

**МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

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

Кафедра агрохимии и почвоведения

**ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА
БАКАЛАВРА**

по направлению 35.03.03 - агрохимия и агропочвоведение» на тему

**УРОЖАЙНОСТЬ ЯРОВОЙ ПШЕНИЦЫ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ
УРОВНЯ И ДАВНОСТИ НЕФТЯНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ СЕРОЙ
ЛЕСНОЙ ПОЧВЫ**

Исполнитель: студент 144 группы агрономического факультета

Ахметзянов Алмаз Ильсурович

Научные руководители:
д. с.-х. н., профессор

Гилязов М.Ю.

Зав. кафедрой, к. с. х. н.,
доцент

Миникаев Р.В.

Казань – 2018

СОДЕРЖАНИЕ

	ВВЕДЕНИЕ	3
1	ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ	5
2	УСЛОВИЯ ПРОВЕДЕНИЯ И МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ	12
3	РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ	18
3.1	Урожайность яровой пшеницы в зависимости от уровня и давности однократного нефтяного загрязнения	18
3.2	Действие старого нефтяного загрязнения на структуру урожая яровой пшеницы	28
3.3	Влияние уровня старого нефтяного загрязнения почвы на содержание в растениях основных макроэлементов	30
3.4	Действие уровня старого нефтяного загрязнения серой лесной почвы на экономическую эффективность возделывания яровой пшеницы	36
4	ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ВОЗДЕЙСТВИЯ НЕФТИ НА АГРОЭКОСИСТЕМЫ	39
5	ЗАКЛЮЧЕНИЕ	42
	СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ	44
	ПРИЛОЖЕНИЯ	50
	Приложение 1	51
	Приложение 2	52
	Приложение 3	53
	Приложение 4	54
	Приложение 5	55
	Приложение 6	56
	Приложение 7	57

1 ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ

На современном этапе развития человеческого общества основным энергоносителем остается нефть, поэтому мировая добыча её с каждым годом растет, с том числе в нашей стране. 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-gossii/>]. 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.

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 [Герасимова и др., 2003]. 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, 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 (углеводородокисляющих) она является питательной средой, обнаруживая бурное их развитие на нефтезагрязненных средах [Пиковский и др., 2003].

Негативные последствия загрязнения окружающей среды нефть и нефтепродуктами на живые организмы, в том числе на человека, 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].

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 первое время после загрязнения в рыхлой почве нефть может находиться в легкоподвижном жидком и парообразном состоянии. 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 [Гилязов, Гайсин, 2003; 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; Гилязов, Гайсин, 2003].

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, 2000; Середина, 2006, 2015].

Загрязнение почвы нефтью и нефтепродуктами представляет собой большую опасность для почв и растительности. Изменяются физико-химические свойства, приводит к торможению биологические процессы, снижается растворимость микроэлементов и резко увеличивается соотношение между углеродом и азотом. Загрязнение нефтью препятствует тепловому и газообмену почвы. В результате поступления в почву повышенных доз нефти механические элементы и структурные агрегаты почвы покрываются нефтяной пленкой, которая в свою очередь блокирует питательные вещества от корней 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 углеводов в 10-100 раз [Зволинский, 2005].

Нефтяные вещества, взаимодействуя с гумусом почвы, изменяют состав и свойства последнего, делают почву гидрофобной. Гидрофобность, в свою очередь, приводит к 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.

Нефтяное загрязнение изменяет ферментативную активность почвы. Например, при содержании в отходах 4-5 % нефти и нефтепродуктов снижается активность окислительно-восстановительных и гидролитических ферментов, что приводит к подавлению почвенной микрофлоры. При меньшем содержании данных загрязнителей эффект снижения биологической продуктивности почв характерен для периода от 3 до 6 месяцев, а затем наблюдается усиленное размножение азотфиксирующих, денитрифицирующих и сульфатовосстанавливающих бактерий, которые

используют нефть и ее производные в качестве источника углерода и энергии, в результате чего происходят постепенное окисление и минерализация нефти [Куликова, Дзержинская, 2008].

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 так же 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 [Мотузова, 2013].

Л.Е. Мазунина (2015) отмечает, что нефть подавляет ростовые процессы, уменьшается рост стебля в высоту, а так же 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. Киреева 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, 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>].

По данным А.М. Цулаия (2012), нефтезагрязненные почвы в условиях Ханты-Мансийского автономного округа (ХМАО) оказывают негативное влияние на произрастающую растительность в течение более 25 лет.

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 существенно 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, что и послужило основанием для наших исследований.

Исходя из вышеизложенного, целью нашей работы является изучение действия различных доз товарной нефти на урожайность яровой пшеницы в условиях серой лесной почвы.

Основные задачи исследования нами сформулированы следующим образом:

1.Обобщить данные стационарного полевого опыта по влиянию трех уровней нефтяного загрязнения на урожайность яровой пшеницы в течение четырех ротации севооборота;

2.Установить влияние однократного нефтяного загрязнения на урожайность яровой пшеницы в зависимости от давности загрязнения;

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

4.Определить экономическую эффективность возделывания яровой пшеницы на серой лесной почве в зависимости от уровня исходного нефтяного загрязнения.

3 РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

3.1 Урожайность яровой пшеницы в зависимости от уровня и давности однократного нефтяного загрязнения

На урожайность сельскохозяйственных культур оказывает влияние огромное количество факторов: агротехнические, метеорологические, организационно-хозяйственные, сортовые особенности культуры и, конечно, свойства почвы. Причем, говоря о свойствах почв, следует иметь в виду не только общеизвестные агрохимические, агрофизические и биологические параметры, показывающие кислотно-основные свойства, структурность почвы, обеспеченность почвы питательными веществами, но и санитарно-гигиенические и токсикологические свойства, особенно на нарушенных и загрязненных землях.

Многочисленные исследования показали, что на продуктивность сельскохозяйственных сильное влияние оказывает нефтяное загрязнение. При однократном загрязнении урожайность культур в значительной мере обуславливается давностью загрязнения. Так, по мнению ряда авторов [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].

Влияние пшеницы нефтяного загрязнения одногодичной давности (2005 г.) на урожайность яровой пшеницы показано в табл. 3.1.

На незагрязненной почве, взятой в качестве контроля, урожайность зерна и соломы яровой пшеницы составила соответственно 2,62 и 3,04 т/га, что следует рассматривать как весьма хороший результат для серых лесных почв. На нефтезагрязненных почвах урожай был получен только на тех

Таблица 3.1

Действие на урожайность яровой пшеницы нефтяного загрязнения
одногодичной давности (2005 г.)

Доза нефти, л/м ²	Урожайность, т/га		Солома зерно
	зерна	соломы	

0 - контроль	$\frac{2,62}{100}$	$\frac{3,04}{100}$	1,16
10	$\frac{1,14}{44^*}$	$\frac{2,01}{66}$	1,76
20	$\frac{0}{0}$	$\frac{0}{0}$	-
40	$\frac{0}{0}$	$\frac{0}{0}$	-
НСР ₀₅ (т/га)	0,22	0,27	-

Прим.: * - в процентах к уровню контроля.

делянках, где почва была загрязнена из расчета 10 л/м², то есть только на слабозагрязненной почве.

Как видно, от этой минимальной дозы урожайность зерна снизилась на 56 %, а соломы – на 34 %. В результате такой ответной реакции различных вегетативных органов на нефтяное загрязнение изменилось соотношение «солома: зерно». Если на контроле данное соотношение равнялось 1,16, то на нефтезагрязненной почве оно расширилось до 1,76.

На двух последующих уровнях нефтяного загрязнения (20 и 40 л/м²) семена пшеницы не взошли.

Действие нефтяного загрязнения пятилетней давности на урожайность яровой пшеницы показано в табл. 3.2. На незагрязненной почве урожайность зерна составила 2,89 т/га, а соломы - 3,35 т/га. Такая высокая урожайность яровой пшеницы при внесении 30 кг/га (физический вес) двойного суперфосфата была обусловлена, на наш взгляд, благоприятными метеорологическими условиями вегетационного периода. Урожайные данные, полученные через 5 лет после преднамеренного загрязнения почвы

Таблица 3.2

Действие нефтяного загрязнения на урожайность яровой пшеницы при давности загрязнения 5 лет (2009 г.)

Доза нефти, л/ м ²	Урожайность, т/га		<u>Солома</u> зерно
	зерна	соломы	
0 - контроль	<u>2,89</u>	<u>3,35</u>	1,16

	100	100	
10	$\frac{1,50}{52^*}$	$\frac{2,24}{67}$	1,49
20	$\frac{0,61}{21}$	$\frac{1,10}{33}$	1,80
40	$\frac{0,06}{2}$	$\frac{0,30}{9}$	5,00
НСР ₀₅ (т/га)	0,19	0,23	-

Прим.: * - в процентах к уровню контроля.

нефтью, свидетельствуют о заметной детоксикации загрязненной почвы. Как видно, растения яровой пшеницы появились на всех трех уровнях загрязнения почвы. На слабозагрязненной почве (10 л/м²) урожайность зерна равнялась 1,50 т/га, что означает снижение урожайности, по отношению контрольного уровня, на 48 %. Отставание урожайности соломы на слабозагрязненной почве от уровня незагрязненной почвы было меньше - на 33 %. Напомним, что от этой минимальной дозы нефти в предыдущей ротации севооборота (2005 г.) урожайность зерна и соломы снизилась соответственно на 56 и 34 %. Следовательно, можем говорить об обнаружении тенденции снижения детоксикации нефтезагрязненной почвы.

Ещё более заметное снижение фитотоксичности нефтезагрязненной почвы проявилось на среднем уровне загрязнения (20 л/м²): если в 2005 году урожаи как зерна, так и соломы отсутствовали, то в 2009 году урожайность зерна и соломы равнялась 0,61 и 1,10 т/га соответственно. По отношению к урожайности на незагрязненной почве, на среднем уровне загрязнения урожайность зерна и соломы составили соответственно 21 и 33 %.

Такая же тенденция постепенного повышения урожайности во времени обнаружилась на сильно загрязненной почве (доза нефти 40 л/м²). В случае загрязнения почвы максимальной дозой выжили и достигли до созревания лишь единичные растения (урожайность зерна по отношению к контролю 2 %), правда урожайность соломы оказалась в 4,5 раза выше, зерна. Благодаря более сильному угнетению роста и развития зерна, соотношение «солома: зерно» возросло до 5,00 (на контроле - 1,16).

Действие нефтяного загрязнения на урожайность яровой пшеницы при давности загрязнения 9 лет иллюстрируется данными табл.3.3.

Таблица 3.3

Действие нефтяного загрязнения на урожайность яровой пшеницы при давности загрязнения 9 лет (2013 г.)

Доза нефти, л/м ²	Урожайность, т/га		<u>Солома</u> зерно
	зерна	соломы	
0 - контроль	<u>1,93</u> 100	<u>2,08</u> 100	1,08
10	<u>1,62</u> 84*	<u>1,83</u> 88	1,13
20	<u>1,03</u> 53	<u>1,63</u> 78	1,58
40	<u>0,56</u> 29	<u>1,54</u> 74	2,75
НСР ₀₅ (т/га)	0,11	0,13	-

Прим.: * - в процентах к уровню контроля.

Погодные условия 2013 года складывались менее благоприятными для роста и развития большинства сельскохозяйственных культур, чем в 2005 и 2009 годах, о чем свидетельствуют средние урожаи зерновых культур по Республике Татарстан. В 2005, 2009 и 2013 годах по нашей республике средние урожаи зерновых культур составили соответственно 28,9; 26,8 и 22,4 ц/га [Давлятшин и др., 2013].

Соотношение «солома: зерно» на незагрязненной почве в 2013 году равнялось 1,08. На всех уровнях загрязнения это соотношение шире, чем на контроле. Наблюдается достаточная заметная зависимость между дозами нефти и указанным соотношением: чем выше доза нефти, тем шире это соотношение. За период с 2009 по 2013 годы урожайность зерна яровой пшеницы на слабозагрязненной почве достаточно близко приблизилась к контрольному уровню (84 %). Как видно, за этот период относительная урожайность (в процентах к уровню контроля) на слабозагрязненной почве выросла на 32 % (84-52). Примерно в таких же пределах (32 и 27 %) выросла относительная урожайность и на последующих двух уровнях загрязнения.

Результаты последнего учета (2017 г.) урожайности яровой пшеницы подтверждают обнаруженную ранее тенденцию постепенного повышения относительной урожайности на нефтезагрязненных почвах (табл. 3.4, приложения 2 и 3).

Таблица 3.4

Действие нефтяного загрязнения на урожайность яровой пшеницы при давности загрязнения 13 лет (2017 г.)

Доза нефти, л/м ²	Урожайность, т/га		Солома зерно
	зерна	соломы	
0 - контроль	<u>2,42</u> 100	<u>2,50</u> 100	1,03
10	<u>2,15</u> 89*	<u>2,32</u> 93	1,08
20	<u>1,81</u> 75	<u>2,20</u> 88	1,22
40	<u>1,11</u> 46	<u>1,43</u> 57	1,29
НСР ₀₅ (т/га)	0,15	0,19	-

Прим.: * - в процентах к уровню контроля.

Урожаи зерна, и особенно соломы, в 2017 году, то есть спустя 13 лет после загрязнения, вплотную приблизились к уровню контрольной (незагрязненной) почвы. Однако снижение урожайности зерна от слабого загрязнения статистически все ещё остается достоверной. Лишь снижение урожайности соломы от минимальной дозы нефти стало статистически не существенной. Относительная урожайность зерна (в процентах к уровню контроля) в 2017 году на средне- и сильнозагрязненных почвах равнялась соответственно 75 и 46 %. Как и в предыдущие годы наблюдения, абсолютная и относительная урожайность соломы выше, чем зерна. За период с 2013 по 2017 годы темпы повышения относительной урожайности были ниже, чем за 2009-2013 годы. Так, если на слабо-, и сильнозагрязненной почвах за 2009-2013 годы относительная урожайность зерна повысилась соответственно на 32 и 27 %, то за 2013-2017 годы только 5 и 17 %. За 13 лет относительная урожайность зерна яровой пшеницы на

слабо-, средне- и сильнозагрязненных почвах выросла соответственно до 89, 75 и 46 %.

Динамика изменения урожайности яровой пшеницы на нефтезагрязненных почвах особенно наглядно иллюстрируется материалами рис. 3.1 и 3.2.

Зависимость урожайности зерна на слабозагрязненной почве от давности загрязнения почвы описывалась линейным уравнением:

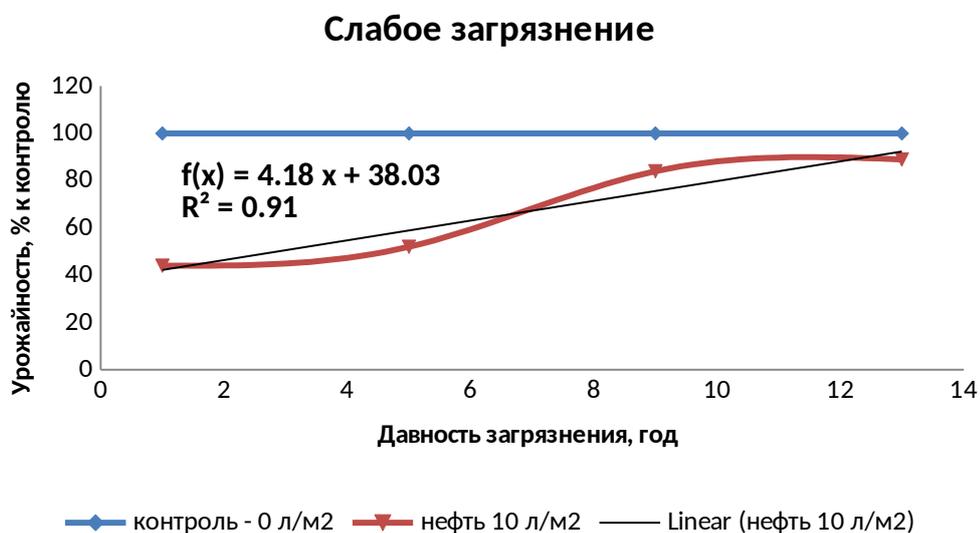
$$y = 4,175 \cdot x + 38,02$$

где, y – урожайность зерна, т/га;

x – давность загрязнения, годы.

При этом теснота корреляции между урожайности от давности загрязнения оказалась весьма тесной, о чем свидетельствует величина коэффициента детерминации ($R^2 = 0,913$).

Ещё более тесной оказалась корреляция урожайности зерна яровой пшеницы от давности загрязнения почвы, загрязненной из расчета 20 л/м² (средняя степень загрязнения). Как видно, на этом уровне загрязнения данная зависимость описывалась линейным уравнением $y = 6,425 \cdot x + 7,725$, а коэффициент детерминации (R^2) равнялась 0,993.



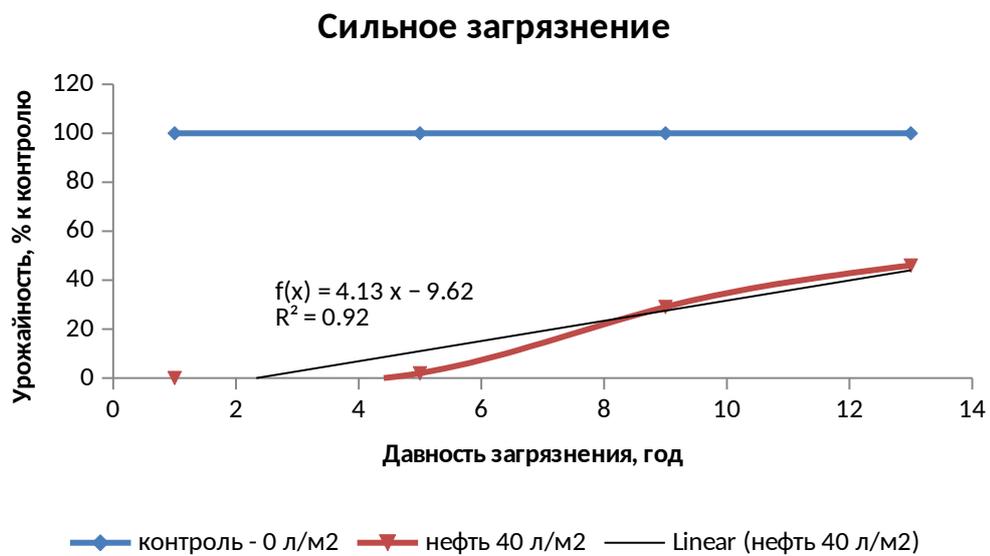
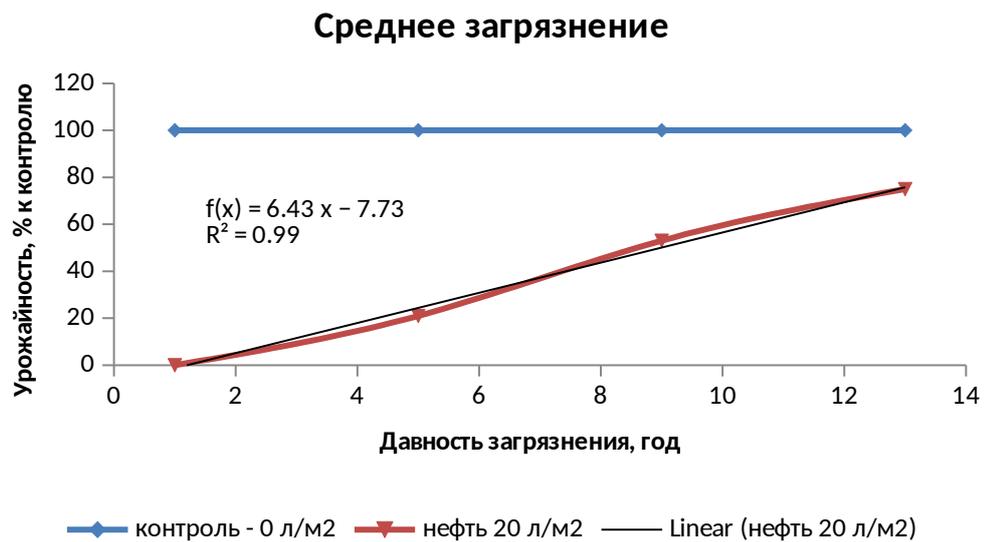
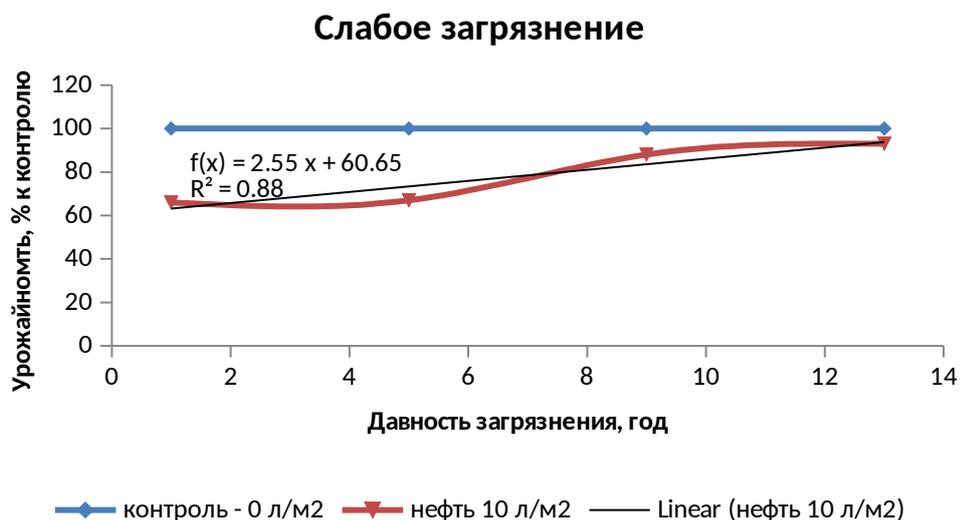


Рис. 3.1. Корреляция урожайности зерна яровой пшеницы от уровня и давности однократного нефтяного загрязнения (2005-2017 гг.)



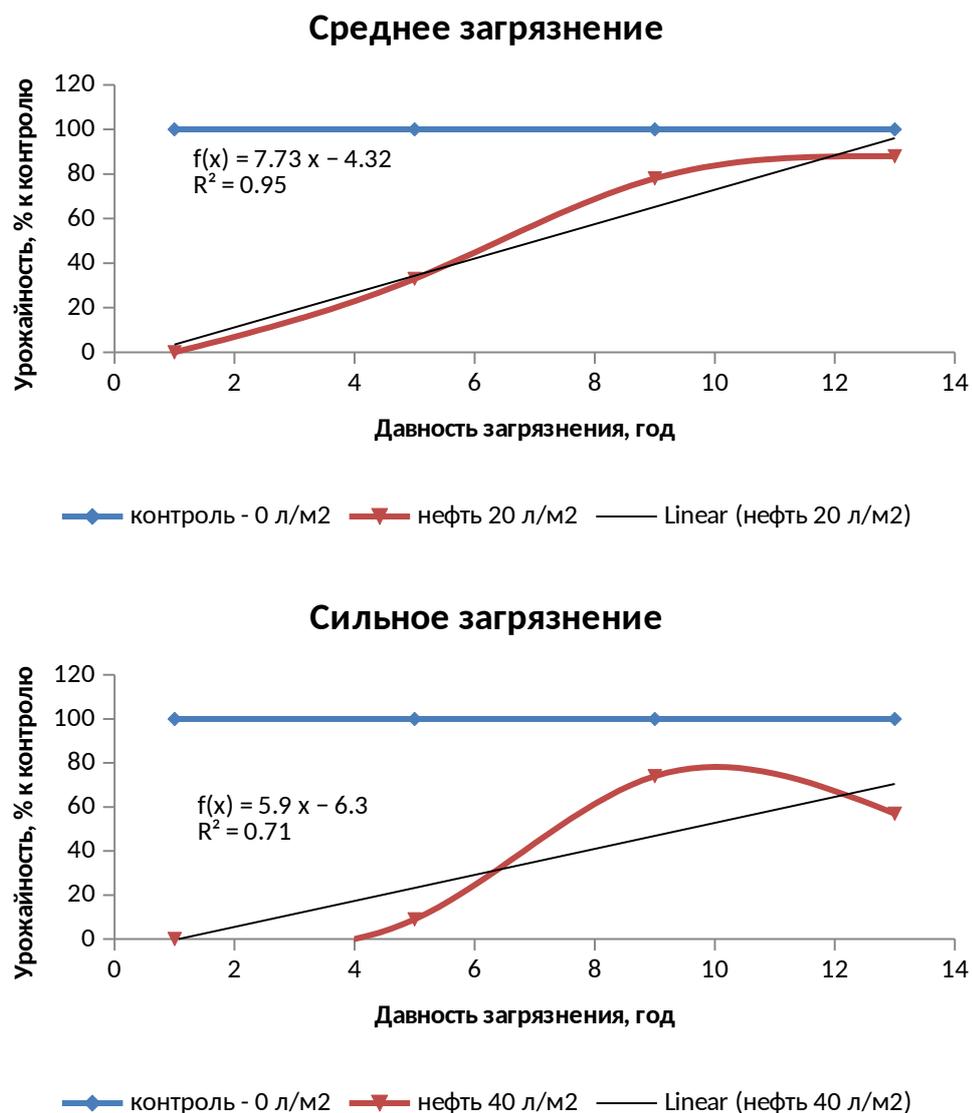


Рис. 3.2. Корреляция урожайности соломы яровой пшеницы от уровня и давности однократного нефтяного загрязнения (2005-2017 гг.)

В случае загрязнения серой лесной почвы максимальной дозой нефти (40 л/м²), коэффициент детерминации (R^2) урожая зерна пшеницы от давности загрязнения равнялась 0,920.

Материалы рисунка 3.2, показывающие характер действия доз нефти и давности загрязнения на урожайность соломы пшеницы, полностью подтверждают выводы, сделанные по урожайности зерна. На всех уровнях загрязнении почвы нефтью теснота корреляции урожаев соломы от давности загрязнения оказалась очень высокой, о чем свидетельствуют значения коэффициентов детерминации ($R^2 = 0,713 \div 0,951$).

Характер действия уровня загрязнения почв нефтью на урожайность яровой пшеницы показан на рис. 3.3.

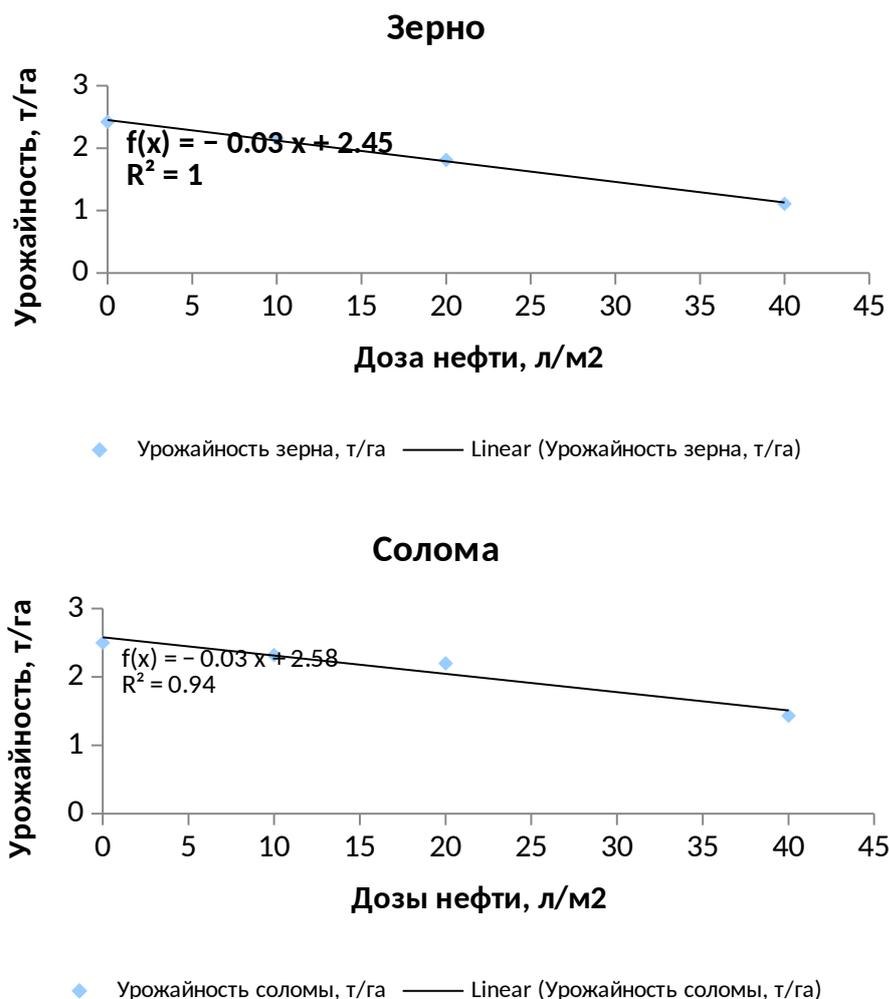


Рис. 3.3. Зависимость урожайности яровой пшеницы от доз нефти в условиях серой лесной почвы (2017 г.)

Материалы рис. 3.3 свидетельствуют, что даже спустя 13 лет после однократного загрязнения нефтью обнаруживалась тесная зависимость урожаев, как зерна, так и соломы пшеницы от доз нефти.

Так, зависимость урожайности зерна пшеницы от доз нефти описывается линейным уравнением:

$$y = -0,033 \cdot x + 2,452$$

где, y – урожайность зерна, т/га;
 x – доза нефти, л/м².

Коэффициент детерминации (R^2) урожайности зерна яровой пшеницы от уровня загрязнения почвы нефтью приблизился к единице (0,997), что

свидетельствует о наличии чрезвычайно тесной корреляции величин урожаев зерна от доз нефти, внесенных в почву 13 лет тому назад.

Аналогичная тесная отрицательная корреляция обнаружилась между дозами нефти и урожайностью соломы пшеницы ($R^2=0,944$). Например, если от минимальной дозы нефти (10 л/м^2) урожайность соломы снизилась на $0,18 \text{ т/га}$, то от доз 20 и 40 л/м^2 нефти соответственно на $0,30$ и $1,03 \text{ т/га}$.

Таким образом, наблюдение за динамикой урожайности яровой пшеницы за годы исследования сотрудниками и дипломниками кафедры агрохимии и почвоведения четко показывает, что по мере старения нефтяного загрязнения происходит постепенное повышение урожайности зерна и соломы. Во все годы исследования более высокими темпами росла урожайность соломы, благодаря чему по мере старения нефтяного загрязнения расширилось отношение «солома: зерно». Установлена тесная обратная зависимость урожайности зерна и соломы яровой пшеницы от давности загрязнения нефтью, где коэффициенты детерминации (R^2) урожая от уровня загрязнения почвы нефтью ($10-40 \text{ л/м}^2$) колебались в пределах от $0,713$ до $0,993$. Такая же тесная корреляция урожаев зерна и соломы яровой пшеницы установлена от доз нефти ($R^2 = 0,944 \div 0,997$).

3.2 Действие старого нефтяного загрязнения на структуру урожая яровой пшеницы

Влияние различных доз нефти, внесенных в почву преднамеренно 13 лет тому назад, на структуру урожая яровой пшеницы показано в табл. 3.5.

Таблица 3.5

Влияние старого нефтяного загрязнения на структуры урожая яровой пшеницы (2017 г.)

Варианты опыта	Число растений, шт./м ²	Число колосьев, шт./м ²	Число зерен в колосе, шт.	Масса 1000 зерен,
----------------	------------------------------------	------------------------------------	---------------------------	-------------------

				г
0 - контроль	<u>344</u> 100	<u>351</u> 100	<u>18,0</u> 100	<u>38,3</u> 100
10	<u>329</u> 96*	<u>337</u> 96	<u>17,2</u> 96	<u>37,1</u> 97
20	<u>304</u> 88	<u>305</u> 87	<u>17,1</u> 95	<u>34,7</u> 91
40	<u>271</u> 79	<u>266</u> 76	<u>13,2</u> 73	<u>31,6</u> 83

Прим.: * - в процентах к уровню контроля.

Несмотря на то, что за 13 лет произошло существенное самоочищение почв от нефтяных веществ, о чем было указано выше на основании динамики урожайности по ротациям севооборота, негативное действие старого нефтяного загрязнения на элементы структуры урожая яровой пшеницы 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. Например, если число колосьев на единицу площади на слабозагрязненной почве составило 96 % к уровню незагрязненной почвы, то на средне- и сильнозагрязненной почве оно равнялось 87 и 76 % соответственно.

Можно также заметить, что на разных уровнях исходного загрязнения снижение величин элементов структуры урожая были неодинаковыми.

На слабозагрязненной почве все четыре показателя структуры урожая снизились, по отношению контроля примерно одинаково, на 3-4 %.

На почве, загрязненной из расчета 20 л/м², отдельные элементы структуры урожая пшеницы по размерам снижения от нефтяного загрязнения расположились в следующий убывающий ряд: число колосьев на единицу площади > число растений на единицу площади > масса 1000 зерен > число зерен в колосе.

На сильно загрязненной почве (40 л/м²) убывающий ряд элементов структуры урожая пшеницы по размерам снижения от нефтяного загрязнения выглядит следующим образом: число зерен в колосе > число колосьев на

единицу площади > число растений на единицу площади > масса 1000 зерен > число зерен в колосе.

Среди изученных элементов структуры урожая на всех трех уровнях нефтяного загрязнения в наименьшей степени уменьшилась масса 1000 зерен.

Действие уровней загрязнения серой лесной почвы нефтью отразилось и на высоте растений яровой пшеницы (рис. 3.4).

Как видно, обнаружилось тесная корреляция высоты растений от исходного уровня нефтяного загрязнения, о чем свидетельствует величина коэффициента детерминации ($R^2 = 0,851$).

Следовательно, обнаружилось вполне заметная зависимость величин элементов структуры урожая от доз нефти: 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 зерен.

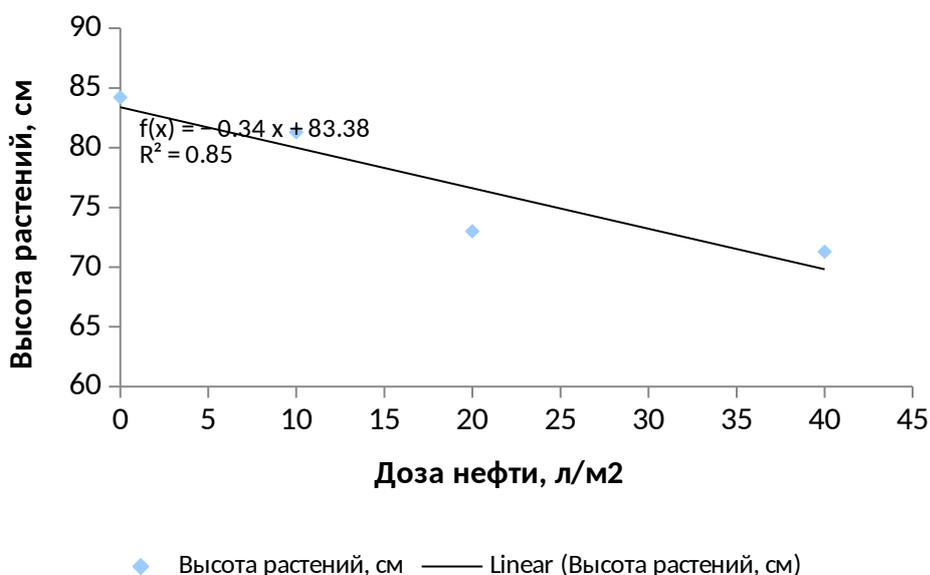


Рис. 3.4. Линейная зависимость высоты растений яровой пшеницы от доз нефти

3.3 Влияние уровня старого нефтяного загрязнения почвы на содержание в растениях основных макроэлементов

При оценке действия тех или иных факторов на сельскохозяйственные культуры важно знать не только изменение урожайности, структуры урожая, но и химического состава урожая. В агрохимических исследованиях, прежде всего, возникает необходимость определения содержания в растениях главных, абсолютно необходимых макроэлементов – азота, фосфора и калия. Информация о содержании этих элементов в урожае, в первую очередь, необходима для установления важнейших агрохимических показателей: нормативного, хозяйственного и биологического выносов. Кроме того, химический состав урожая необходим для оценки качества урожая.

Содержание общего азота на абсолютно сухой вес в урожае яровой пшеницы по вариантам опыта в 2017 году приведено в табл. 3.6. На незагрязненной почве содержание общего азота в зерне и соломе составило соответственно 2,24 и 0,44 %. Как видим, содержание азота в зерне более чем в 5 раз выше, чем в соломе.

Под действием старого нефтяного загрязнения 13-летней давности содержание азота в урожае не снизилось, наоборот, обнаружилась тенденция повышения, особенно, в зерне. Причем, по мере роста уровня исходного

Таблица 3.6

Содержание общего азота в урожае яровой пшеницы в зависимости от
уровня исходного загрязнения (2017 г.)

Доза нефти, л/м ²	Содержание общего азота в растениях*, %	
	зерно	солома
0 - контроль	2,24	0,44
10	2,27	0,44
20	2,30	0,44
40	2,32	0,45

Прим.: * - на абсолютно сухой вес.

загрязнения происходило постепенное усиление этой тенденции. Так, если на слабозагрязненной почве содержание азота увеличилось, по отношению к контролю, на 0,03 %, то на средне- и сильнозагрязненных почвах 0,06 и 0,02

процента соответственно. Изменение содержания азота в соломе яровой пшеницы проявилось только на сильно загрязненной почве, хотя, как правило, химический состав соломы более изменчив, чем зерна [Минеев, 2004]. Обнаруженное явление, возможно, обусловлено более сильным угнетением накопления органических веществ, чем поступления в растения азота из почвы.

Примерно аналогичным образом действовали различные уровни старого нефтяного загрязнения на содержание в растениях яровой пшеницы общего фосфора и калия (табл. 3.7 и 3.8). Как в фоновой, так и загрязненной почве содержание фосфора в зерне примерно в пять раз выше, чем в соломе.

Таблица 3.7

Содержание общего фосфора в урожае яровой пшеницы в зависимости от уровня исходного загрязнения (2017 г.)

Доза нефти, л/м ²	Содержание общего фосфора в растениях*, %	
	зерно	солома
0 - контроль	0,87	0,17
10	0,88	0,17
20	0,89	0,18
40	0,90	0,18

Прим.: * - на абсолютно сухой вес.

Таблица 3.8

Содержание общего калия в урожае яровой пшеницы в зависимости от уровня исходного загрязнения (2017 г.)

Доза нефти, л/м ²	Содержание общего калия в растениях*, %	
	зерно	солома
0 - контроль	0,70	0,96
10	0,71	0,96
20	0,74	0,98
40	0,75	0,99

Прим.: * - на абсолютно сухой вес.

Распределение калия в товарной и побочной части урожая яровой пшеницы существенно отличается от характера распределения азота и фосфора. Как видно, калия больше накапливается в соломе. Например, на фоновой почве содержание общего калия в зерне и соломе равнялось соответственно 0,70 и 0,96 %. Содержание калия в соломе от минимальной дозы нефти (10 л/м²) не изменилось. Средняя (20 л/м²) и максимальная (40 л/м²) дозы нефти способствовали к некоторому повышению концентрации калия в соломе. Концентрация общего калия в зерне пшеницы изменилась, хотя весьма слабо, и от минимальной дозы нефти.

Таким образом, под действием старого нефтяного загрязнения 13-летней давности содержание азота, фосфора и калия в урожае не снизилось, наоборот, обнаружилась тенденция повышения, особенно, в зерне. Причем, по мере роста уровня исходного загрязнения происходило постепенное усиление этой тенденции.

Хозяйственный вынос – это количество того или иного вещества, отчуждаемого с единицы земельной площади с основной и побочной продукцией сельскохозяйственной культуры. В отличие от биологического выноса хозяйственный вынос не включает вещества, остающиеся на поле в составе корневых и пожнивных остатков. Хозяйственный вынос является основополагающим нормативным показателем, необходимым для определения норм удобрений [Ягодин и др., 2003; Минеев, 2004]. Величина хозяйственного выноса устанавливается исходя из урожайности основной и побочной продукции, процентного содержания в них влаги и искомого вещества.

Данные табл. 3.9 демонстрируют влияние нефтяного загрязнения на хозяйственный вынос основных питательных элементов яровой пшеницей в 2017 г. Вынос азота, фосфора и калия зерном рассчитан при влажности зерна 14 %, соломы – 17 %.

Несмотря на то, что старое нефтяное загрязнение сопровождалось со слабым повышением концентрации изученных элементов в зерне и соломе,

хозяйственные выноса на загрязненных почвах весьма существенно уменьшились. На контрольной (незагрязненной) почве хозяйственные выноса азота, фосфора и калия яровой пшеницей соответственно равнялись 55,7; 21,6 и 34,5 кг/га. На слабозагрязненной почве эти показатели составили 50,5; 19,6 и 31,6 кг/га. Ещё более значимое снижение хозяйственных выносов наблюдалось от среднего и сильного уровня нефтяного загрязнения. От максимальной дозы нефти (40 л/м²) хозяйственные выноса азота, фосфора и калия яровой пшеницей снизились, по отношению к уровню контрольной почвы, в 2,03; 2,02 и 1,83 раза

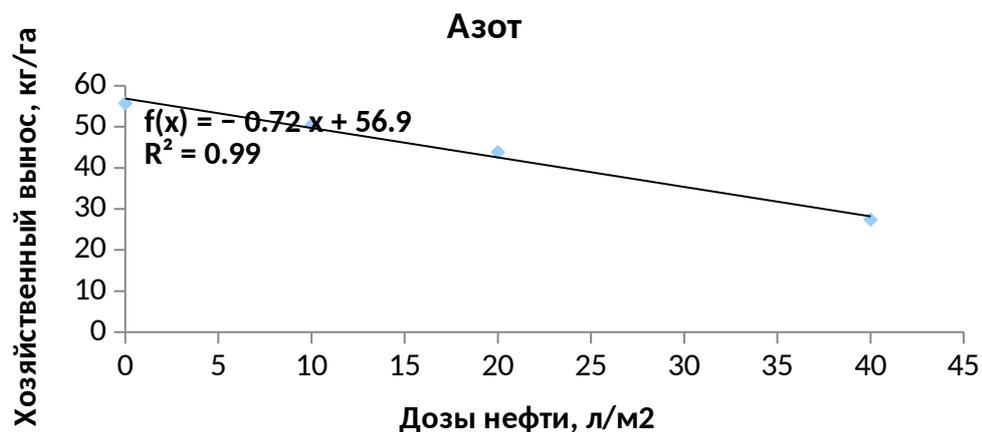
Таблица 3.9

Действие старого нефтяного загрязнения на хозяйственный вынос основных питательных элементов яровой пшеницей в 2017 г.

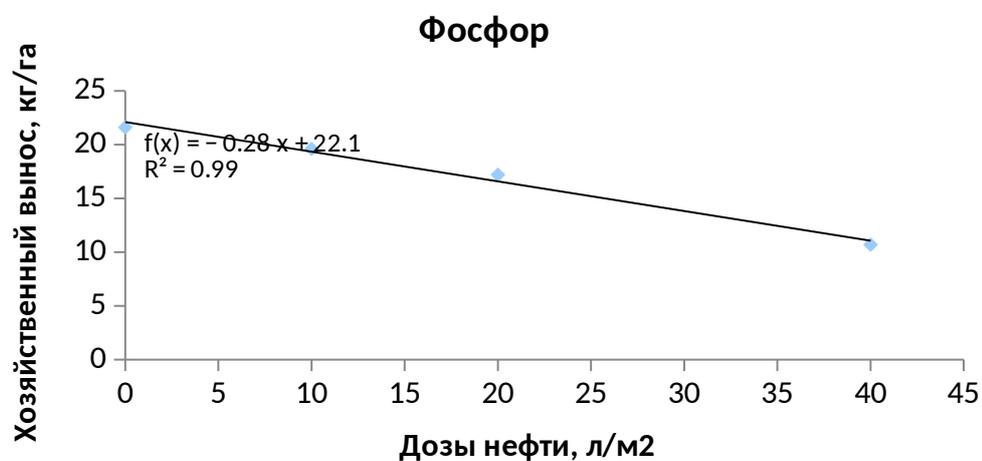
Доза нефти, л/м ²	Вынос, кг/га		
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
Вынос зерном (влажность зерна 14 %)			
0 - контроль	46,6	18,1	14,6
10	42,0	16,3	13,1
20	35,8	13,9	11,5
40	22,1	8,6	7,1
Вынос соломой (влажность соломы 17 %)			
0 - контроль	9,1	3,5	19,9
10	8,5	3,3	18,5
20	8,0	3,3	17,9
40	5,3	2,1	11,8
Хозяйственный вынос			
0 - контроль	55,7	21,6	34,5
10	50,5	19,6	31,6
20	43,8	17,2	29,4
40	27,4	10,7	18,9

соответственно. Как видим, максимальное снижение хозяйственного выноса обнаружил азот, а наименьшее – калий. Снижение хозяйственных выносов на нефтезагрязненных почвах в основном было обусловлено снижением урожайности яровой пшеницы.

Наиболее наглядно зависимость величин хозяйственных выносов иллюстрируется графиками, приведенными на рис. 3.5.



◆ Вынос азота, кг/га — Linear (Вынос азота, кг/га)



◆ Вынос фосфора, кг/га — Linear (Вынос фосфора, кг/га)

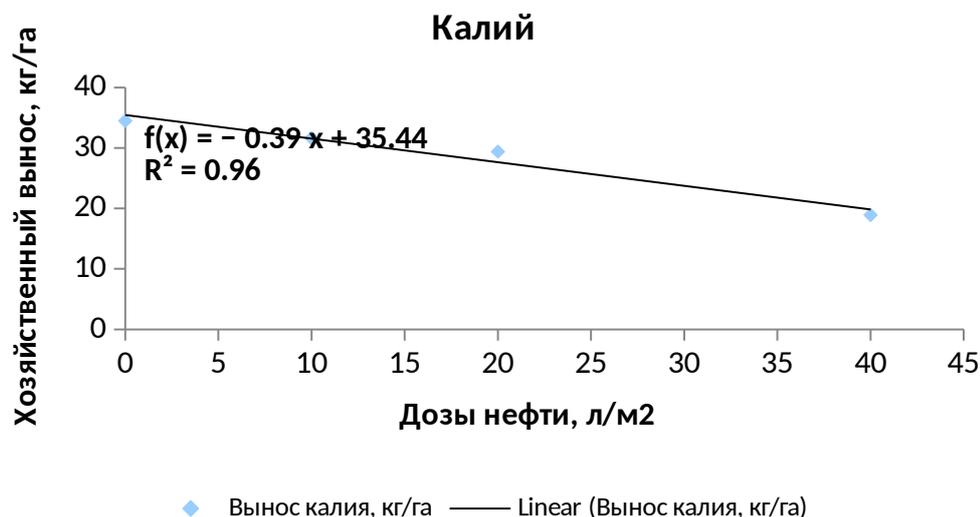


Рис. 3.5. Корреляция величин хозяйственных выносов яровой пшеницей от уровня старого нефтяного загрязнения серой лесной почвы

Как видно, коэффициенты детерминации (R^2) размеров хозяйственных выносов азота, фосфора и калия от доз нефти колебались в пределах от 0,964 до 0,990.

Основная часть азота и фосфора пшеницей отчуждалась в составе зерна, а калия – в составе соломы. Так, на сильно загрязненной почве из 27,4 кг/га хозяйственного (общего) выноса азота, 22,1 кг/га отчуждался в составе зерна, что составляет более 80 % от общего выноса. Львиная доля калия яровой пшеницей отчуждалась в составе соломы. Например, на той же сильно загрязненной почве из общего выноса калия (18,9 кг/га) 11,8 кг/га было вынесено в составе соломы или около 62 %.

Таким образом, старое нефтяное загрязнение, особенно средней и сильной степени, приводило к слабому повышению концентрации азота, фосфора и калия, как в зерне, так и соломы яровой пшеницы. Однако при этом хозяйственные выноса указанных веществ снизились, по отношению к контролю, в 1,83-2,03 раза, что было обусловлено снижением урожайности.

3.4. Действие уровня старого нефтяного загрязнения серой лесной почвы на экономическую эффективность возделывания яровой пшеницы

Экономическую оценку эффективности возделывания яровой пшеницы в условиях серой лесной почвы рассчитали по урожайности зерна, без учета его качества. Среднюю цену реализации зерна брали равной 5500 руб./т. Стоимость нетоварной части урожая (солома) не учитывали. Общие затраты на возделывание яровой пшеницы определили по технологическим картам для каждого варианта опыта индивидуально, которые приведены в приложениях 4-7.

В табл. 3.10 показаны данные, иллюстрирующие экономическую эффективность возделывания яровой пшеницы на нефтезагрязненной серой почве 13-летней давности (преднамеренное загрязнение нефтью было проведено в мае 2004 г.).

Стоимость товарной продукции (зерна), полученной на незагрязненной почве равнялась 13310 руб./га. В зависимости от исходного уровня нефтяного загрязнения (10, 20, 40 л/м²), выход товарной продукции в стоимостном выражении составил от 6105 до 11825 руб./га. Как видим, прослеживается тесная обратная зависимость между дозами нефти и величиной стоимости зерна. Снижение стоимости зерна с одного гектара, по сравнению с контролем, на слабо загрязненной почве составила 1485 рублей,

Таблица 3.10

Экономическая эффективность возделывания яровой пшеницы на зерно в зависимости от уровня исходного загрязнения серой лесной почвы (2017 г.)

Показатели	Доза нефти*, л/м ²			
	0 - контроль	10	20	40
Урожайность зерна, т/га	2,42	2,15	1,81	1,11
Стоимость зерна**, руб./га	13310	11825	9955	6105
Общие затраты***, руб./га	11955	11847	11710	11428
Условная прибыль, руб./га	1355	-22	-1755	-5323
Уровень рентабельности, %	11,3	-0,2	-15,0	-46,6
Себестоимость зерна, руб./т	4940	5510	6469	10295

Прим.: * - преднамеренное загрязнение нефтью проведено в мае 2004 г;
** - цена реализации зерна 5500 руб./т;
*** - затраты рассчитаны по технологическим картам.

на средне- и сильнозагрязненных почвах оно составило соответственно 3355 и 7205 руб.

Суммарные затраты на возделывание пшеницы по вариантам опыта различались между собой относительно мало: в пределах от 108 до 527 руб./га.

Условная прибыль, рассчитанная как разница между стоимостью зерна и общими затратами на возделывание яровой пшеницы, получена только на незагрязненной почве в размере 1355 руб./га. На всех нефтезагрязненных почвах возделывание яровой пшеницы оказалось убыточным. В зависимости от исходного уровня загрязнения ущерб составил от 22 до 5323 руб./га. Уровень максимальной убыточности производства зерна на сильно загрязненной серой лесной почве (40 л/м²) равнялся 46,6 %.

Другой важный экономический показатель - себестоимость зерна, также отчетливо показывает экономическую неэффективность возделывания яровой пшеницы на нефтезагрязненной почве. Как видно, себестоимость зерна на слабо-, средне- и сильнозагрязненной почве возросла, по отношению к контролю, соответственно в 1,12; 1,31 и 2,08 раза.

Таким образом, в условиях серой лесной почвы возделывание яровой пшеницы, загрязненной 13 лет тому назад товарной нефтью дозами 10, 20 и 40 л/м², было экономически не эффективным. Необходимо также отметить, что данную оценку экономической эффективности возделывания яровой пшеницы следует рассматривать как неполной, так как она не учитывает качество зерна. Вполне вероятно, с учетом качества зерна, убыточность может быть ещё более весомой.

5 ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Полученные в эксперименте результаты позволяют сделать следующие основные выводы:

1. В условиях серой лесной почвы Предкамья РТ по мере старения нефтяного загрязнения происходит постепенное повышение урожайности зерна и соломы яровой пшеницы. Коэффициенты детерминации (R^2) урожая зерна яровой пшеницы от давности загрязнения почвы нефтью (10-40 л/м²) колебались в пределах от 0,913 до 0,993.

2. Во все годы исследования более высокими темпами росла урожайность соломы, благодаря чему по мере старения нефтяного загрязнения расширилось отношение «солома: зерно».

3. Коэффициент детерминации (R^2) урожайности зерна яровой пшеницы от уровня загрязнения почвы нефтью приблизился к единице (0,997), что свидетельствует о наличии чрезвычайно тесной корреляции величин урожаев зерна от доз нефти, внесенных в почву 13 лет тому назад.

4. Установлен характер зависимости 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, однако на разных уровнях нефтяного загрязнения снижение величин элементов структуры урожая было различной, хотя в наименьшей степени от нефтяного загрязнения уменьшилась масса 1000 зерен.

5. Старое нефтяное загрязнение, особенно средней и сильной степени, приводило к слабому повышению концентрации азота, фосфора и калия, как в зерне, так и соломы яровой пшеницы. Однако при этом хозяйственные выносы указанных веществ снизились, по отношению к контролю, в 1,83-2,03 раза, что было обусловлено снижением урожайности.

6. В условиях серой лесной почвы, загрязненной 13 лет тому назад товарной нефтью дозами 10, 20 и 40 л/м², возделывание яровой пшеницы было экономически убыточным. В зависимости от исходного уровня загрязнения ущерб составил от 22 до 5323 руб./га.

