

**МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«Казанский государственный аграрный университет»**

Кафедра агрохимии и почвоведения

**ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА
(МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ)**

**по направлению подготовки 35.04.03 - Агрохимия и агропочвоведение
(Направленность (профиль) подготовки «Воспроизводство плодородия
почв в условиях усиления антропогенной нагрузки»)**

**на тему: «ДЕЙСТВИЕ НЕФТЯНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ И ПРИЕМОВ
РЕКУЛЬТИВАЦИИ НА ПРОДУКТИВНОСТЬ
СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР НА СЕРОЙ ЛЕСНОЙ
ПОЧВЕ»**

Магистрант -



Ахметзянов Алмаз Ильсурович

Ученый руководитель -
д.с.-х. н., профессор



Гилязов М. Ю.

Пущена к защите:

Ученый руководитель магистерской
программы - д.с.-х. н., профессор
ведущий кафедрой -
д.с.-х.н., доцент



Гилязов М.Ю.



Миникаев Р.В.

Казань – 2020

ОГЛАВЛЕНИЕ

	АННОТАЦИЯ	3
	ВВЕДЕНИЕ	5
1	ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ	7
2	УСЛОВИЯ И МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ.....	18
3	РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ	29
	3.1 Действие однократного нефтяного загрязнения серой лесной почвы на урожайность сельскохозяйственных культур в зависимости от давности и исходного уровня загрязнения	29
	3.2 Изменение элементов структуры урожая яровой пшеницы и ярового рапса под влиянием нефтяного загрязнения	43
	3.3 Изменение содержания в растениях ярового рапса основных питательных макроэлементов под влиянием нефтяного загрязнения	50
	3.4 Действие приемов рекультивации нефтезагрязненной серой лесной почвы на продуктивность ярового рапса	54
	3.5 Экономическая эффективность возделывания ярового рапса в зависимости от испытанных приемов рекультивации нефтезагрязненной почвы	61
4	ЗАКЛЮЧЕНИЕ	65
	СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ	67
	ПРИЛОЖЕНИЯ	76
	Приложение 1	77
	Приложение 2	78
	Приложение 3	79
	Приложение 4	80
	Приложение 5	81
	Приложение 6	82
	Приложение 7	83
	Приложение 8	84
	Приложение 9	85
	Приложение 10	86
	Приложение 11.....	87
	Приложение 12	88
	Приложение 13.....	89
	Приложение 14.....	90
	Приложение 15.....	91
	Приложение 16.....	92
	Приложение 17.....	93
	Приложение 18.....	94

АННОТАЦИЯ

Выпускная квалификационная работа (ВКР) состоит из введения, обзора литературы, главы «Условия и методика проведения исследования», основной части (результаты исследования), заключения, списка использованной литературы и приложений. Основная часть включает пять разделов. ВКР изложена на 75 страницах компьютерного текста, содержит 14 таблиц, 14 рисунков, 18 приложений. Список использованной литературы включает 74 источника, в том числе 6 иностранных авторов.

Во введении обоснована актуальность проблемы восстановления плодородия почв для решения теоретических и практических задач.

В главе «Обзор литературы» анализированы и обобщены научные публикации по экологической характеристике нефти, влиянию нефтяного загрязнения на свойства почв, продуктивность сельскохозяйственных культур и возможные приемы рекультивации нефтезагрязненных земель.

В главе «Условия и методика проведения исследования» изложены почвенно-климатические условия, места проведения эксперимента, схема стационарного опыта, площади опытных делянок, число повторений, размещение вариантов на участке, учеты и наблюдения с указанием методов анализа проб почв и растений.

В первом разделе основной части изложено изменение урожайности яровой пшеницы и ярового рапса в зависимости от уровня и давности загрязнения серой лесной почвы нефтью.

Во втором разделе основной части рассмотрено влияние нефтяного загрязнения на структуру урожая изученных сельскохозяйственных культур.

В третьем разделе основной части приведено содержание основных макроэлементов в урожае ярового рапса в зависимости от уровня нефтяного загрязнения серой лесной почвы.

В четвертом разделе основной части обсуждено действие нефти и приемов рекультивации на урожайность основной и побочной продукции ярового рапса.

В пятом разделе основной части дана оценка экономической эффективности возделывания ярового рапса в зависимости от нефтяного загрязнения и испытанных приемов рекультивации.

В заключении приводятся основные выводы, полученные на основе обобщения результатов исследования.

ANNOTATION

The final qualification work (WRC) consists of an introduction, a literature review, the chapter "Conditions and Methodology of the Study", the main part (research results), conclusion, list of used literature and applications. The main part includes five sections. WRC is presented on 75 pages of computer text, contains 14 tables, 14 figures, 18 applications. The list of references includes 74 sources, including 6 foreign authors.

The introduction substantiates the urgency of the problem of restoring soil fertility for solving theoretical and practical problems.

The chapter "Literature Review" analyzes and summarizes scientific publications on the environmental characteristics of oil, the effect of oil pollution on soil properties, crop productivity and possible techniques for the rehabilitation of oil-contaminated lands.

The chapter "Conditions and research methodology" sets out the soil and climatic conditions, the location of the experiment, the scheme of the stationary experiment, the area of the experimental plots, the number of repetitions, the placement of options on the site, counts and observations indicating the methods of analysis of soil and plant samples.

The first section of the main part describes the change in the yield of spring wheat and spring rape depending on the level and prescription of oil pollution of gray forest soil.

In the second section of the main part, the effect of oil pollution on the crop structure of the studied crops is considered.

The third section of the main part shows the content of the main macrolelements in the spring rape crop, depending on the level of oil pollution of gray forest soil.

The fourth section of the main part discusses the effect of oil and remediation techniques on the productivity of the main and by-products of spring rape.

The fifth section of the main part provides an assessment of the economic efficiency of spring rape cultivation depending on oil pollution and proven remediation techniques.

In conclusion, the main conclusions are drawn based on the generalization of the research results.

ВВЕДЕНИЕ

Более 90 % продовольствия человечество получает от сельского хозяйства, где основным средством производства выступают земельные ресурсы. К сожалению, количество и качество сельскохозяйственных земель стремительно снижается с каждым годом. В мире ежегодно из сельскохозяйственного оборота выбывает 6-7 млн. га земель, в том числе в результате разрушения и загрязнения при добыче и переработке полезных ископаемых [Кирюшин, 2010]. В связи с этим, охрана и воспроизводство плодородия почв – важнейшая проблема современности, от положительного решения которой зависит обеспечение населения планеты продовольствием, его благополучие и здоровье.

Сильное негативное влияние на земельные ресурсы оказывает нефтедобывающая промышленность. Добыча нефти и потребление нефтепродуктов постоянно растет. Так, если в 2011 году в РФ было добыто 511,4 млн. т. нефти, то в 2014 и 2016 годах соответственно - 526,7 и 547,6 млн. тонн [<http://moneymakerfactory.ru/spravochnik/dobyicha-nefti-v-rossii/>]. За пять лет (2011-2016 гг.) добыча нефти увеличилась на 35 млн. т. Это вызывает гордость, но, к сожалению, немалая часть её попадает в окружающую среду как загрязнитель. В нашей стране, по некоторым оценкам [Мажайский и др., 2008], на разных этапах добычи и транспортировки может теряться до 1,5-10 % добытой нефти.

По оценкам многих экспертов, в мире ежегодно в природную среду в качестве опасного загрязнителя попадает более 45 млн. тонн нефти и нефтепродуктов [Мажайский и др., 2008; Смольникова, Емельянов, 2010].

Нефть и нефтепродукты, попадая в любой компонент окружающей среды, ухудшают качество и продуктивность всех сопредельных объектов. Например, загрязнение почвы приводит не только к накоплению вредных веществ в самой почве, снижению её плодородия, но и к ухудшению качества воздуха и воды. В свою очередь, все легкие фракции нефти и

нефтепродуктов, выброшенные в воздух, со временем выпадают на почву со всеми негативными последствиями. Вредное влияние на живые организмы почвы, на человека и животных оказывают не только основные компоненты нефти – углеводороды, но содержащиеся в ней примеси, например, тяжелые металлы [Васильев, Быков, Пименов, 2015; Хусайнова, 2016].

Проблемы охраны земель от отрицательного воздействия нефтедобывающего комплекса весьма актуальны и для Республики Татарстан, где промышленная нефтедобыча началась в далеком 1943 году. За эти годы из недр республики извлечено более трех миллиардов нефти, при добыче которой природная среда получила огромный техногенный пресс. В 80-90-х годах прошлого века на территории РТ ежегодно происходило около 15 тысяч аварий [Гилязов и др., 2009], которые являются главной причиной загрязнения почв нефтью и сопутствующими техногенными потоками. Благодаря кардинальным мерам по снижению аварийности на нефтепромыслах, сейчас они случаются, примерно в 20 раз реже.

Несмотря на принимаемые нефтяниками республики меры по предотвращению загрязнения окружающей природы, полностью исключить случаи загрязнения не удастся и возникает необходимость рекультивации загрязненных земель, то есть восстановления утраченного плодородия почвы теми или иными приемами. Именно это обстоятельство стало побудительным мотивом для наших исследований.

1 ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ

Физико-химическая и экологическая характеристика нефти. На современном этапе развития человеческого общества основным энергоносителем остается нефть, поэтому мировая добыча её с каждым годом растет, с том числе в нашей стране.

«Объем добычи нефти и газового конденсата в Российской Федерации в 2018 году повысился на 1,6 % по сравнению с 2017 годом и составил 555,84 млн тонн» [<https://www.interfax.ru/business/644895>]. К сожалению, немалая часть добытой нефти попадает в окружающую среду как загрязнитель [Солнцева, 1998; Оборин и др., 2008; Ezeji, Anyadoh, Ibekwe, 2007; Lim, Lau, Poh, 2016]. По некоторым данным [Мажайский и др., 2008], в нашей стране от общего объема добытой нефти на разных этапах её добычи и транспортировки может теряться до 1,5-10 %. По мнению многих [Солнцева, 1998; Герасимова, Строганова, Макарова, Прокофьева, 2013; Леднёв, 2018.], экологическая ситуация значительных территорий нефтедобывающих районов напоминают зону экологического кризиса и бедствия.

Что же представляет собой нефть? Нефть имеет сложный состав. Нефть – это сложная смесь газообразных, жидких и твердых углеводородов, высокомолекулярных смолисто-асфальтеновых веществ, макро- и микроэлементов [Пиковский, 1993]. Если рассмотреть её элементный состав, то в ней больше всего углерода (около 83-87 %) и водорода (около 12-14 %). В нефти может содержаться значительное количество серы: от тысячных долей до 5-14 % [Орлов и др., 1991].

Информация о токсичности нефтепродуктов и самой нефти на живые организмы неоднозначная. Большинство исследователей считает, что «...нефть оказывает токсичное воздействие на все компоненты биосферы. На загрязненных нефтью и нефтепродуктами почвах гибнут растения, угнетаются и погибают многие почвенные микроорганизмы и животные»

[Куликова, Дзержинская, 2008; Другов, А. А. Родин, 2015; Долгополова, Патрушева, 2016].

Полагают, что токсичное воздействие нефти, обусловлено содержанием в ней циклических углеводородов, легких фракции углеводородов, серы, а также разнообразных химических веществ, используемых в технологических процессах добычи и первичной подготовки нефти, в том числе канцерогенных [Пиковский, 1993; Пиковский и др., 2003; Бондалетова, Бондалетов, 2008].

В то же время, в некоторых случаях небольшие концентрации нефти не оказали на растения видимого вредного влияния, а в редких случаях - стимулировали рост и развитие растений. Помимо этого, для некоторых групп микроорганизмов (углеводородоокисляющих) она является питательной средой, обнаруживая бурное их развитие на нефтезагрязненных средах [Пиковский и др., 2003].

Негативные последствия загрязнения компонентов природной среды нефть на живые организмы, могут проявляться по-разному: «... в подавлении иммунитета, развитии аллергий и раковых опухолей, повышении частоты появления врожденных уродств и т. п. Медики считают, что особую опасность представляют генетические нарушения, наблюдаемые под воздействием нефти и нефтепродуктов» [http://2nature.ru/soil_recultivation].

Влияние нефти на свойства почвы. Около половина потерянной нефти и нефтепродуктов в качестве загрязнителя в окружающую среду попадает в почву. «Нефть в почвах может находиться в различных формах: в виде пара, жидкости, причем в легко или трудно подвижной форме» [<http://analiz-vody.ipkecol.ru/mater.htm>]. В случае попадания в рыхлые почвы и породы непосредственно после загрязнения нефть остается в легкоподвижной жидкой форме или переходит в парообразную форму. Небольшая часть нефтяных веществ может находиться в составе почвенных растворов. «Со временем, по мере испарения легких фракции, нефть почти теряет подвижность и заполняет поры и трещины почвы. Кроме того,

нефтяные вещества поглощаются гумусом почвы, образуя сложные новообразования. Нефть, удержанная поверхностным слоем почвы, по истечении времени затвердеет, образуя плотную корку» [Другов, Родин, 2015].

«Нефтяная пленка, образуя барьер между почвенными частицами и корневыми волосками, затрудняет поглощение имеющихся в почве питательных элементов, изменяет окислительно-восстановительные свойства почвы» [Тишкина, 1989].

Нефть и нефтепродукты на почву оказывают многогранное влияние, что отражается в изменении многих свойств. Характер функционирования нефти в почве, определяется дифференцированием веществ по плотности, вязкости, активностью взаимодействия с почвенной массой. Почва, играя роль хроматографической колонки, разделяет нефтяные потоки по слоям, задерживая в верхних почвенных горизонтах нефтяные компоненты и на минеральные воды, которые в свою очередь проникают в нижние горизонты [Пиковский, 1993].

Загрязнение почв нефтью приводит к глубоким и часто необратимым процессам, как например перестройка всего почвенного профиля. Нефтяное загрязнение изменяет физические, физико-химические характеристики почвы и подавляет биологическую активность. Нарушаются процессы преобразований органических веществ, повышается фитотоксичность почвы, что в свою очередь препятствует нормальному функционированию биогеоценозов. Нефть заполняет поровое пространство почвы, вытесняет почвенный воздух, в результате чего происходит нарушение естественной аэрации. Создаются анаэробные условия, наблюдается изменение окислительно-восстановительного потенциала. В составе почвенного воздуха преобладают легкие токсичные фракции нефти, вредные как для растений, так и для большинства микроорганизмов [Трофимов и др., 2000; Зволинский, Батовская, Черных, 2005; Середина, 2006, 2015].

Под действием нефти и нефтепродуктов изменяются физико-химические свойства почвы, происходит торможение многих биологических процессов, снижается растворимость микроэлементов.

С увеличением содержания техногенного, внесенного в составе нефти, углерода происходит резкое увеличение соотношения углерода к азоту, что приводит к ухудшению азотного режима почв и нарушение корневого питания растений (Габбасова и др., 1997). Другим результатом резкого увеличения количество углерода и расширения соотношения C:N, представляется иммобилизация неорганического фосфора микроорганизмами и уменьшение количества экстрагируемого фосфора (Демиденко, Демурджан, 1988; Хазиев и др., 1988). Миграция подвижных форм фосфора, азота и калия из почвенно-поглощающего комплекса в раствор также затрудняется обволакиванием нефтяной пленкой почвенных частиц (Етеревская, Шеянова, 1975; Гилязов М.Ю., 1980; Хазиев, Фатхиев 1981; Хазиев и др., 1988; Дедыев, 2005; Лапушова и др., 2014; Воеводина и др., 2015; Михайлова и др., 2016).

Нефтяная пленка, обволакивая почвенные частицы и корни растений, резко ухудшает тепловой и газовый обмен почвы, а также обмен веществ растений. «Наблюдается слипание почвенных частиц, через некоторое время они при частичном окислении компонентами нефти становится густой, следовательно, почвенный слой преобразуется в асфальтоподобную массу, которая совсем не подходит для роста и развития растений. Структура почвы ухудшается, реакция почвенного раствора становится щелочной, общее содержание углерода увеличивается в 2-10 раз, а количества углеводородов в 10-100 раз» [Зволинский др., 2005].

«Нефтяные вещества, взаимодействуя с гумусом почвы, изменяют состав и свойства последнего, делают почву гидрофобной. Гидрофобность, в свою очередь, приводит нарушению всего комплекса агрофизических свойств, особенно водно-физических показателей. В связи с этим резко ухудшается водный режим почв» [<http://analiz-vody.ipkecol.ru/mater.htm>]. Так,

в условиях выщелоченных черноземов «... под действием нефти увеличивалась глыбистость почв и уменьшалось содержание наиболее агрономически ценных мезоагрегатов, в результате чего снизился коэффициент структурности» [Гилязов, Гайсин, 2003].

В условиях серой лесной почвы уже при дозе нефти 15 г/кг, уменьшается влагоемкость почвы и увеличивается ее гидрофобность [Курочкина и др., 2004]. Снижается капиллярная, гигроскопическая влага и полная влагоемкость [Гилязов, 2002]. Р.Н. Ситдинов (2002) в своих исследованиях так же обнаружил, что «... серые лесные почвы Республики Башкортостан, насыщенные нефтепродуктами, теряют способность впитывать и удерживать влагу, для них характерны более низкие значения влажности всех категорий, водопроницаемости, влагоемкости в органогенных горизонтах по сравнению с фоновыми аналогами».

Влияние нефти на растения. Имеющиеся публикации о влиянии нефтяного загрязнения на продуктивность растений отрывочны и отзывчивость растений на одни и те же уровни загрязнения существенно отличается в зависимости от почвенно-климатических условий, особенностей поллютанта и возраста загрязнения. Как правило, на загрязненных нефтью и нефтепродуктами почвах растения полностью погибают или резко снижается их продуктивность, ухудшается качество урожая. Лишь некоторые представители растений показывают относительную толерантность к такому виду загрязнения [Оборин и др., 2008; Леднёв, 2018; Golan, Faraj, Rahamim et al., 2016; Tran, Gati, Eshel, Winters, 2018].

Г.В. Мотузова, Е.А. Карпова (2013) указывают, что «... на нефтяное загрязнения растения реагируют по-разному: есть растения достаточно устойчивые и неустойчивые, в результате чего изменяется видовой состав растительности, подавляется рост и развитие растений, вплоть до полной гибели растительности. А также изменяется химический состав растений, в них накапливаются органические (включая полиароматические углеводороды) и неорганические загрязняющие вещества. Внешнее

проявление деградации таковы: замедления роста растений, хлороз, некроз, недоразвитость растений, включая и генеративных органов».

Л.Е. Мазунина (2015) отмечает, что «... нефть подавляет ростовые процессы, уменьшается рост стебля в высоту, а также его радиальный рост. Наблюдается снижение площади ассимиляционной поверхности растений. Корневая система так же меняет морфологию, переходит от мочковатого типа к стержневому типу, то есть уменьшаются его размеры. У бобовых культур под действием нефтяного загрязнения прекращается формирование клубеньков и подавляется рост и развитие корневых волосков. Подвергаются к изменению и анатомические особенности растений, в частности, увеличивается толщина листовой пластинки, исчезает кутикула, уменьшаются размеры клеток и количество хлоропластов. В корневой системе растений происходят утолщения эпидермы, увеличиваются количества ксилемных элементов и размеры центральных цилиндр и объем воздухоносных тканей».

Исследования Н.А. Киреевой и др. (2006) показали, что при концентрации в почве до 1 % нефти происходило увеличение роста корней пшеницы в длину, особенно повысился объем корневой системы. При повышении концентрации нефти выше этого уровня ухудшилось прорастания семян яровой пшеницы, изменились морфофизиологические показатели, подавлялся рост и развитие растений. При высоких концентрациях нефти снижалось содержание в растениях яровой пшеницы суммарное количество хлорофиллов.

Когда нефть непосредственно попадает на надземные органы растений, то она прямо поступает в клетки и сосуды растений, вызывая различные токсичные эффекты. При таком контакте растений с нефтью, негативное влияние нефти на растение проявляется уже при дозе 50 мг на 1 кг зеленой массы растений [Зильберман и др., 2005].

«Загрязнение нефтью и нефтепродуктами оказывает длительное отрицательное воздействие на почвенных животных, вызывая их массовую

элиминацию в интенсивной зоне загрязнения. Отрицательное действие загрязнения осуществляется в результате прямого контакта с нефтью и в связи с изменениями свойств загрязнённых почв. Летучие фракции нефти проявляют эффект сразу после контакта с педобионтами, эффект тяжёлых фракций проявляется позже» [<http://analiz-vody.ipkecol.ru/mater.htm>].

Продолжительность негативного воздействия нефтяного загрязнения на растительность может наблюдаться в течение более 25 лет [Цулая, 2012].

Рекультивация нефтезагрязнённых почв. По определению Н.Ф. Реймерса (1990) «Рекультивация земель – это комплекс мероприятий, направленных на восстановление продуктивности и хозяйственной ценности нарушенных и загрязнённых земель. Задача рекультивации – снизить содержание нефтепродуктов и находящихся с ними других токсичных веществ до безопасного уровня, восстановить продуктивность земель, утерянную в результате загрязнения».

Методы устранения нефтяного загрязнения почв разнообразны, среди которых можно выделить несколько групп по характеру воздействия на поллютант: механические (землевание), физико-химические (промывка, дренирование почвы, сжигание, экстракция растворителями, сорбция, термическая десорбция), биологические (биоремедиация, фиторемедиация) методы.

Наиболее простым и дешевым способом устранения разлитой нефти, до недавнего времени, считали её сжигание. К сожалению, сжигание не является ни простым, ни дешевым, а может быть наиболее опасным способом ликвидации нефтяного загрязнения. Вредность и малоэффективность данного способа ликвидации нефтяных разливов обуславливается следующими обстоятельствами:

-сжиганием элиминируется лишь небольшая часть нефти, находящаяся на поверхности почвы толстым, густым слоем;

-при сжигании в качестве продуктов неполного сгорания образуется много канцерогенных веществ, которые ещё более опасны чем сама сырая нефть;

-большая часть разжиженной при высокой температуре нефти ещё глубже проникает в почвенную толщу;

-горением может быть уничтожена значительная часть гумуса верхнего профиля почвы.

Большинство отечественных и зарубежных исследователей полагают, что наиболее экологически безопасным и экономически выгодным представляются методы, в основу которых положены биологические факторы элиминирования нефти и нефтепродуктов [Габбасова и др., 1997; Леднёв, 2002; Станкевич Д.С., 2002; Гилязов, Гайсин, 2003; Кудеяров и др., 2007; Куликова, Держинская, 2008; Ezeji et al., 2007; Nwankwegu etc, 2017]. Дело в том, что в результате биологической деструкции нефтяных веществ не образуются новые вредные вещества, а, наоборот, окисленные углеводороды нефти превращаются в воду и углекислый газ, используемые растениями в дальнейшем для фотосинтеза. Следует так же отметить, что в природе существуют более 100 видов бактерий, грибов, дрожжей, способных утилизировать один или несколько нефтяных углеводородов в качестве источника углерода и энергии [Колесниченко и др., 2004; Киреева и др., 2007]. В качестве недостатка биологических методов можно указать то, что скорость ликвидации нефти и нефтепродуктов природными углеводородоокисляющими микроорганизмами (УОМ) часто оказывается недостаточно высокой, поэтому многие исследователи предлагают вносить в почву в виде промышленных биопрепаратов специальные активные штаммы углеводородоокисляющих микроорганизмов. Однако только внесение специальных биопрепаратов, содержащих активные штаммы углеводородоокисляющих микроорганизмов, не должно рассматриваться панацеей от всех бед. Нередко чужеродные углеводородоокисляющие микроорганизмы, внесенные в составе промышленных биопрепаратов, не

выдерживают конкуренцию с аборигенными микроорганизмами, постепенно ими вытесняются, оказываются неприспособленными к конкретным почвенно-климатическим условиям, поэтому их эффективность быстро снижается.

Главная задача, которая должна быть решена при использовании биологических методов рекультивации нефтезагрязненных почв – оптимизация условий для активной работы углеводородоокисляющих микроорганизмов агрохимическими, агротехническими и иными приемами. Причем, необходимость оптимизации условий для жизнедеятельности УОМ возникает, как при внесении в почву специальных биопрепаратов, содержащих активные штаммы УОМ, так и в случае активации аборигенных углеводородоокисляющих микроорганизмов. Другими словами, в обоих случаях возникает необходимость оптимизации воздушных, водно-физических и пищевых условий загрязненной почвы для максимальной активизации углеводородоокисляющих микроорганизмов [Чижов, 1998; Логинов и др., 2000; Гилязов, Гайсин, 2003; Оборин и др., 2008; Леднёв, 2018].

Обеспеченность почв биогенными элементами - азотом, фосфором и калием - важный фактор, определяющий интенсивность разложения нефти и нефтепродуктов. Недостаток биогенных элементов необходимо восполнять путем внесения в почву минеральных или органических удобрений. Практически во всех случаях внесение биогенных элементов в виде минеральных удобрений стимулирует разложение углеводов в почве. Наиболее интенсивно разложение углеводов протекает при ежегодном внесении комплекса N, P, K – содержащих удобрений в сочетании с навозом, а также при внесении в почву биогумуса [Тишкина, 1989; Киреева, 1996; Чижов, 1998; Леднёв, 2002; Гилязов, Гайсин, 2003; Давыдова, Мажайский, Евтюхин, 2008; Anchugova etc, 2016].

Завершая краткий обзор литературы можно отметить, что нефть и нефтепродукты являются весьма распространенными и опасными

загрязнителями почвенного покрова. Они ухудшают агрофизические, агрохимические и биологические свойств, и снижают продуктивность растений и их качество, однако характер и глубина этих изменений существенного колеблется от зональных особенностей почв и видов растений. Для объективной оценки ущерба от загрязнения почвы и выбора оптимальных способов рекультивации нефтезагрязненных почв немаловажное значение имеют исследования, направленные на оценку влияния различных уровней нефтяного загрязнения на урожайность сельскохозяйственных культур в зависимости от давности загрязнения. Имеющиеся публикации о влиянии нефтяного загрязнения различной давности на продуктивность сельскохозяйственных культур отрывочно и достаточно противоречивы.

Исследователями предложены различные способы и методы рекультивации нефтезагрязненных почв, эффективность которых сильно колеблется в зависимости от множества факторов. Слабоизученными остаются агротехнические и агрохимические приемы рекультивации нефтезагрязненных земель и вопросы об эффективности биопрепаратов на нефтезагрязненных почвах Республики Татарстан.

Исходя из вышеизложенного, цель нашей работы - изучение действия различных уровней нефтяного загрязнения и приемов рекультивации на продуктивность и химический состав сельскохозяйственных культур.

Основные задачи исследования нами сформулированы следующим образом:

- 1.Обобщить данные стационарного полевого опыта по влиянию трех уровней нефтяного загрязнения на урожайность двух культур (яровая пшеница, яровой рапс);
- 2.Установить влияние различных уровней нефтяного загрязнения на урожайность яровой пшеницы и ярового рапса в зависимости от временного фактора (ротаций севооборота);

3.Оценить влияние различных уровней нефтяного загрязнения на структуру урожая и химический состав растений;

4.Установить влияние испытанных приемов рекультивации нефтезагрязненной почвы на урожайность ярового рапса;

5.Определить экономическую эффективность возделывания ярового рапса на серой лесной почве в зависимости от нефтяного загрязнения и приемов рекультивации.

2 УСЛОВИЯ И МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ

Исследования проводились на опытном поле кафедры агрохимии и почвоведения Казанского ГАУ, расположенном в предкамской зоне Республики Татарстан. В микроделяночном стационарном полевом опыте почву преднамеренно загрязнили товарной нефтью. Почву в каждой делюанки загрязнили селективно, заливкой нефтью с поверхности. Искусственное загрязнение почвы нефтью дозами 10, 20 и 40 л/м² было проведено в мае 2004 года. Делюанки опыта представляют собой бездонные деревянные ящики, углубленные в почву на глубину 30 см. Площадь делюанок 0,50 м², ширина защитных полос 1 м. Опыт заложен в 4-х повторениях.

Общий вид микроделяночного полевого опыта представлен на рис. 1.



Рис. 1. Общий вид микроделяночного стационарного полевого опыта

Полевой эксперимент состоит из двух блоков.

В первом блоке опыта изучали влияние трех уровней нефтяного загрязнения на продуктивность сельскохозяйственных культур без каких-

либо приемов рекультивации. Чередование сельскохозяйственных культур в севообороте и уровни загрязнения почвы нефтью даны в таблице 1.

Таблица 1

Чередование сельскохозяйственных культур в севообороте и уровни загрязнения почвы нефтью* в стационарном опыте

Доза нефти, л/м ²	Чередование культур	Годы возделывания
0 – контроль	Викоовсяная смесь	2004
10 л/м ²	Яровая пшеница	2005, 2009, 2013, 2017
20 л/м ²	Ячмень	2006, 2010, 2014. 2018
40 л/м ²	Яровой рапс на маслосемена	2007, 2011. 2015. 2019
	Просо	2008, 2012. 2016. 2020

Прим.: * - почва загрязнена в мае 2004 г.

Как видно, влияние нефтяного загрязнения на урожайность полевых культур изучалось в полевом севообороте, где возделывались однолетние травы, яровая пшеница, ячмень, яровой рапс и просо. Указанные уровни нефтяного загрязнения, согласно данным [Гилязов, Гайсин, 2003], следует оценивать как слабая, средняя и сильная степень загрязнения.

В задачу нашего исследования входило изучение действия трех уровней нефтяного загрязнения в течение четырёх ротаций севооборота и агроэкологических приемов рекультивации на продуктивность яровой пшеницы и ярового рапса, которые являются важнейшими культурами в нашей республике и в Российской Федерации в целом [Сафиоллин, 2008; Амиров и др., 2018].

Во втором блоке полевого эксперимента изучали возможность рекультивации нефтезагрязненной почвы агрохимическими и агротехническими приемами. В качестве таковых использовали: рыхление почвы, известкование, внесение в почву полного минерального удобрения и микробиологического препарата Байкал ЭМ-1. Указанные приемы были

испытаны для восстановления плодородия нефтезагрязненной почвы, уровень загрязнения которой нами оценена как средний (20 л/м²).

Схема опыта второго блока эксперимента дана в таблице 2.

Таблица 2

Схема второго блока стационарного полевого опыта

1.Незагрязненная почва (контроль)
2.Нефтезагрязненная почва (НЗП)
3.НЗП+рыхление
4.НЗП+известкование+рыхление
5.НЗП+известкование+рыхление+NPK
6.НЗП+ известкование+рыхление +инокуляция биопрепаратом Байкал ЭМ-1

В течение двух лет (2004–2005 гг.) в соответствующих вариантах опыта почву рыхлили на разную глубину (от 5 до 25 см) через каждые 2 недели, то есть почва содержалась по системе чистого пара. В общей сложности в течение первого вегетационного периода рыхление почвы проводили 9 раз, а во второй – 10 раз. Разноглубинная обработка позволяла попеременно рыхлить сначала верхний, а потом нижний слои загрязненной почвы. В последующие годы рыхление почвы проводили два раза на глубину пахотного слоя до посева культуры.

Дозы внесения удобрений и химического мелиоранта были установлены исходя из результатов предыдущих исследований сотрудников кафедры агрохимии и почвоведения Казанского ГАУ. Дозу извести рассчитали по величине гидролитической кислотности, и она равнялась 6 т/га. За весь период эксперимента известняковая мука была внесена 4 раза, а минеральные удобрения и биопрепарат Байкал ЭМ-1 - ежегодно. В 2004-2005 годах, когда в соответствующих вариантах почва содержалась по системе чистого пара,

минеральные удобрения были внесены из расчета 80 кг д.в./га с соотношением азота, фосфора и калия 1:0,4:0,2. Такое соотношение N:P:K гипотетически предназначалось для стимуляции углеводородокисляющих бактериальных культур, и оно соответствует соотношению азота, фосфора и калия в питательной смеси, используемой для выращивания углеводородокисляющих бактериальных культур [Гилязов, Гайсин, 2003].

По заявлению производителя [2], биопрепарат Байкал ЭМ-1 содержит комплекс полезных микроорганизмов, обитающих в зональных незагрязненных почвах, и продуктов их жизнедеятельности. Годовую норму биопрепарата Байкал ЭМ-1 (30 мл/м²) вносили в почву в три приема равными дозами: перед посевом, в середине июня и июля. Рабочий раствор биопрепарата приготовили из жидкого концентрата с разбавлением дистиллированной водой в соотношении 1:100.

Я непосредственно участвовал в полевых работах и лабораторных анализах в 2017 и 2019 годах.

В 2017 году норма высева семян яровой пшеницы сорта «Йолдыз» равнялась 5 млн. шт. всхожих семян на гектар. Семена перед посевом обработали фунгицидом Доспех 3 из расчета 0,5 л/т при расходе рабочей жидкости 10 л/т. Посев провели 11 мая на глубину 5 см.

В 2019 году норма высева семян ярового рапса сорта «Юмарт» равнялась 3 млн. шт. всхожих семян на гектар. Масса 1000 семян – 4,45 г., всхожесть 90 %. Весовая норма высева (14,8 кг/га или 0,74 г/делянка). Глубина заделки семян - 2 см. Семена были обработаны протравителем Витарос заблаговременно из расчета 2,5 л/т. Посев провели 13 мая.

Все работы в микрополевым эксперименте выполнены вручную.

Начиная с 2006 года, нормы минеральных удобрений рассчитывали расчетно-балансовым методом для получения запланированной урожайности. В таблице 3 приведен расчет норм минеральных удобрений под яровой рапс в 2019 году для получения запланированной урожайности (1,8 т/га) маслосемян.

Таблица 3

Определение норм минеральных удобрений расчетно-балансовым методом
под урожай ярового рапса в 2019 году

Показатели	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
Планируемая урожайность маслосемян, т/га	1,8	1,8	1,8
Вынос на 1 т основной и соответствующее количество побочной продукции*, кг	40	20	35
Хозяйственный вынос, кг/га	72	36	63
Содержание подвижных форм NPK в пахотном слое почвы, мг/кг	22	125	122
Запасы подвижных форм NPK в почве, кг/га	66	375	366
Коэффициенты использования подвижных форм NPK из почвы	0,65	0,06	0,10
Ожидаемое поступление NPK из почвы, кг/га	42,9	22,5	36,6
Дефицит NPK для получения плановой урожайности, кг/га	29,1	13,5	26,4
Коэффициенты использования NPK из почвы	0,6	0,2	0,5
Норма внесения питательных элементов, кг д.в./га	49	68	53
Аммиачная селитра (34:0:0) Аммонизированный двойной суперфосфат (8:46:0) Хлористый калий (0:0:57)	109	148	93

Прим.: * - по данным Сулейманова И.Р. (2010).

Почва загрязненного участка – серая лесная среднесуглинистая, являющаяся преобладающей почвенной разностью предкамской зоны Республики Татарстан [Давлятшин и др., 2013]. Агрохимическая характеристика незагрязненной почвы в годы нашего исследования представлена в таблице 4.

Таблица 4

Основные агрохимические показатели почвы стационарного полевого опыта

Агрохимические показатели 0-30 см слоя почвы	2017 г.	2019 г.
Тип, подтип, разновидность	серая лесная среднесуглинистая	
Содержание гумуса, %	2,90	2,91
Содержание общего азота, %	0,13	0,13
Емкость катионного обмена, ммоль/100 г	22,2	22,8
Гидролитическая кислотность, ммоль/100 г	4,0	4,2
Содержание подвижных форм фосфора, мг/кг	123	125
Содержание подвижных форм калия, мг/кг	126	122
Величина pH солевой вытяжки	5,4	5,4

Почва опытного участка характеризуется низким содержанием гумуса и слабокислой реакцией среды. Она отличается повышенным содержанием подвижных форм фосфора и калия (по Кирсанову). Емкость катионного обмена колеблется в пределах 22,2-22,8 ммоль. /100 г. почвы, а гидролитическая кислотность 4,0-4,2 ммоль. /100 г. почвы.

Агрохимические анализы почв выполнены в ФГБУ ЦАС «Татарский» и на кафедре агрохимии и почвоведения Казанского ГАУ.

Методы анализа почвы, следующие:

- содержание гумуса по Тюрину в модификации Симакова;
- емкость катионного обмена по Бобко-Аскинази в модификации Алешина;
- гидролитическая кислотность по ГОСТ 26212-91;
- величина pH солевой вытяжки потенциометрически;
- подвижные формы фосфора и калия по Кирсанову (фосфор с использованием ФЭК, калий - с помощью пламенного фотометра);
- общий азот по Кьельдалю;

- плотность и влажность почвы – общепринятыми методами.

Химический состав растений ярового рапса определен после мокрого озоления маслосемян и соломы в серной кислоте с перекисью водорода (метод Гинзбурга):

- общий азот по Кьельдалю;
- общий фосфор фотоколориметрическим методом;
- общий калий пламенно-фотометрическим методом;
- гигроскопическая влага весовым методом;

Статистическая обработка цифровых данных проведена по Б.А. Доспехову (1985) и с помощью программного обеспечения Microsoft Office Excel 2007.

Основные метеорологические показатели – количества осадков и среднемесячная температура воздуха вегетационного периода 2017 и 2019 гг. представлены на рис. 2, 3 и в приложениях 1 и 2, которые любезно были представлены сотрудниками кафедры землеустройства и кадастров (Сочнева С.В., Сафиоллин Ф.Н.).

В мае и июне **2017 г.** среднемесячная температура воздуха оказалась ниже среднемноголетних значений соответственно на 1,1 и 1,3 градуса. Месячная сумма осадков в мае составила 32,1 мм, что примерно на 18 % ниже климатической нормы (39,0 мм). В июне, наоборот, наблюдалось превышение климатической нормы на 12,7 %. Особенно заметное превышение среднемноголетних значений осадков было в третьей декаде июня. В целом погодные условия этих двух месяцев содействовали посеву яровой пшеницы в оптимальные сроки, дружному появлению всходов и хорошему первоначальному росту.

Весьма благоприятно сложились метеорологические условия для роста и развития подопытной культуры в июле. Прежде всего, в связи с тем, что месячная норма осадков превышала климатическую норму почти в 1,6 раза, и это сопровождалось достаточным количеством тепла. Июльские осадки в

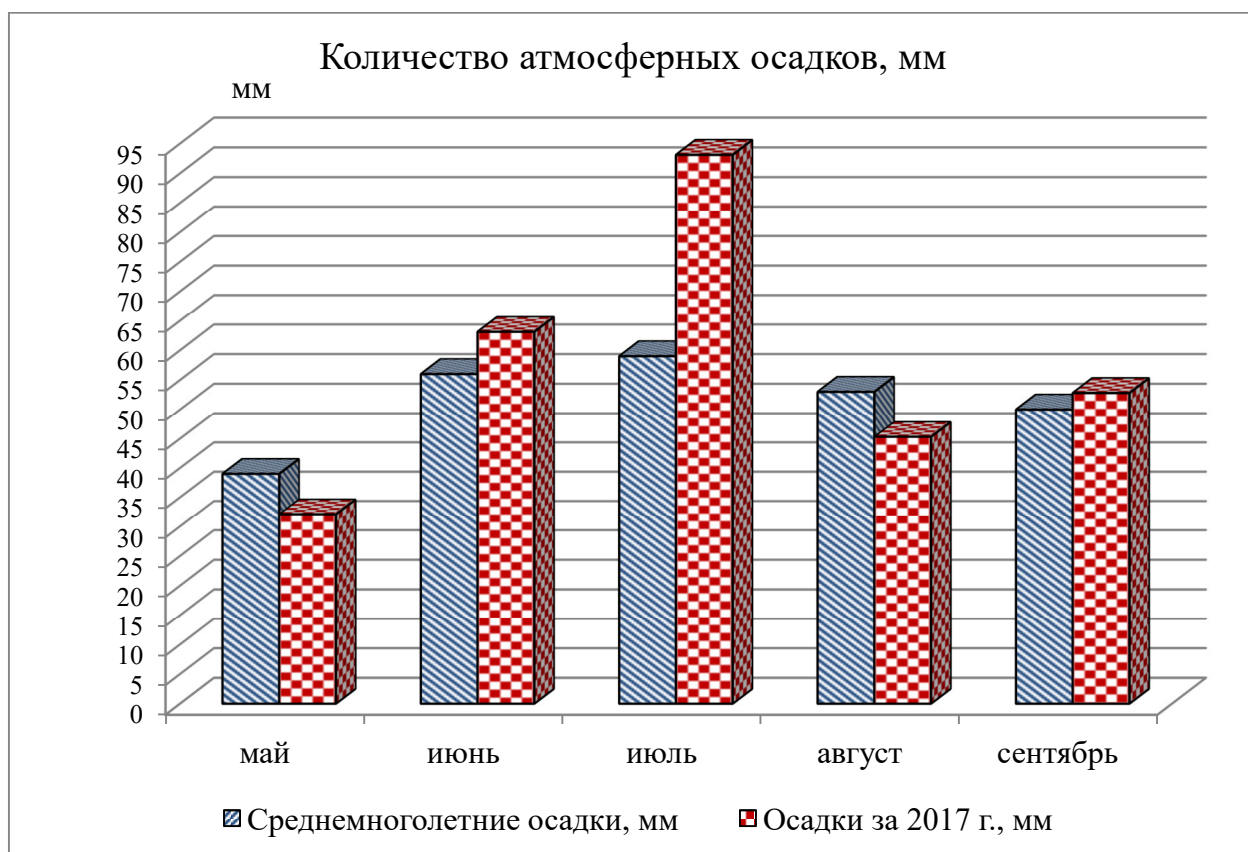
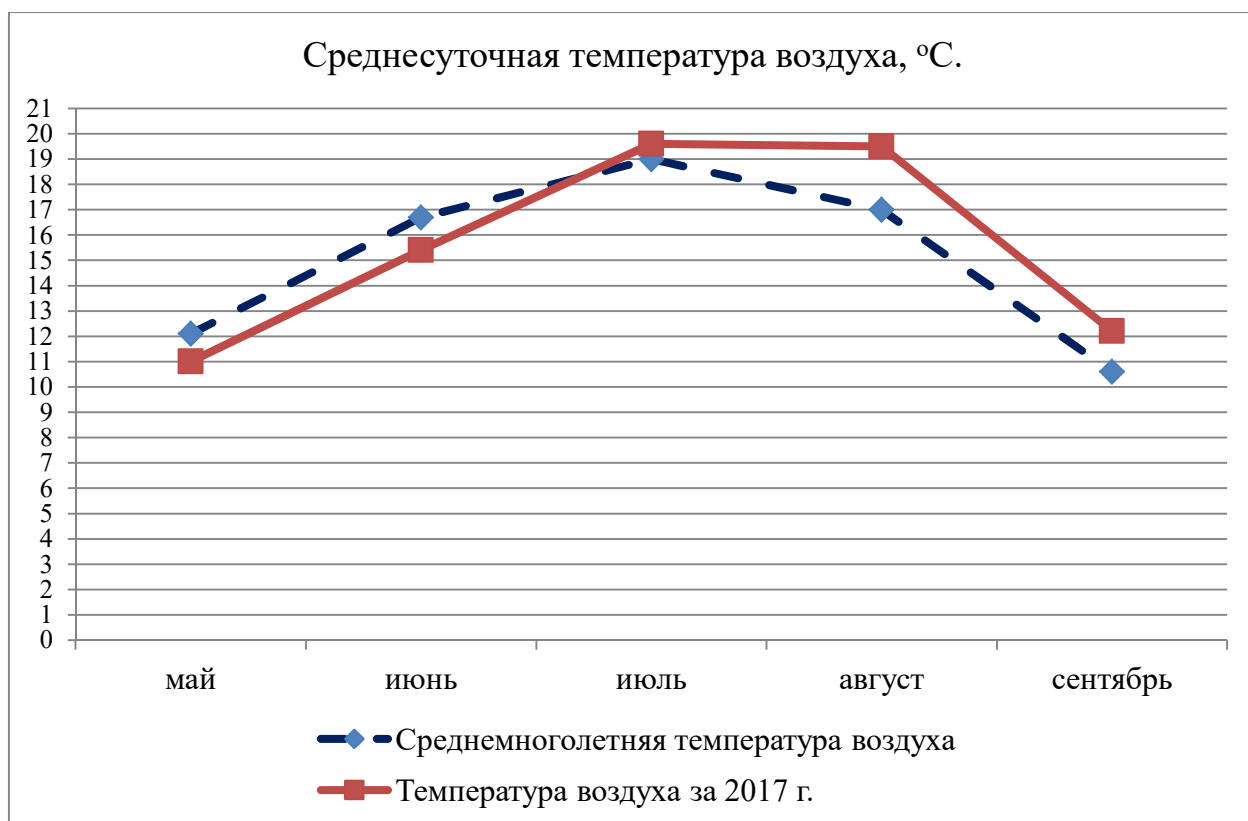


Рис. 2. Основные метеорологические показатели вегетационного периода 2017 года



Рис. 3. Основные метеорологические показатели вегетационного периода 2019 года

основном выпали в первой декаде месяца. Хорошие погодные условия сложились в августе, как для созревания урожая, так и для уборки урожая яровой пшеницы. Об этом свидетельствует превышение среднемесячной температуры воздуха климатической нормы на 2,5 °С, а также меньшее количество атмосферных осадков (около 85 % среднемноголетней нормы). Таким образом, вегетационный период 2017 года в целом оказался благоприятным для роста и развития яровой пшеницы и уборки урожая.

В отличие от метеорологических условий 2017 года, с самого начала мая 2019 г. температура воздуха превышала среднемноголетнюю норму на 5,4 °С. Ещё более сильное отклонение температурного режима (выше нормы на 7,0 °С) наблюдалось во второй декаде мая. В целом май и июнь характеризовались превышением среднемноголетних значений температуры соответственно на 4,5 и 2,4 °С. Максимальное отклонение (+7,3 °С) от среднемноголетних значений температуры обнаружилось в первой декаде июня. Теплая погода мая в сочетании с достаточно равномерными осадками в течение месяца, общее количество которых было близким к норме, способствовала дружному появлению всходов ярового рапса. Высокая температура воздуха в июне сопровождалась недостаточной влагообеспеченностью: сумма месячных осадков составила только 59 % среднемноголетней нормы. Данное обстоятельство ускоряло развитие растений, но, одновременно, несколько задерживало накопление вегетативной массы рапса, в конечном счете, и урожайности основной продукции.

Последующие два месяца оказались не похожими на предыдущие два месяца, как по тепловому режиму, так и влагообеспеченностью. Среднемесячная температура воздуха была ниже климатической нормы, а атмосферные осадки превышали её в 1,28 (июль) и 1,52 (август) раза. Особенно много выпало атмосферных осадков в первой декаде августа (131 % к норме). Правда две последующие декады августа характеризовались малым количеством осадков.

Температурный режим воздуха в сентябре был близок к климатической норме, но достаточно сухим. Суммарное количество атмосферных осадков в сентябре составило только 57 % к среднегодовой норме. Всё это способствовало ускорению созревания подопытной культуры, благоприятствовало ходу уборочных работ, но, одновременно, привело к определенному недобору урожая.

3 РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

3.1 Действие однократного нефтяного загрязнения серой лесной почвы на урожайность сельскохозяйственных культур в зависимости от давности и исходного уровня загрязнения

Ответная реакция сельскохозяйственных культур на нефтяное загрязнение в виде изменения их продуктивности исследована многими исследователями [Мифтахова, 2002; Пиковский и др., 2003; Киреева и др., 2006; Киреева и др., 2007; Фарахова и др., 2008; Гилязов, Равзутдинов, 2014, Леднёв, 2018; Осипова и др., 2019]. По их мнению, данная реакция зависит от многих факторов: исходной техногенной нагрузки (степени загрязнения), давности загрязнения, особенностей самой нефти или нефтепродуктов, а также почвенно-климатических условий загрязненного участка и биологических особенностей растений. В первую очередь, на продуктивность растений оказывает влияние степень загрязнения почвы нефтью. При однократном загрязнении урожайность культур в значительной мере обуславливается давностью загрязнения. Следует отметить, что давность загрязнения – это время, прошедшее с момента загрязнения до посева сельскохозяйственной культуры. Так, по данным [Мифтахова, 2002; Киреева и др., 2006; Фарахова и др., 2008; Гилязов, Равзутдинов, 2014], свежее нефтяное загрязнение приводит к резкому подавлению роста и развития растений, вплоть до их полной гибели. Со временем фитотоксичное действие может заметно измениться [Пиковский и др., 2003; Киреева и др., 2007].

Действие однократного нефтяного загрязнения серой лесной почвы на урожайность зерна яровой пшеницы по ротациям севооборота демонстрируется данными таблицы 5. В соответствии с чередованием культур в севообороте, яровая пшеница возделывалась через 1, 5, 9 и 13 лет после загрязнения.

Таблица 5

Действие однократного нефтяного загрязнения серой лесной почвы на урожайность зерна яровой пшеницы по ротациям севооборота

Ротация севооборота (год)	Дозы нефти, л/м ²				НСР ₀₅ (г/м ²)
	0 - контроль	10	20	40	
1 (2005 г.)	$\frac{262^*}{100}$	$\frac{114}{44}$	$\frac{0}{0}$	$\frac{0}{0}$	22
2 (2009 г.)	$\frac{289}{100}$	$\frac{150}{52}$	$\frac{61}{21}$	$\frac{6}{2}$	19
3 (2013 г.)	$\frac{193}{100}$	$\frac{162}{84}$	$\frac{103}{53}$	$\frac{56}{29}$	11
4 (2017 г.)	$\frac{242}{100}$	$\frac{215}{89}$	$\frac{181}{75}$	$\frac{111}{46}$	15

Прим.: * - в числителе в г/м², в знаменателе в процентах к уровню контроля.

В первой ротации севооборота (давность загрязнения один год) на нефтезагрязненных почвах урожай зерна был получен только на тех участках, где почва была загрязнена из расчета 10 л/м², то есть только на слабозагрязненной почве. На этой почве урожайность зерна по отношению к контролю составила 44 %. При более высоких дозах нефти (20 и 40 л/м²) семена яровой пшеницы всходов не дали.

Во второй ротации севооборота (давность загрязнения 5 лет) всходы яровой пшеницы были получены на всех трех уровнях загрязнения почвы. На слабозагрязненной почве (10 л/м²) урожайность зерна снизилась почти в два раза и составила 52 % к уровню контроля. Ещё более заметное негативное влияние нефтяного загрязнения на урожайность пшеницы проявилось на среднем уровне загрязнения (20 л/м²): по сравнению с контролем урожайность зерна снизилась почти в 5 раз. На сильно загрязненной почве (40 л/м²) выжили лишь единичные растения и снижение урожайности составила, по сравнению с контролем, в 50 раз.

В третьей ротации севооборота фитотоксичность нефтезагрязненных почв заметно ослабла, о чем свидетельствует приближение урожайности зерна пшеницы на загрязненных почвах к контрольному уровню. На слабо-, средне- и сильнозагрязненных почвах урожайность зерна яровой пшеницы составила к уровню контроля соответственно 84, 53 и 29.

В четвертой ротации севооборота, когда давность загрязнения составила 13 лет, ещё более явно проявилась тенденция постепенного ослабления фитотоксичности и приближение урожаев на загрязненных почвах к контрольному уровню. На слабозагрязненной почве урожайность зерна пшеницы уже составила 89 % к уровню на незагрязненной почве. Несмотря на это, обнаружилось статистически достоверное снижение урожайности зерна на всех трех уровнях нефтяного загрязнения. Как видно, урожайность зерна пшеницы на средне- и сильнозагрязненных даже через 13 лет после загрязнения оказались ниже контрольного уровня соответственно на 25 и 54 %.

Действие однократного нефтяного загрязнения серой лесной почвы на урожайность соломы яровой пшеницы в зависимости от исходного уровня и давности загрязнения показано в таблице 6.

В общих чертах характер действия различных уровней нефтяного загрязнения по ротациям севооборота на урожайность соломы принципиально не отличается от характера действия загрязнения на урожайность зерна. Главное отличие только в размерах снижения зерна и соломы от одной и той же дозы нефти: на всех уровнях загрязнения и в протяжении всех четырех ротаций севооборота урожайность зерна снижалась сильнее, чем урожайность соломы. Так, например, в первой ротации севооборота снижение урожая соломы, по отношению к контролю, составило 34 %, в то время как урожай зерна при этом снизился на 56 %.

В четвертой ротации севооборота впервые за весь период наблюдения на слабозагрязненной почве снижение урожайности соломы пшеницы оказалось статистически недостоверным, то есть с точки зрения

Таблица 6

Действие однократного нефтяного загрязнения серой лесной почвы на урожайность соломы яровой пшеницы по ротациям севооборота

Ротация севооборота (год)	Дозы нефти, л/м ²				НСР ₀₅ (г/м ²)
	0 - контроль	10	20	40	
1 (2005 г.)	$\frac{304*}{100}$	$\frac{201}{66}$	$\frac{0}{0}$	$\frac{0}{0}$	27
2 (2009 г.)	$\frac{335}{100}$	$\frac{224}{67}$	$\frac{110}{33}$	$\frac{030}{9}$	23
3 (2013 г.)	$\frac{208}{100}$	$\frac{183}{88}$	$\frac{163}{78}$	$\frac{154}{74}$	13
4 (2017 г.)	$\frac{250}{100}$	$\frac{232}{93}$	$\frac{220}{88}$	$\frac{143}{57}$	19

Прим.: * - в числителе в г/м², в знаменателе в процентах к уровню контроля.

математического анализа урожайность на слабозагрязненной почве значительно не отличается от контрольного уровня.

На двух других уровнях нефтяного загрязнения (20 и 40 л/м²) даже спустя 13 лет после однократного загрязнения статистически достоверное снижение урожайности соломы яровой пшеницы сохранилось и составило, по отношению к контролю, соответственно 12 и 43 %.

Яровой рапс, являющийся главная масличная культура в Республике Татарстан, возделывался в нашем эксперименте начиная с 2007 г. четыре раза (табл. 7).

В первой ротации севооборота урожайность маслосемян рапса на слабозагрязненной почве (10 л/м²) составила 32 % к уровню урожая на незагрязненной (контрольной) почве, то есть урожайность от слабого нефтяного загрязнения снизилась более чем в три раза. На средне- и сильно загрязненных почвах урожайность маслосемян была меньше контрольного уровня соответственно в 4,5 и 50 раз.

Таблица 7

Действие однократного нефтяного загрязнения серой лесной почвы на урожайность маслосемян ярового рапса по ротациям севооборота

Ротация севооборота (год)	Дозы нефти, л/м ²				НСР ₀₅ (г/м ²)
	0 - контроль	10	20	40	
1 (2007 г.)	$\frac{153^*}{100}$	$\frac{49}{32}$	$\frac{34}{22}$	$\frac{3}{2}$	7
2 (2011 г.)	$\frac{164}{100}$	$\frac{120}{73}$	$\frac{79}{48}$	$\frac{41}{25}$	10
3 (2015 г.)	$\frac{137}{100}$	$\frac{129}{94}$	$\frac{95}{69}$	$\frac{56}{41}$	15
4 (2019 г.)	$\frac{126}{100}$	$\frac{111}{88}$	$\frac{84}{67}$	$\frac{59}{47}$	11

Прим.: * - в числителе в г/м², в знаменателе в процентах к уровню контроля.

Как видно, появилась явная отрицательная зависимость урожайности маслосемян ярового рапса от исходного уровня нефтяного загрязнения.

Во второй ротации севооборота угнетение урожайности маслосемян ярового рапса от всех трех уровней нефтяного загрязнения оказалось существенно меньшим, чем таковое в первой ротации. Например, за период с 2007 по 2011 гг. относительная урожайность маслосемян (в процентах к уровню контроля) на слабозагрязненной почве выросла на 41 (73-32) %. Аналогичный рост урожайности, правда в меньших масштабах (на 26 и 23 %), наблюдался на средне- и сильнозагрязненной почвах.

В третьей ротации севооборота снижение урожайности маслосемян на слабозагрязненной почве стало статистически несущественным и урожайность составила 94 % к уровню контроля. За период между второй и третьей ротациями статистически значима выросла относительная урожайность маслосемян также на средне- и сильнозагрязненной почвах: соответственно на 21 и 16 %.

В четвертой ротации севооборота урожайность маслосемян на незагрязненной почве равнялась 126 г/м^2 , что меньше, чем было в предыдущих ротациях. Возможно, сказалась недостаточная влагообеспеченность в июне 2019 года. В отличие от предшествующих лет, на слабо- и среднезагрязнённых почвах не обнаружился рост относительной урожайности (в процентах к контролю) по сравнению с третьей ротацией. Так, если в третьей ротации севооборота урожайность маслосемян на среднезагрязненной почве составила, по отношению к контролю, 69 %, то в четвертой ротации севооборота – 67 %. Притом, на слабозагрязненной почве негативное влияние загрязнения оказалось статистически значимым. Причиной этого факта, возможно, так же является засушливые условия июня, то есть негативное влияние нефтяного загрязнения сильнее проявилось в условиях низкой влагообеспеченности. Постепенное уменьшение фитотоксичности, оцениваемой по урожайности, в четвертой ротации севооборота проявилось только на сильнозагрязненной почве. Как видно, если в третьей ротации севооборота урожайность маслосемян ярового рапса по отношению к контролю составила 41 %, то в четвертой ротации – 47 %.

Действие нефтяного загрязнения серой лесной почвы на урожайность соломы ярового рапса в течение четырех ротаций севооборота представлено в таблице 8.

Полученные материалы указывают на то, что негативное воздействие нефтяного загрязнения на урожайность соломы ярового рапса в целом согласуется с аналогичным действием на урожайность соломы яровой пшеницы: чем выше уровень загрязнения и меньше давность загрязнения (ротация севооборота), тем сильнее снижение урожайности. Как правило, снижение урожайности соломы ярового рапса по отношению к контролю по ротациям севооборота было меньше, чем снижение урожайности соломы яровой пшеницы. Это вполне объяснимо, так как яровой рапс возделывался на два года позже яровой пшеницы, следовательно, благодаря самоочищению

Таблица 8

Действие однократного нефтяного загрязнения серой лесной почвы на урожайность соломы ярового рапса по ротациям севооборота

Ротация севооборота (год)	Дозы нефти, л/м ²				НСР ₀₅ (г/м ²)
	0 - контроль	10	20	40	
1 (2007 г.)	$\frac{188^*}{100}$	$\frac{70}{37}$	$\frac{62}{33}$	$\frac{11}{6}$	9
2 (2011 г.)	$\frac{207}{100}$	$\frac{201}{97}$	$\frac{147}{71}$	$\frac{128}{62}$	13
3 (2015 г.)	$\frac{191}{100}$	$\frac{181}{95}$	$\frac{142}{74}$	$\frac{122}{64}$	15
4 (2019 г.)	$\frac{297}{100}$	$\frac{282}{95}$	$\frac{244}{82}$	$\frac{196}{66}$	20

Прим.: * - в числителе в г/м², в знаменателе в процентах к уровню контроля.

загрязненные почвы под рапсом всегда, надо полагать, были менее токсичными, чем под яровой пшеницей. Вместе с тем, в 4-х случаях из 12 (на слабозагрязненной почве в 1-ой ротации; на средне- и сильнозагрязненной почвах в 3-ей ротации; на среднезагрязненной почве в 4-ой ротации) снижение урожайности по отношению к контролю соломы ярового рапса оказалось более заметным, чем снижение урожайности соломы пшеницы на тех же почвах. Данное обстоятельство, на наш взгляд, в некоторой степени указывает на более заметную уязвимость ярового рапса по сравнению с яровой пшеницей. Судя по урожайности соломы, наиболее сильное самоочищение почвы от нефти при всех уровнях исходного загрязнения происходило за период с 2007 по 2011 гг. Так, например, если за этот период на среднезагрязненной почве урожайность соломы по отношению к контролю выросла на 49 % (с 22 до 71), то за последующие 2011-2015 гг. и 2015-2019 гг. соответственно только на 3 и 8 %.

Динамика изменения урожайности маслосемян и соломы ярового рапса по ротациям севооборота при различных уровнях нефтяного загрязнения наиболее наглядно демонстрируется графиками рисунков 4 и 5.

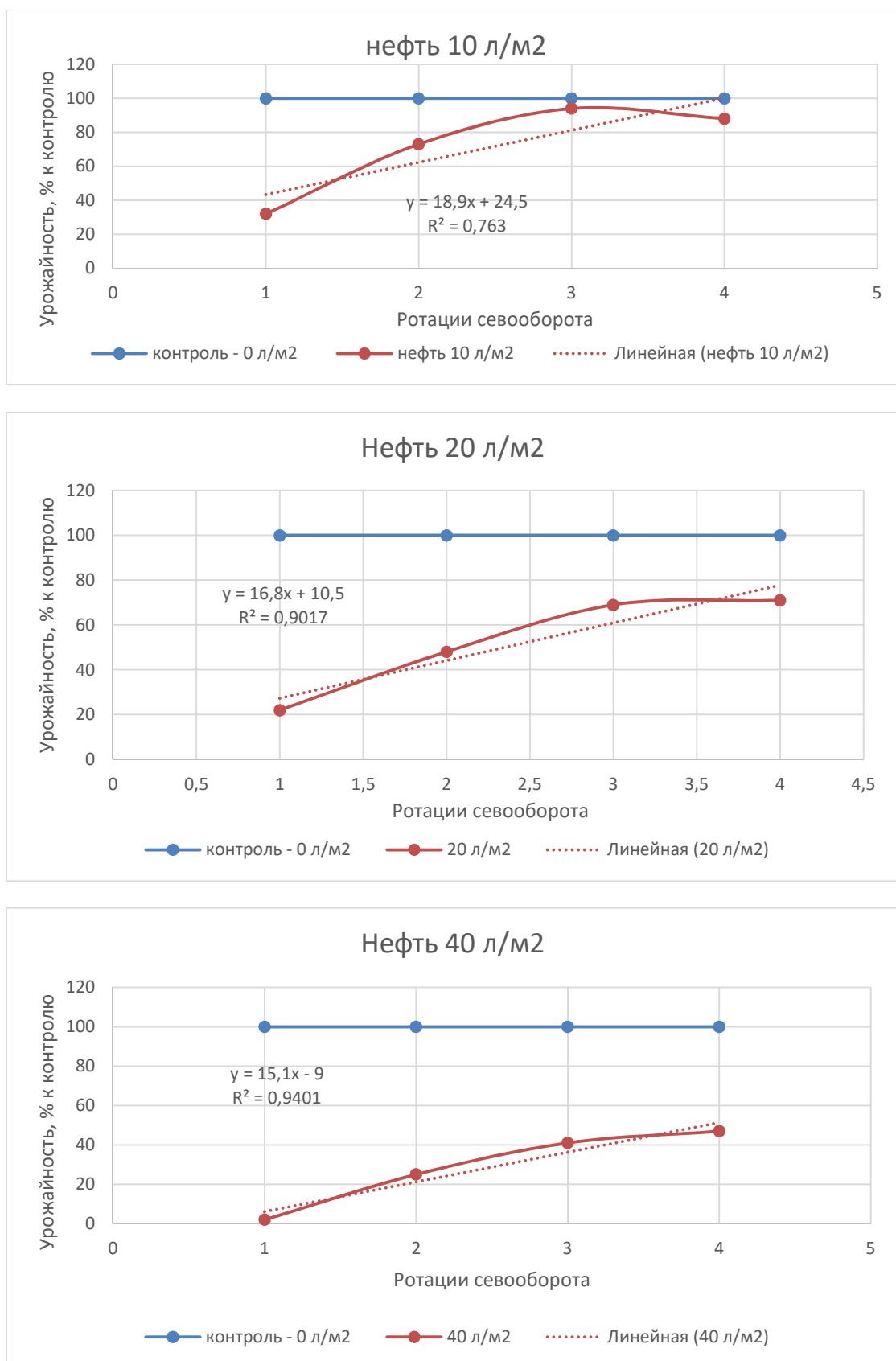


Рис. 4. Динамика изменения урожайности маслосемян ярового рапса по ротациям севооборота при различных уровнях нефтяного загрязнения (2007-2019 гг.)

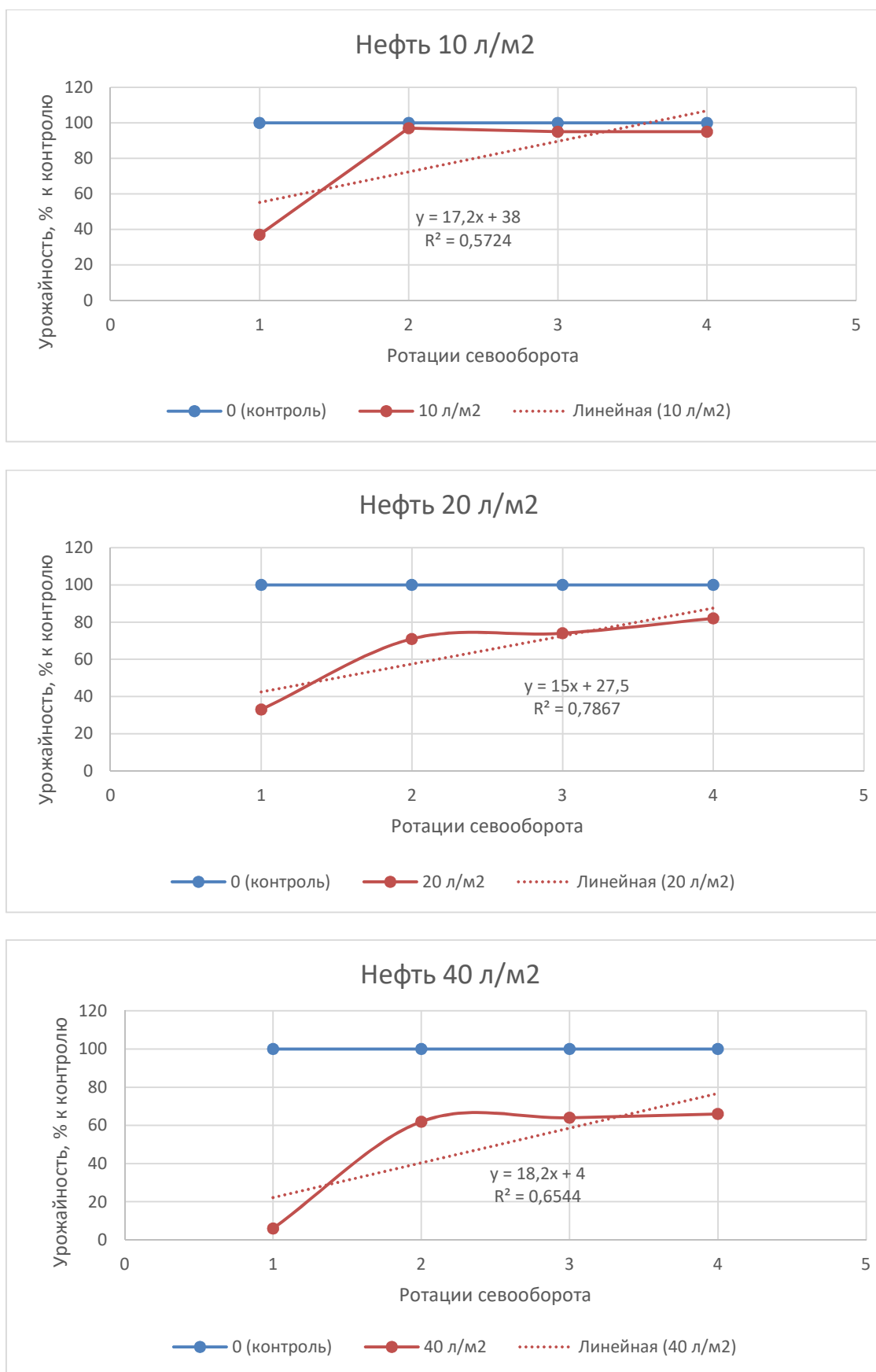


Рис. 5. Динамика изменения урожайности соломы ярового рапса по ротациям севооборота при различных уровнях нефтяного загрязнения (2007-2019 гг.)

Корреляция урожайности маслосемян ярового рапса на слабозагрязненной почве от ротаций севооборота, то есть от давности загрязнения почвы, описывалась линейным уравнением:

$$Y = 18,9 \cdot x + 24,5$$

где, Y – урожайность маслосемян, г/м²;

x – ротация севооборота.

При этом теснота корреляции между урожайности от ротации севооборота оказалась достаточно тесной, о чем свидетельствует величина коэффициента детерминации ($R^2 = 0,7630$).

На втором уровне загрязнения (доза нефти 20 л/м²) зависимость урожая маслосемян ярового рапса от ротации севооборота оказалась ещё более тесной. На среднезагрязненной почве корреляция урожайности маслосемян описывалась уравнением $y = 16,8 \cdot x + 10,5$, а коэффициент детерминации (R^2) равнялся 0,9017.

Максимальная теснота корреляции урожаев маслосемян ярового рапса от временного фактора проявилась в случае загрязнения серой лесной почвы максимальной дозой нефти (40 л/м²). Как раз об этом свидетельствует величина коэффициент детерминации урожайности маслосемян от ротации севооборота ($R^2=0,9401$).

Характер зависимости урожаев соломы на нефтезагрязненных почвах от давности загрязнения, что в данном случае определяется ротациями севооборота, демонстрируется графиками рисунка 5.

В общих чертах эти графики прямолинейной зависимости урожаев соломы ярового рапса на нефтезагрязненных почвах от ротаций севооборота напоминают таковые графики урожаев маслосемян. В качестве отличительного признака зависимости урожайности соломы и урожайности маслосемян ярового рапса от временного фактора можно указать лишь тесноту корреляции. При всех исходных дозах нефти (10, 20 и 40 л/м²)

прямолинейная корреляция урожайности соломы ярового рапса от давности загрязнения оказалась менее тесной, чем корреляция урожайности маслосемян. Так, если коэффициенты детерминации (R^2) урожайности маслосемян рапса от ротаций севооборота на слабо- и среднезагрязненных почвах равнялись соответственно 0,7630 и 0,9017, то аналогичные коэффициенты детерминации урожайности соломы составили соответственно 0,5724 и 0,7867. Вместе с тем, графики криволинейной зависимости урожаев соломы ярового рапса от давности загрязнения (ротаций севооборота), приведенные в приложении 3, иллюстрируют наличие весьма тесной зависимости между этими факторами. Как видно, коэффициенты детерминации урожайности соломы ярового рапса от ротаций севооборота колебались, в зависимости от исходного уровня загрязнения нефтью, в пределах от 0,9207 до 0,9441. Для описания корреляционной зависимости между этими факторами лучше подходило полиномиальное уравнение второй степени.

Завершая рассмотрение характера зависимости урожайности двух сельскохозяйственных культур от давности загрязнения (ротаций севооборота) уверенно можно утверждать, что при всех уровнях загрязнения обнаруживалась тесная положительная корреляция урожайности от давности загрязнения. По мере роста давности загрязнения урожайность, как основной, так и побочной части урожая постепенно приближалась к уровню урожайности на незагрязненной (контрольной) почве. Однако, процесс полного достижения исходного незагрязненного уровня урожайности оказался весьма длительным: даже слабое загрязнение нефтью (10 л/м^2) продолжало оказывать негативное влияние на урожайность товарной продукции испытанных культур в течение всего 15 летнего периода наблюдения. Характер влияния трех уровней нефтяного загрязнения на продуктивность растений ярового рапса в течение четырёх ротаций полевого севооборота в условиях серой лесной почвы демонстрируется графиками рисунков 6 и 7.

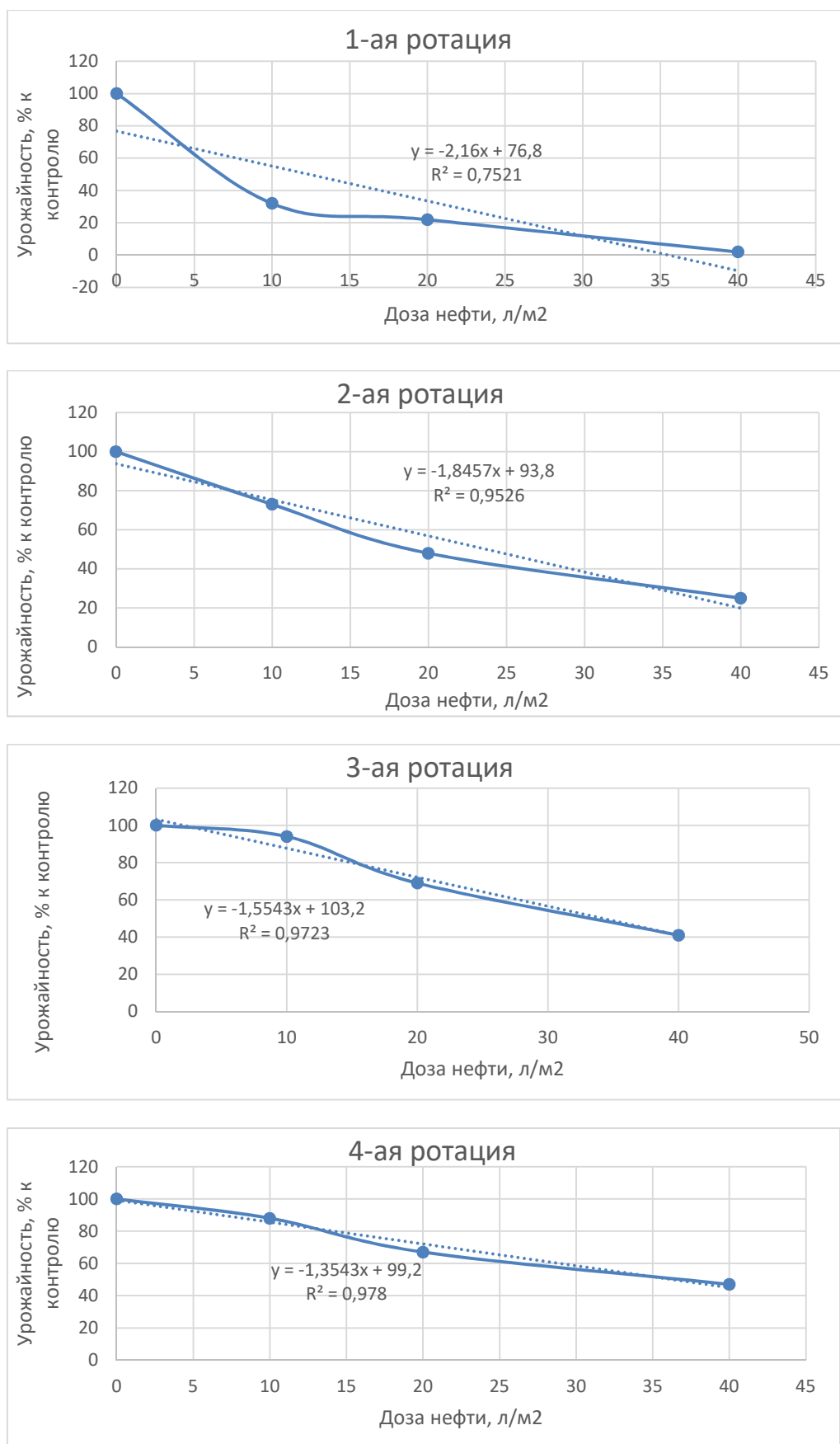


Рис. 6. Зависимость урожайности маслосемян ярового рапса от уровня нефтяного загрязнения серой лесной почвы в различных ротациях севооборота

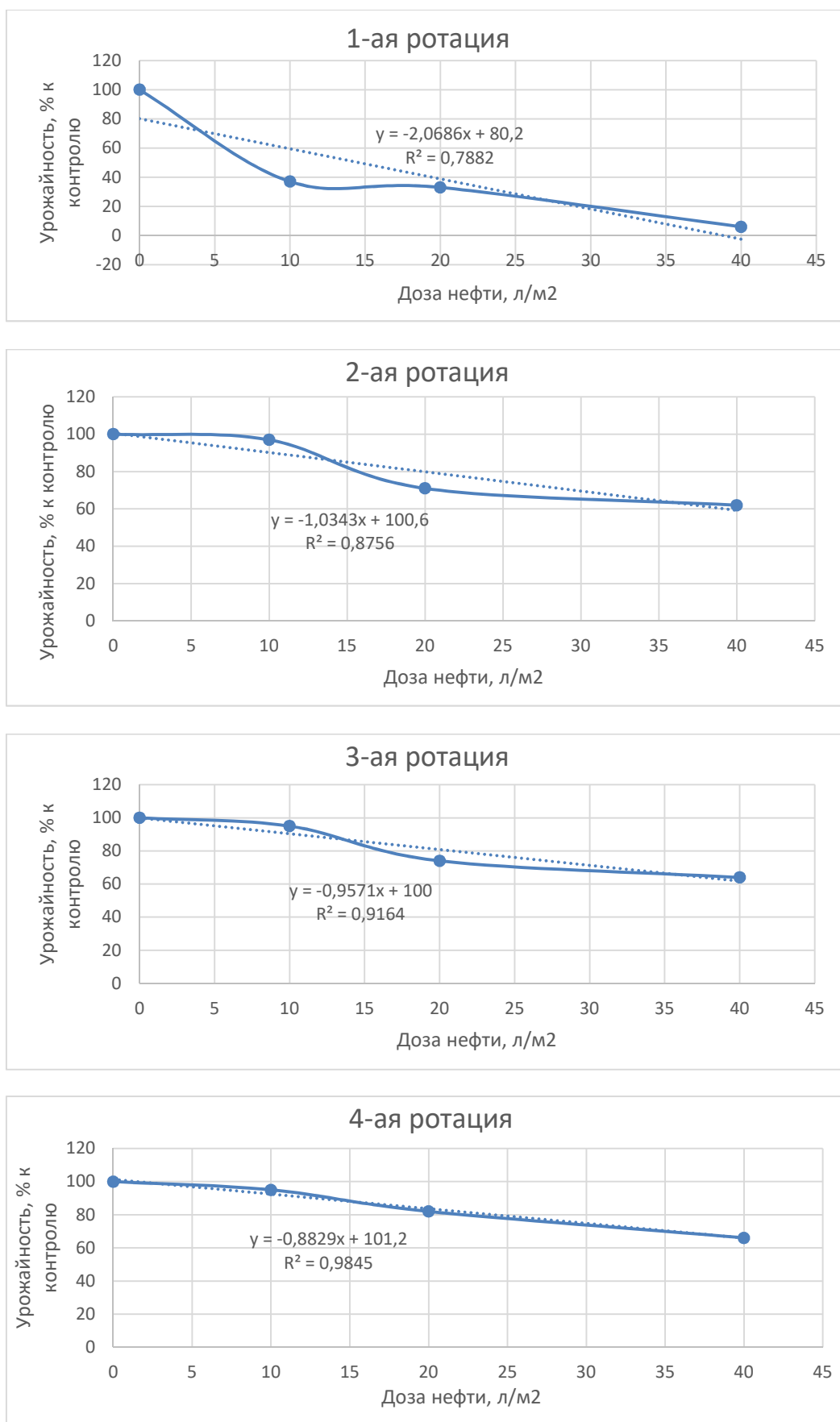


Рис. 7. Зависимость урожайности соломы ярового рапса от уровня нефтяного загрязнения серой

Статистическая обработка зависимости урожайных данных маслосемян ярового рапса от исходного уровня нефтяного загрязнения в первой ротации севооборота показала, что между этими факторами существует достаточно тесная корреляция ($R^2=0,7521$). Линейная зависимость урожайности маслосемян ярового рапса от доз нефти описывалась уравнением:

$$Y = - 2,16 \cdot x + 76,8$$

где, Y – урожайность маслосемян ярового рапса, г/м²;

x – доза нефти, л/м².

Как видим, зависимость урожайности от доз нефти отрицательная.

Аналогичная тесная отрицательная корреляция обнаружилась между дозами нефти и урожайностью маслосемян ярового рапса и во второй, третьей и четвертой ротациях севооборота. Корреляции детерминации (R^2) урожайности маслосемян рапса от доз нефти колебались в пределах от 0,9526 до 0,9780. Интересно то, что по мере роста давности загрязнения (ротаций севооборота) теснота корреляции не ослабевала, наоборот, обнаружилось её возрастание.

Зависимость урожаев соломы ярового рапса от уровня нефтяного загрязнения не отличается от аналогичной зависимости урожаев маслосемян (рис. 7). В течение всех четырёх ротаций севооборота коэффициенты детерминации урожайности соломы ярового рапса от исходных доз нефти были близкими к единице ($R^2=0,7882 \div 0,9845$), а характер зависимости – отрицательным. Например, зависимость урожайности соломы ярового рапса от доз нефти в четвертой ротации севооборота описывалась уравнением:

$$Y = - 0,8829 \cdot x + 101,2$$

где, Y – урожайность соломы ярового рапса, г/м²;

x – доза нефти, л/м².

Таким образом, наблюдения за динамикой урожайности яровой пшеницы и ярового рапса за годы исследования сотрудниками и дипломниками кафедры агрохимии и почвоведения Казанского ГАУ отчетливо показывают, что по мере старения нефтяного загрязнения происходит постепенное повышение урожайности зерна (маслосемян) и соломы. Установлена тесная положительная зависимость урожайности маслосемян и соломы ярового рапса от временного фактора (ротаций севооборота), где коэффициенты детерминации (R^2) урожаев от ротаций севооборота колебались в пределах от 0,5724 до 0,9401. Ещё более тесная корреляция урожаев маслосемян и соломы ярового рапса установлена от исходного уровня однократного нефтяного загрязнения ($R^2 = 0,7521 \div 0,9845$).

3.2 Изменение элементов структуры урожая яровой пшеницы и ярового рапса под влиянием нефтяного загрязнения

Действие трёх уровней нефтяного загрязнения на основные элементы структуры урожая яровой пшеницы и ярового рапса в четвертой ротации севооборота иллюстрируется диаграммами рисунков 8 и 9, данными таблицы 9 и приложения 8.

Элементы структуры урожая яровой пшеницы по вариантам опыта первого блока эксперимента в 2017 г., то есть спустя 13 лет после загрязнения, указывают на то, что негативное действие нефтяного загрязнения на структуру урожая проявилось достаточно заметно. Обнаружилось вполне зримая зависимость величин элементов структуры урожая от доз нефти: чем выше исходная доза нефти, тем сильнее снижение числа растений и колосьев на квадратный метр, числа зерен в колосе и массы 1000 зерен, то есть наблюдается отрицательная корреляция. Коэффициенты детерминации (R^2) указанных элементов структуры урожая яровой пшеницы

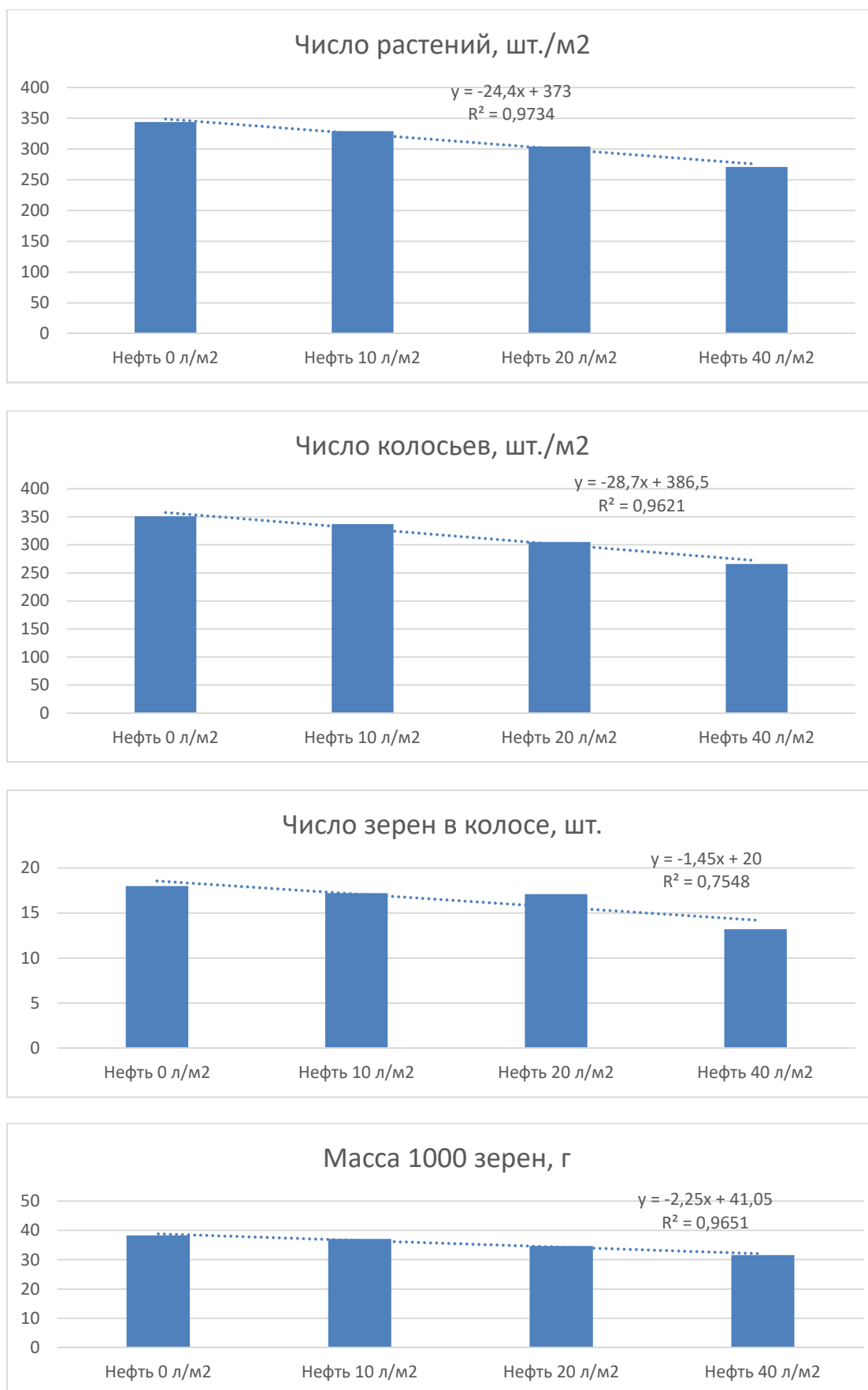


Рис. 8. Влияние уровней нефтяного загрязнения серой лесной почвы на элементы структуры урожая яровой пшеницы (2017 г.)

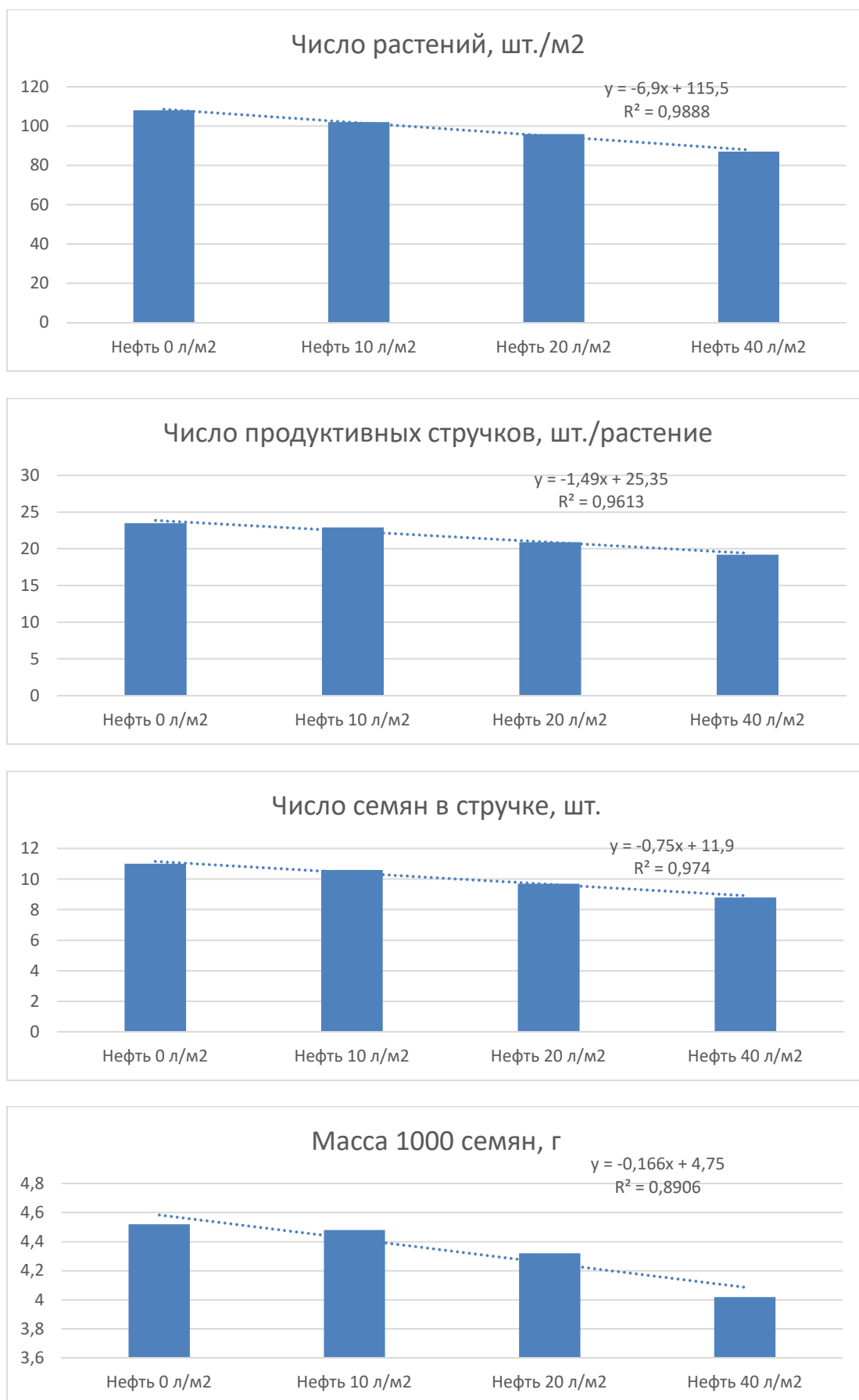


Рис. 9. Влияние уровней нефтяного загрязнения серой лесной почвы на элементы структуры урожая ярового рапса (2019 г.)

от доз нефти колебались в пределах от 0,7548 до 0,9734, что свидетельствует о наличии тесной линейной зависимости между этими факторами.

Такой же характер зависимости элементов структуры урожая от исходного уровня нефтяного загрязнения обнаружился через два года при возделывании ярового рапса (2019 г.).

Все элементы структуры урожая рапса – число растений на единицу площади, число продуктивных стручков на одно растение, число семян в стручке, масса 1000 семян – ухудшились по мере роста исходного уровня загрязнения. Коэффициенты детерминации (R^2) названных элементов структуры урожая ярового рапса от исходного уровня нефтяного загрязнения серой лесной почвы варьировали от 0,8906 до 0,9888. Как видно, по мере роста давности загрязнения теснота корреляции элементов структуры урожая от уровня нефтяного загрязнения не ослабевала.

Таблица 9

Влияние различных уровней нефтяного загрязнения серой лесной почвы на основные элементы структуры урожая ярового рапса в четвертой ротации севооборота (2019 г.)

Показатели структуры урожая	Дозы нефти, л/м ²			
	0 (контроль)	10	20	40
Число растений, шт./м ²	$\frac{108}{100^*}$	$\frac{102}{94}$	$\frac{96}{89}$	$\frac{87}{81}$
Число продуктивных стручков, шт./растение	$\frac{23,5}{100}$	$\frac{22,9}{97}$	$\frac{20,9}{89}$	$\frac{19,2}{82}$
Число семян в стручке, шт.	$\frac{11,0}{100}$	$\frac{10,6}{96}$	$\frac{9,7}{88}$	$\frac{8,8}{80}$
Масса 1000 семян, г	$\frac{4,52}{100}$	$\frac{4,48}{99}$	$\frac{4,32}{96}$	$\frac{4,02}{89}$
Вес семян с одного растения, г	$\frac{1,168}{100}$	$\frac{1,087}{93}$	$\frac{0,876}{75}$	$\frac{0,679}{58}$

Прим.: * - в процентах к уровню контроля.

Несмотря на то, что под влиянием нефтяного загрязнения наблюдалось ухудшение всех элементов структуры урожая, они пострадали не в одинаковой степени. Какие же элементы структуры урожая ярового рапса оказались более уязвимыми нефтяному загрязнению?

На слабозагрязненной почве число растений на единицу площади снизилось, по отношению к контролю на 6 %, а число семян в стручке и число продуктивных стручков на одно растение соответственно на 4 и 3 %. При этом масса 1000 семян от нефти уменьшилась только на 1 %. Следовательно, отдельные элементы структуры урожая ярового рапса по размерам снижения от слабого нефтяного загрязнения (10 л/м^2) расположились в следующий убывающий ряд: число растений на единицу площади > число семян в стручке > число продуктивных стручков на одно растение > масса 1000 семян.

На почвах, загрязненных дозами 20 и 40 л/м^2 , снижение урожайности маслосемян ярового рапса в первую очередь было обусловлено уменьшением числа семян в стручке, а, во вторую очередь – уменьшением числа растений на единицу площади. Так, если от средней и максимальной доз нефти число растений на 1 квадратный метр уменьшилось, по отношению к контролю, на 11-19 %, то число семян в стручке – на 12-20 %. Как и на слабозагрязненной почве, уменьшение числа продуктивных стручков на одно растение на средне- и сильнозагрязненных почвах составило меньшую величину: 11-18 %. От всех трёх доз нефти относительно в меньшей степени снизилась масса 1000 семян: примерно на 1-11% к уровню данного показателя на незагрязненной почве. Таким образом, на средне- и сильнозагрязненной почвах убывающий ряд элементов структуры урожая ярового рапса по размерам снижения от нефтяного загрязнения выглядит следующим образом: число семян в стручке > число растений на единицу площади > число продуктивных стручков на одно растение > масса 1000 семян.

В таблице 10 приведены данные, характеризующие изменчивость соотношения маслосемян к соломе ярового рапса в зависимости от уровня

Таблица 10

Изменчивость соотношения маслосемян к соломе ярового рапса в зависимости от уровня и давности нефтяного загрязнения серой лесной почвы

Ротация севооборота (год)	Дозы нефти, л/м ²			
	0 - контроль	10	20	40
1 (2007 г.)	$\frac{1,23^*}{100}$	$\frac{1,43}{116}$	$\frac{1,82}{148}$	$\frac{3,66}{298}$
2 (2011 г.)	$\frac{1,26}{100}$	$\frac{1,68}{133}$	$\frac{1,86}{148}$	$\frac{3,12}{248}$
3 (2015 г.)	$\frac{1,39}{100}$	$\frac{1,40}{101}$	$\frac{1,49}{107}$	$\frac{2,18}{157}$
4 (2019 г.)	$\frac{2,36}{100}$	$\frac{2,54}{108}$	$\frac{2,90}{123}$	$\frac{3,32}{141}$

Прим.: * - в числителе абсолютные значения; в знаменателе в процентах к уровню контроля.

и давности нефтяного загрязнения серой лесной почвы.

Соотношение «солома: маслосемена» на незагрязненной почве по ротациям севооборота колебалось весьма значительно: если в первой ротации оно равнялось 1,23, то в четвертой ротации – 2,36, то есть в 1,92 раза больше. Следовательно, данный показатель подвержен сильному изменению, вероятнее всего, в зависимости от складывающихся погодных и иных условий. График, приведенный на рисунке 10, показывает, что существует достаточно тесная отрицательная корреляция между урожайностью маслосемян и соотношением «солома: маслосемена»: чем ниже урожайность основной продукции, тем шире соотношение «солома: маслосемена». На незагрязненной почве эта зависимость описывалась линейным уравнением:

$$Y = - 25,559 \cdot x + 184,87$$

где, Y – урожайность маслосемян ярового рапса, г/м²;

x – соотношение «солома: маслосемена».

Коэффициент детерминации (R^2) урожайности маслосемян рапса от соотношения «солома: маслосемена» равнялся 0,6669.

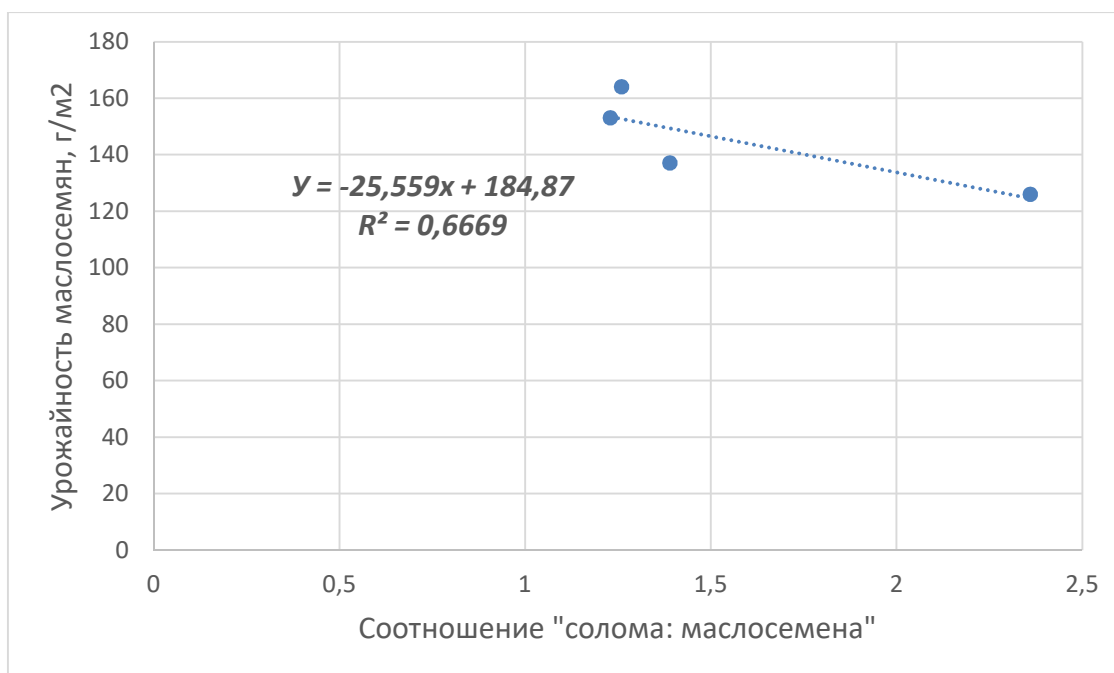


Рис. 10. Зависимость урожайности маслосемян ярового рапса от соотношения «солома: маслосемена» на незагрязненной серой лесной почве

Весьма существенным фактором, проявившим влияние на соотношение товарной и нетоварной части урожая ярового рапса, оказался уровень нефтяного загрязнения. Как видно, в первой ротации севооборота в зависимости от доз нефти (10-40 л/м²) соотношение «солома: маслосемена» расширилось по отношению к контролю в 1,16 – 2,98 раза.

Другим фактором, оказавшим заметное влияние на соотношение «солома: маслосемена» ярового рапса, явился давность загрязнения почвы нефтью, определяемая в данном случае ротацией севооборота. Так, например, если соотношение «солома: маслосемена» на сильнозагрязненной почве (40 л/м²) в первой ротации севооборота (через 3 года после загрязнения) расширилось по отношению к контролю в 2,98 раза, то в четвертой ротации севооборота (через 15 лет после загрязнения) – только в 1,41 раза.

Таким образом, обнаружилось вполне заметная зависимость величин элементов структуры урожая от уровня нефтяного загрязнения: чем выше доза нефти, тем сильнее снижение всех элементов структуры урожая, однако

на разных уровнях нефтяного загрязнения снижение величин элементов структуры урожая были неодинаковыми, хотя в наименьшей степени от нефтяного загрязнения уменьшилась масса 1000 семян. Уровень и давность загрязнения почвы нефтью оказали весьма заметное влияние на соотношение «солома: маслосемена»: если возрастание дозы нефти расширило данное соотношение, то возрастание давности загрязнения воздействовало в противоположном направлении.

3.3 Изменение содержания в растениях ярового рапса основных питательных макроэлементов под влиянием нефтяного загрязнения

Химический состав урожая – важный показатель состояния растений и его изучение необходимое условие для установления нормативных агрохимических показателей: нормативного и хозяйственного выноса, коэффициентов использования питательных элементов из почвы и удобрений [Минеев, 2004].

Главными питательными макроэлементами, оказывающими наибольшее влияние на урожайность и качество урожая большинства сельскохозяйственных культур, являются азот, фосфор и калий [Ягодин и др., 2003; Кидин, Торшин, 2016].

Содержание общего азота, фосфора и калия в растениях ярового рапса в четвертой ротации севооборота (2019 г.) дано в приложении 9, рисунках 11 и 12. Среднее содержание указанных питательных веществ в маслосеменах рапса на незагрязненной почве составило соответственно 3,32; 1,76 и 0,92 %. Содержание этих питательных веществ в соломе рапса в незагрязненной почве составило соответственно 0,64; 0,27 и 0,97 %. Как видно, основная и побочная часть урожая рапса существенно различались по содержанию азота и фосфора. Общее содержание азота в маслосеменах ярового рапса оказалось выше, чем в соломе примерно в 5,0-5,5 раза, а фосфора – в 6,5-7,0 раза. В отличие от этих двух питательных элементов, содержание общего калия в

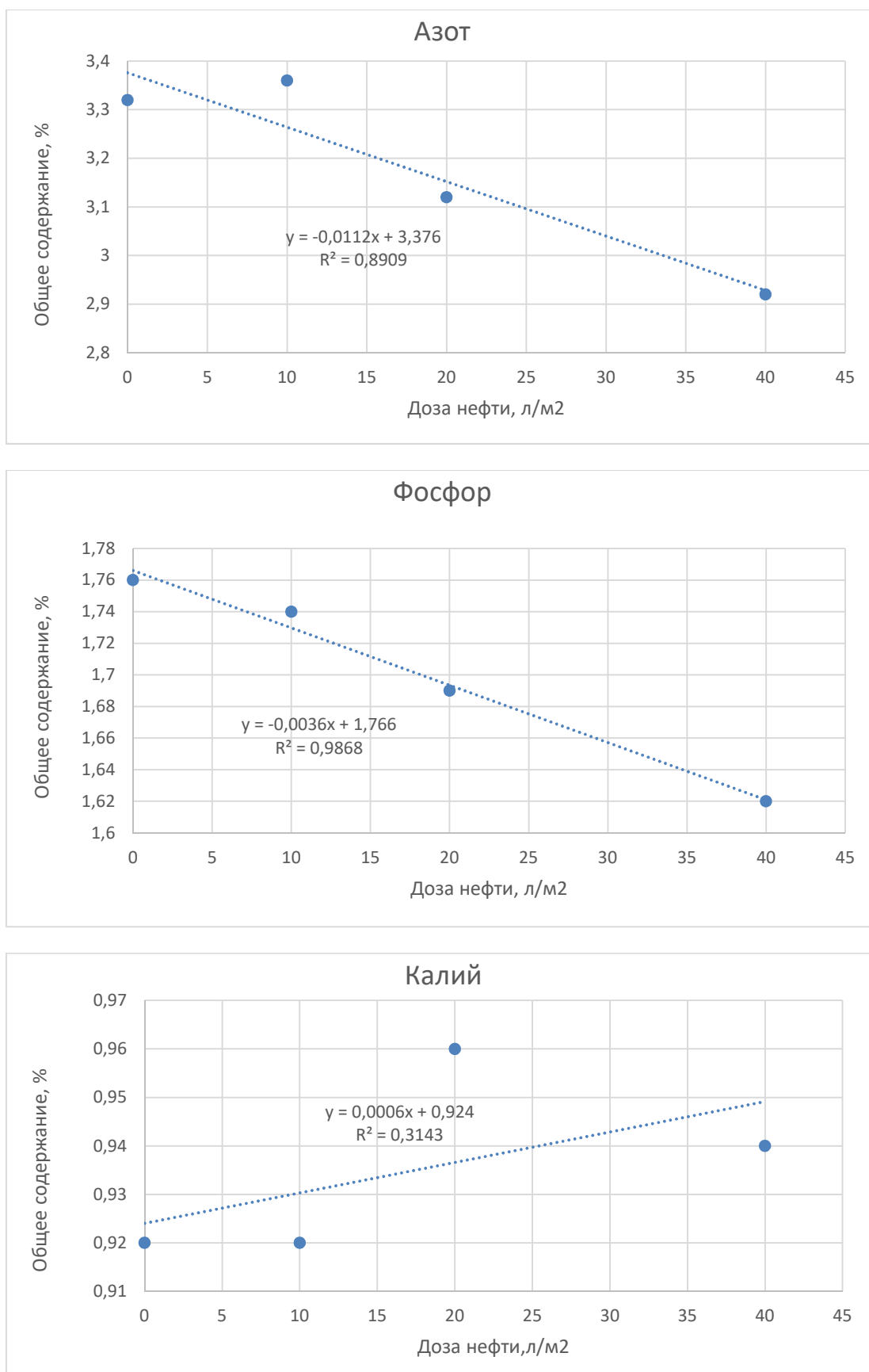


Рис. 11. Влияние уровня нефтяного загрязнения серой лесной почвы на содержание азота, фосфора и калия в маслосеменах ярового рапса

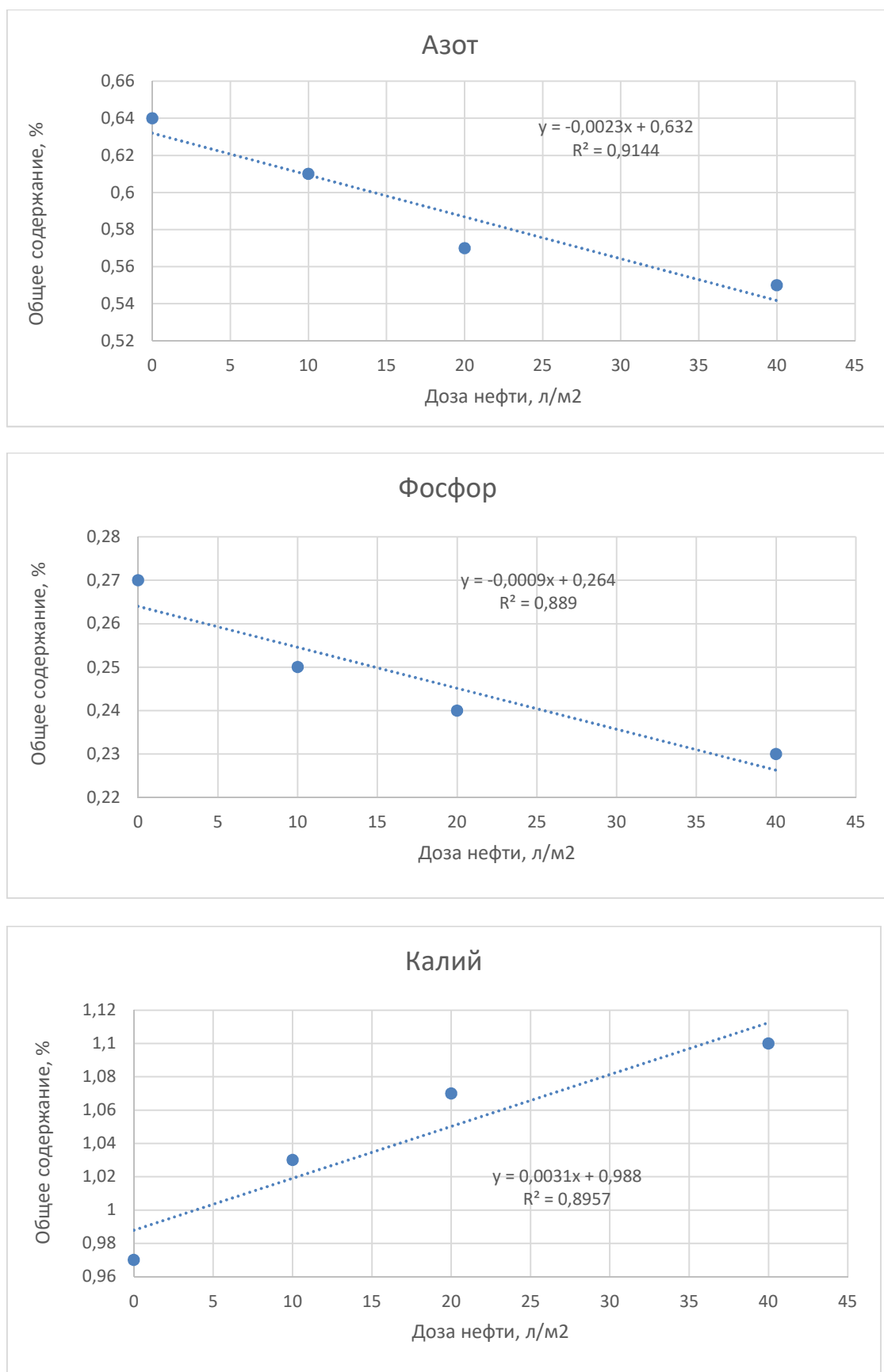


Рис. 12. Влияние уровня нефтяного загрязнения серой лесной почвы на содержание азота, фосфора и калия в соломе ярового рапса

маслосеменах было несколько меньше, чем в соломе.

Нефтяное загрязнение, произошедшее 15 лет тому назад, оказало заметное влияние на содержание в растениях основных питательных макроэлементов, притом достаточно четко проявилось корреляция размеров этих изменений от уровня исходного загрязнения (рис. 11 и 12). Содержание общего азота и фосфора под влиянием возрастающих доз нефти, как в маслосеменах, так и соломе ярового рапса снижалось. Коэффициенты детерминации (R^2) содержания общего азота и фосфора от доз нефти колебались в пределах от 0,8890 до 0,9868.

В отличие от этих двух питательных элементов, содержание общего калия в маслосеменах и соломе ярового рапса под действием нефтяного загрязнения, наоборот, возрастало. Правда, коэффициент детерминации (R^2) содержания общего калия в маслосеменах от доз нефти оказался существенно ниже, чем аналогичные коэффициенты по азоту и фосфору. Возможным объяснением обнаруженного разнонаправленного воздействия возрастающих доз нефти 15-летней давности загрязнения на содержание трёх макроэлементов является неодинаковая интенсивность подавления нефтяными веществами процессов накопления надземной массы ярового рапса и поступления в растения азота, фосфора и калия. Видимо, подавление процесса накопления органических веществ рапсом под действием нефти было сильнее, чем задержка поступления в растения калия, но слабее, чем задержка поступления азота и фосфора.

Таким образом, под действием нефтяного загрязнения 15-летней давности содержания азота, фосфора и калия в надземной массе ярового рапса изменились в противоположных направлениях: если общее содержание азота и фосфора в генеративных и вегетативных органах снизилось, то содержание калия, наоборот, возрастало, особенно в составе соломы. Эти изменения в химическом составе растений ярового рапса достаточно тесно коррелировались с исходным уровнем нефтяного загрязнения серой лесной почвы.

3.4 Действие приемов рекультивации нефтезагрязненной серой лесной почвы на продуктивность ярового рапса

По мнению многих ученых и практиков в современных условиях наиболее безопасным, относительно дешевым и достаточно эффективным следует считать агроэкологические приемы восстановления загрязненных почв, которые включают ряд агрохимических и агротехнических мероприятий [Габбасова и др., 1997; Станкевич, 2002; Гилязов, Гайсин, 2003; Кудеяров и др., 2007; Куликова, Держинская, 2008; Ezeji et al., 2007; Nwankwegu etc, 2017; Леднёв, 2018].

Результаты испытания эффективности агроэкологических приемов рекультивации нефтезагрязненной серой лесной почвы в условиях стационарного полевого опыта по материалам учета урожайности ярового рапса на маслосемена приведены в таблицах 11 и 12. Как уже было отмечено, приемы рекультивации испытали на среднем уровне нефтяного загрязнения (20 л/м^2). Отдельные приемы рекультивации и их сочетание даны в таблице. Яровой рапс в соответствии с чередованием культур в севообороте возделывался в 2007, 2011, 2015 и 2019 гг.

В первой ротации севооборота (давность загрязнения 3 года) от нефтяного загрязнения урожайность маслосемян снизилась по сравнению с контролем в 4,5 раза. На этом фоне рыхление почвы, технология выполнения которого описана во второй главе, оказалось весьма эффективным приемом восстановления плодородия нефтезагрязненной почвы, обеспечившим повышение урожайности маслосемян рапса на 58 г/м^2 или в 2,71 раза по отношению к урожайности на нефтезагрязненной почве.

Повышение урожайности маслосемян рапса от известкования нефтезагрязненной почвы оказалось статистически не существенным.

Прибавка урожая от внесения полного минерального удобрения составила 21 г/м^2 , что в 2,76 раза меньше прибавки от рыхления почвы.

Минимальная статистически доказуемая прибавка урожая маслосемян

Таблица 11

Влияние приемов рекультивации нефтезагрязненной серой лесной почвы на урожайность маслосемян ярового рапса в зависимости от временного фактора (ротаций севооборота)

Варианты опыта	1-ая ротация (2007 г.)	2-ая ротация (2011 г.)	3-ая ротация (2015 г.)	4-ая ротация (2019 г.)
1. Незагрязненная почва (контроль)	$\frac{153*}{100}$	$\frac{164}{100}$	$\frac{137}{100}$	$\frac{126}{100}$
2. Нефтезагрязненная почва (НЗП)	$\frac{34}{22}$	$\frac{79}{48}$	$\frac{95}{69}$	$\frac{84}{67}$
3. НЗП+рыхление	$\frac{92}{60}$	$\frac{88}{54}$	$\frac{100}{73}$	$\frac{99}{79}$
4. НЗП+известкование+рыхление	$\frac{96}{63}$	$\frac{95}{58}$	$\frac{103}{75}$	$\frac{103}{82}$
5. НЗП+известкование+рыхление+ НРК	$\frac{129}{84}$	$\frac{167}{102}$	$\frac{186}{136}$	$\frac{179}{142}$
6. НЗП+ известкование +рыхление +инокуляция биопрепаратом Байкал ЭМ-1	$\frac{115}{75}$	$\frac{123}{75}$	$\frac{134}{98}$	$\frac{117}{93}$
НСП ₀₅ (г/м ²)	10	11	13	12

Прим.: * - в числителе в г/м²; в знаменателе в процентах к уровню контроля.

ярового рапса (12 г/м²) была получена от инокуляции почвы биопрепаратом Байкал ЭМ-1.

Во второй ротации севооборота урожайность маслосемян на нерекультивируемой загрязненной почве составила по отношению к контролю 48 %, что более чем в два раза выше показателя первой ротации севооборота (22 %).

Прибавка урожая от рыхления нефтезагрязненной почвы оказалась меньше наименьшей существенной разницы. Лишь сочетание рыхления с известкованием обеспечило получение достоверной прибавки урожая.

Таблица 12

Влияние приемов рекультивации нефтезагрязненной серой лесной почвы на урожайность соломы ярового рапса в зависимости от временного фактора (ротаций севооборота)

Варианты опыта	1-ая ротация (2007 г.)	2-ая ротация (2011 г.)	3-ая ротация (2015 г.)	4-ая ротация (2019 г.)
1.Незагрязненная почва (контроль)	$\frac{188*}{100}$	$\frac{207}{100}$	$\frac{191}{100}$	$\frac{297}{100}$
2.Нефтезагрязненная почва (НЗП)	$\frac{62}{33}$	$\frac{147}{71}$	$\frac{142}{74}$	$\frac{244}{82}$
3.НЗП+рыхление	$\frac{117}{62}$	$\frac{156}{75}$	$\frac{153}{80}$	$\frac{252}{85}$
4.НЗП+известкование+рыхление	$\frac{121}{64}$	$\frac{156}{75}$	$\frac{156}{82}$	$\frac{252}{85}$
5.НЗП+известкование+рыхление+ НРК	$\frac{164}{87}$	$\frac{225}{109}$	$\frac{275}{144}$	$\frac{437}{147}$
6.НЗП+ известкование+ рыхление +инокуляция биопрепаратом Байкал ЭМ-1	$\frac{138}{73}$	$\frac{182}{88}$	$\frac{195}{102}$	$\frac{294}{99}$
НСП ₀₅ (г/м ²)	11	13	16	20

Прим.: * - в числителе в г/м²; в знаменателе в процентах к уровню контроля.

В то же время, селективная прибавка урожая только от известкования была не существенной. Во этот срок наблюдения максимальная прибавка урожая (72 г/м²) была получена от внесения полного минерального удобрения.

Прибавка урожая маслосемян рапса от инокуляции биопрепаратом Байкал ЭМ-1 составила 28 г/м², что в 2,57 раза меньше прибавки от полного минерального удобрения.

В третьей ротации севооборота рыхление нефтезагрязненной почвы, как селективное, так и в сочетании с известкованием не дало статистически достоверной прибавки урожая маслосемян. Как и в предыдущей ротации севооборота, максимальная прибавка урожая маслосемян (83 г/м^2) была получена от внесения минеральных удобрений. Использование на фоне рыхления и известкования биопрепарата Байкал ЭМ-1 обеспечило получение 31 г/м^2 прибавки урожая маслосемян, что в 2,68 раза меньше прибавки от внесения полного минерального удобрения.

В четвертой ротации севооборота прибавка урожая маслосемян рапса от рыхления почвы вновь стала статистически значимым, однако прибавка урожая от известкования оказалась меньше наименьшей существенной разности. Наибольшая прибавка урожая (76 г/м^2), как и в предыдущих двух ротациях севооборота, была получена от внесения полного минерального удобрения. Прибавка урожая маслосемян от инокуляции нефтезагрязненной почвы биопрепаратом Байкал ЭМ-1 составила 14 г/м^2 , что в 5,43 раза меньше прибавки, полученной от внесения минеральных удобрений.

Испытанные приемы рекультивации нефтезагрязненной серой лесной почвы примерно одинаково действовали как на урожайность маслосемян, так и соломы ярового рапса. Урожайные данные соломы ярового рапса по вариантам опыта, приведенные в таблице 12, как раз свидетельствуют об этом. В первой ротации севооборота наиболее действенным приемом рекультивации проявилось рыхление почвы, а в последующих ротациях наибольшие прибавки соломы были получены от внесения полного минерального удобрения. Известкование, проведенное на фоне рыхления, в течение всего периода наблюдения статистически достоверной прибавки урожая соломы не дало. Сопоставление прибавок урожая соломы ярового рапса от минеральных удобрений и биопрепарата показывает, что прибавки от минеральных удобрений в 2,5-4,4 раза превышали таковые от биопрепарата Байкал ЭМ-1, причем по мере роста давности загрязнения данное различие усилилось.

Ещё более наглядно изменение размеров прибавок урожая ярового рапса от отдельных приемов рекультивации нефтезагрязненной почвы по ротациям севооборота демонстрируется диаграммами рисунков 13 и 14.

Прежде всего, они визуальны показывают размеры прибавок урожая от тех или иных приемов рекультивации. Так, если прибавки урожая маслосемян от известкования не превышали 4 % к уровню контроля, то максимальные прибавки от биопрепарата Байкал ЭМ-1, рыхления почвы и внесения полного минерального удобрения доходили соответственно до 23, 38 и 61 % (приложение 12). Прибавки урожая соломы, так же выраженные в процентах к уровню контроля, от вышеперечисленных приемов колебались примерно в тех же пределах от 2 до 62 %.

По размерам прибавок урожая ярового рапса в первой ротации севооборота испытанные приемы рекультивации расположились в следующий убывающий ряд: рыхление почвы > внесение полного минерального удобрения > инокуляция почвы биопрепаратом Байкал ЭМ-1 > известкование.

По размерам прибавок урожаев основной и побочной продукции в течение последних трёх ротаций севооборота испытанные приемы рекультивации нефтезагрязненной серой лесной почвы можно было расположить в следующий убывающий ряд: внесение полного минерального удобрения > инокуляция почвы биопрепаратом Байкал ЭМ-1 > рыхление почвы > известкование.

Таким образом, если в первой ротации (давность загрязнения 3 года) наиболее действенным приемом рекультивации было рыхление нефтезагрязненной почвы, то в дальнейшем главным фактором, наиболее существенно повышающим урожайность ярового рапса на нефтезагрязненной почве, стало внесение полного минерального удобрения.

Представленные на рисунках линейные уравнения зависимости и коэффициенты детерминации прибавок урожая от временного фактора

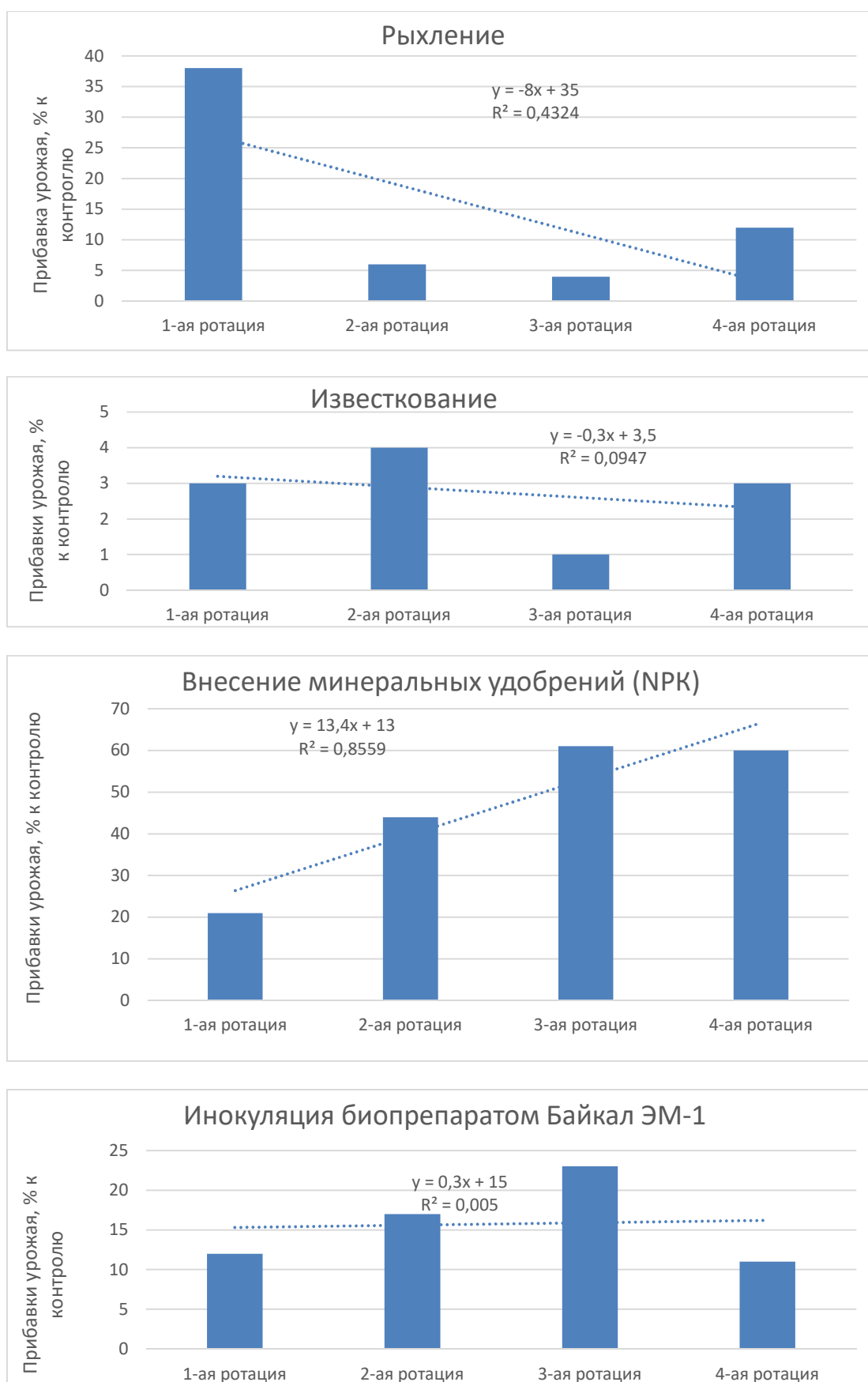


Рис. 13. Характер изменения величин прибавок урожая маслосемян от отдельных приемов рекультивации нефтезагрязненной серой лесной почвы в зависимости от временного фактора (по ротациям севооборота)

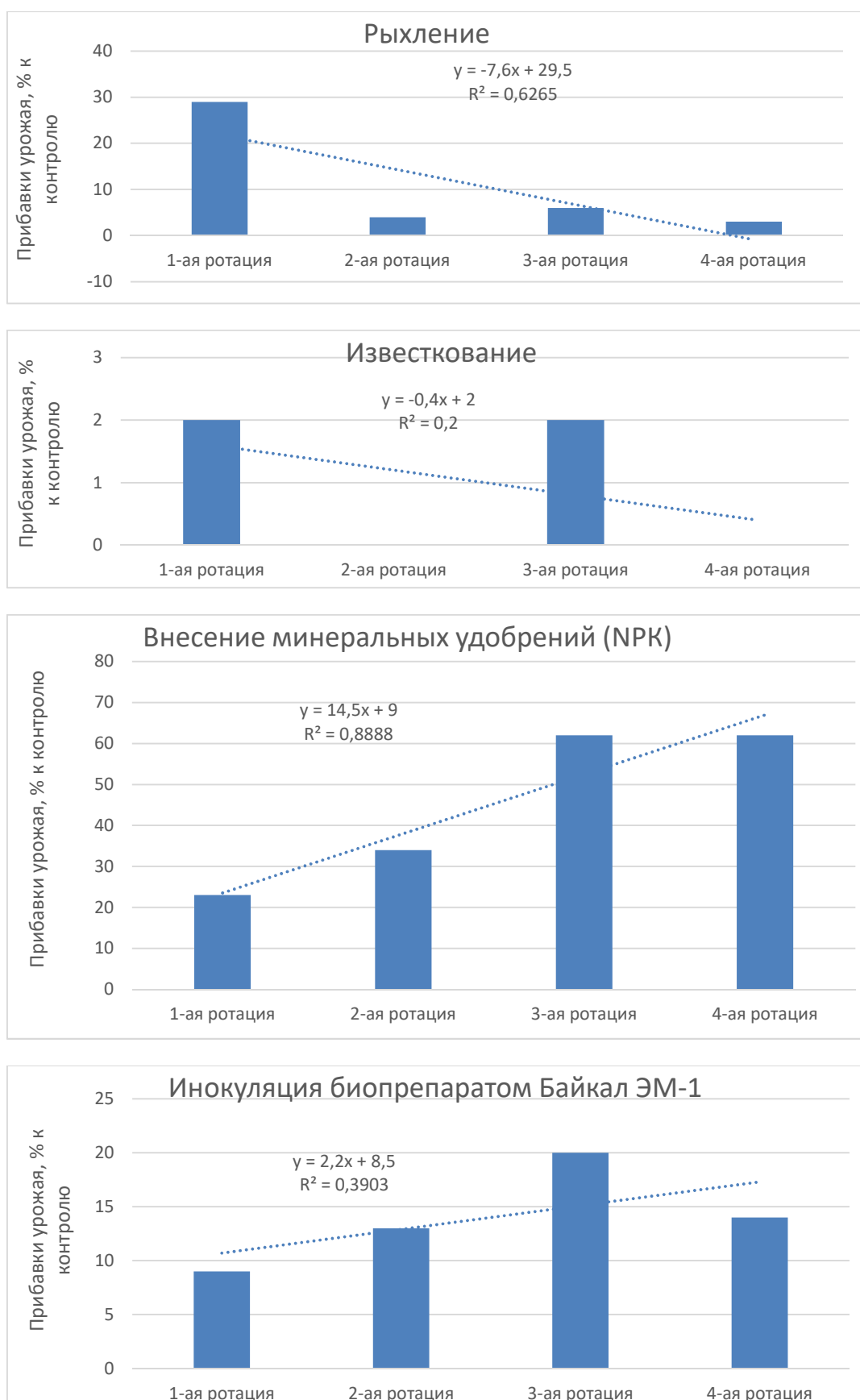


Рис. 14. Характер изменения величин прибавок урожая соломы от отдельных приемов рекультивации нефтезагрязненной серой лесной почвы в зависимости от временного фактора (по ротациям севооборота)

(ротаций севооборота) показывают постепенное возрастание роли минеральных удобрений при одновременном снижении роли рыхления почвы. Некоторый рост прибавок урожая от инокуляции почвы биопрепаратом по мере «старения» нефтяного загрязнения наблюдался только в отношении соломы ярового рапса. Размеры прибавок урожая ярового рапса от известкования независимо от ротаций севооборота были в пределах ошибки опыта и поэтому слабо коррелировали с давностью загрязнения.

3.5 Экономическая эффективность возделывания ярового рапса в зависимости от испытанных приемов рекультивации нефтезагрязненной почвы

Зависимость экономической эффективности возделывания ярового рапса в четвертой ротации севооборота от нефтяного загрязнения и приемов рекультивации демонстрируется данными таблицы 13. Стоимость товарной продукции рассчитали из средней цены реализации маслосемян ярового рапса в 2019 г., которая равнялась 22000 руб./т. Общие затраты на возделывание рапса по вариантам опыта определили по технологическим картам, которые приведены в приложениях 13-18.

На незагрязненной почве стоимость товарной продукции, полученной с одного гектара, равнялась 27720 рублям, что было обусловлено, в первую очередь, высокой ценой реализации маслосемян рапса. На нефтезагрязненной почве без приемов рекультивации стоимость товарной продукции резко снизилась и составила 18480 руб./га. Все испытанные приемы рекультивации заметно увеличили выход товарной продукции в стоимостном выражении. Максимальная стоимость товарной продукции, равная 39380 руб./га, была получена при комплексном применении трёх приемов: рыхления почвы, известковании и внесении полного минерального удобрения.

Общие затраты на возделывание ярового рапса на маслосемена по вариантам опыта колебались в пределах от 9482 до 19038 руб./га. Минимальные затраты на возделывание рапса были на нефтезагрязненной почве из-за того отсутствия затрат на выполнение приемов рекультивации и самой низкой урожайности маслосемян. Максимальный размер общих затрат

Таблица 13

Зависимость экономической эффективности возделывания ярового рапса от нефтяного загрязнения и приемов рекультивации (2019 г.)

Варианты опыта	Показатели			
	Стоимость товарной продукции*, руб./га	Общие затраты**, руб./га	Условная прибыль, руб./га	ур *** , %
Контроль (незагрязненная почва)	27720	9661	18059	187
НЗП (нефтезагрязненная почва)	18480	9482	8998	95
НЗП +рыхление	21780	9725	12055	124
НЗП+ известкование +рыхление	22660	11873	10787	91
НЗП +известкование+рыхление+ NPK	39380	19038	20342	107
НЗП+ известкование+рыхление+ инокуляция биопрепаратом Байкал	25740	12887	12853	100

Прим.: * - цена реализации зерна 22000 руб./т;

** - затраты рассчитаны по технологическим картам;

***- уровень рентабельности.

(19038 руб.) в расчете на один гектар наблюдался по варианту опыта, обеспечившего максимальную урожайность товарной продукции – «НЗП +известкование+ рыхление+ NPK». В значительной мере рост затрат на возделывание ярового рапса по этому варианту был обусловлен затратами на

приобретение и использование минеральных удобрений: они составили около 35 % общих затрат (приложение 17).

Условная прибыль, рассчитанная как разница между стоимостью товарной продукции и общими затратами на возделывание ярового рапса, варьировала в значительных пределах: от 8998 до 20342 руб./га.

Загрязнение серой лесной почвы средней дозой нефти 15-летней давности снизило величину условной прибыли и уровень рентабельности примерно в два раза.

Все испытанные приемы рекультивации обеспечили увеличение условной прибыли. Наименьший рост прибыли (1789 руб./га) дало сочетание рыхления с известкованием. В случае использования в качестве приема рекультивации только рыхления нефтезагрязненной почвы условная прибыль выросла, по отношению к уровню загрязненной почвы, на 3057 руб./га. Максимальная прибыль (20342 руб./га) была получена при комплексном применении рыхления, известкования и внесения полного минерального удобрения. По этому варианту опыта величина условной прибыли оказалась выше, чем при возделывании ярового рапса на незагрязненной почве без применения удобрений (18059 руб./га). Замена полного минерального удобрения на биопрепарат Байкал ЭМ-1 существенно ухудшила все экономические показатели: величину условной прибыли, уровень рентабельности и себестоимость основной продукции.

Резкое снижение экономической эффективности от старого нефтяного загрязнения подтверждается также данными таблицы 14, где приведена себестоимость маслосемян ярового рапса по вариантам опыта. Как видно, себестоимость маслосемян ярового рапса на нефтезагрязненной почве в 1,47 раза выше, чем на контрольной (незагрязненной) почве.

Себестоимость маслосемян рапса под влиянием испытанных приемов рекультивации, как правило, снизилась. Исключение составил лишь вариант опыта «НЗП +известкование+ рыхление».

Таблица 14

Влияние нефтяного загрязнения и приемов рекультивации на себестоимость
маслосемян ярового рапса (2019 г.)

Варианты опыта	Себестоимость маслосемян		
	руб./т	%	%
Контроль (незагрязненная почва)	7667	100	68
НЗП (нефтезагрязненная почва)	11289	147	100
НЗП +рыхление	9824	128	87
НЗП +известкование+ рыхление	11527	150	102
НЗП +известкование+ рыхление+ NPK	10635	139	94
НЗП +известкование+ рыхление+ инокуляция биопрепаратом Байкал	11015	144	98

Наиболее дешевая основная продукция была получена при рыхлении нефтезагрязненной почвы без каких-либо дополнительных приемов. Себестоимость маслосемян при комплексном применении приемов «рыхление+ известкование+ NPK», оказалась не самой дешевой, но, из-за высокой цены реализации товарной продукции именно данный вариант рекультивации обеспечила получение максимальной условной прибыли с единицы площади.

5 ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Результаты проведенных исследований позволяют сделать следующие основные выводы:

1. По мере старения (возрастания давности) нефтяного загрязнения урожаи испытанных сельскохозяйственных культур (яровая пшеница, яровой рапс), постепенно приближаются к уровню урожая контрольной (незагрязненной) почвы, но не достигают его в течение 13-15 лет даже на слабозагрязненной (10 л/м^2) почве.

2. Между дозами нефтяного загрязнения ($10\text{-}40 \text{ л/м}^2$) серой лесной почвы и урожайностью маслосемян ярового рапса имеется тесная отрицательная корреляция ($R^2=0,952\div 0,978$) в течение четырёх ротаций севооборота.

3. Под влиянием старого нефтяного загрязнения (4-ая ротация севооборота) происходит ухудшение всех элементов структуры урожая яровой пшеницы ($R^2=0,755\div 0,973$) и рапса ($R^2=0,891\div 0,989$), однако масштабы их снижения различны. На нефтезагрязненных почвах снижение урожайности маслосемян ярового рапса в наибольшей степени было обусловлено уменьшением числа семян в стручке и числа растений на единицу площади, а в наименьшей степени - уменьшением массы 1000 семян.

4. Уровень и давность загрязнения почвы нефтью оказали весьма заметное влияние на соотношение «солома: маслосемена» ярового рапса: если возрастание дозы нефти расширило данное соотношение, то возрастание давности загрязнения воздействовало в противоположном направлении.

5. Под действием нефтяного загрязнения 15-летней давности содержания азота, фосфора и калия в надземной массе ярового рапса изменились в противоположных направлениях: если общее содержание азота и фосфора в генеративных и вегетативных органах снизилось, то содержание

калия, наоборот, возрастало, особенно в составе соломы. Эти изменения в химическом составе растений ярового рапса достаточно тесно коррелировались с исходным уровнем нефтяного загрязнения серой лесной почвы.

6. На нефтезагрязненной серой лесной почве получение максимальной урожайности ярового рапса обеспечило комплексное применение рыхления почвы, известкования и внесения полного минерального удобрения.

7. Значимость отдельных приемов рекультивации нефтезагрязненной серой лесной почвы менялась во времени: если в первой ротации (давность загрязнения 3 года) наиболее действенным приемом рекультивации было рыхление нефтезагрязненной почвы, то в дальнейшем главным фактором повышения урожайности ярового рапса на нефтезагрязненной почве, стало внесение полного минерального удобрения.

8. Известкование, проведенное на фоне рыхления, в течение всего периода наблюдения статистически достоверной прибавки урожая ярового рапса не дало. Прибавки урожая от минеральных удобрений в 2,5-4,4 раза превышали таковые от биопрепарата Байкал ЭМ-1, причем по мере роста давности загрязнения данное различие усилилось.

9. Загрязнение серой лесной почвы средней дозой нефти (20 л/м^2) 15-летней давности снизило величину условной прибыли и уровень рентабельности примерно в два раза.

10. Все испытанные приемы рекультивации обеспечили увеличение условной прибыли. Максимальная прибыль (20342 руб./га) была получена при комплексном применении рыхления, известкования и внесения полного минерального удобрения. Замена минерального удобрения биопрепаратом Байкал ЭМ-1 существенно ухудшила все экономические показатели возделывания ярового рапса: величину условной прибыли, уровень рентабельности и себестоимость основной продукции.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Амиров, М.Ф. Адаптивные технологии возделывания полевых культур / М.Ф. Амиров, В.П. Владимиров, И.М. Сержанов, Ф.Ш. Шайхутдинов. – Казань: изд-во «Бриг», 2018. – 124 с.
2. Байкал ЭМ-1 – микробиологическое удобрение [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://senpolia.tskm.ru/preparats/baikal.shtml>. Дата обращения 29.02.2018
3. Бондалетова, Л.И. Промышленная экология: учеб. пособие / Л.И. Бондалетова, В.Г. Бондалетов. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2008. – С. 83
4. Вавер, В.И. Рекультивация земель, загрязнённых нефтью [Электронный ресурс]. - Режим доступа: http://2nature.ru/soil_recultivation. (Дата обращения 18.04.2018).
5. Васильев, А.В. Экологический мониторинг загрязнения почвы нефтесодержащими отходами / А.В. Васильев, Д.Е. Быков, А.А. Пименов // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 2015 г. - № 4. – С. 269-272.
6. Воеводина, Т.С. Влияние нефти на химические свойства чернозема обыкновенного южного Предуралья / Т.С. Воеводина, А.М. Русанов, А.В. Васильченко // Вестник Оренбургского государственного университета. – 2015 г. - № 10. – С. 157-160.
7. Габбасова, И.М. Изменение свойств почв и состава грунтовых вод при загрязнении нефтью и нефтепромысловыми сточными водами в Башкирии / И.М. Габбасова, Р.Ф. Абдрахманов, И.К. Хабиров, Ф.Х. Хазиев // Почвоведение. – 1997. – №11. – С. 1362-1372.
8. Герасимова, М.И. Антропогенные почвы (генезис, география, рекультивация) / М.И. Герасимова, Н.М. Строганова, Н.В. Макарова, Т.В. Прокофьева. – М.: Агропромиздат, 2003. - 224 с.

9. Гилязов, М.Ю. Изменение некоторых агрохимических свойств выщелоченного чернозема при загрязнении его нефтью / М.Ю. Гилязов // Агрохимия. – 1980. - № 12. – С. 72 – 75.
10. Гилязов, М.Ю. Изменение некоторых агрофизических свойств выщелоченного чернозема при загрязнении товарной нефтью в условиях Татарстана / М.Ю. Гилязов // Почвоведение. – 2002. - № 12. - С. 1515 – 1519.
11. Гилязов, М.Ю. Агроэкологическая характеристика и приемы рекультивации нефтезагрязненных черноземов Республики Татарстан / М.Ю. Гилязов, И.А. Гайсин. – Казань: ФЭН, 2003. – 228 с.
12. Гилязов, М.Ю. Нефтезагрязненные почвы Республики Татарстан и приемы их рекультивации /М.Ю. Гилязов, И.А. Гайсин, А.А. Яппаров. - Казань: Центр инновационных технологий, 2009. - 244 с.
13. Гилязов, М.Ю. Урожайность сельскохозяйственных культур в зависимости от уровня и давности нефтяного загрязнения серой лесной почвы / М. Ю. Гилязов, А.Р. Равзутдинов // Зерновое хозяйство России. – 2014. - № 2 (32). – С. 8-11.
14. Давлятшин, И.Д. Справочник агрохимика Республики Татарстан / И.Д. Давлятшин, М.Ю. Гилязов, А.А. Лукманов и др. – Казань: ИД МедДок, 2013. 300 с.
15. Давыдова, И.Ю. Факторы деградации почв, загрязненных углеводородами нефти и условия их ремедиации / И.Ю. Давыдова, Ю.А. Мажайский, В.Ф. Евтюхин // Нейтрализация загрязненных почв. Под общей редакцией Ю.А. Мажайского. - Рязань, 2008. - С. 152-172.
16. Демидиенко, А.Я. Пути восстановления плодородия нефтезагрязненных почв черноземной зоны Украины / А.Я. Демидиенко, В.М. Демурджан // Восстановление нефтезагрязненных почвенных экосистем. – М.: Наука, 1988.- С. 197-206.
17. Добыча нефти в России: прошлое и настоящее рынка нефти [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://moneymakerfactory.ru/spravochnik/>

- dobyicha-nefti-v-rossii/ (Дата обращения 30.05.2018)
18. Добыча нефти в РФ в 2018 году повысилась на 1,6 % [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.interfax.ru/business/644895>. Дата обращения 12.05.2019.
 19. Долгополова, В. Л. Способы очистки морских акваторий от нефтяных загрязнений / В.Л. Долгополова, О.В. Патрушева // Молодой ученый. - 2016. - № 29. - С. 229-234.
 20. Доспехов, Б.А. Методика опытного дела. 5-е изд., перераб. и доп. / Б.А. Доспехов – М.: Агропромиздат, 1985. - 351 с.
 21. Другов, Ю. С. Экологические анализы при разливах нефти и нефтепродуктов [Электронный ресурс]: практическое руководство / Ю. С. Другов, А. А. Родин. — 2-е изд. (эл.). — Электрон. текстовые дан. (1 файл pdf: 273 с.). — М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2015.
 22. Дедыев, А.В. Содержание элементов минерального питания в почве при загрязнении её нефтью / А.В. Дедыев // Плодородие. - 2005.- № 4. - С.34-35.
 23. Етеревская, Л.В. Изменения свойств почв в связи с загрязнением их при разведке и добыче нефти и газа / Л.В. Етеревская, Л.Д. Шеянова // Агрохимия и почвоведение. - 1975. - Вып. 29. - С. 3-7
 24. Зволинский, В. П. Влияние нефти и нефтепродуктов на свойства почв и почвенные микроорганизмы / В.П. Зволинский, Е.К. Батовская, Н.А. Черных // Агрохимический вестник. – 2005. - № 2. – С. 22-25.
 25. Зильберман, М. В. Биотестирование почв, загрязненных нефтью и нефтепродуктами / М.В. Зильберман, Е.А. Порошина Е.В. Зырянова. – Пермь: ФГУ УралНИИ «Экология», 2005. - 111 с.
 26. Источники загрязнения воды и почвы нефтепродуктами [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://analiz-vody.ipkecol.ru/mater.htm>. (Дата обращения 2.05. 2019).
 27. Кидин, В., Агрохимия /В.В. Кидин, С.П. Торшин. М.: Проспект, 2016. – 608 с.

28. Киреева, Н.А. Микробиологические процессы в нефтезагрязненных почвах: автореферат дис. докт. биол. наук. - Санкт-Петербург, 1996.- 40 с.
29. Киреева, Н.А. Рост и развитие растений яровой пшеницы на нефтезагрязненных почвах и при биоремедиации / Н.А. Киреева, А.М. Мифтахова, Г.М. Салахова. // Агрохимия. - №1. - 2006. - С.85- 90.
30. Киреева, Н.А. Комплексное биотестирование нефтезагрязненных почв / Н.А. Киреева, Т.Р. Кабиров, И.Е. Дубовик // Теоретическая и прикладная экология. - 2007. - № 1. - С. 28- 32.
31. Кирюшин, В.И. Агрономическое почвоведение / В.И. Кирюшин. - М.: КолосС, 2010. - 687 с.
32. Колесниченко, А.В. Процессы биodeградации в нефтезагрязненных почвах / А.В. Колесниченко, А.И. Марченко, Т.П. Побежимова, В.В. Зыкова. – М.: «Промэкобезопасность», 2004. - 194 с.
33. Кудеяров, С.И. Изменение ферментативной активности чернозема обыкновенного при загрязнении нефтью и нефтепродуктами в модельных экспериментах / С.И. Кудеяров, М.Л. Татосян, Д.К. Азнаурьян // Доклады Россельхозакадемии. – 2007. - № 5. – С. 32-34.
34. Куликова, И. Ю. Современные технологии очистки почвенных территорий и водных акваторий от нефтяного загрязнения / И. Ю. Куликова, И. С. Дзержинская // Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе. - 2008. - Вып. 25. - С. 72-75.
35. Курочкина, Г.Н. Влияние нового биопрепарата на ремедиацию нефтезагрязненной серой лесной почвы / Г.Н. Курочкина, А.Н. Шкидченко, А.А. Амелин // Почвоведение. - 2004. - № 10. - С. 1241 – 1249.
36. Лапушова, Л.А. К вопросу формирования технологии очистки и рекультивации пахотных земель и сельскохозяйственных угодий при техногенных поражениях нефтью и нефтепродуктами / Л.А. Лапушова, Н.И. Рамазанова, К.В. Фомина // Молодежь и наука: сборник материалов X Юбилейной Всероссийской научно-технической конференции

- студентов, аспирантов и молодых ученых с международным участием, посвященной 80-летию образования Красноярского края. – Красноярск: Сибирский федеральный ун-т, 2014. [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://conf.sfu-kras.ru/sites/mn2014/directions.html>. Дата обращения 16.03.2019.
- 37.Леднёв, А.В. Практическое руководство по рекультивации земель, загрязнённых аварийными разливами нефти и нефтепромысловых вод / А.В. Леднев. - Ижевск: Изд.-во УдГУ, 2002. - 60 с.
- 38.Леднёв, А.В. Изменение свойств почв европейской части Нечерноземной зоны РФ под действием продуктов нефтедобычи и приемы их ремедиации / А. В. Леднёв. – Ижевск: Цифра, 2018. - 229 с.
- 39.Логинов, О.Н. Биотехнологические методы очистки окружающей среды от техногенных загрязнений / О.Н. Логинов, Н.Н. Силищев, Т.Ф. Бойко, Н.Ф. Галимзянова. –Уфа: Государственное издательство научно-технической литературы «Реактив», 2000. – 100 с.
- 40.Мажайский, Ю.А. Нефть и нефтепродукты - токсичные загрязнители почв / Ю.А. Мажайский и др. // Нейтрализация загрязненных почв. Под общей редакцией Ю.А. Мажайского. - Рязань, 2008. - С. 149-152.
- 41.Мазунина, Л.Е. Особенности анатомии и морфологии растений в условиях нефтяногозагрязнения / Л.Е. Мазунина [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://shmain.ru/nauchnye-stati/mazunina-l-e-osobennosti-anatomii-i-morfologii-rastenij-v-usloviyax-neftyano-zagryazneniya.html>. (Дата обращения 19.02.2018).
- 42.Минеев, В.Г. Агрохимия / В.Г. Минеев. – М.: Изд-во МГУ, Изд-во «КолосС», 2004. – 720 с.
- 43.Мифтахова, А.М. Прямое и трансбиотическое влияние нефтяного загрязнения почв на высшие растения / А.М. Мифтахова: Автореф. дис... канд. биол. наук. - Уфа, 2002.-17 с.

44. Михайлова, А.А. Эколого-биологические особенности загрязнения нефтепродуктами почв Архангельска / А.А. Михайлова, Л.Ф. Попова, Е.Н. Наквасина. – Архангельск, 2016. – 150 с.
45. Мотузова, Г.В. Химическое загрязнение биосферы и его экологические последствия: учеб. Пособие / Г.В. Мотузова, Е.А. Карпова. - М.: Изд-во Моск. ун-та, 2013. - 304 с.
46. Оборин, А. А. Нефтезагрязненные биоценозы / А. А. Оборин, В. Т. Хмурчик, С. А. Иларионов, М. Ю. Маркарова. – Пермь: Изд-во ПГУ, 2008. - 511 с.
47. Осипова, Р.А. Влияние нефтяного загрязнения и приемов рекультивации серой лесной почвы на урожайность яровой пшеницы / Р.А. Осипова, А.Р. Равзутдинов, М.Ю. Гилязов, С.Ж. Кужамбердиева // Достижения науки и техники АПК. - 2019. - Т. 33. - №.5. - С. 6–9.
48. Орлов, Д.С. Химическое загрязнение почв и их охрана: Словарь-справочник / Д.С. Орлов, М.С. Малинина, Г.В. Мотузова, Л.К. Садовникова, Т.А. Соколова. - М.: Агропромиздат, 1991. - 303 с.
49. Пиковский, Ю.И. Природные и техногенные потоки углеводородов в окружающей среде / Ю.И. Пиковский. - М.: Изд – во Моск. ун-та, 1993. – 207 с.
50. Пиковский, Ю.И. Проблема диагностики и нормирования загрязнения почв нефтью и нефтепродуктами / Ю.И. Пиковский, А.Н. Геннадиев, С.С. Чернянский, Г.Н. Сахаров // Почвоведение. - 2003. - № 9. - С.1132 -1140.
51. Реймерс, Н.Ф. Природопользование: Словарь-справочник / Н.Ф. Реймерс. - М.: Мысль, 1990. - 637 с.
52. Сафиоллин, Ф.Н. Рапс в лесостепи Поволжья / Ф.Н. Сафиоллин. – Казань: Изд-во Казанского гос. Университета, 2008. – 408 с.
53. Середина, В.П. Нефтезагрязненные почвы: свойства и рекультивация / В.П. Середина, Т.А. Андреева, Т. И. Бурмистрова, Н.Н. Терещенко. - Томск: Изд-во ТПУ, 2006. – 189 с.

- 54.Середина, В.П. Загрязнение почв: учебное пособие / В.П. Середина. – Томск: Издательский Дом Томского государственного университета, 2015. – 346 с.
- 55.Ситдилов, Р. Н. Влияние нефтепромысловых поллютантов и рекультивации на агрофизические свойства почв Приуралья Республики Башкортостан: автореферат дис. канд. с.-х. наук / Р.Н. Ситдилов. - Уфа, - 2002. – 24 с.
- 56.Смольникова, В.В. Биотехнологические основы оптимизации микрофлоры нефтезагрязненных субстратов / В.В. Смольников, С.А. Емельянов // Северо- Кавказский государственный технический университет. Экология микроорганизмов. – 2010 г. - №3. – 106 - 110 с.
- 57.Солнцева, Н. П. Добыча нефти и геохимия природных ландшафтов / Н.П. Солнцева. - М.: Изд-во МГУ, 1998. - 376 с.
- 58.Станкевич, Д.С. Использование углеводородокисляющей бактерии *Pseudomonas* для биоремедиации нефтезагрязненных почв: автореф. дис...канд. биол. наук. - Москва, 2002. -18 с.
- 59.Сулейманов, И.Р. Действие серосодержащих удобрений на урожайность ярового рапса и потребление макроэлементов растениями в условиях серой лесной почвы /И.Р. Сулейманов, М.Ю. Гилязов // Агрохимический вестник, 2010, № 4. - С. 20-22.
- 60.Тишкина, Е. И. Влияние нефтяного загрязнения на свойства серых лесных почв Предуралья и пути восстановления их плодородия: автореферат дис. канд. биол. наук / Е.И. Тишкина. – Воронеж, 1989. – 22 с.
- 61.Трофимов, С. Я. Влияние нефти на почвенный покров и проблема создания нормативной базы по влиянию нефтезагрязнения на почвы / С.Я. Трофимов и др. // Вестник Московского университета. Сер. 17. Почвоведение. – 2000. – № 2. – С. 30
- 62.Фарахова, И.З. Фитотоксичность нефтезагрязненной серой лесной почвы и характер её самоочищения в условиях Предкамья Республики Татарстан

- / И.З. Фарахова, М.Ю. Гилязов, Р.С. Сагдиев // Вестник Казанского ГАУ, 2008, № 1(7). – С. 119-123.
- 63.Хазиев, Ф.Х. Изменение биохимических процессов в почвах при нефтяном загрязнении и активации разложения нефти / Ф.Х. Хазиев, Ф.Ф. Фатхиев //Агрохимия. – 1981. – №10. – С. 102-111.
- 64.Хазиев, Ф.Х. Влияние нефтяного загрязнения на некоторые компоненты агроэкосистемы / Ф.Х. Хазиев, Е.И. Тишкина, Н.А. Киреева, Г.Г. Кузяхметов // Агрохимия. - 1988. - № 2. - С. 56-61.
- 65.Хусайнова, К.Н. Гигиеническая оценка влияния нефтепродуктов на окружающую среду / К.Н. Хусайнова // Вестник Казахского Национального медицинского университета. – 2016 г. - №1. – 449-450 с.
- 66.Чижов, Б.Е. Классификация нефтезагрязненных земель таежной зоны Западной Сибири с целью их рекультивации / Б.Е. Чижов, В.А. Долингер //Леса и лесн. хоз-во Западной Сибири. Вып. 6: сб. науч. тр. – Тюмень: Изд-во ТюмГУ, 1998. – С. 179-192.
- 67.Цулаия, А.М. Функционально-морфологические изменения высших растений при действии нефтяного, солевого и нефтесолевого загрязнения почв. Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата биологических наук. – Тюмень, 2012. – 20 с.
- 68.Ягодин, Б.А. Агрохимия //Б.А.Ягодин, Ю.П. Жуков, В.И. Кобзаренко. – М.: Изд-во «Мир», 2003. – 584 с.
- 69.Anychugova, E. M. Approaches to the assessment of the efficiency of remediation of oil-polluted soils / E. M. Anchugova, E. N. Melekhina, M. Y. Markarova etc. // Eurasian Soil Science. -2016. -Vol. 49. -№ 2. -P. 234–237.
- 70.Ezeji, U.E. Clean up of Crude Oil-Contaminated Soil / U.E. Ezeji, S.O. Anyadoh, V.I. Ibekwe // Terrestrial and Aquatic Environmental Toxicology. – 2007. – Vol.1 (2). – P.54-59.
- 71.Lim, M.W. A comprehensive guide of remediation technologies for oil contaminated soil – Present works and future directions / M.W. Lim, E.V. Lau, Ph.E. Poh // Mar. Pollut. Bull. – 2016. – Vol.109 (1). – P. 14-45

72. Golan, S. The effect of petroleum hydrocarbons on seed germination, development and survival of wild and cultivated plants in extreme desert soil / S. Golan, T. Faraj, E. Rahamim [et al.] // International Journal of Agriculture and Environmental Research. – 2016. – V.2. – Is.6. – P. 1743-1767.
73. Nwankwegu, A. S. Use of rice husk as bulking agent in bioremediation of automobile gas oil impinged agricultural soil / A. S. Nwankwegu, C. G. Anaukwu, C. O. Onwosi etc. // Soil and Sediment Contamination. -2017. -Vol. 26. -№ 1. -P. 96–114.
74. Tran, Th. H. Germination, physiological and biochemical responses of acacia seedlings (*Acacia raddiana* and *Acacia tortilis*) to petroleum contaminated soils / Th. H. Tran, E.M. Gati, A. Eshel, G. Winters // Environ. Pollut. – 2018. – Vol.234. – P.642-655.

ПРИЛОЖЕНИЯ

Приложение 1

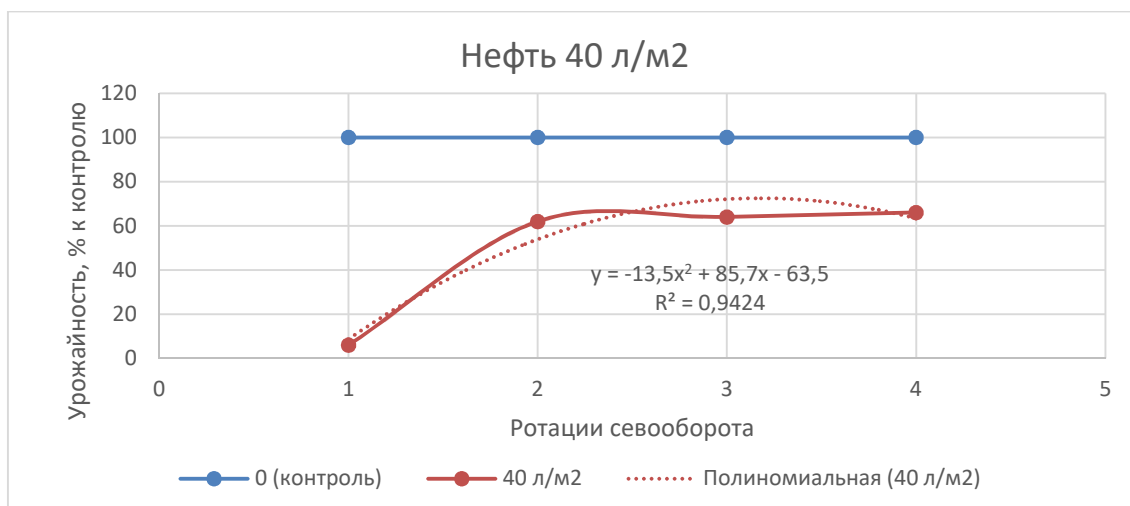
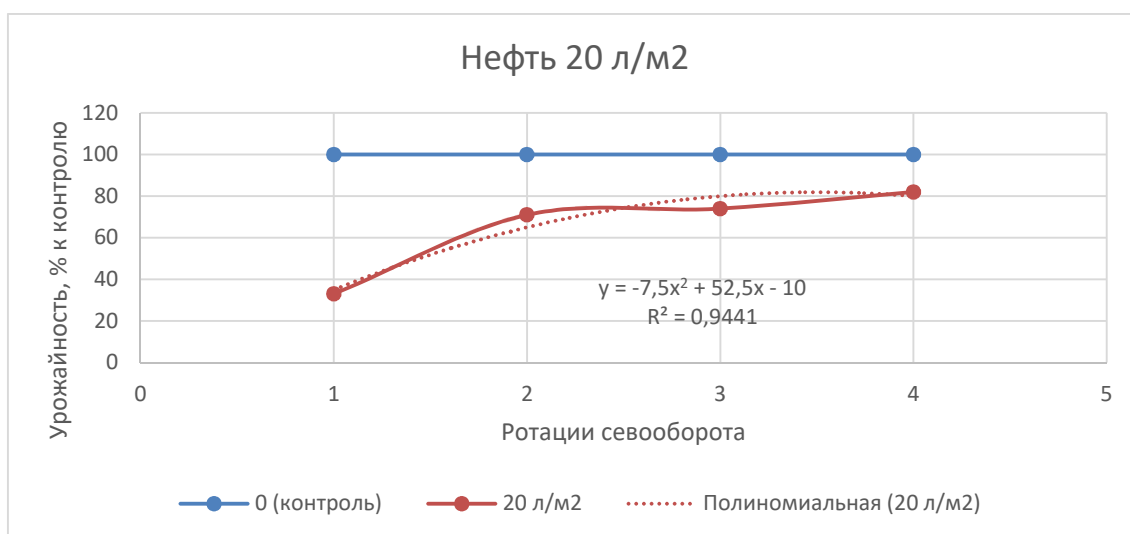
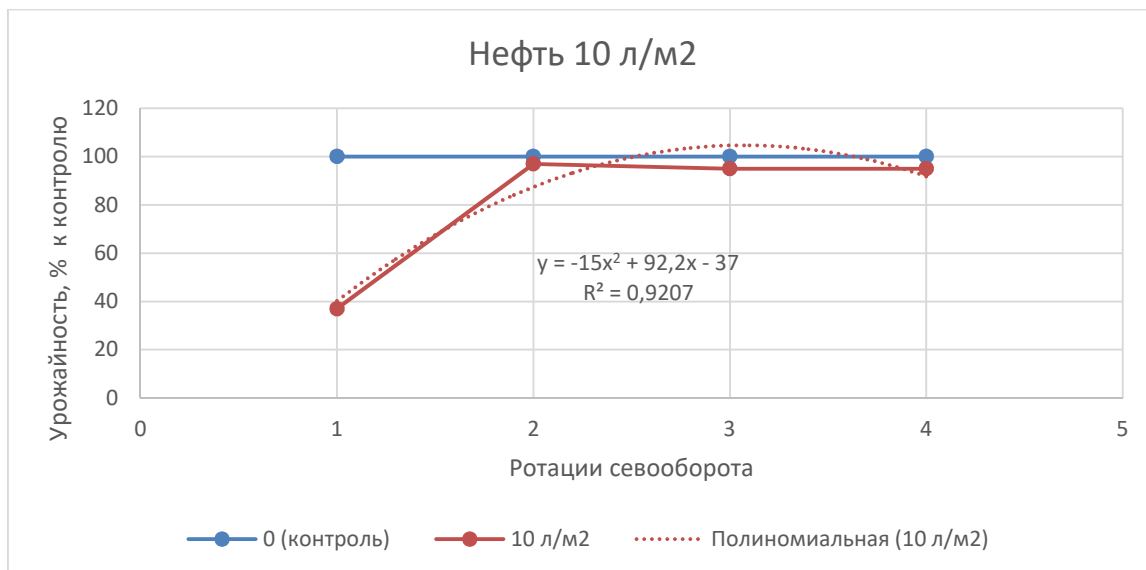
Метеоданные за вегетационный период 2017 г.
(метеопост Казанского ГАУ Ферма-2)

Месяц, декада	Температура воздуха, °С			Осадки, мм		
	норма	факт.	в % к норме (отклонение)	норма	факт.	в % к норме
Май						
I		+11,0			14,2	
II		+10,2			6,0	
III		+11,8			11,9	
за месяц	+12,1	+11,0	90,9 (-1,1)	39	32,1	82,3
Июнь						
I		+12,2			10,1	
II		+17,5			18,7	
III		+16,6			34,3	
за месяц	+16,7	+15,4	92,2 (-1,3)	56	63,1	112,7
Июль						
I		+16,4			80,8	
II		+21,3			3,3	
III		+21,2			9,0	
за месяц	+19,0	+19,6	103,2 (+0,6)	59	93,1	157,8
Август						
I		+20,5			14,8	
II		+19,1			0,3	
III		+18,9			30,2	
за месяц	+17,0	+19,5	114,7 (+2,5)	53	45,3	85,5
Сентябрь						
I		+14,1			32,0	
II		+15,3			18,8	
III		+7,3			2,0	
за месяц	+10,6	+12,2	115,1(+1,6)	50	52,8	105,6
За май - сентябрь	+15,1	+15,5	102,6(+0,4)	257	286,4	111,4

Метеоданные за вегетационный период 2019 г.
(метеопост Казанского ГАУ Ферма-2)

Месяц, декада	Температура воздуха, °С			Осадки, мм		
	норма	факт.	в % к норме (отклонение)	норма	факт.	в % к норме
Май						
I		+16,4			6,1	
II		+17,2			18,7	
III		+16,2			14,0	
за месяц	+12,1	+16,6	137 (+4,5)	39	38,8	99
Июнь						
I		+19,5			9,2	
II		+18,3			2,7	
III		+19,1			20,9	
за месяц	+16,7	+19,1	114 (+2,4)	56	32,8	59
Июль						
I		+19,2			7,6	
II		+20,5			9,8	
III		+17,9			58,0	
за месяц	+19,0	+18,8	99 (-0,2)	59	75,4	128
Август						
I		+14,4			69,3	
II		+18,4			4,9	
III		+15,5			6,3	
за месяц	+17,0	+16,1	95 (-0,9)	53	80,5	152
Сентябрь						
I		+14,3			0	
II		+12,7			9,3	
III		+5,2			19,1	
за месяц	+10,6	+10,8	102(+0,2)	50	28,4	57
За май - сентябрь	+15,1	+16,3	108(+1,2)	257	255,9	100

Криволинейная корреляция урожайности соломы ярового рапса от временного фактора (ротации севооборота) при различных уровнях нефтяного загрязнения (2007-2019 гг.)



Дисперсионный анализ данных по влиянию различных уровней
нефтяного загрязнения серой лесной почвы на урожайность зерна
яровой пшеницы (2017 г.), т/га

Дозы нефти, л/м ²	Повторения				Сумма, V	Средние
	I	II	III	IV		
0 (контроль)	2,41	2,50	2,43	2,35	9,69	2,42
10	2,03	2,17	2,14	2,25	8,59	2,15
20	1,82	1,80	1,88	1,73	7,23	1,81
40	1,20	1,20	0,98	1,07	4,45	1,11
Сумма, P	7,46	7,67	7,43	7,4	29,96	1,87

$$N=16$$

$$C = (29,96)^2 : 16 = 56,1001$$

$$C_y = 60,02224 - C = 3,9223$$

$$C_v = 239,7596 : 4 - C = 3,8398$$

$$C_p = 224,4454 : 4 - C = 0,01125$$

$$C_z = 0,07125$$

Результаты дисперсионного анализа

Дисперсия	Сумма квадратов	Степени свободы	Средний квадрат	F _ф	F ₀₅
Общая	3,9223	15	-	-	-
Повторений	0,01125	3	-	-	-
Вариантов	3,8398	3	1,2799333	161,7	2,90
Остаток	0,07125	9	0,007916	-	-

$$S_d = \sqrt{\frac{2 \cdot s^2}{n}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 0,007916}{4}} = 0,062915$$

$$HCP_{05} = 2,26 \cdot 0,062915 = 0,1421879 \approx 0,15 \text{ (т/га)}.$$

Дисперсионный анализ данных по влиянию различных уровней
нефтяного загрязнения серой лесной почвы на урожайность соломы
яровой пшеницы (2017 г.), т/га

Дозы нефти, л/м ²	Повторения				Сумма, V	Средние
	I	II	III	IV		
0 (контроль)	2,47	2,64	2,52	2,38	10,01	2,50
10	2,40	2,38	2,21	2,30	9,29	2,32
20	2,33	2,19	2,13	2,14	8,79	2,20
40	1,22	1,56	1,54	1,41	5,73	1,43
Сумма, P	8,42	8,77	8,40	8,23	33,82	2,11

N=16

$C = (33,82)^2 : 16 = 71,487025$

$C_y = 74,307 - C = 2,819975$

$C_v = 296,6012 : 4 - C = 2,663275$

$C_p = 286,1022 : 4 - C = 0,038525$

$C_z = 0,118175$

Результаты дисперсионного анализа

Дисперсия	Сумма квадратов	Степени свободы	Средний квадрат	F _ф	F ₀₅
Общая	2,819975	15	-	-	-
Повторений	0,038525	3	-	-	-
Вариантов	2,663275	3	0,8877583	67,6	2,90
Остаток	0,118175	9	0,0131305	-	-

$$S_d = \sqrt{\frac{2 \cdot s^2}{n}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 0,0131305}{4}} = 0,0810259$$

$$HCP_{05} = 2,26 \cdot 0,0810259 = 0,1831185 \approx 0,19 \text{ (т/га)}.$$

Дисперсионный анализ данных по влиянию различных уровней
нефтяного загрязнения серой лесной почвы на урожайность
маслосемян ярового рапса (2019 г.), т/га

Дозы нефти, л/м ²	Повторения				Сумма, V	Средние
	I	II	III	IV		
0 (контроль)	1,27	1,34	1,24	1,20	5,05	1,26
10	1,20	1,15	1,03	1,05	4,43	1,11
20	0,85	0,79	0,82	0,90	3,36	0,84
40	0,62	0,50	0,59	0,64	2,35	0,59
Сумма, P	3,94	3,78	3,68	3,79	15,19	0,95

$$N=16$$

$$C = (15,19)^2 : 16 = 14,421006$$

$$C_y = 15,5331 - C = 1,112094$$

$$C_v = 61,9395 : 4 - C = 1,063869$$

$$C_p = 57,7185 : 4 - C = 0,008619$$

$$C_z = 0,039606$$

Результаты дисперсионного анализа

Дисперсия	Сумма квадратов	Степени свободы	Средний квадрат	F _ф	F ₀₅
Общая	1,112094	15	-	-	-
Повторений	0,008619	3	-	-	-
Вариантов	1,063869	3	0,354623	80,58	2,90
Остаток	0,039606	9	0,0044006	-	-

$$S_d = \sqrt{\frac{2 \cdot s^2}{n}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 0,0044006}{4}} = 0,0469073$$

$$HCP_{05} = 2,26 \cdot 0,0469073 = 0,1060104 \approx 0,11 \text{ (т/га)}.$$

Дисперсионный анализ данных по влиянию различных уровней
нефтяного загрязнения серой лесной почвы на урожайность соломы
ярового рапса (2019 г.), т/га

Дозы нефти, л/м ²	Повторения				Сумма, V	Средние
	I	II	III	IV		
0 (контроль)	2,95	3,10	2,96	2,88	11,89	2,97
10	2,75	2,94	2,96	2,64	11,29	2,82
20	2,50	2,38	2,39	2,48	9,75	2,44
40	2,02	1,83	1,91	2,07	7,83	1,96
Сумма, P	10,22	10,25	10,22	10,07	40,76	2,55

N=16

$C = (40,76)^2 : 16 = 103,8361$

$Cy = 106,445 - C = 2,6089$

$Cv = 425,208 : 4 - C = 2,4659$

$Cp = 415,3642 : 4 - C = 0,00495$

$Cz = 0,13805$

Результаты дисперсионного анализа

Дисперсия	Сумма квадратов	Степени свободы	Средний квадрат	F_{ϕ}	F_{05}
Общая	2,6089	15	-	-	-
Повторений	0,00495	3	-	-	-
Вариантов	2,4659	3	0,8219666	53,58	2,90
Остаток	0,13805	9	0,0153388	-	-

$$Sd = \sqrt{\frac{2 \cdot s^2}{n}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 0,0153388}{4}} = 0,0875751$$

$$HCP_{05} = 2,26 \cdot 0,0875751 = 0,1979197 \approx 0,20 \text{ (т/га)}.$$

Влияние различных уровней нефтяного загрязнения серой лесной почвы на основные элементы структуры урожая яровой пшеницы в четвертой ротации севооборота (2017 г.), т/га

Показатели структуры урожая	Дозы нефти, л/м ²			
	0 (контроль)	10	20	40
Число растений, шт./м ²	<u>344</u> 100*	<u>329</u> 96	<u>304</u> 88	<u>271</u> 79
Число колосьев, шт./м ²	<u>351</u> 100	<u>337</u> 96	<u>305</u> 87	<u>266</u> 76
Продуктивная кустистость	<u>1,02</u> 100	<u>1,02</u> 100	<u>1,00</u> 98	<u>0,98</u> 96
Число зерен в колосе, шт.	<u>18,0</u> 100	<u>17,2</u> 96	<u>17,1</u> 95	<u>13,2</u> 73
Масса 1000 зерен, г	<u>38,3</u> 100	<u>37,1</u> 97	<u>34,7</u> 91	<u>31,6</u> 83

Прим.: * - в процентах к уровню контроля.

Приложение 9

Влияние уровня нефтяного загрязнения серой лесной почвы нефтью на содержание общего азота, фосфора и калия в надземной массе ярового рапса (2019 г.)

Доза нефти, л/м ²	Маслосемена			Солома		
	азот	фосфор	калий	азот	фосфор	калий
0 (контроль)	$\frac{3,32^*}{100}$	$\frac{1,76}{100}$	$\frac{0,92}{100}$	$\frac{0,64}{100}$	$\frac{0,27}{100}$	$\frac{0,97}{100}$
10	$\frac{3,36}{101}$	$\frac{1,74}{99}$	$\frac{0,92}{100}$	$\frac{0,61}{95}$	$\frac{0,25}{93}$	$\frac{1,03}{106}$
20	$\frac{3,12}{94}$	$\frac{1,69}{96}$	$\frac{0,96}{104}$	$\frac{0,57}{89}$	$\frac{0,24}{89}$	$\frac{1,07}{110}$
40	$\frac{2,92}{88}$	$\frac{1,62}{92}$	$\frac{0,94}{102}$	$\frac{0,55}{86}$	$\frac{0,23}{85}$	$\frac{1,10}{113}$

Прим.: * - в числителе абсолютные значения в процентах, в знаменателе относительные значения в процентах к уровню контроля (незагрязненной почвы).

Дисперсионный анализ данных по влиянию нефтяного загрязнения и приемов рекультивации нефтезагрязненной серой лесной почвы на урожайность маслосемян ярового рапса (2019 г.), т/га

Варианты опыта	Повторения				Сумма, V	Средние
	I	II	III	IV		
Контроль (незагрязненная почва)	1,30	1,35	1,21	1,19	5,05	1,26
НЗП (нефтезагрязненная почва)	0,92	0,87	0,76	0,80	3,35	0,84
НЗП +рыхление	0,86	1,01	1,05	1,05	3,97	0,99
НЗП+ известкование +рыхление	1,06	1,12	0,94	1,00	4,12	1,03
НЗП +известкование+ рыхление+ NPK	1,90	1,75	1,72	1,78	7,15	1,79
НЗП+ известкование+ рыхление+ инокуляция биопрепаратом Байкал	1,22	1,31	1,03	1,13	4,69	1,17
Сумма, P	7,26	7,41	6,71	6,95	28,33	

$$N=24$$

$$C = (28,33)^2 : 24 = 33,441204$$

$$C_y = 35,7815 - C = 2,340296$$

$$C_v = 142,579 : 4 - C = 2,203546$$

$$C_p = 200,9423 : 6 - C = 0,049179$$

$$C_z = 0,087571$$

Результаты дисперсионного анализа

Дисперсия	Сумма квадратов	Степени свободы	Средний квадрат	F_{ϕ}	F_{05}
Общая	2,340296	23	-	-	-
Повторений	0,049179	3	-	-	-
Вариантов	2,203546	5	0,4407092	75,48	2,90
Остаток	0,087571	15	0,005838	-	-

$$S_d = \sqrt{\frac{2 \cdot s^2}{n}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 0,005838}{4}} = 0,0540277$$

$$HCP_{05} = 2,13 \cdot 0,0540277 = 0,115079 \approx 0,12 \text{ (т/га)}.$$

Приложение 11

Дисперсионный анализ данных по влиянию нефтяного загрязнения и приемов рекультивации нефтезагрязненной серой лесной почвы на урожайность соломы ярового рапса (2019 г.), т/га

Варианты опыта	Повторения				Сумма, V	Средние
	I	II	III	IV		
Контроль (незагрязненная почва)	3,07	3,10	2,90	2,81	11,88	2,97
НЗП (нефтезагрязненная почва)	2,56	2,49	2,33	2,37	9,75	2,44
НЗП +рыхление	2,47	2,55	2,63	2,42	10,07	2,52
НЗП+ известкование +рыхление	2,55	2,60	2,43	2,51	10,09	2,52
НЗП +известкование+ рыхление+ NPK	4,28	4,22	4,57	4,41	17,48	4,37
НЗП+ известкование+ рыхление+ инокуляция биопрепаратом Байкал	2,88	3,01	2,76	3,12	11,77	2,94
Сумма, P	17,81	17,97	17,62	17,64	71,04	2,96

$$N=24$$

$$C = (71,04)^2 : 24 = 210,2784$$

$$C_y = 221,151 - C = 10,8726$$

$$C_v = 883,493 : 4 - C = 10,59485$$

$$C_p = 1261,751 : 6 - C = 0,01343$$

$$C_z = 0,26432$$

Результаты дисперсионного анализа

Дисперсия	Сумма квадратов	Степени свободы	Средний квадрат	F _ф	F ₀₅
Общая	10,8726	23	-	-	-
Повторений	0,01343	3	-	-	-
Вариантов	10,59485	5	2,11897	120,2	2,90
Остаток	0,26432	15	0,0176213	-	-

$$S_d = \sqrt{\frac{2 \cdot s^2}{n}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 0,0176213}{4}} = 0,0938647$$

$$HCP_{05} = 2,13 \cdot 0,0938647 = 0,19993 \approx 0,20 \text{ (т/га)}.$$

Динамика прибавок урожая ярового рапса от отдельных приемов
рекультивации по ротациям севооборота

Приемы рекультивации	1-ая ротация (2007 г.)	2-ая ротация (2011 г.)	3-ая ротация (2015 г.)	4-ая ротация (2019 г.)
Прибавки урожая маслосемян в % к уровню урожая на незагрязненной почве (контроль)				
Рыхление	38	6	4	12
Известкование	3	4	1	3
Внесение минеральных удобрений (NPK)	21	44	61	60
Инокуляция биопрепаратом Байкал ЭМ-1	12	17	23	11
Прибавки урожая соломы в % к уровню урожая на незагрязненной почве (контроль)				
Рыхление	29	4	6	3
Известкование	2	0	2	0
Внесение минеральных удобрений (NPK)	23	34	62	62
Инокуляция биопрепаратом Байкал ЭМ-1	9	13	20	14

[illegible]

ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ КАРТА									
Яровой рапс 2019 г.									
НЗП-Рыхление									
Стоимость ГСМ, руб.									
Стоимость 1 т/га, руб.									
Стоимость 1 кВт.ч., руб.									
расстояние, км									
5									
39,5									
36									
3,75									
3									
3									
3									
3									
3									
3									
3									
3									
3									
3									
3									
3									
3									
3									
3									
3									
3									
3									
3									
3									
3									
3									
3									
3									
3									
3									
3									
3									
3									
3									
3									
3									
3									
3									
3									
3									
3									
3									
3									
3									
3									
3									
3									
3									
3									
3									
3									
3									
3									
3									
3									
3									
3									
3									
3									
3									
3									
3									
3									
3									
3									
3									
3									
3									
3									
3									
3									
3									
3									
3									
3									
3									
3									
3									
3									
3									
3									
3									
3									
3									
3									
3									
3									
3									
3									
3									
3									
3									
3									
3									
3									
3									
3									
3									
3									
3									
3									
3									
3									
3									
3									
3									
3									
3									
3									
3									
3									
3									
3									
3									
3									
3									
3									
3									
3									
3									
3									
3									
3									
3									
3									
3									
3									
3									
3									
3									
3									
3									
3									
3									
3									
3									
3									
3									
3									
3									
3									
3									
3									
3									
3									
3									
3									
3									
3									
3									
3									
3									
3									
3									
3									
3									
3									
3									
3									
3									
3									
3									
3									
3									
3									
3									
3									
3									
3									
3									
3									
3									
3									
3									
3									
3									
3									
3									
3									
3									
3									
3									
3									
3									
3									
3									
3									
3									
3									
3									
3									
3									
3									
3									
3									
3									
3									
3									
3									
3									
3									
3									
3									
3									
3									
3									
3									
3									
3									
3									
3									
3									
3									
3									
3									
3									
3									
3									
3									
3									
3									
3									
3									
3									
3									
3									
3									
3									
3									
3									
3									
3									
3									
3									
3									
3									
3									
3									
3									
3									
3									
3									
3									
3									
3									
3									
3									
3									
3									
3									
3									
3									
3									
3									
3									
3									
3									
3									
3									
3									
3									
3									
3									
3									
3									
3									
3									
3									
3									
3									
3									
3									
3									
3									
3									
3									
3									
3									
3									
3									
3									
3									
3									
3									
3									
3									
3									
3									
3									
3									
3									
3									
3									
3									
3									
3									
3									
3									
3									
3									
3									
3									
3									
3									
3									
3									
3									
3									
3									
3									
3									
3									
3									
3									
3									
3									
3									
3									
3									
3									
3									
3									
3									
3									
3									
3									
3									
3									
3									
3									
3									
3									
3									
3									
3									
3									
3									
3									
3									
3									
3									
3									
3									
3									
3									
3									
3									
3									
3									
3									
3									
3									
3									
3									
3									
3									
3									
3									
3									
3									
3									
3									
3									
3									
3									
3									
3									
3									
3									
3									
3									
3									
3									
3									
3									
3									
3									
3									
3									
3									
3									
3									
3									
3									
3									
3									
3									
3									
3									
3									
3									
3									
3									
3									
3									
3									
3									
3									

ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ КАРТА																														
Яровой рапс 2019 г.																														
НЗП-Рыхление+Известь																														
Норма высева, т/га 0,015																														
урожайность основная побочной																														
ш/га валовой сбор/ц 1030 1030 2520																														
Стоимость ГСМ, руб. 39,5																														
Стоимость 1 т/га, руб. 36																														
стоимость 1 кВт.ч., руб. 3,75																														
5																														
Наименование работ	Единица измерения	Объем работ		Сроки проведения работ		Состав агрегата		Колличество человек для выполнения нормы		Норма выработки		Затраты труда, чел. час.		Тарифная ставка за норму, руб.		Тарифный фонд оплаты труда на весь объем работ, руб.		Дополнительная оплата за качество и сроки, руб.		Повышенная оплата на уборке, руб.		Горючее		Автотранспорт		Электроэнергия		Прочие прямые затраты, руб.		
		в физическом выражении	эталонная сменная выработка	в условиях, эталонных га	начало работ	равных дней	марка трактора, комбайна	СМ		трактористов - машинистов	трактористов - машинистов	трактористов - машинистов	трактористов-машинистов	вспомогательных работников	вспомогательных работников	вспомогательных работников	вспомогательных работников	вспомогательных работников	вспомогательных работников	вспомогательных работников	вспомогательных работников	вспомогательных работников	вспомогательных работников	вспомогательных работников	вспомогательных работников	вспомогательных работников	вспомогательных работников			
								вспомогательных работников	вспомогательных работников																					
																													вспомогательных работников	вспомогательных работников
количество	количество	количество	количество	количество	количество	количество	количество	количество	количество	количество	количество	количество	количество	количество	количество	количество	количество	количество	количество	количество	количество	количество	количество	количество	количество	количество				
1	1	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	
1	Вспахивание	га	300	7,7	142,4	6	МТЗ-1221	ПН-3-35	1	1	1	9,80	30,61	214,29	183,4	183,4	5614,29	5614,29	205,28	205,28	205,28	205,28	205,28	205,28	205,28	205,28	205,28	205,28	205,28	205,28
2	Закрепление влаги	га	100	7,7	17,7	2	ДТ-75	БЗТ-1	24	1	1	61,00	1,64	11,48	161,82	161,82	2022,75	2022,75	2022,75	2022,75	2022,75	2022,75	2022,75	2022,75	2022,75	2022,75	2022,75	2022,75	2022,75	
3	Культивация предпосевная	га	200	7,7	21,5	2	МТЗ-82	КПР-3,6	1	1	1	16,00	12,50	87,50	161,82	161,82	2022,75	2022,75	2022,75	2022,75	2022,75	2022,75	2022,75	2022,75	2022,75	2022,75	2022,75	2022,75	2022,75	
4	Погрузка мин.удобрений	т	100	4,9	0,5	1	МТЗ-82	ПЗ-0,8	1	1	1	151,00	0,66	4,64	95,12	95,12	62,99	62,99	62,99	62,99	62,99	62,99	62,99	62,99	62,99	62,99	62,99	62,99	62,99	
5	Перевозка удобрений	т	100	3,7	1,5	1	КАМАЗ	МТЗ-1221	1	1	1	56,00	1,79	12,50	0,00	183,4	93,22	327,50	327,50	327,50	327,50	327,50	327,50	327,50	327,50	327,50	327,50	327,50	327,50	
6	Разбрасывание удобрений	га	100	7,7	22,3	2	МТЗ-1221	Амазон	1	1	1	67,60	0,02	0,16	0,16	95,12	95,12	62,99	62,99	62,99	62,99	62,99	62,99	62,99	62,99	62,99	62,99	62,99	62,99	
7	Инициирование семян	т	1,5	1,5	0,5	1	э.дв.	ПС-10А	1	1	1	151,00	0,01	0,07	95,12	95,12	62,99	62,99	62,99	62,99	62,99	62,99	62,99	62,99	62,99	62,99	62,99	62,99	62,99	
8	Погрузка семян	т	1,5	4,9	0,5	1	МТЗ-82	ПЗ-0,8	1	1	1	151,00	0,01	0,07	95,12	95,12	62,99	62,99	62,99	62,99	62,99	62,99	62,99	62,99	62,99	62,99	62,99	62,99	62,99	
9	Перевозка семян	т	1,5	3,7	2,6	1	КАМАЗ	МТЗ-1221	1	1	1	56,00	1,79	12,50	0,00	183,4	93,22	327,50	327,50	327,50	327,50	327,50	327,50	327,50	327,50	327,50	327,50	327,50	327,50	
10	Посев	га	100	7,7	27	2	МТЗ-1221	СН-3,6	2	1	2	20,00	5,00	35,00	70,00	183,4	93,22	917,00	932,20	1849,20	1849,20	1849,20	1849,20	1849,20	1849,20	1849,20	1849,20	1849,20	1849,20	
11	Прикатывание	га	100	7,7	18,5	1	МТЗ-82	ЗКШ-6	1	1	1	67,00	1,49	10,45	142,68	142,68	212,96	212,96	212,96	212,96	212,96	212,96	212,96	212,96	212,96	212,96	212,96	212,96	212,96	
12	Полвоза воды	т	21	3,7	1,1	1	МТЗ-82	СТК-5	1	1	1	31,70	0,66	4,64	95,12	95,12	62,99	62,99	62,99	62,99	62,99	62,99	62,99	62,99	62,99	62,99	62,99	62,99	62,99	
13	Отрыскивание	га	100	4,9	5,4	1	МТЗ-82	ОП-2000	1	1	1	54,00	1,85	12,96	122,26	122,26	226,41	226,41	226,41	226,41	226,41	226,41	226,41	226,41	226,41	226,41	226,41	226,41	226,41	
14	Прямое комбинирование	га	100	14	1	3	ДОН-1500	МТЗ-1221	1	1	1	12,00	8,33	58,33	58,33	143,5	111,08	1195,83	1195,83	1195,83	1195,83	1195,83	1195,83	1195,83	1195,83	1195,83	1195,83	1195,83	1195,83	
15	Транспортировка зерна на ток	т	103,0	103,0	103,0	103,0	КАМАЗ	КАМАЗ	1	1	1	40,00	2,58	54,08	69,74	69,74	538,74	538,74	538,74	538,74	538,74	538,74	538,74	538,74	538,74	538,74	538,74	538,74	538,74	
16	Очистка	т	103,0	103,0	103,0	103,0	э.дв.	ОБС-25	1	1	1	40,00	2,58	54,08	69,74	69,74	538,74	538,74	538,74	538,74	538,74	538,74	538,74	538,74	538,74	538,74	538,74	538,74	538,74	
17	Транспортировка зерна на склад	т	94,8	94,8	94,8	94,8	КАМАЗ	КАМАЗ	1	1	1	40,00	2,58	54,08	69,74	69,74	538,74	538,74	538,74	538,74	538,74	538,74	538,74	538,74	538,74	538,74	538,74	538,74	538,74	
Всего		руб.	120000		180000		512,62		5126,157		76,89		7689,24		3327,27		3327,27		3327,27		3327,27		3327,27		3327,27		3327,27		3327,27	
Семена - всего		тонн	1,5	120000	180000		512,62		5126,157		76,89		7689,24		3327,27		3327,27		3327,27		3327,27		3327,27		3327,27		3327,27		3327,27	
Семена - всего		тонн	1,5	120000	180000		512,62		5126,157		76,89		7689,24		3327,27		3327,27		3327,27		3327,27		3327,27		3327,27		3327,27		3327,27	
Внесение удобрений		Количество, т	Цена		Стоимость		рублей		рублей		рублей		рублей		рублей		рублей		рублей		рублей		рублей		рублей		рублей		рублей	
на мин. органические		0	17100		0		0		0		0		0		0		0		0		0		0		0		0		0	
ам. соли		0	20610		0		0		0		0		0		0		0		0		0		0		0		0		0	
Дв. суперфосфат		0	20610		0		0		0		0		0		0		0		0		0		0		0		0		0	
хлористый калий		0	12800		0		0		0		0		0		0		0		0		0		0		0		0		0	
Известь		100	1700		170000		170000		170000		170000		170000		170000		170000		170000		170000		170000		170000		170000		170000	
Средства защиты растений		3	9380		28740		28740		28740		28740		28740		28740		28740		28740		28740		28740		28740		28740		28740	
Двигатели, кг		100	1965		196500		196500		196500		196500		196500		196500		196500		196500		196500		196500		196500		196500		196500	
Пума Супер 7,5 л		3,75	11250		42187,5		42187,5		42187,5		42187,5		42187,5		42187,5		42187,5		42187,5		42187,5		42187,5		42187,5		42187,5		42187,5	
Влага 200		3,75	11250		42187,5		42187,5		42187,5		42187,5		42187,5		42187,5		42187,5		42187,5		42187,5		42187,5		42187,5		42187,5		42187,5	

Яровой рапс 2019 г.	НЗП+Рыхление+Известкование
---------------------	----------------------------

Внесение удобрений	Количество	Цена	Рублей
из мин. органических	10,9	17100	186390
ам. Селитра	14,8	29800	399468
Дв. Суперфосфат	9,3	12800	119040
хлористый калий	100	1700	170000
Известь			
Средства защиты растений			
Дв. цинк профи, кг	3	9580	28740
Пом. супер / 5, л	100	1965	196500
Вита ваас 200	3,75	11250	42187,5

Автотранспорт		Электроэнергия	
количество/т/км	стоимость, руб.	количество, кВт.ч	стоимость, руб.
26	27	28	29
505	18 800,00		
		9,1	34,125
7,5	270,00		
585	21 080,00		
		33,93	127,2375
538,2	19375,20		
635,70	58885,20	43,03	161,36
			0
1182294,09			
11822,94			
1010,51			
32993,82			
106406,47			
1288700,55			
12887,01			
1101,45			

