск, 1981. – 127 с.

21. Бугаков П. С. Из опыта статистической обработки результатов массовых анализов почв. – Новосибирск: Сиб. отд. АН СССР, 1964. – С. 248-254.
22. Бугреев В. А., Предеин Ю. А. Влияние срока посева и нормы высева на вынос элементов питания однолетними культурами из семейства капустных // Эффективность использования органических и минеральных удобрений в условиях Урала. –1989. – С. 104–108.
23. Бушнев А. С., Тишков Н. М. Изменение содержания гумуса и агрохимических свойств чернозема выщелоченного при длительном применении различных систем основной обработки почвы в севообороте с масличными культурами // Масличные культуры. Научно-технический бюллетень Всероссийского научно-исследовательского института масличных культур. – 2014. – № 1. – С. 38–51.
24. Бушнев А. С. Водный режим чернозема выщелоченного при длительном применении различных систем основной обработки почвы в севообороте с масличными культурами // Масличные культуры. Научно-технический бюллетень Всероссийского научно-исследовательского института масличных культур. – 2014. – № 2. – 20 с.
25. Буянкин В. И., Прахова Т. Я. Рыжик масличный (*Camelina* sp. L). Монография. – Волгоград: ООО «Сфера», 2016. –116 с.
26. Вадюнина А. Ф., Корчагина З. А. Методы исследования физических свойств почв, – М.: Агропромиздат, 1986. – 416 с.
27. Васбиева М. Т. Влияние длительного применения органических и минеральных удобрений на динамику содержания органического углерода и азотный режим дерново-подзолистой почвы // Почвоведение. – 2019. – № 11. – С. 1365–1372.
28. Васильев А. А. Влияние сидератов на фитосанитарное состояние агроэкосистем картофеля // Пермский аграрный вестник. –2014. – №3. – С. 3–10.
29. Вафина Э. Ф., Фатыхов И. Ш., Мерзлякова А. О. Реакция ярового рапса сорта Галант на обработку посевов микроудобрениями // Достижения науки и техники АПК. – 2014. – № 8. – С. 24–25.

30. Ведрова Э. Ф. Разложение органического вещества лесных подстилок / Э.Ф. Ведрова // Почвоведение. – 1997. – №2. – С. 216–223.
31. Вередченко Ю. П. Агрофизическая характеристика почв центральной части Красноярского края. – М.: Изд-во АН СССР, 1961. – 175 с.
32. Власенко О. А. Продукционно-деструкционные процессы в экосистемах Красноярской лесостепи: автореф. дис. канд. биол. наук. – Красноярск, 2005. – 19 с.
33. Власенко О. А., Кураченко Н. Л., Ульянова О. А., Казанова Е. Ю., Казанов В. В., Халилзода Ф. Структура и динамика запасов растительного вещества в агроценозе рыжика посевного // Вестник КрасГАУ. – 2019. – №11. – С. 24–29.
34. Власенко О. А., Аветисян А. Т. Запасы растительного вещества в агроценозах многолетних кормовых трав Красноярской лесостепи // Вестник КрасГАУ. – 2015. – № 10. – С. 126–131.
35. Возделывание рапса в Алтайском крае: Рекомендации / Алт. агропром-ком., Алт. НИИ земледелия и селекции с.-х. культур. – Барнаул: РИО, 1986. – 55 с.
36. Волошин Е. И., Аветисян А. Т. Руководство по удобрению капустных культур (ярового рапса, сурепицы, горчицы и редьки масличной): методические рекомендации. – Красноярск, 2017. – 28 с.
37. Гамзиков Г. П. Принципы почвенной диагностики азотного питания полевых культур и применения азотных удобрений // Совершенствование методов почвенно-растительной диагностики азотного питания растений и технологий применения удобрений на их основе. – М.: ВНИПТИХИМ, 2000. – С. 33–45.
38. Гилев С. Д., Замятин А. А., Суркова Ю. В. Роль предшественников при возделывании яровой пшеницы в Центральной лесостепной зоне Зауралья // Аграрный Вестник Урала. – 2014. – № 8. – С. 6–9.
39. Глушков В. В. Пожнивные сидеральные культуры и продуктивность ярового ячменя // Плодородие. – 2013. – № 4. – С. 39–41.
40. Гольцман С. В., Рендов Н. А., Горбачева Т. В., Некрасова Е. В. Водный режим почвы в посевах ярового рапса при разном уровне химизации // Вестник АГАУ. – 2017. – № 6. – С. 33–37.

41. Горлов С. Л., Кривошлыков К. М. Перспективы развития производства рапса в российской Федерации // Масличные культуры. – 2006. – №2. – С.139–142.
42. Горлов С. Л., Трубина В. С. Результаты селекционной работы по горчице и рыжику во ВНИИМК // Повышение эффективности селекции, семеноводства и технологии возделывания рапса и других масличных капустных культур. – Елец, 2016. – С. 29–36.
43. ГОСТ 26107-84. Методы определения общего азота. Издание официальное. – М.: Издательство стандартов, 1984. – 9 с.
44. ГОСТ 26204-91. Определение подвижных соединений фосфора и калия по методу Чирикова в модификации ЦИНАО. – М.: Издательство стандартов, 1992. – 6 с.
45. ГОСТ 26204-91. Определение подвижных соединений фосфора и калия по методу Чирикова в модификации ЦИНАО. – М.: Издательство стандартов, 1991. – 8 с.
46. ГОСТ 26212-91. Определение гидролитической кислотности по методу Каппена в модификации ЦИНАО. Государственный стандарт Союза ССР. – М.: Издательство стандартов, 1991. – 6 с.
47. ГОСТ 26423-85. Методы определения удельной электрической проводимости, рН и плотного остатка волной вытяжки. Межгосударственный стандарт. – М.: Стандартиформ, 2011. – 8 с.
48. ГОСТ 26487-85. Определение обменного кальция и обменного (подвижного) магния методами ЦИНАО. Государственный стандарт Союза ССР. – М.: Издательство стандартов, 1985. – 15 с.
49. ГОСТ 26488-85. Определение нитратов по методу ЦИНАО. Государственный стандарт Союза ССР. – М.: Издательство стандартов, 1985. – 5 с.
50. ГОСТ 26489-85. Определение обменного аммония по методу ЦИНАО. Государственный стандарт Союза ССР. – М.: Издательство стандартов, 1985. – 6 с.

51. ГОСТ 27821-88. Определение суммы поглощенных оснований по методу Каппена. Государственный стандарт Союза ССР. – М.: Издательство стандартов, 1988. – 7 с.
52. ГОСТ 30504-97. Пламенно-фотометрический метод определения содержания калия. Межгосударственный стандарт. – М.: Стандартинформ, 1997. – 10 с.
53. ГОСТ 32044.1-2012(ISO 5983-1:2005). Определение массовой доли азота и вычисление массовой доли сырого протеина по методу Къельдаля. Межгосударственный стандарт. – М.: Стандартинформ, 2012. – 16 с.
54. ГОСТ ISO 6491-2016. Определение содержания фосфора спектрометрическим методом. Межгосударственный стандарт. – М.: Стандартинформ, 2016. – 11 с.
55. Григорьев Е. В., Постовалов А. А. Реакция ярового рапса на обработку посевов жидкими минеральными удобрениями // Вестник Ульяновской ГСХА. – 2018. – №1. – С.60–63.
56. Григорьев Е. В., Постовалов А. А. Влияние некорневых подкормок на поражаемость ярового рапса болезнями // Научное обеспечение реализации государственных программ АПК и сельских территорий: Материалы международной научно-практической конференции. – 2017. – С. 292–295.
57. Гринец Л. В. Ресурсосберегающие технологии - резерв повышения экономических возможностей пашни // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. – 2012. – № 2. – С. 48–50.
58. Гулидова В. А., Зубкова Т. В. Эффективность микроудобрений на посевах ярового рапса // Земледелие. – 2012. – № 6. – С. 29–30.
59. Гулидова В. А. Изучение элементов технологии ярового рыжика в лесостепи Центрального Черноземья // Аграрный вестник Урала. – 2021. – № 02. – С. 33–40.
60. Дадыкин В. П. Температура почвы как один из факторов, определяющих эффективность удобрений // Почвоведение. – 1951. – № 9. – С. 557–562.

61. Демчук В. Топ-10 производителей рапса в 2019 году [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://latifundist.com/rating/top-10-proizvoditelej-rapsa-v-2019-godu>
62. Димо В. Н. Тепловой режим почв СССР. – М.: Колос, 1972. – 360 с.
63. Дмитриев Е. А. Математическая статистика в почвоведении. – М.: Изд-во МГУ, 1995. – 319 с.
64. Долгов С. И., Житкова А. А., Виноградова Г. В. Продуктивность использования растениями почвенной влаги при различной влажности почвы // Почвоведение. – 1979. – № 11. – С. 88–93.
65. Донос А. И., Кордуняну П. Н. Роль растительных остатков в пополнении почвы органическим веществом и элементами минерального питания // Агрохимия. – 1980. – № 6. – С. 63–69.
66. Доспехов Б. А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). – М.: Альянс, 2014. – 351 с.
67. Ерёмин Д. И., Моисеев А. Н. Влияние севооборотов на физические свойства чернозема выщелоченного // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. – 2012. – № 6. – С. 26–32.
68. Ерохин А. И. Продуктивность ярового рапса при обработке семян и растений гуминовыми препаратами // Зернобобовые и крупяные культуры. – 2023. № 2. – С. 141–147.
69. Зайцев А. М., Коваленко И. Н., Мох Д. Н. Эффективность накопления влаги сидеральными культурами на выщелоченном черноземе // Актуальные вопросы аграрной науки. – 2013. – № 8. – С. 5-10.
70. Засядько С. В., Кадыров С. В. Влияние листовых подкормок микроэлементами на урожайность ярового рапса в ЦЧР // Вестник Воронежского государственного аграрного университета. 2022. – № 4. – С. 20–29.
71. Зерфус В. М. Обоснование зонального размещения технологии возделывания рапса и сурепицы в Западной Сибири: автореф. дис... доктора сельскохозяйственных наук. – Омск, 1993. – 34 с.

72. Золотухин А. И., Потаракин С. В. Сравнительная эффективность различных систем обработки почвы при возделывании рапса ярового в условиях юго-востока Орловской области // Вестник аграрной науки. – 2018. – № 4. – С. 20–24.
73. Зотиков В. И., Сидоренко В. С., Бударина Г. А., Голопятов М. Т., Акулов А. С., Семёнов А. С., Вилунов С. Д. Влияние применения препаратов Биостим Масличный и Ультрамаг Комби на урожайность новых сортов зернобобовых культур // Зернобобовые и крупяные культуры. – 2019. – № 4. – С. 4–12.
74. Иванов А. Л., Сычев В. Г., Державин Л. М. Агробиохимический цикл фосфора. – М.: Россельхозакадемия, 2012. – 512 с.
75. Казанов В. В., Казанова Е. Ю. Динамика запасов продуктивной влаги в агрочерноземах Канской лесостепи в посевах ярового рапса // Инновационные тенденции развития российской науки: Материалы XIII Международной научно-практической конференции молодых ученых. – Красноярск. 2020. – С. 34–37.
76. Казанов В. В., Казанова Е. Ю. Динамика температурного режима агрочерноземов Канской лесостепи в посевах ярового рыжика / В. В. Казанов, Е. Ю. Казанова // Научно-практические аспекты развития АПК: Материалы национальной научной конференции, Красноярск, 12 ноября 2020 года. Часть 1. – Красноярск: Красноярский государственный аграрный университет, 2020. – С. 115–119.
77. Казанова Е. Ю., Казанов В. В. Азотный фонд агрочерноземов Канской лесостепи в посевах ярового рапса // Экологические чтения–2021. – Омск, 2021. – С. 254–259.
78. Карпачевский Л. О., Боровинская Л. Б., Хайдапова Д. Д. Роль корневых систем в почвообразовании в сухой степи // Почвоведение. – 1994. – № 11. – С. 77–84.
79. Каскарбаев Ж. А. Диверсификация растениеводства - основа плодосмена в засушливой степи Северного Казахстана // Ноу-тилл и плодосмен - основа аграрной политики поддержки ресурсосберегающего земледелия для интенсификации устойчивого производства. – 2009. С. – 68–77.
80. Кауричев И. С. Почвоведение. – Москва: Колос, 1969. – 543 с.

81. Кежембаева Ж. К., Умбетов А. К. Влагообеспеченность и коэффициент водопотребления зерновых культур на богаре в зависимости от различных способов обработки почвы и минерального питания // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. – 2019. – № 3. – С. 39–41.
82. Кашеваров Н. И., Нурлыгаянов Р. Б., Данилов В. П., Познахарева О. А., Шерер Д. В., Карома А. Н., Лештаев С. В., Сергеева С. С., Филимонов А. Л., Поцелуев О. М. Технология возделывания ярового рапса в подтаежной зоне Кемеровской области. – Кемерово, 2014. – 50 с.
83. Классификация и диагностика почв России / Л. Л. Шишов, В. Д. Тонконогов, И. И. Лебедева, М. И. Герасимова. – Смоленск : Ойкумена, 2004. – 342 с.
84. Козлова Л. М., Денисова А. В. Промежуточные культуры в полевых севооборотах Кировской области // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. – 2014. – № 5. – С. 33–37.
85. Кольцова Т. Г., Андреева А. А., Сунгатуллина Л. М. Сравнительная характеристика свойств выщелоченного чернозема при конверсионном и органическом земледелии // Российский журнал прикладной экологии. – 2015. – № 1. – С. 44–48.
86. Кравцова Е. В., Рудакова Л. В. Изменение агрохимических показателей чернозема обыкновенного под влиянием сидеральных культур // Аграрный вестник Урала. – 2019. – № 4. – С. 12–19.
87. Кречетов П. П., Черницова О. В. Температурный режим почв как экологический фактор развития экосистем // Доклады Академии наук. – 2009. – Т. 429. – № 4. – С. 545–549.
88. Крупкин П. И. Черноземы Красноярского края / П. И. Крупкин. – Красноярск: КрасГАУ, 2002. – 332 с.
89. Крупкин П. И. Почвенный покров – основа природного районирования и сельскохозяйственного использования геоморфологически сложной территории земледельческой части Красноярского края // Вестник КрасГАУ. – 2009. – № 6. – С. 23–33.

90. Кубасова Е. В. Факторы регулирования численности рапсового цветоеда в южной лесостепи Западной Сибири // Вестник ОмГАУ, 2016. – № 3. – С. 63–67.
91. Кудрявцев К. А. Некоторые особенности возобновления березы // Лесное хозяйство. – 1955. – № 5. – С. 24–28.
92. Кузин А. И., Трунов Ю. В., Соловьев А. В., Тарова З. Н. Содержание легкогидролизуемого азота в почве как важный Показатель для диагностики питания яблони в условиях Центрально-Черноземного региона // Научный журнал КубГАУ. – 2014. – №102. – С.1–18.
93. Кузина Е. Е. Продуктивность сельскохозяйственных культур и изменение плодородия серой лесной почвы при использовании цеолита и удобрений в лесостепном Поволжье: автореф. дисс. ... канд. сельскохозяйственных наук. – Пенза, 2008. – 24 с.
94. Кураченко Н. Л., Ульянова О. А., Власенко О. А., Казанов В. В., Казанова Е. Ю. Влагодобеспеченность посевов ярового рапса на агрочерноземах Канской лесостепи // Вестник аграрной науки. – 2020. – № 5. – С. 39–44.
95. Кураченко Н. Л., Колесников А. С., Колесникова В. Л., Романов В. Н. Агрофизическое состояние чернозема и продуктивность рапса, возделываемого по ресурсосберегающим технологиям в Красноярской лесостепи // Плодородие. – 2015. – № 3. – С. 19–21.
96. Кураченко Н. Л. Действие биологического стимулятора Гипергрин на пищевой режим агрочерноземов Красноярской лесостепи //Агрохимический вестник, 2021. – № 2. – С. 41–45.
97. Кураченко Н. Л., Колесникова В. Л., Шереметов В. С. Влагодобеспеченность чистых и бинарных посевов кормовых культур на черноземах Красноярской лесостепи // Вестник КрасГАУ. – 2015. – № 2. – С. 16–21.
98. Кураченко Н. Л., Халипский А. Н., Казанов В. В. Влияние микробиологического удобрения "Азофит" на агрофизическое состояние чернозема и продуктивность рапса, возделываемого на маслосемена // Вестник КрасГАУ. – 2019. – № 3. – С. 22–28.

99. Кураченко Н. Л. Гумусовые вещества в формировании агрофизических свойств почв Красноярской лесостепи. – Красноярск: Красноярский государственный аграрный университет, 2019. – 143 с.
100. Кураченко Н. Л., Власенко О. А., Ульянова О. А., Казанова Е. Ю., Казанов В. В., Казюлин Л. Ф. Температурный режим агрочерноземов при возделывании масличных культур в Канской лесостепи // Вестник КрасГАУ. – 2019. – № 12. – С. 3–8.
101. Кураченко Н. Л. Сезонная динамика свойств агрочернозема при возделывании ярового рапса на маслосемена // Вестник КрасГАУ. – 2021. – № 4. – С. 27–32.
102. Кураченко Н. Л., Колесников А. С., Колесникова В. Л., Романов В. Н. Агрофизическое состояние чернозема и продуктивность рапса, возделываемого по ресурсосберегающим технологиям в Красноярской лесостепи // Плодородие. – 2015. – № 3. – С. 19–21.
103. Кураченко Н. Л., Ульянова О. А., Власенко О. А., Бопп В. Л., Казанов В. В. Оценка соответствия почвенно-агрохимических условий Канской лесостепи биологическим потребностям растений рапса и рыжика // Достижения науки и техники АПК. – 2019. – Т. 33. – № 11. – С. 5–9.
104. Кураченко Н. Л., Ульянова О. А., Власенко О. А., Казанов В. В., Казанова Е. Ю. Пищевой режим агрочернозема Канской лесостепи при возделывании ярового рапса на маслосемена [Электрон. ресурс] // АгроЭкоИнфо: Электронный научно-производственный журнал. – 2022. – № 3. – Режим доступа: http://agroecoinfo.ru/STATYI/2022/3/st_316.pdf.
105. Кураченко Н. Л., Ульянова О. А., Власенко О. А., Казанов В. В., Казанова Е. Ю. Структура и динамика запасов растительного вещества в агроценозе ярового рапса // IX Сибирские Прянишниковские агрохимические чтения. – Красноярск, 2022. – С. 166-172.
106. Кшникаткина А. Н., Прахова Т. Я., Крылов А. П. Агроэкологическое изучение масличных культур семейства *Brassicaceae* в условиях среднего Поволжья // Нива Поволжья. – 2018. – № 1. – С. 54–60.

107. Кшникаткина А. Н., Прахова Т. Я., Крылов А. П., Галиуллин А. А. Оценка качества маслосемян капустных культур в условиях Средневолжского региона // Достижения науки и техники АПК. – 2018. – Т. 32. – № 4. С. 41–43.
108. Лапшинов Н. А., Пакуль В. Н., Березин В. Ю. Ресурсоберегающая технология возделывания ячменя в условиях северной лесостепи Западной Сибири // Достижения науки и техники АПК. – 2010. – № 11. – С. 52–54.
109. Лебедев А. Н. Значение фосфоритов для сельского хозяйства северной половины черноземной полосы // Фосфориты как непосредственное удобрение. Ленинград, 1924. – С. 66–90.
110. Левин Ф. И. Количество растительных остатков в посевах полевых культур и его определение по урожаю основной продукции // Агротехника. – 1977. – № 8. – С. 36–42.
111. Лукомец В. М., Пивень В. Т., Тишков Н. М. Защита посевов рапса от болезней, вредителей и сорняков. – Краснодар, 2012. – 204с.
112. Лупова Е. И., Терентьев А. С., Виноградов Д. С., Соколов А. А. Производство семян рыжика ярового и чечевицы в смешанных посевах // Известия Дагестанского ГАУ. – 2019. – №2. – С. 152–156.
113. Лупова Е. И., Виноградов Д. В. Влияние гуминового удобрения и доз минеральных удобрений на продуктивность ярового рапса // Вестник аграрной науки. – 2020. – № 3. – С. 31–37.
114. Любимова Е. Л. Растительный покров. Зона травяных лесов и островной лесостепи // Средняя Сибирь. – М.: Наука. – 1964. – С. 249–263.
115. Малыхин А. В., Васенев И. И., Зарудная Т. Я., Здоровцов И. П. Закономерности внутривольного варьирования снегозапаса и смыва почв на лесостепных склонах западной части ЦЧР // Черноземы Центральной России: генезис, география, эволюция: мат-лы междунар. науч. конф., посвящ. 100-летию со дня рождения П.Г. Адерикина. – Воронеж, 2004. – С. 445–446.
116. Мальцев М. И., Путивская Д. Л. Влияние предшественников на эффективное плодородие эродированных чернозёмов и урожайность яровой

- пшеницы в лесостепи Юга Западной Сибири //Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2010. – № 12. – С. 5–8.
117. Мальцев М. И. Эффективность парозанимающих культур летнего срока посева в лесостепи Алтайского Приобья // Вестник АГАУ. – 2016. – №1. – С.37–42.
118. Малюга Н. Г., Леплявченко Л. П., Долгих Ю. Р. Состояние и основные пути повышения плодородия почв в Краснодарском крае // Применение удобрений и расширенное воспроизводство плодородия почв. Тр. ВИУА. – 1989. – С. 115–118.
119. Мелихов В. В., Зибаров А. А., Мелихова Н. П., Вронская Л. В. Факторы управления плодородием почвы в системе орошаемых севооборотов Нижнего Поволжья // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. – 2018. – № 4. – С. 96–103.
120. Минакова О. А. Агрэкологические аспекты применения удобрений в зернопаропропашном севообороте лесостепи ЦЧР: дисс. ... доктора сельскохозяйственных наук. – Воронеж, 2011. – 403 с.
121. Минеев В. Г. История и состояние агрохимии на рубеже XXI века. – М.: МГУ, 2006. – 795с.
122. Михайлина В. И., Прижуков Ф. Б., Черепанов Г. Г. О значении промежуточных посевов в обогащении почв Российской Федерации органическим веществом. – ВНИИТЭИагропром М., 1986. – 58 с.
123. Михеева, И. В. Вероятностно-статистические модели свойств почв, Новосибирск: Изд-во Сиб. отд. РАН, 2001. – 197с.
124. Моисеев А. Н., Еремин Д. И. Оценка севооборотов по влагообеспеченности культур в условиях лесостепной зоны Зауралья //Аграрный вестник Урала. – 2012. – № 11. – С. 18–20.
125. Мокрушина А. В., Богатырева А. С., Акманаев Э. Д. Влияние минеральных удобрений на семенную продуктивность и биохимический состав сортов ярового рапса в условиях среднего Предуралья // Пермский аграрный вестник. – 2019. – № 2. – С. 87–94.

126. Мокрушина А. В., Богатырева А. С., Акманаев Э. Д. Влияние доз минеральных удобрений на семенную продуктивность ярового рапса Смилла в условиях Среднего Предуралья // Научная жизнь. – 2018. – № 5. – С. 40–46.
127. Мосолов И. В. Физиологические основы применения минеральных удобрений. – Изд. 2-е, перераб и доп. – М.: Колос, 1979. – 255 с.
128. Муха В. Д., Картамышев Н. И., Муха Д. В. Агрочвоведение: учебник для вузов, – М.: Колос, 2003. – 526 с.
129. Наумов А. В., Наумова Е. Н. Разложение корневой растительной массы в «молодых» почвах КаТЭКа // Почвоведение. – 1993. – №5. – С.47–55.
130. Неклюдов А. Ф. Севооборот - основа урожая. – Омск, 1990. – 128 с.
131. Ненайденко Г. Н., Митин И. А. Удобрение, плодородие, урожайность. – Иваново, 2003. – 218 с.
132. Ниджляева И. А., Очирова Е. Н. Фитомелиоративное значение ярового рапса при возделывании в рисовом севообороте в условиях республики Калмыкия // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2018. – № 5. – С.39–43.
133. Никитин В. В., Соловиченко В. Д., Навальнев В. В., Карабутов А. П. Влияние севооборотов, способов обработки почв и удобрений на изменение органического вещества в черноземе типичном // Агрехимия. – 2017. – № 2. – С. 3–10.
134. Новиков М. Н., Баринов В. Н., Ермакова Л. И., Фролова Л. Д. Эффективность использования смешанных посевов во Владимирской области // Владимирский земледелец. – 2015. – №3. – С.14–17.
135. Новикова А. И. Режим влажности почвы в полях севооборотов на выщелоченных черноземах Красноярской лесостепи: автореф. дис... канд. с.-х. наук. – Улан-Удэ, 1970. – 30 с.
136. Новоселов Ю. К., Воловик В. Т., Рудоман В. В., Ян Л. В. Технологические основы возделывания ярового рапса в Нечерноземной зоне // Земледелие. – 2009. – №2. – С. 27–29.

137. Нурлыгаянов Р. Б., Рахимова Г. М., Карома И. А. Ретроспективный анализ и современное состояние производства ярового рапса в России // Интеграция науки и практики для развития агропромышленного комплекса. – Тюмень, 2019. – С. 383-392.
138. Нурлыгаянов Р. Б., Давлетшин Д. С. Эффективность и перспективы производства ярового рапса в Республике Башкортостан. – Немчиновка: НИИСХ ЦР НЧЗ, 2013. – 100 с.
139. Олейникова Е. Н., Янова М. А., Пыжикова Н. И., Рябцев А. А., Бопп В. Л. Яровой рапс – перспективная культура для развития агропромышленного комплекса Красноярского края // Вестник КрасГАУ. – 2019. – № 1. – С. 74–80.
140. Орлов А. Я. Значение отмирающих корней деревьев в круговороте веществ в лесу // Общая биология. – 1966. – №1. – С.40–48.
141. Осепчук Д. В. Рапс - перспективная культура // Сборник научных трудов Ставропольского научно-исследовательского института животноводства и кормопроизводства. – 2006. – Т. 1. – № 1. – С. 162–166.
142. Осипов А. И. Биологический круговорот азота атмосферы // Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. – 2016. – № 42. – С. 97-103.
143. Панников В. Д., Минеев В. Г. Почва, климат, удобрения и урожай. – М.: Агропромиздат, 1987. – 511 с.
144. Пелевин В. А. Промежуточные культуры как фактор повышения эффективного использования агроклиматических хозяйственных ресурсов // Аграрный вестник Урала. – 2012. – № 4. – С. 4–5.
145. Пенчуков В. М., Передернева В. М., Власова О. И. Биологизированные севообороты - эффективный путь сохранения плодородия почвы и повышения урожайности сельскохозяйственных культур // Вестник АПК Ставрополя. – 2012. – № 4. – С. 114–117.
146. Пехота А. П. Поступление элементов питания с соломой зерновых и зернобобовых культур в дерново-подзолистую супесчаную почву в зависимости от системы удобрения // Почвоведение и агрохимия. – 2014. – №2. – С. 179–185.

147. Пигорев И. Я., Беседин Н. В., Ишков И. В., Грудинкина В. В. Поддержание и сохранение почвенного плодородия в условиях органического земледелия // Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии. – 2018. – №9. – С.7–14.
148. Пилюк Я. Э. Рапс в Беларуси: биология, селекция и технология возделывания. – Минск: Бизнесофсет, 2007. – 240с.
149. Постников П. А., Васина О. В. Влияние способов обработки почвы на содержание минерального азота под культурами севооборота // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. – 2016. – № 10. – С. 137–141.
150. Прахова Т. Я., Вельмисева Л. Е. Влияние удобрений на продуктивность рыжика посевного // Зерновое хозяйство России. – 2015. – № 5. – С. 27–30.
151. Прахова Т. Я., Смирнов А. А., Прахов В. А., Турина Е. Л., Кулинич Р. А. Продуктивность рыжика озимого в зависимости от сроков сева в разных климатических регионах //Труды Кубанского государственного аграрного университета. 2017. – Вып. 66. – С. 203–207.
152. Прахова Т. Я., Прахов В. А. Масличные культуры семейства *Brassicaceae* в условиях Среднего Поволжья: монография. – Пенза. – РИО ПГАУ. – 2018. – 220 с.
153. Прахова Т. Я., Прахов В. А., Турина Е. Л. Агроэкологические аспекты формирования агроценозов нетрадиционных масличных культур //Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 2018. –Т.20. – №2. –С. 357–362.
154. Прахова Т. Я., Прахов В. А., Бражников В. Н., Бражникова О. Ф. Масличные культуры - биоразнообразие, значение и продуктивность //Нива Поволжья. – 2019. – № 3. – С. 30–37.
155. Ремезов Н. П. Почвенные коллоиды и поглощательная способность почв. – М.: Госсельхозизд, 1957. – 224 с.
156. Роде А. А. Основы учения о почвенной влаге. – Л.: Гидрометеоиздат, 1965. – Т. I. – 663 с.
157. Рудой Н. Г. Агрохимия почв Средней Сибири. – Красноярск, 2004. – 166 с.

158. Рычкова Н. В. Агрэколагічнае абоснаванне фракцыянавання сем'янаў, нормаў высева і спосабаў посева яровага рапса ў ўмовах лесастэпі Курганскай абласці: дыс. ... канд. сельскагаспадарчых навук: 06.01.09 / Рычкова Надежда Владимировна. – Курган, 2009. – 128 с.
159. Саскевіч П. А. Сраўнітельная эфектыўнасць сумеснага прымянення фунгіцыдаў і рэгулятара Экасіл на посевах рапса яровага // Агрэхімічны вестнік. – 2015. – № 4. – С. 24-27.
160. Саскевіч П. А., Цыганов А. Р., Гурыкова Е. І. Урожайнасць і якасць сем'янаў яровага рапса ў залежнасці ад прымянення прыродных рэгулятараў росту // Весці Нацыянальнай акадэміі навук Беларусі. Серыя аграрных навук. – 2008. – № 3. – С. 54–60.
161. Сатубалдын К. К. Фітосанітарная роля рапса ў севааборце // Захіта і каранцін раслін. – 2004. – № 9. – С. 48–49.
162. Семенов В. М. Почвенное органическое вещество. – М.: ГЕОС, 2015. – 233 с.
163. Семина Е. В., Вередченко Ю. П. Черноземы Красноярской лесостепи и их провинциальные особенности. О почвах Урала, Западной и Центральной Сибири. – М.: Изд-во АН СССР, 1962. – 231 с.
164. Сергеев В. С. Влияние растительных остатков на показатели почвенного плодородия // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2010. – № 9. – С. 28-34.
165. Сергеев Г. М. Ландшафтные особенности островных лесостепей Приенисейской Сибири в связи с историческим их развитием. География и хозяйство Красноярского края. – Красноярск, 1975. – 207 с.
166. Сидорова В. А., Красильников П. В. Пространственная вариабельность агрохімічных свайстваў чэрноземаў южных / В.А. Сидорова, // Чэрноземы Цэнтральнай Расіі: генезіс, геаграфія, эвалюцыя. – 2004. – С. 475–480.
167. Система земледелия Красноярского края на ландшафтной основе: Научно-практические рекомендации / Р. В. Алхименко, А. М. Берзин, А. В. Бобровский [и др.]. – Красноярск: Издательство Поликор, 2015. – 224 с.

168. Современные технологии возделывания ярового рапса: Научно-практическое издание / В. Л. Бопп, И. А. Васильев, А. А. Васильев [и др.]. – Красноярск : Красноярский государственный аграрный университет, 2020. – 56 с.
169. Спицына Н. Т. Природные и экологические условия Канской лесостепи // Вестник КрасГАУ. – 2014. – № 2. – С. 109–112.
170. Средняя Сибирь. Природные условия и естественные ресурсы СССР. – М.: Наука, 1964. – 257 с.
171. Страхов М. А., Хомутов О. И., Медведева Н. В. Интенсивная схема питания ярового рапса // Аграрная наука. – 2016. – № 4. – С. 7–8.
172. Судницын И. И. Движение почвенной влаги и водопотребление растений. – Издательство Московского государственного университета, 1979. – 254 с.
173. Суркова Ю. В. Яровой рапс в условиях лесостепной зоны Зауралья // Вестник Курганской ГСХА. – 2020. – № 3. – С. 68–71.
174. Схема природного районирования центральной части Красноярского края / М.П. Брицина, Н.Н. Галахов, Е.Л. Любимова [и др.] // Природное районирование центральной части Красноярского края и вопросы пригородного хозяйства. М.: Изд-во АН СССР, 1962. – С. 130–143.
175. Тарасенко Б. И., Найденов А. С., Бардак Н. И. Обработка почвы: учеб. пособие – Краснодар: КубГАУ, 2015. – 176 с
176. Тейт Р. Органическое вещество почв. Биологические и экологические аспекты. – М: Мир, 1991. – 400 с.
177. Тимирязев К. А. Борьба растений с засухой. - М.: Сельхозиздат, 1937. – 25с.
178. Титлянова А. А., Косых Н. П., Миронычева-Токарева Н. П., Романова И. П. Подземные органы растений в травяных экосистемах. – Новосибирск: Новосибирское отделение издательства "Наука", 1996. – 128 с.
179. Титлянова А. А., Тесаржова М. М. Режимы биологического круговорота. – Новосибирск: Наука, Сибирское отделение, 1991. – 152 с.
180. Титлянова А. А., Чупрова В. В. Изменение круговорота углерода в связи с различным использованием земель (на примере Красноярского края) // Почвоведение. – 2003. – № 2. – С. 211–219.

181. Тишков Н. М. Влияние растительных остатков и удобрений в севообороте с масличными культурами на плодородие черноземов выщелоченных // Масличные культуры: Науч.-тех. бюл. ВНИИМК. – 2006. – №. 2. – С. 132–138.
182. Топтыгин В. В. Почвы и урожай яровой пшеницы в условиях бугристо-западного рельефа Каннской лесостепи. – Тр. Краснояр. НИИСХ, 1972. Т.7. – С.180-187.
183. Тошкина Е. А., Бевз С. Я. Агробиологическая оценка сортов рапса ярового в условиях Новгородской области // Научные труды по агрономии. – 2019. – № 2. – С. 23–28.
184. Трубников Ю. Н. Оценка влияния минеральных удобрений и известкования на химический состав культур севооборота и баланс элементов питания в почвах Красноярского края // Агрехимический вестник. – 2012. – № 6. – С. 14–16.
185. Тулькубаева С. А. Изучение элементов технологии возделывания ярового рыжика в Северном Казахстане // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2017. – № 7. – С. 30–35.
186. Тулькубаева С. А., Васин В. Г. Применение регуляторов роста при возделывании ярового рапса в Северном Казахстане // Вестник Ульяновской ГСХА. – 2017. – №2. – С. 55–60.
187. Тулькубаева С. А. Особенности возделывания ярового рыжика на севере Казахстана // Достижения науки и техники АПК. – 2017. – Т.31. – № 8. – С. 35–37.
188. Тулькубаева С. А., Васин В. Г. Влагообеспеченность и продуктивность севооборотов с яровым рапсом в условиях северного Казахстана // Вестник Ульяновской сельскохозяйственной академии. – 2016. – № 2. – С.57–64.
189. Турина Е. Л., Прахова Т. Я., Турин Е. Н., Зубоченко А. А., Прахов В. А. Оценка сортообразцов рыжика озимого (*Camelina sylvestris* Waller ssp. *pilosa* Zing.) по экологической адаптивности // Сельскохозяйственная биология. – 2020. Т. 55. – № 3. – С. 564–572.
190. Турусов В. И., Абанина О. А., Богатых О. А. Изменение показателей почвенного плодородия при формировании севооборотов в адаптивном

земледелии юго-востока ЦЧЗ // Проблемы агрохимии и экологии. – 2019. – № 2. – С. 48–53.

191. Усеня А. А. Влияние предшественника на биологическую активность и урожайность озимой ржи // Сборник статей научных работников и аспирантов. – 2002. – С. 59–62.

192. Филонов В. М., Мамыкин Е. В. Применение минеральных удобрений под яровой рапс // Почвоведение и агрохимия. – 2011. – № 2. – С. 76–81.

193. Худолеева Н. Н. Совершенствование технологических приемов возделывания рапса ярового в условиях Южной зоны Амурской области: дисс. ... канд. сельскохозяйств. наук. – Благовещенск, 2005. – 181 с.

194. Цапко Ю. А., Десятник К. А., Огородняя А. И. Создание пространственной неоднородности в черноземе оподзоленном - залог его экологического состояния // Современное состояние черноземов. – Ростов-на-Дону, 2013. – С. 338-339.

195. Цыганов А. Р., Мастеров А. С., Плевко Е. А. Урожайность и качество семян рапса ярового в зависимости от применения микроудобрений и регуляторов роста // Вестник Белорусской государственной сельскохозяйственной академии. – 2014. – № 4. – С. 100-104.

196. Черников В.А., Милащенко Н.З., Соколов О.А. Экологическая безопасность и устойчивое развитие. – Пущино, Кн.3. Устойчивость почв к антропогенному воздействию, ОНТИ, 2001. – 201 с.

197. Чибис В. В., Иванов Е. А., Чибис С. П. Эффективность возделывания масличных культур (рапс, соя) в полевых севооборотах лесостепной зоны Западной Сибири // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. – 2014. – № 100. – С. 854–867.

198. Чибис, В. В., Чибис С. П., Кутышев И. Н., Фалалеева Е. В. Экономическая эффективность полевых севооборотов при оптимизации структуры посевных площадей // Вестник Казанского государственного аграрного университета. – 2017. – Т. 12. – № 4. – С. 45–49.

199. Чупрова В. В. Минерализуемый пул органического вещества в агрочерноземах юга Средней Сибири // Вестник КрасГАУ. – 2013. – №9. – С.83–89.
200. Чупрова В. В. Поступление и разложение растительных остатков в агроценозах Средней Сибири // Почвоведение. – 2001. – № 2. – С. 204–214.
201. Чупрова В. В. Углерод и азот в агроэкосистемах Средней Сибири. – Красноярск, 1997. – 165с.
202. Чупрова В. В. Запасы, состав и трансформация органического вещества в пахотных почвах Средней Сибири // Бюллетень Почвенного института им. В.В. Докучаева. – 2017. – № 90. – С. 96–115.
203. Чупрова В. В., Демьяненко Т. Н., Жуков З. С., Бабиченко Ю. В. Оценка плодородия почв и почвенных комбинаций пахотных земель Красноярской лесостепи // Почвоведение и агрохимия. – 2015. – № 2. – С. 47–55.
204. Шалагина Н. М. Влияние однолетних сидеральных культур в смешанных посевах на плодородие охристых вулканических почв Камчатки и урожайность картофеля в короткоротационном севообороте // Дальневосточный аграрный вестник. – 2020. – № 3. – С. 83–90.
205. Шапорина Н. А., Чичулин А. В., Танасиенко А. А. Латеральная изменчивость агрофизических показателей и неоднородность гидротермического поля в почвенном покрове склоновых поверхностей Предсалаирья // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2016. – № 2. – С.1270–1275.
206. Шапошникова И. М., Новиков А. А. Послеуборочные остатки полевых культур в зернопаропропашном севообороте // Агрохимия. – 1985. – № 1. – С. 48–51.
207. Шевцова Л. П., Шьурова Н. А., Каленюк А. В. Агробиологические особенности и продуктивность традиционных и редких масличных культур в засушливом Поволжье // Нива Поволжья. – 2008. – №4. – С. 36–39.
208. Шеуджен А. Х., Бондарева Т. Н., Кизинек С. В. Агрохимические основы применения удобрений. – Майкоп: ОАО «Полиграф-Юг», 2013. – 572с.

209. Шоба С. А. Морфология и морфогенез почв // Структурно-функциональная роль почвы в биосфере. – 1999. – С. 20-29.
210. Шорина И. В., Макарычев С. В. Термический режим чернозема выщелоченного под бахчевыми культурами в условиях Алтайского Приобья // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2015. – № 6. – С. 49–54.
211. Шлапунов В. Н., Радовня В. А., Аляпкин А. В. Влияние агротехнических приемов на накопление послеуборочных остатков ярового рапса // Почвоведение и агрохимия. – 2010. – № 1. – С. 197–204.
212. Шпаар Д. Рапс и сурепица. Выращивание, уборка, использование: учебно-практическое руководство. – М.: DLV Агродело, 2013. – 320с.
213. Шугалей Л. С. Водный и питательный режим почв Красноярской лесостепи в связи с сезонной мерзлотой: автореф. дис. ... канд. с.-х. наук. – Красноярск, 1969. – 30 с.
214. Шугалей Л. С. Влияние лесных культур на свойства плантожированной почвы // Почвоведение. – 2002. – № 3. – С. 345–354.
215. Щур А. В., Виноградов Д. В., Валько В. П., Валько О. В., Фадькин Г. Н., Гогмачадзе Г. Д. Радиоэкологическая эффективность биологически активных препаратов в условиях Беларуси // АгроЭкоИнфо. – 2015. – №5. Режим доступа: http://agroecoinfo.narod.ru/journal/STATYI/2015/5/st_20.doc.
216. Якименко В. Н. Калий в агроценозах Западной Сибири. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2003. – 231с.
217. Bertazzini M., Forlani G. Intraspecific Variability of Floral Nectar Volume and Composition in Rapeseed (*Brassica napus* L. var. *oleifera*) // *Frontiers in Plant Science*. – 2016. – Vol. 7. – 288 P.
218. Campbell M. Camelina – an alternative oil crop // In: Biokerosene M. Kaltschmitt, U. Neuling (eds.). Springer, Berlin, Heidelberg. – 2018. – Pp. 259–275.
219. Chatterjee D., Datta S. C., Manjaiah K. M. Fractions, up take and fixation capacity of phosphorus and potassium in three contrasting soil orders // *J. Soil Sci. Plant Nutr.* – 2014. – Vol. 14. – № 3. – P. 640–656.

220. Chengci Ch., Bekkerman A., Afshar R. K. Intensification of dryland cropping systems for bio-feedstock production: Evaluation of agronomic and economic benefits of *Camelina sativa* // *Industrial Crops and Products*. 2015. – Vol. 71. – Pp. 114–121.
221. Finlayson A. J. Changes in the nitrogenous components rapeseed (*Brassica napus*) grown on a nitrogen and sulfur deficient soil // *Canadian Journal of Plant Science*. – 1970. – № 6. – P. 705-709.
222. Graef F., Stachow U., Wernen A., Schuette G. Agricultural practice changes with cultivating genetically modified herbicide-tolerant oilseed rape // *Agricultural Systems*. – 2007. – Vol. 94. – P. 111–118.
223. Graf T. Standpunkt zur Erzeugung und Verwendung von Rapsol und Biodiesel in der Landwirtschaft // *Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft*. – 2004. – P. 8.
224. Heuzé V., Tran G., Sauvant D., Lessire M., Rapeseed meal. Feedipedia, a programme by INRAE, CIRAD, AFZ and FAO // *Feedipedia*. Animal feed resources information system. – 2020. Режим доступа: <https://www.feedipedia.org/node/52>
225. Horst W. J., Kamh M., Jibrin J. M., Chude V. O. Agronomic measures for increasing P availability to crops // *Plant and Soil*. – 2001. – Vol.237. – P.211–223.
226. Kenobi K. Atkinson A., Wells D. M., Gaju O. Bennett Linear discriminant analysis reveals differences in root architecture in wheat seedlings by nitrogen uptake efficiency // *Exp Bot*. – 2017. – P.4969–4981.
227. Kiryushin V. I. The Management of Soil Fertility and Productivity of Agroecosystems in Adaptive-Landscape Farming Systems // *Eurasian Soil Science*. – 2019. – Vol.52. – No. 9. – P. 1137–1145.
228. Kurachenko N. L., Khalipsky A. N., Kazanov V. V. The use of "Azofit" microbiological fertilizer to increase the productivity of the soil-plant system / N. L. Kurachenko // *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, Krasnoyarsk / Krasnoyarsk Science and Technology City Hall of the Russian Union of Scientific and Engineering Associations. – Krasnoyarsk: Institute of Physics and IOP Publishing Limited, 2019. – P. 22049.

229. Lotfi R., Kalaji H. M., Valizadeh G. R. Effects of humic acid on photosynthetic efficiency of rapeseed plants growing under different watering conditions // *Photosynthetica*. – 2018. – Vol. 56 – No 3. – P. 962–970.
230. Macak M., Galambosova J., Rataj V. Crop Residues Distribution after Tillage Operation under Controlled and Random Traffic Technology // *Acta technol. agr.* – 2015. – Vol.18–P.88–91.
231. Mäderetal P., Fließbach, A., Dubois, D., Gunst, L., Fried, P., Niggli, U. Soil fertility and biodiversity in organic farming // *Science*. – 2002. – Vol. 296. – P.1694–1697.
232. Matthees H. L., Thom M. D., Gesch R. W., Forcella F. Salinity tolerance of germinating alternative oilseeds // *Industrial Crops and Products*. – 2018. – Vol. 113. – P. 358–367.
233. Mirwais M., Kurepinb V., Reidb M. Effects of temperature and watering regime on growth, gas exchange and abscisic acid content of canola (*Brassica napus*) seedlings // *Environmental and Experimental Botany*. – 2012. – Volume 75. – P. 107–113.
234. Morales D., Potlakayala S., Soliman M., Daramola J., Weeden H., Jones A., Kovak E., Lowry E., Patel P., Puthiyaparambil J., Goldman S., Rudrabhatla S. Effect of biochemical and physiological response to salt stress in *Camelina sativa* // *Communication in soil Science and Plant analysis*. – 2017. – Vol. 48. – No. 7. – P. 716–729.
235. Nabeelaa F., Murada I., Khanb I., Mianc H., Rehmand M. Effect of wood ash application on the morphological, physiological and biochemical parameters of *Brassica napus* // *Plant Physiology and Biochemistry*. – 2015. – Volume 95. – P. 15–25.
236. Näsholm T., Kielland K., Ganeteg U. Up take of organic nitrogen by plants // *New Phytol.* –2009. – Vol.182. – P. 31–48.
237. Qaderia M. M., Kurepinb L. V., Reidb D. M. Effects of temperature and watering regime on growth, gas exchange and abscisic acid content of canola (*Brassica napus*) seedlings // *Environmental and Experimental Botany*. – 2012. – Vol. 75. – P. 107–113.

238. Rena T., Hui L., Lua J., Bua R., Lia X., Conga R., Luc M. Crop rotation-dependent yield responses to fertilization in winter oilseed rape (*Brassica napus* L.) // *The Crop Journal*. 2015. – Volume 3. – Issue 5. – P. 396–404.
239. Schroder G. Raps hat hohe Ansprüche // *Neue Land wirtschaft*. – 1992. – Vol. 7.– P. 43–45.
240. Sharma N. Assessment of biofuel potential in India // *International Journal of Recent Scientific Research*. – 2017. – No. 8. – Pp. 17125–17127.
241. Smulikowska S. Rape seeds and cake as a feed for peltry and swine and their effects on quality of animal products // *Rosliny Oleiste*. Poznan. – 2003. –T. – 24. P. 11–23.
242. Susan J., John A., Sprague, J., Kirkegaard, M. Sprague Crop and livestock production for dualpurpose winter canola (*Brassica napus*) in the high-rainfall zone of south-eastern Australia // *Field Crops Research*. – 2014. – Volume 156. – P. 30–39.
243. Tomasi P., Wang H., Lohrey G. T., et. al. Characterization of leaf cuticular waxes and cutin monomers of *Camelina sativa* and closely-related *Camelina* species // *Industrial Crops and Products*. – 2017. – Vol. 98. – Pp. 130–138.
244. Zanetti F., Alberghini B., Jeromela A. M., Grahovac N., Rajkovic D., Kiproviski B., Monti A. *Camelina*, an ancient oilseed crop actively contributing to the rural renaissance in Europe. A review // *Agronomy for Sustainable Development*. – 2021. – Vol. 41. – No.1.

ПРИЛОЖЕНИЯ

Приложение 1

Таблица П. 1 – Результаты дисперсионного анализа гидротермических показателей и плотности сложения агрочерноземов

Вариант	Глубина, см	Показатель									
<i>Запасы продуктивной влаги, мм</i>											
Рапс	0-20	27,5	37,5	31,8	28,0	28,0	36,0	31,8	30,0	27,0	27,0
Рыжик	0-20	30,3	21,0	39,2	22,0	30,1	22,0	39,0	25,0	27,0	28,0
р		0,391									
Рапс	20-40	32,4	29,3	37,4	30,0	32,0	29,3	36,0	30,0	32,0	30,0
Рыжик	20-40	30,8	26,0	36,1	28,0	30,5	27,0	35,1	30,0	30,0	30,0
р		0,283									
<i>Плотность сложения, г/см³</i>											
Рапс	0-20	0,76	0,70	0,97	0,96	0,80	0,73	0,70	0,80	0,70	0,76
Рыжик	0-20	0,76	0,70	0,91	0,91	0,71	0,76	0,80	0,75	0,70	0,78
р		0,805									
Рапс	20-40	0,83	0,70	0,97	0,80	0,70	0,97	0,80	0,80	0,83	0,95
Рыжик	20-40	0,82	0,67	0,97	0,82	0,68	0,70	0,80	0,68	0,95	0,97
р		0,570									
<i>Температура почвы, °С</i>											
Рапс	0-20	3,2	2,0	4,0	2,1	2,5	3,1	3,0	4,0	3,0	2,3
Рыжик	0-20	4,8	4,0	5,5	4,0	4,2	4,5	4,0	4,0	4,5	4,0
р		0,0001									

Таблица П. 2 – Результаты дисперсионного анализа пространственного распределения содержания гумуса в агрочерноземах

Вариант	Глубина, см	Показатель									
<i>Содержание гумуса, %</i>											
Рапс	0-20	7,5	6,9	6,9	8,7	8,1	7,4	7,0	8,5	7,1	7,0
Рыжик	0-20	6,8	5,8	7,6	7,6	6,5	7,3	6,0	6,2	7,3	6,8
р		0,0200									
Рапс	20-40	7,7	7,3	7,3	7,5	8,1	8,0	8,0	7,5	7,3	7,0
Рыжик	20-40	6,7	6,0	6,5	5,9	6,7	6,0	6,7	6,5	5,9	6,0
р		0,0001									

Таблица П. 3 – Результаты дисперсионного анализа пространственного распределения питательных веществ в агрочерноземах

Вариант	Глубина, см	Показатель									
<i>Содержание нитратного азота, мг/кг</i>											
Рапс	0-20	10,5	9,4	8,2	4,9	5,8	6,8	7,4	11,2	6,2	7,2
Рыжик	0-20	3,9	5,1	4,9	4,5	3,5	9,4	6,0	3,9	4,5	4,3
р		0,003									
Рапс	20-40	4,9	8,2	7,7	8,0	5,9	7,6	4,6	7,1	9,6	7,5
Рыжик	20-40	3,9	5,1	4,5	4,9	3,9	9,4	4,9	5,0	4,5	4,5
р		0,008									
<i>Содержание аммонийного азота, мг/кг</i>											
Рапс	0-20	7,3	10,5	9,9	8,9	9,1	8,8	8,9	11,3	8,7	10,1
Рыжик	0-20	8,0	9,9	8,4	7,3	8,8	9,9	8,4	8,0	8,0	8,3
р		0,070									
Рапс	20-40	8,0	8,5	9,1	11,8	13,5	10,4	8,6	10,5	11,4	10,7
Рыжик	20-40	8,4	8,4	8,2	8,4	8,6	8,4	8,2	8,3	8,0	8,2
р		0,002									
<i>Содержание подвижного фосфора, мг/кг</i>											
Рапс	0-20	346,0	359,0	250,0	311,0	333,0	333,0	311,0	291,0	283,0	254,0
Рыжик	0-20	252,0	285,0	254,0	98,0	389,0	250,0	280,0	297,0	399,0	290,0
р		0,348									
Рапс	20-40	328,0	371,0	253,0	288,0	357,0	300,0	276,0	254,0	267,0	256,0
Рыжик	20-40	378,0	248,0	197,0	100,0	319,0	409,0	320,0	300,0	250,0	300,0
р		0,685									
<i>Содержание обменного калия, мг/кг</i>											
Рапс	0-20	84,8	94,6	84,6	64,0	72,4	90,7	71,3	67,9	70,8	58,9
Рыжик	0-20	79,8	82,1	66,2	67,1	88,6	66,8	67,0	82,0	79,8	94,6
р		0,780									

продолжение табл. 3

Вариант	Глубина, см	Показатель									
		Рапс	20-40	75,1	79,1	70,8	70,7	67,6	69,8	69,7	61,8
Рыжик	20-40	74,4	78,6	66,7	72,0	87,9	72,0	66,8	66,9	110,0	116,3
p		0,059									

Таблица П. 4 – Содержание влаги и запасов продуктивной влаги в агрочерноземах в посевах ярового рапса и рыжика посевного в 2019-2020 гг.

2019 год																			
0-10 см		10-20 см		20-30 см		30-40 см		40-50 см		50-60 см		60-70 см		70-80 см		80-90 см		90-100 см	
W, %	ЗПВ, мм	W, %	ЗПВ, мм	W, %	ЗПВ, мм	W, %	ЗПВ, мм	W, %	ЗПВ, мм	W, %	ЗПВ, мм	W, %	ЗПВ, мм	W, %	ЗПВ, мм	W, %	ЗПВ, мм	W, %	ЗПВ, мм
<i>яровой рапс</i>																			
<i>16.05</i>																			
34,2	19,0	32,1	19,9	25,5	13,2	21,1	8,5	23,5	11,5	22,3	11,7	20,9	10,6	20,2	9,3	18,5	8,4	20,1	9,8
<i>03.06</i>																			
27,1	11,9	15,6	1,7	19,9	7,0	22,9	10,4	22,5	10,4	23,1	21,7	11,6	24,2	14,1	13,8	22,9	14,1	23	13,6
<i>18.06</i>																			
26,4	11,2	22,5	9,3	22,8	10,2	23,5	11,11	22,1	10,0	23,8	13,5	19,1	8,5	23,5	13,3	23,2	14,5	27,6	19,6
<i>01.07</i>																			
23,0	7,8	23,2	10,12	22,6	10,0	25,9	13,7	21,8	9,6	22,8	12,3	24,8	15,3	24,3	14,2	21,3	12,0	22,9	13,5
<i>18.07</i>																			
20,0	4,8	19,6	6,16	21,9	9,2	17,1	4,07	17,8	5,2	23,6	13,3	17,3	6,3	24,9	15	24	15,6	24,9	16,1
<i>08.08</i>																			
18,1	2,9	19,9	6,4	19,7	6,8	20,3	7,5	18,2	5,7	22,6	12,1	18,2	7,4	16,6	5,0	16,5	5,8	16,3	4,9
<i>29.08</i>																			
24,8	9,6	23,2	10,1	23,6	11,1	24,8	12,5	23,5	11,5	21,4	10,6	19,6	9,2	19,0	7,92	20,7	11,3	18,6	7,9
<i>12.09</i>																			
33,3	18,1	29,7	17,2	27,2	15,0	24,6	12,3	33,1	22,1	19,8	8,7	20,1	9,7	17,6	6,2	18,4	8,3	15,7	4,1
<i>рыжик посевной</i>																			
<i>16.05</i>																			
28,4	13,2	29,9	17,4	28,8	16,8	15,0	2,0	15,0	2,2	17,0	5,4	17,3	5,8	28,6	19,4	20,4	10,9	18,6	7,9
<i>03.06</i>																			
26,4	11,2	24,2	11,2	30,9	19,1	17,8	5,0	31,0	19,8	24,9	14,8	23,3	13,1	21,9	11,4	21,3	12,1	19,2	8,7
<i>18.06</i>																			
25,3	10,1	23,2	10,1	25,3	12,9	24,7	12,4	23,8	11,8	24,2	14,0	24,5	14,5	23,1	12,8	23,0	14,3	18,0	7,2
<i>01.07</i>																			

продолжение таблицы 4

0-10 см		10-20 см		20-30 см		30-40 см		40-50 см		50-60 см		60-70 см		70-80 см		80-90 см		90-100 см	
W, %	ЗПВ, мм	W, %	ЗПВ, мм	W, %	ЗПВ, мм	W, %	ЗПВ, мм	W, %	ЗПВ, мм	W, %	ЗПВ, мм	W, %	ЗПВ, мм	W, %	ЗПВ, мм	W, %	ЗПВ, мм	W, %	ЗПВ, мм
22,3	7,1	28,4	15,8	26,3	14,1	24,6	12,3	24,3	12,4	25,5	15,6	27,0	17,5	28,0	18,7	26,7	19,1	26,6	18,3
<i>18.07</i>																			
24,5	9,3	20,5	7,2	20,7	7,9	22,7	10,3	20,2	7,9	20,2	9,3	20,1	9,2	21,7	11,2	20,6	11,2	24,1	15,1
<i>08.08</i>																			
23,0	7,8	20,0	6,6	14,9	2,0	17,0	4,0	17,4	5,0	17,5	6,0	18,0	6,7	19,7	8,8	18,9	8,9	22,2	12,6
<i>29.08</i>																			
25,8	10,6	26,5	13,8	20,8	8,1	18,8	5,9	14,7	2,0	15,2	3,0	21,4	10,8	20,3	9,5	20,9	11,6	19,6	9,3
<i>12.09</i>																			
26,9	11,7	27,0	14,3	26,8	14,6	21,9	9,4	26,9	15,3	24,3	14,2	27,6	18,2	16,7	5,2	23,3	14,7	15,7	4,2
<i>2020 год</i>																			
<i>яровой рапс</i>																			
<i>21.05</i>																			
21,3	6,1	23,1	10,0	20,0	7,2	20,8	8,2	20,3	8,1	22,9	12,5	24,0	14,0	23,2	13,0	25,9	18,1	19,9	9,7
<i>08.06</i>																			
23,9	8,7	24,6	11,7	27,3	15,1	24,0	11,7	26,4	14,7	24,1	13,9	26,1	16,4	29,2	20,1	25,8	18,0	27,1	18,9
<i>23.06</i>																			
28,5	13,4	23,7	10,7	26,9	14,7	25,6	13,4	25,3	13,5	25,5	15,6	23,7	13,6	26,6	17,1	25,0	16,9	24,9	16,2
<i>14.07</i>																			
30,0	14,8	27,4	14,7	26,4	14,2	25,0	12,7	23,0	11,0	23,4	13,1	20,2	9,4	24,7	14,8	24,2	15,9	21,6	11,8
<i>29.07</i>																			
27,4	12,2	22,9	9,7	20,7	7,9	26,2	14,1	24,3	12,3	25,3	15,4	21,7	11,2	22,7	12,3	21,4	12,3	21,7	12,0
<i>13.08</i>																			
19,2	4,0	18,1	4,5	22,8	10,3	21,8	9,3	20,8	8,5	18,3	6,9	19,3	8,2	18,4	7,2	20,3	10,8	21,7	12,0
<i>27.08</i>																			
22,7	7,5	21,6	8,4	20,2	7,4	22,8	10,3	22,3	10,3	20,5	9,6	19,6	8,7	18,7	7,6	20,4	10,9	21,6	11,9
<i>10.09</i>																			
27,9	12,7	20,3	6,9	20,7	7,9	24,4	12,1	21,9	9,8	22,4	11,9	20,3	9,5	20,7	10,0	18,7	8,8	22,5	13,0
<i>яровой рыжик</i>																			
<i>21.05</i>																			
21,5	6,3	20,9	7,5	21,7	9,0	19,6	6,8	17,2	4,6	23,4	13,2	23,3	13,1	19,0	7,9	21,9	12,9	20,0	9,7
<i>08.06</i>																			
22,2	6,9	23,0	9,9	18,5	5,5	24,9	12,6	23,8	11,9	24,9	14,9	24,4	14,4	24,4	14,5	24,6	16,4	25,2	16,6

<i>продолжение таблицы 4</i>																			
0-10 см		10-20 см		20-30 см		30-40 см		40-50 см		50-60 см		60-70 см		70-80 см		80-90 см		90-100 см	
W, %	ЗПВ, мм	W, %	ЗПВ, мм	W, %	ЗПВ, мм	W, %	ЗПВ, мм	W, %	ЗПВ, мм	W, %	ЗПВ, мм	W, %	ЗПВ, мм	W, %	ЗПВ, мм	W, %	ЗПВ, мм	W, %	ЗПВ, мм
<i>23.06</i>																			
21,2	6,0	23,9	10,8	21,4	8,7	21,2	11,8	23,1	11,1	25,2	15,3	24,2	14,2	25,5	15,7	26,1	18,3	26,8	18,6
<i>14.07</i>																			
26,6	11,4	25,4	12,5	25,9	13,7	22,6	10,1	23,9	12,0	23,1	12,7	23,1	12,8	23,3	13,0	24,4	16,1	22,9	13,5
<i>29.07</i>																			
26,4	11,2	21,9	8,6	25,9	13,6	24,3	12,0	21,3	9,1	23,2	12,8	19,9	9,1	21,8	11,2	23,3	14,7	21,3	11,4
<i>13.08</i>																			
25,1	9,9	24,2	11,2	22,2	9,5	19,0	6,1	22,2	10,1	19,5	8,4	21,9	11,4	23,3	13,0	23,2	14,6	21,9	12,2
<i>27.08</i>																			
26,3	11,1	22,6	9,5	23,2	10,6	21,5	8,9	22,6	10,5	20,3	9,4	21,4	10,8	21,1	10,4	24,5	16,2	22,7	13,2
<i>10.09</i>																			
26,9	11,7	20,3	6,9	18,0	4,9	19,0	6,2	17,0	4,4	19,0	7,8	20,3	9,4	20,7	10,0	18,0	7,8	17,5	6,5

Таблица П. 5 – Статистические показатели содержания минерального азота агрочерноземов при возделывании ярового рапса

Статистический показатель	2019 год				2020 год			
	<i>рапс яровой</i>							
	N-NH ₄		N-NO ₃		N-NH ₄		N-NO ₃	
	0-20 см	20-40 см	0-20 см	20-40 см	0-20 см	20-40 см	0-20 см	20-40 см
X	9,3	9,7	5,6	5,2	13,4	9,9	10,9	11,3
Sx	4,7	3,9	1,5	1,5	15,2	9,3	7,1	7,6
min	5,0	6,7	3,7	3,6	3,6	3,4	3,0	3
max	15,8	15,1	7,3	7,1	36	23,6	20,0	21,3
Cv, %	50	41	27	29	113	94	64	67
	<i>рыжик посевной</i>							
X	9,4	10,2	4,9	4,5	7,2	5,4	6,1	5,7
Sx	3,0	2,8	1,0	0,2	5,6	2,7	1,7	1,8
min	7,2	8,2	3,8	4,2	2,4	2,9	3,7	2,9
max	13,9	14,3	6,0	4,7	14,6	8,2	7,9	6,7
Cv, %	32	27	20	4,0	78	50	29	32

Таблица П. 6 – Статистические показатели содержания подвижного фосфора агрочерноземов при возделывании масличных культур

Статистический показатель	<i>Рапс яровой</i>			
	2019 год		2020 год	
	0-20 см	20-40 см	0-20 см	20-40 см
X	247,1	225,6	213,0	192,6
Sx	79,2	72,5	64,7	68,6
min	132,2	128,3	136,4	126,6
max	307,1	295,0	289,6	289,1
Cv, %	32	32	30	36
	<i>Рыжик посевной</i>			
X	213,7	235,7	234,5	236,8
Sx	51,2	70,7	24,4	18,8
min	146,1	149,4	201,7	210,8
max	263,0	321,0	256,1	253,8
Cv, %	24	30	10	8

Таблица П. 7 – Статистические показатели содержания обменного калия агрочерноземов при возделывании масличных культур

Статистический показатель	<i>Рапс яровой</i>			
	2019 год		2020 год	
	0-20 см	20-40 см	0-20 см	20-40 см
X	83,9	79,2	148,1	133,2
Sx	16,1	18,3	20,0	14,2
min	71,4	61,4	120,1	112,6
max	107,4	103,2	164,1	142,1
Cv, %	19	23	14	10
	<i>Рыжик посевной</i>			
X	88,4	84,9	165,4	151,0
Sx	13,0	23,1	7,0	17,8
min	76,8	64,7	159,4	133,3
max	103,2	118	170,1	168,7
Cv, %	15	27	4	12

Таблица П. 8 – Дисперсионный анализ влияния факторов «Вариант» и «Срок отбора» на температурный режим агрочерноземов в посевах ярового рапса

Источник вариации	SS	df	MS	F	P-Значение	F критическое
<i>0-10 см</i>						
Вариант	134,9583	7	19,27976	8,730458221	9,62E-09	2,081872
Срок отбора	8810,333	7	1258,619	569,9407008	3,26E-93	2,081872
Взаимодействие	572,5208	49	11,6841	5,290912591	2,04E-14	1,453308
Внутри	282,6667	128	2,208333			
Итого	9800,479	191				
<i>10-20 см</i>						
Вариант	114,6615	7	16,38021	7,221584	2,78E-07	2,081872
Срок отбора	7891,411	7	1127,344	497,0153	1,54E-89	2,081872
Взаимодействие	345,2969	49	7,046875	3,106774	1,73E-07	1,453308
Внутри	290,3333	128	2,268229			
Итого	8641,703	191				

Таблица П.9 – Дисперсионный анализ влияния факторов «Вариант» и «Срок отбора» на запасы продуктивной влаги агрочерноземов в посевах ярового рапса

Источник вариации	SS	df	MS	F	P-Значение	F критическое
<i>0-20 см</i>						
Вариант	184,944	7	26,42057	8,95565	5,89001E-09	2,081872
Срок отбора	10846,01	7	1549,429	525,2025	5,12304E-91	2,081872
Взаимодействие	2470,48	49	50,41796	17,08993	3,19588E-37	1,453308
Внутри	377,62	128	2,950156			
Итого	13879,05	191				
<i>0-100 см</i>						
Вариант	992,2967	7	141,7567	3,74203	0,001014	2,081872
Срок отбора	41075,99	7	5867,998	154,9008	2,6E-59	2,081872
Взаимодействие	13945,62	49	284,6045	7,512863	2,8E-20	1,453308
Внутри	4848,933	128	37,88229			
Итого	60862,84	191				

Таблица П.10 – Дисперсионный анализ влияния факторов «Вариант» и «Срок отбора» на формирование надземного растительного вещества в посевах ярового рапса

Источник вариации	SS	df	MS	F	P-Значение	F критическое
<i>Фитомасса культуры</i>						
Вариант	9,391673	7	1,341668	36,68013	1,88E-22	2,126324
Срок отбора	693,1914	4	173,2979	4737,827	3,6E-94	2,485885
Взаимодействие	19,50674	28	0,696669	19,04639	5,94E-25	1,617112
Внутри	2,9262	80	0,036578			
Итого	725,016	119				
<i>Фитомасса сорняков</i>						
Вариант	0,295106	7	0,042158	10,92176	1,34E-09	2,126324
Срок отбора	9,444753	4	2,361188	611,7068	4,17E-59	2,485885
Взаимодействие	1,02674	28	0,036669	9,499815	1,11E-15	1,617112
Внутри	0,3088	80	0,00386			
Итого	11,0754	119				
<i>Надземная мортмасса</i>						
Вариант	0,67853	7	0,096933	2,482328	0,023322	2,126324
Срок отбора	61,69073	4	15,42268	394,9555	8,18E-52	2,485885
Взаимодействие	2,29292	28	0,08189	2,0971	0,005441	1,617112
Внутри	3,123933	80	0,039049			
Итого	67,78612	119				

Таблица П.11 – Дисперсионный анализ влияния факторов «Вариант» и «Срок отбора» на формирование подземного растительного вещества в посевах ярового рапса

Источник вариации	SS	df	MS	F	P-Значение	F критическое
<i>Корни культуры</i>						
Вариант	2,418653	7	0,345522	1,6632	0,000121	2,126324
Срок отбора	125,798	4	31,4495	1,5134	0,000010	2,485885
Взаимодействие	14,58066	28	0,520738	2,532	0,000520	1,617112
Внутри	1,66E-31	80	2,08E-33			
Итого	142,7973	119				
<i>Крупная мортмасса</i>						
Вариант	62,40833	7	8,915476	3,0131	0,000220	2,126324
Срок отбора	1226,037	4	306,5093	1,0333	0,000111	2,485885
Взаимодействие	250,7835	28	8,956555	3,0231	0,000220	1,617112
Внутри	2,37E-29	80	2,96E-31			
Итого	1539,229	119				
<i>Мелкая мортмасса</i>						
Вариант	10,58351	7	1,51193	9,9733	0,000001	2,126324
Срок отбора	540,6709	4	135,1677	8,9135	0,002200	2,485885
Взаимодействие	39,231	28	1,401107	9,2433	0,000550	1,617112
Внутри	1,21E-32	80	1,52E-34			
Итого	590,4854	119				

Акты внедрения результатов научных исследований

УТВЕРЖДАЮ:



Энгель Я.Я.

Акт внедрения

результатов научно-исследовательской работы
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Красноярский государственный аграрный университет»

Заказчик: ООО «ОПХ Соляное»

Настоящим актом подтверждается, что результаты работы «Оценка эффективности и отработка технологий применения новых форм удобрений, регуляторов роста и средств защиты растений (в контексте повышения эффективности производства в сочетании со снижением экологической нагрузки на агроценозы)», выполненной в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Красноярский государственный аграрный университет» на кафедре почвоведения и агрохимии в 2019 году внедрены в ООО «ОПХ Соляное».

1. Вид внедренческих результатов: Технология возделывания ярового рапса на маслосемена.
2. Форма внедрения: Разработана комплексная система защиты ярового рапса с применением биологических стимуляторов Гуминатрин масличный, Берес 8 и Регги.
3. Новизна результатов НИР: Усовершенствована интегрированная защита ярового рапса с применением биологических стимуляторов Гуминатрин масличный, Регги и Берес 8, обеспечивающая повышение урожайности семян в 3 раза.
4. Опытно-производственная проверка: 16.05.2019 – 16.10.2019 г., ООО «ОПХ Соляное».
5. Внедрены в производство: Технологический регламент интегрированной защиты ярового рапса, возделываемого на маслосемена.

От ФГБОУ ВО Красноярский ГАУ
Зав. кафедрой почвоведения
и агрохимии Кураченко Н.Л.

Исполнители: Власенко О.А.
Ульянова О.А.

От ООО «ОПХ Соляное»
Директор Энгель Я.Я.

УТВЕРЖДАЮ:

Ректор ФГБОУ ВО
«Красноярский государственный
аграрный университет»



Н.И. Пыжикова
2023г.

АКТ ВНЕДРЕНИЯ

Результаты научных исследований В.В. Казанова по теме: Почвенно-экологические аспекты возделывания масличных капустных культур в условиях Канской лесостепи» используются в учебном процессе кафедры почвоведения и агрохимии Института агроэкологических технологий ФГБОУ ВО «Красноярский государственный аграрный университет» по дисциплинам «Агрочвоведение», «Агрохимия» (для направлений 35.03.03 «Агрохимия и агропочвоведение», 35.03.04 «Агрономия») и «Управление плодородием почв», «Устойчивость почв» (для направления 35.04.03 «Агрохимия и агропочвоведение»).

Протокол № 1 от 20.09.2023г.

Зав. кафедрой
почвоведения и агрохимии

О.А. Власенко

Директор Института
агроэкологических технологий
ФГБОУ ВО «Красноярский ГАУ»

В.В. Келер