

Т. Г. Кольцова, Л. М. Сунгатуллина, Б. Р. Григорьян,
В. Н. Башкиров

ВЛИЯНИЕ НЕФТЯНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ НА ФИТОТОКСИЧНОСТЬ ДЕРНОВО-КАРБОНАТНЫХ ПОЧВ

Ключевые слова: нефтяное загрязнение, дерново-карбонатная оподзоленная почва, дерново-карбонатная выщелоченная почва, фитотоксичность.

В лабораторных опытах изучено влияние различных концентраций нефтепродуктов в дерново-карбонатной оподзоленной и дерново-карбонатной выщелоченной почвах сельскохозяйственного назначения на показатели прорастания и интенсивности роста семян пшеницы и гороха. Определены концентрации нефтепродуктов, не оказывающие фитотоксическое действие на высшие растения, а также приводящие к 50% снижению биомассы культурных растений.

Keywords: oil pollution, soddy calcareous podzolized soil, soddy calcareous leached soil, phytotoxicity.

In laboratory experiments it was studied the influence of different concentrations of mineral oil in a soddy calcareous podzolized and leached soils agricultural purpose on the parameters of germination and growth rate of wheat and pea. It was determined the concentrations of mineral oil which have no phytotoxic effects on higher plants, and concentrations causing 50% reduction in biomass of crop plants.

Введение

В условиях роста техногенной нагрузки на окружающую среду актуальными становятся вопросы оценки ее экологического благополучия. В настоящее время почти неизбежно загрязнение почв углеводородным сырьем при добыче и транспортировке нефти. Опасность нефтяного загрязнения, прежде всего, связана с высокой чувствительностью к нему высших растений, занимающих доминирующее положение практически во всех наземных экосистемах, определяя существование и состав остальных биологических компонентов биогеоценозов [1, 2, 3]. Поэтому расположение объектов нефтедобычи в регионах с высокой сельскохозяйственной освоенностью предполагает проведение мероприятий по охране почв и рекультивации загрязненных нефтью и нефтепродуктами земель, учитывая многие факторы, в частности, зональные, климатические особенности региона, плодородие, тип и гранулометрический состав почв, биологические особенности районированных сортов возделываемых культур и другие.

Как известно, фитопродуктивность является одним из основных диагностических показателей экологического состояния почв [4]. Параметры динамики линейного роста и накопления биомассы культур являются информативными и часто используемыми показателями степени загрязнения почвы углеводородами и устойчивости растений к негативным факторам [5, 6]. При этом, в экологическом контроле широко используются лабораторные методы фитотестирования, как наиболее экспрессные и экономичные [7].

Данная работа является продолжением ранее начатых исследований по изучению влияния нефтяного загрязнения на фитотоксичность различных типов почв агроценозов Республики Татарстан [8].

Цель представленной работы заключается в оценке фитотоксичности дерново-карбонатной оподзоленной и выщелоченной почв сельскохозяйственного назначения, характерных для Закамья Республики Татарстан, при разных концентрациях нефтяного загрязнения.

Экспериментальная часть

Лабораторно-вегетационные опыты по определению фитопродуктивности проводились в соответствии с ГОСТ Р ИСО 22030-2009 [9]. В качестве тест-объектов использованы два вида растений: односемядольное растение – пшеница яровая (*Triticum vulgare* L.) сорта «Экада-97» и двусемядольное растение – горох посевной (*Pisum sativum* L.) сорта «Варис». Выбор указанных видов обусловлен высокой экономической значимостью данных культур для Республики Татарстан.

Постановка опытов осуществлялась в лабораторных условиях с искусственным освещением, создаваемым при помощи фитоламп с интенсивностью света 5000 Лк. Температура в лаборатории в течение всего эксперимента составляла 23-26°C. В качестве вегетационных сосудов использовались пластиковые емкости диаметром 11 см и объемом 550 мл.

Опыт по определению фитотоксичности почвы в зависимости от остаточного содержания нефти включал несколько вариантов с различными концентрациями нефтепродуктов, создаваемыми путем смешения контрольной и загрязненной нефтью почв. В качестве контроля также использовали незагрязненную нефтью почву (<0,05 г/кг нефти). В экспериментах с дерново-карбонатной оподзоленной почвой испытываемые образцы содержали 0,45 г/кг, 0,63 г/кг, 1,33 г/кг, 2,64 г/кг нефтепродуктов (НП), с дерново-карбонатной выщелоченной почвой – 0,47 г/кг, 0,86 г/кг, 1,22 г/кг, 2,51 г/кг. Определение суммарного содержания нефтепродуктов в почвах проводилось ИК-

спектрометрическим методом на анализаторе КН-2м по ПНД Ф 16.1:2.2.22-98 [10].

Пахотный горизонт контрольного варианта дерново-карбонатной оподзоленной почвы среднегумусирован (содержание гумуса – 4,7%, по Тюрину), характеризуется тяжелосуглинистым гранулометрическим составом (фракция физической глины достигает 42%), кислой реакцией среды (значение актуальной кислотности – 5,30; обменной – 4,80), средней обеспеченностью подвижным фосфором (6,4 мг/100 г, по Чирикову) и очень высокой – обменным калием (20,6 мг/100 г, по Чирикову), содержание общего азота составило 0,129%, органического углерода – 2,5%. Параметры испытуемых нефтезагрязненных вариантов варьируют в следующих пределах: гранулометрический состав – от тяжелосуглинистого до легкоголинистого, степень кислотности – от слабокислых до нейтральных значений (от 6,12 до 6,87), содержание подвижного фосфора – среднее (от 5,0 до 6,3 мг/100 г), обменного калия – очень высокое (от 18,7 до 19,3 мг/100 г), общего азота – от 0,110 до 0,120%, органического углерода – от 2,6 до 2,9%.

Пахотный горизонт контрольного варианта дерново-карбонатной выщелоченной почвы среднегумусирован (содержание гумуса – 3,9%), характеризуется легкоголинистым гранулометрическим составом, слабокислой реакцией среды (значение актуальной кислотности – 6,20; обменной – 5,29), средней обеспеченностью подвижным фосфором (5,2 мг/100 г) и очень высокой – обменным калием (19,5 мг/100 г), содержание общего азота составило 0,113%, органического углерода – 2,1%. Параметры испытуемых нефтезагрязненных вариантов дерново-карбонатной выщелоченной почвы варьируют в следующих пределах: гранулометрический состав – легкоголинистый (содержание физической глины – от 58% до 62%), степень кислотности – в диапазоне нейтральных значений (от 6,74 до 7,47), содержание подвижного фосфора – низкое (от 4,0 до 5,0 мг/100 г), обменного калия – очень высокое (20,8-22,8 мг/100 г), общего азота – от 0,082 до 0,112%, органического углерода – от 2,3 до 2,8%.

Почву для набивки пластиковых сосудов предварительно просушивали на воздухе и просеивали через сито с диаметром отверстий 4 мм, до использования хранили при температуре 4°C. В каждый сосуд помещали по 400г испытуемой почвы, приминая ее для усадки.

Семена используемых растений предварительно калибровали, откидывая пустые, очень мелкие, слишком крупные, уродливые и т.п. Лабораторная всхожесть семян превышала 95%. В каждый сосуд равномерно высаживали по 12 семян; глубина заделки для гороха – 20 мм, для пшеницы – 15 мм. Количество повторностей каждого варианта – 3. Полив растений производили по весу, таким образом, чтобы влажность почвы поддерживалась на уровне 60% от полной влагоемкости. Для выравнивания условий освещения и нагревания местоположение вегетационных сосудов ежедневно

меняли, причем варианты располагали рендомизированно.

После учета проросших семян число растений в каждом горшочке сокращали до 8. По истечении 2-х недель после появления всходов срезали 4 растения для учета биомассы. Еще через 28 дней, на 42-ой день после появления всходов, срезали оставшиеся 4 растения. Величину фитомассы (по сухому веществу) в каждом сосуде определяли после высушивания до постоянного веса при температуре 65°C с точностью до 0,0001 г.

Для оценки степени токсичности почвы помимо учета фитомассы, в первую неделю опыта определяли показатели прорастания семян (всхожесть, энергия прорастания, дружность прорастания, скорость прорастания), на 4-7, 10, 14, 42 сутки – показатели интенсивности роста семян (длина надземного побега) [11]. Всхожесть семян рассчитывали как число проросших семян, выраженное в процентах от общего количества семян, взятых для проращивания. Энергию прорастания вычисляли как число семян, проросших за первые трое суток, выраженное в процентах от общего количества семян, взятых для проращивания. Дружность прорастания (средний процент семян, проросших за один день прорастания) – отношение полной всхожести семян к числу дней прорастания. Скорость прорастания (сумма средних чисел семян, прорастающих ежедневно) рассчитывали по формуле: $C = a + b/2 + v/3 + g/4 + \dots$, где C – скорость прорастания; а – число семян, проросших за первые сутки; б – число семян, проросших за вторые сутки; в – число семян, проросших за третьи сутки; г – число семян, проросших за четвертые сутки и т.д. Среднюю длину побегов тест-культур в каждом сосуде определяли как отношение суммы длин побегов всех проросших семян к общему количеству семян, взятых для проращивания.

Статистическая обработка данных проводилась с помощью стандартных пакетов Microsoft Excel 2013 и Statistica 10. Корреляционный анализ данных проводили с использованием коэффициентов корреляции Пирсона (r), достоверность различий между значениями оценивали по t-критерию Стьюдента ($p < 0,05$).

Результаты и их обсуждение

Проведенные эксперименты позволили выявить угнетение всхожести семян тест-культур в исследуемых вариантах дерново-карбонатной оподзоленной и выщелоченной почв, в наибольшей степени выраженное на горохе.

Значительное снижение всхожести семян гороха в нефтезагрязненных вариантах дерново-карбонатной оподзоленной почвы по сравнению с контролем отмечается на 3 сутки и составляет 86,10% при содержании поллютанта в количестве 2,64 г/кг, 33,30% – при концентрации нефти 1,33 г/кг, 22,20% – при 0,63 г/кг и 13,90% – при 0,45 г/кг. Установлена сильная отрицательная корреляционная зависимость между энергией прорастания семян гороха ($r = -0,99$, $p = 0,001$) и

концентрацией нефтепродуктов в опытных вариантах дерново-карбонатной оподзоленной почвы. Наибольшее угнетение всхожести семян пшеницы по сравнению с контролем зарегистрировано также на 3 сутки и составляет 16,70% при концентрации нефтепродуктов 1,33 г/кг, 13,90% – при 0,63 г/кг и 5,60% – при 0,45 г/кг. На 7 сутки показатели всхожести семян тест-культур в нефтезагрязненных вариантах дерново-карбонатной оподзоленной почвы близки к контрольным значениям и варьируют в диапазоне от 97,20% до 100% для семян гороха и 91,70-100% для семян пшеницы.

Аналогичные результаты по всхожести семян тест-культур получены на загрязненных нефтепродуктами вариантах дерново-карбонатной выщелоченной почвы. Снижение энергии прорастания семян гороха по сравнению с контролем составляет 75,00% при содержании поллютанта в количестве 2,51 г/кг, 50,00% – при 1,22 г/кг, 44,40% – при 0,86 г/кг и 30,50% – при 0,47 г/кг. Семена пшеницы оказались менее чувствительным тест-объектом по сравнению с горохом, что проявляется в незначительном снижении энергии прорастания семян на 8,30% при концентрации нефтепродуктов в дерново-карбонатной выщелоченной почве, равной 0,86 г/кг, и 2,70% – при 2,51 г/кг. Начиная с 4 суток, всхожесть семян тест-культур на нефтезагрязненных вариантах дерново-карбонатной выщелоченной почвы начинает приближаться к контрольным значениям и на 7 сутки варьирует в диапазоне от 97,20% до 100% для семян гороха и 94,40-100% для семян пшеницы. Выявлена сильная отрицательная корреляционная зависимость между энергией прорастания семян гороха ($r = -0,95$, $p = 0,014$) и количеством нефтепродуктов в исследуемых вариантах дерново-карбонатной выщелоченной почвы, а также всхожестью семян гороха на 4 сутки ($r = -0,88$, $p = 0,049$) и содержанием поллютанта в данном типе почвы. Статистически достоверной корреляционной зависимости между степенью загрязнения нефтью дерново-карбонатной оподзоленной и выщелоченной почв в экспериментальных вариантах и всхожестью семян пшеницы не зафиксировано.

Значения дружности и скорости прорастания семян тест-культур на нефтезагрязненных вариантах дерново-карбонатной оподзоленной почвы согласуются с полученными результатами по всхожести семян. Наименьшие показатели дружности и скорости прорастания семян пшеницы отмечены на вариантах с содержанием поллютанта 0,63 г/кг и 1,33 г/кг (табл. 1). Результаты исследования указывают на угнетающее влияние нефтепродуктов в дерново-карбонатной оподзоленной почве в количестве 0,45 г/кг, 0,63 г/кг, 1,33 г/кг, 2,64 г/кг, при котором происходит снижение скорости прорастания семян гороха в 1,03, 1,05, 1,08 и 1,30 раза соответственно, а также дружности прорастания семян гороха на 3 сутки соответственно в 1,2, 1,3, 1,5 и 8,8 раза (табл. 1). Установлено достоверно значимое снижение

дружности прорастания семян гороха на 3 сутки ($r = -0,99$, $p = 0,001$) и скорости прорастания семян гороха за первые 7 суток ($r = -0,99$, $p = 0,001$) с увеличением содержания поллютанта в дерново-карбонатной оподзоленной почве.

Таблица 1– Дружность и скорость прорастания семян пшеницы и гороха при разных уровнях нефтезагрязнения дерново-карбонатной оподзоленной и выщелоченной почв

Тип почвы	НП, г/кг	Дружность прорастания, % в день		Скорость прорастания, число семян в день
		3	7	
		сутки	сутки	
Дерново-карбонатная оподзоленная	пшеница			
	<0,05	33,33	14,29	4,0
	0,45	31,47	14,29	3,9
	0,63	28,70	13,10	3,6
	1,33	27,77	13,10	3,6
	2,64	33,33	14,29	4,0
	горох			
	<0,05	32,40	14,29	3,9
	0,45	27,77	14,29	3,8
	0,63	25,00	13,89	3,7
	1,33	21,30	14,29	3,6
	2,64	3,70	14,29	3,1
Дерново-карбонатная выщелоченная	пшеница			
	<0,05	31,47	14,29	3,9
	0,47	31,47	13,49	3,8
	0,86	28,70	13,49	3,7
	1,22	32,40	14,29	4,0
	2,51	30,57	13,49	3,8
	горох			
	<0,05	31,47	14,29	3,9
	0,47	21,30	13,89	3,6
	0,86	16,67	14,29	3,5
	1,22	14,80	13,89	3,4
	2,51	6,47	13,89	3,1

Полученные данные по дружности и скорости прорастания семян тест-культур в исследуемых вариантах дерново-карбонатной выщелоченной почвы также отражают результаты по всхожести семян. Отрицательное влияние нефти на показатели прорастания семян пшеницы в наибольшей мере прослеживается при концентрациях поллютанта 0,86 г/кг и 2,51 г/кг, характеризующиеся наименьшими значениями дружности и скорости прорастания семян пшеницы (табл. 1). Выявлено, что присутствие в дерново-карбонатной выщелоченной почве нефтепродуктов в количестве 0,47 г/кг, 0,86 г/кг, 1,22 г/кг и 2,51 г/кг приводит к снижению скорости прорастания семян гороха в 1,08, 1,11, 1,15 и 1,26 раза соответственно, а также дружности прорастания семян гороха на 3 сутки соответственно в 1,5, 1,9, 2,1 и 4,9 раза (табл. 1). Статистически достоверно выявлено, что с повышением уровня нефтяного загрязнения дерново-карбонатной выщелоченной почвы наблюдается снижение дружности прорастания семян гороха на 3 сутки ($r = -0,95$, $p = 0,014$), а также

скорости прорастания семян гороха за первые 7 суток ($r = -0,97$, $p = 0,006$).

В целом, существуют противоречивые данные по влиянию нефти на прорастание семян растений. В ряде работ авторами показано, что нефть оказывала сильное отрицательное воздействие [12, 13, 14, 15]. В отдельных работах отмечено отсутствие воздействия нефтяного загрязнения на прорастание семян [16]. Интересен тот факт, что в полевых условиях негативное влияние нефтяного загрязнения почвы на прорастание семян растений выражено в большей степени [12, 17], чем в лабораторных [14, 15, 18]. Считается, что отрицательное влияние вызвано токсическими фракциями нефти, приобретением почвы гидрофобных свойств [12, 17], а также сорбцией углеводородов нефти на поверхности семян растений, препятствуя тем самым поступлению в них воды. По мнению А.В. Назарова [19], всхожесть семян растений в нефтезагрязненной почве определяется, прежде всего, доступностью для них воды и кислорода, а не токсичностью нефти.

В течение всего эксперимента на дерново-карбонатной оподзоленной и выщелоченной почвах в подавляющем большинстве вариантов наблюдали угнетение роста исследуемых видов тест-растений (рис 1).

Согласно t-критерию Стьюдента, содержание нефти в дерново-карбонатной оподзоленной почве в количестве 0,45 г/кг, 0,63 г/кг, 1,33 г/кг, 2,64 г/кг приводит к достоверно значимому снижению длины надземного побега пшеницы соответственно на 11,88%, 4,01%, 22,52%, 23,84% на 4 сутки, 9,99%, 14,69%, 15,67%, 15,88% на 5 сутки, 7,42%, 15,48%, 17,67%, 21,12% на 6 сутки, 8,10%, 21,38%, 16,63%, 20,74% на 7 сутки, 6,44%, 10,02%, 18,59%, 23,48% на 10 сутки, 7,21%, 8,33%, 19,98%, 28,75% на 14 сутки, 4,61%, 10,40%, 18,59%, 34,62% на 42 сутки. Проведенный корреляционный анализ позволил выявить сильную отрицательную зависимость между высотой побегов пшеницы на 10 сутки ($r = -0,95$, $p = 0,013$), 14 сутки ($r = -0,98$, $p = 0,003$), 42 сутки ($r = -0,99$, $p = 0,0001$) и концентрацией нефтепродуктов в исследуемых вариантах дерново-карбонатной оподзоленной почвы.

Помимо того установлено статистически достоверное снижение роста побегов гороха при содержании поллютанта в дерново-карбонатной оподзоленной почве в количестве 0,63 г/кг, 1,33 г/кг, 2,64 г/кг соответственно на 11,46%, 18,15%, 52,53% на 4 сутки, 10,8%, 14,36%, 41,25% на 5 сутки, 9,66%, 10,22%, 41,42% на 6 сутки, 8,84%, 8,97%, 36,92% на 7 сутки, 18,74%, 18,29%, 25,87% на 42 сутки, а также 7,20% и 20,00%, 7,54% и 9,20% на 14 и 42 сутки соответственно при концентрациях 0,63 г/кг и 2,64 г/кг.

При концентрации нефтепродуктов в дерново-карбонатной оподзоленной почве, равной 0,45 г/кг, выражено явление горемезиса: с конца первой недели и до завершения опыта длина про-

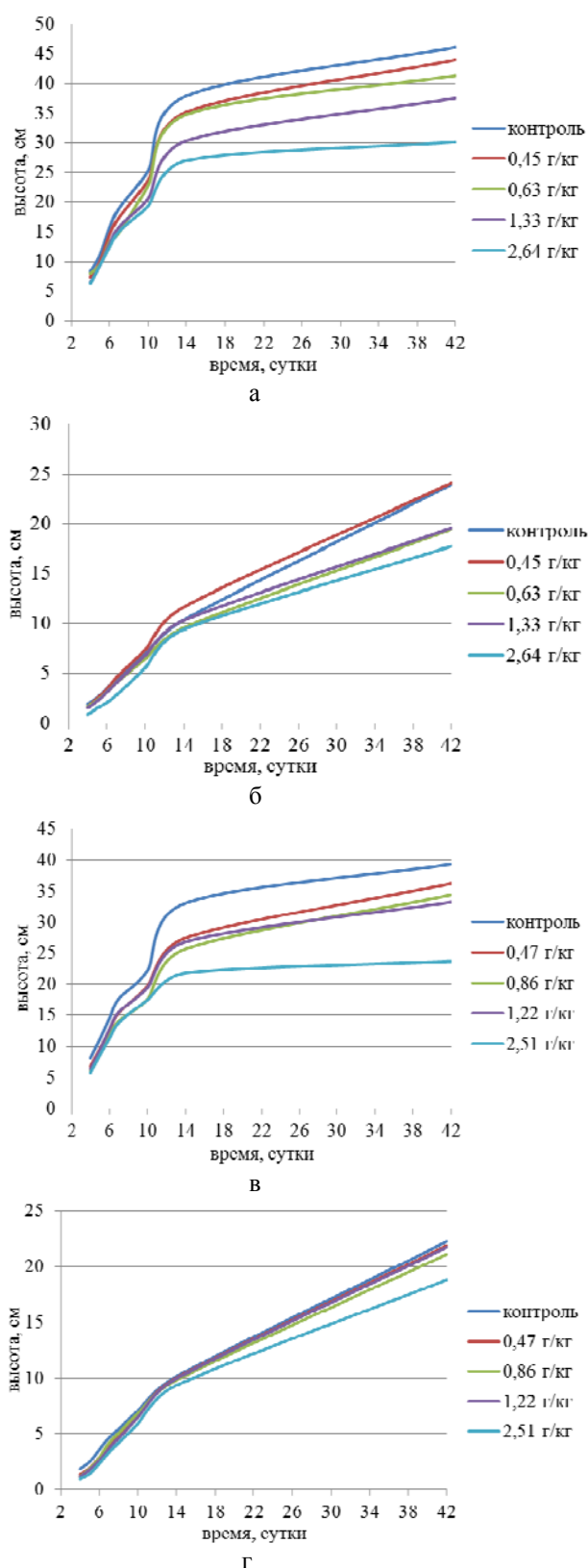


Рис. 1 – Динамика роста растений пшеницы (а, в) и гороха (б, г) на дерново-карбонатной оподзоленной (а, б) и выщелоченной (в, г) почвах при разных концентрациях нефтепродуктов

ростков гороха при данной концентрации превышает контрольный вариант на 0,59-12,5%. Стимулирующее действие на проростки семян вызвано, скорее всего, входящими в состав нефти

минеральными элементами. Обнаружена сильная отрицательная корреляционная зависимость между длиной побегов гороха на 4 сутки ($r = -0,97$, $p = 0,006$), 5 сутки ($r = -0,98$, $p = 0,003$), 6 сутки ($r = -0,96$, $p = 0,010$), 7 сутки ($r = -0,95$, $p = 0,015$) и степенью загрязнения нефтью дерново-карбонатной оподзоленной почвы.

В нефтезагрязненных вариантах дерново-карбонатной выщелоченной почвы также зарегистрировано ингибирование роста побегов тест-культур. В соответствии с t-критерием Стьюдента содержание нефти в количестве 0,47 г/кг, 0,86 г/кг, 1,22 г/кг, 2,51 г/кг вызывает значимое снижение линейного роста побегов пшеницы соответственно на 16,46%, 24,46%, 21,99%, 28,73% на 4 сутки, 14,02%, 21,30%, 15,50%, 22,81% на 5 сутки, 12,89%, 18,73%, 12,01%, 22,06% на 6 сутки, 13,13%, 20,68%, 12,47%, 22,23% на 7 сутки, 11,03%, 20,56%, 12,17%, 21,13% на 10 сутки, 17,10%, 22,42%, 18,99%, 34,06% на 14 сутки, а также 7,84%, 12,48%, 15,38%, 39,71% на 42 сутки. Выявлена сильная отрицательная корреляционная зависимость между длиной побегов пшеницы на 14 сутки ($r = -0,91$, $p = 0,035$), 42 сутки ($r = -0,99$, $p = 0,001$) и концентрацией нефтепродуктов в исследуемых вариантах дерново-карбонатной выщелоченной почвы.

Достоверно значимая задержка роста побегов гороха в присутствии нефти в количестве 0,47 г/кг, 0,86 г/кг, 1,22 г/кг, 2,51 г/кг в дерново-карбонатной выщелоченной почве составила соответственно 25,67%, 34,57%, 35,31%, 45,40% на 4 сутки, 22,73%, 24,50%, 28,60%, 42,35% на 5 сутки, 19,53%, 20,39%, 26,59%, 35,19% на 6 сутки, 14,14%, 10,17%, 20,58%, 27,74% на 7 сутки, а также 5,23%, 8,51%, 16,35% на 10 сутки при концентрации нефтепродуктов соответственно 0,47 г/кг, 1,22 г/кг, 2,51 г/кг, 3,14% и 7,82%, 5,10% и 15,37% на 14 и 42 сутки соответственно при концентрациях 0,86 г/кг и 2,51 г/кг. Зафиксирована сильная отрицательная корреляционная зависимость между высотой побегов гороха на 5 сутки ($r = -0,92$, $p = 0,029$), 6 сутки ($r = -0,90$, $p = 0,037$), 7 сутки ($r = -0,92$, $p = 0,029$), 10 сутки ($r = -0,97$, $p = 0,006$), 14 сутки ($r = -0,95$, $p = 0,012$), 42 сутки ($r = -0,93$, $p = 0,020$) и уровнем содержания нефти в дерново-карбонатной выщелоченной почве.

В литературных сводках имеются сведения о существенном снижении накопления биомассы растениями при загрязнении почв нефтью и нефтепродуктами от 0,07% и выше [20, 21, 22, 23]. При загрязнении почвы нефтью наряду со снижением надземной биомассы исследователи наблюдали и уменьшение высоты растений [20, 24, 25]. С другой стороны, показано, что снижение биомассы растений при углеводородном загрязнении не всегда сопровождается снижением их линейного роста [23].

Наши данные по биомассе растений пшеницы (табл. 2) свидетельствуют о достоверно значимом снижении массы проростков на 14 и 42 сутки при уровне нефтезагрязнения дерново-карбонатной оподзоленной почвы от 0,45 г/кг до

2,64 г/кг включительно и согласуются с полученными результатами по длине побегов.

Таблица 2 – Накопление биомассы (сырой и сухой) растениями пшеницы и гороха на дерново-карбонатной оподзоленной и выщелоченной почвах при разных уровнях нефтяного загрязнения

Тип почвы	НП, г/кг	Биомасса			
		сырая, г		сухая, г	
		14 день	42 день	14 день	42 день
Дерново-карбонатная оподзоленная	пшеница				
	<0,05	1,107	3,087	0,141	0,549
	0,45	1,117	2,990	0,130	0,438
	0,63	0,990	2,550	0,121	0,385
	1,33	0,800	1,840	0,098	0,292
	2,64	0,497	1,010	0,074	0,163
	горох				
	<0,05	2,610	6,797	0,269	0,933
	0,45	3,240	7,090	0,317	0,925
	0,63	2,847	6,345	0,280	0,776
	1,33	2,707	5,633	0,275	0,716
	2,64	2,073	4,640	0,227	0,586
Дерново-карбонатная выщелоченная	пшеница				
	<0,05	0,767	1,350	0,115	0,246
	0,47	0,700	1,430	0,101	0,232
	0,86	0,617	1,353	0,090	0,212
	1,22	0,617	1,210	0,086	0,189
	2,51	0,487	0,890	0,064	0,127
	горох				
	<0,05	2,837	6,070	0,293	0,801
	0,47	2,603	6,110	0,257	0,763
	0,86	2,557	5,583	0,254	0,671
	1,22	2,563	6,027	0,256	0,736
	2,51	2,297	4,557	0,223	0,548

Установлена сильная отрицательная корреляционная зависимость между сухой биомассой надземной части пшеницы на 14 сутки ($r = -0,98$, $p = 0,002$), 42 сутки ($r = -0,97$, $p = 0,005$), а также сырой биомассой пшеницы на 14 сутки ($r = -0,98$, $p = 0,002$), 42 сутки ($r = -0,98$, $p = 0,003$) и концентрацией нефтепродуктов в исследуемых вариантах дерново-карбонатной оподзоленной почвы. Полученные результаты по сухой биомассе (табл. 2) послужили основой для выведения уравнения линейной регрессии, позволяющего рассчитать предельную концентрацию нефтепродуктов в почве (x), не проявляющую фитотоксическое действие на пшеницу (снижение урожайности сухой биомассы не превышает 20%), и определить концентрацию нефтепродуктов, снижающую урожайность пшеницы на 50% (ДК₅₀). Уравнение линейной регрессии на 14 сутки имеет вид: $y = -0,0258x + 0,1388$ ($R^2 = 0,9764$), на 42 сутки: $y = -0,1385x + 0,5053$ ($R^2 = 0,9485$). Рассчитанное по результатам хронического лабораторного вегетационного опыта значение концентрации

нефтепродуктов в дерново-карбонатной оподзоленной почве, не проявляющей фитотоксическое действие (ДК₂₀) на пшеницу, составило 1,01 г/кг на 14 сутки и 0,48 г/кг на 42 сутки, ДК₅₀ при этом равно 2,65 г/кг и 1,67 г/кг соответственно.

Согласно нашим данным, по рассматриваемому параметру горох оказался менее чувствительным тест-объектом по сравнению с пшеницей: достоверно значимое снижение сухой и сырой биомассы проростков гороха отмечено на 14 сутки при содержании нефти 2,64 г/кг, а также на 42 сутки при уровне нефтезагрязнения дерново-карбонатной оподзоленной почвы в диапазоне от 0,63 г/кг до 2,64 г/кг (табл. 2). При концентрации нефтепродуктов 0,45 г/кг у проростков гороха отмечен прирост биомассы по сравнению с контрольными вариантами, что согласуется с результатами по линейному росту растений и обусловлено явлением гормезиса. Выявлена сильная отрицательная корреляционная зависимость между сухой биомассой надземной части гороха ($r = -0,95$, $p = 0,015$) и сырой биомассой гороха ($r = -0,96$, $p = 0,010$) на 42 сутки и уровнем содержания нефтепродуктов в почве.

В соответствии с уравнением регрессии, имеющим вид $y = -0,023x + 0,2969$ ($R^2 = 0,5457$) на 14 сутки и $y = -0,1347x + 0,9233$ ($R^2 = 0,8952$) на 42 сутки, концентрация нефтепродуктов в дерново-карбонатной оподзоленной почве, не оказывающая фитотоксическое действие (ДК₂₀) на горох, составляет 3,55 г/кг на 14 сутки и 1,31 г/кг на 42 сутки, ДК₅₀ принимает значения 7,06 г/кг и 3,39 г/кг соответственно. Данные предельные концентрации нефти, рассчитанные для дерново-карбонатной оподзоленной почвы, выше аналогичных, определенных на основе опытных значений биомассы пшеницы.

Учитывая результаты по двум тест-культурам, максимальная концентрация нефтепродуктов в исследуемой дерново-карбонатной почве, не оказывающая фитотоксическое действие (ДК₂₀) на высшие растения, равна 0,48 г/кг (ориентировочно 0,5 г/кг). Концентрация нефтепродуктов, приводящая к 50% снижению урожайности (ДК₅₀) культурных растений составляет 1,67 г/кг (ориентировочно 1,7 г/кг).

Ингибирующее влияние нефтезагрязнения дерново-карбонатной выщелоченной почвы на накопление биомассы тест-культурами проявляется на 14 сутки, начиная с концентрации поллютанта, составляющей 0,47 г/кг (табл. 2). Наибольшее статистически значимое снижение сырой биомассы пшеницы на 42 сутки зафиксировано в вариантах с содержанием нефтепродуктов 1,22 г/кг и 2,51 г/кг, при этом накопление сухой биомассы растений подавляется при концентрации нефти в дерново-карбонатной выщелоченной почве в пределах от 0,47 г/кг до 2,51 г/кг. Максимальное статистически значимое снижение сырой и сухой биомассы гороха отмечено при концентрации поллютанта 0,86 г/кг и

2,51 г/кг, что согласуется с полученными данными по длине растений.

Обнаружена сильная отрицательная корреляционная зависимость между сырой биомассой пшеницы на 14 сутки ($r = -0,98$, $p = 0,004$), 42 сутки ($r = -0,93$, $p = 0,021$), сухой биомассой пшеницы на 14 сутки ($r = -0,99$, $p = 0,002$), 42 сутки ($r = -0,99$, $p = 0,0001$) и степенью загрязнения дерново-карбонатной выщелоченной почвы нефтью.

Полученное по результатам хронического лабораторного вегетационного опыта уравнение линейной регрессии на 14 сутки имеет вид: $y = -0,0196x + 0,111$ ($R^2 = 0,9722$), на 42 сутки: $y = -0,0489x + 0,2507$ ($R^2 = 0,9935$). Рассчитанное по уравнению значение концентрации нефтепродуктов в дерново-карбонатной выщелоченной почве, не проявляющей фитотоксическое действие (ДК₂₀) на пшеницу, равно 0,97 г/кг на 14 сутки и 1,10 г/кг на 42 сутки, ДК₅₀ при этом составило 2,73 г/кг и 2,61 г/кг соответственно.

Статистически достоверно установлено, что с повышением содержания нефтепродуктов в дерново-карбонатной выщелоченной почве происходит снижение интенсивности прироста биомассы гороха на 14 сутки ($r = -0,95$, $p = 0,012$ – для значений сырой биомассы; $r = -0,92$, $p = 0,026$ – для значений сухой биомассы) и 42 сутки ($r = -0,89$, $p = 0,044$ – для значений сырой биомассы; $r = -0,93$, $p = 0,021$ – для значений сухой биомассы).

Согласно уравнению регрессии, имеющему вид $y = -0,024x + 0,2809$ ($R^2 = 0,8499$) на 14 сутки и $y = -0,0971x + 0,802$ ($R^2 = 0,8689$) на 42 сутки, концентрация нефтепродуктов в дерново-карбонатной выщелоченной почве, не оказывающая фитотоксическое действие (ДК₂₀) на горох, составляет 1,93 г/кг на 14 сутки и 1,66 г/кг на 42 сутки, ДК₅₀ соответственно имеет значения 5,60 г/кг и 4,13 г/кг.

Принимая во внимание полученные результаты по двум тест-культурам, максимальная концентрация нефтепродуктов в исследуемой дерново-карбонатной выщелоченной почве, не оказывающая фитотоксическое действие (ДК₂₀) на высшие растения, равна 1,10 г/кг (ориентировочно 1,1 г/кг). Концентрация нефтепродуктов, приводящая к 50% снижению урожайности (ДК₅₀) культурных растений составляет 2,61 г/кг (ориентировочно 2,6 г/кг).

Проведенные исследования влияния различного уровня нефтезагрязнения исследуемых типов почв на показатели прорастания и интенсивности роста семян пшеницы и гороха указывают на видоспецифичность данных тест-культур.

Выводы

Таким образом, результаты хронического лабораторного вегетационного опыта по оценке фитотоксичности дерново-карбонатной оподзоленной и выщелоченной почв сельскохозяйственного назначения, характерных для Закарья Республики Татарстан, свидетельствуют о преимущественном угнетении

энергии прорастания, дружности и скорости прорастания семян гороха, а также ингибирования и существенном снижении длины надземных побегов и биомассы проростков пшеницы и гороха при нефтяном загрязнении данных почв.

Установлено, что концентрация нефтепродуктов в дерново-карбонатной оподзоленной почве, не оказывающая фитотоксическое действие (ДК₂₀) на высшие растения, равна 0,5 г/кг. Концентрация нефтепродуктов, приводящая к 50% снижению урожайности (ДК₅₀) культурных растений составляет 1,7 г/кг.

Выявлено, что концентрация нефтепродуктов в дерново-карбонатной выщелоченной почве, не оказывающая фитотоксическое действие (ДК₂₀) на высшие растения, равна 1,1 г/кг. Концентрация нефтепродуктов, приводящая к 50% снижению урожайности (ДК₅₀) культурных растений составляет 2,6 г/кг.

Литература

1. Н.А. Красильников, *Микроорганизмы почвы и высшие растения*. АН СССР, Москва, 1958. 462 с.
2. Т.А. Работнов, *Фитоценология*. МГУ, Москва, 1978. 383 с.
3. Д.Г. Звягинцев, Т.Г. Добровольская, Л.В. Лысак, *Журнал общей биологии*, 54, 2, 183-199 (1993).
4. В.И. Титова, Е.В. Дабахова, М.В. Дабахов, *Рекомендации по оценке экологического состояния почв как компонента окружающей среды*. ВВАГС, Н. Новгород, 2004. 68 с.
5. Н.А. Киреева, М.Д. Бакаева, Е.М. Тарасенко, Н.Ф. Галимзянова, *Агрохимия*, 2, 50-55 (2003).
6. Н.А. Киреева, Г.Г. Кузяхметов, А.М. Мифтахова, В.В. Водопьянов, *Фитотоксичность антропогенно-загрязненных почв*. Гилем, Уфа, 2003. 266 с.
7. О.В. Лисовицкая, В.А. Терехова, *Доклады по экологическому почвоведению*, 13, 1, 1-18 (2010).
8. Т.Г. Кольцова, Л.М. Сунгатуллина, Б.Р. Григорьян, А.М. Петров, *Вестник Казанского технологического университета*, 17, 15, 261-268 (2014).
9. ГОСТ Р ИСО 22030-2009. «*Качество почвы. Биологические методы. Хроническая фитотоксичность в отношении высших растений*»
10. ПНД Ф 16.1:2.2.22-98 «МВИ Массовой доли нефтепродуктов в минеральных, органо-генных, органо-минеральных почвах и донных отложениях методом ИК-спектроскопии»
11. К.Ш. Казеев, С.И. Колесников, В.Ф. Вальков, *Биологическая диагностика и индикация почв: методология и методы исследований*. РГУ, Ростов н/Д, 2003. 216 с.
12. И.И. Шилова, В. сб. *Восстановление нефтезагрязненных почвенных экосистем*. Наука, Москва, 1988. С. 159-168.
13. В.Н. Петухов, В.М. Фомченков, В.А. Чугунов, В.П. Холоденко, *Прикладная биохимия и микробиология*, 36, 6, 652-655 (2000).
14. Н.А. Киреева, А.М. Мифтахова, Г.Г. Кузяхметов, *Вестник Башкирского университета*, 1, 32-34 (2001).
15. М.В. Аниськина. Автореф. дисс. канд. биол. наук, Институт биологии Коми НЦ УрО РАН, Сыктывкар, 2006. 20 с.
16. D.W. Blankenship, R.A. Larson, *Water, Air and Soil Pollut.*, 10, 4, 471-472 (1978).
17. В.М. Невзоров, *Известия вузов. Лесной журнал*, 2, 164-165 (1976).
18. Э.Н. Халимов, С.В. Левин, В.С. Гузеев, *Вестник МГУ*, Сер. 17, 2, 59-64 (1996).
19. Пат. РФ №2225086 С1. (2004).
20. Н.А. Киреева, А.М. Мифтахова, Г.М. Салахова, *Агрохимия*, 1, 85-90 (2006).
21. Н.Л. Ларионова. Автореф. дисс. канд. биол. наук, Казан. гос. ун-т, Казань, 2005. 22 с.
22. K.-H. Baek, H.-S. Kim, H.-M. Oh, B.-D. Yoon, J. Kim, I.-S. Lee, *J. Environ. Sci. Health - Part A Tox. Hazard. Subst. Environ. Eng.*, 39, 9, 2465-2472 (2004).
23. E. Kaimi, T. Mukaidani, M. Tamaki, *Plant Prod. Sci.*, 10, 2, 211-218 (2007).
24. E. Dominguez-Rosado, J. Pichtel, *Environ. Eng. Sci.*, 21, 2, 169-180 (2004).
25. R. Brandt, N. Merkl, R. Schultze-Kraft, C. Infante, G. Broll, *Int. J. Phytoremediation*, 8, 4, 273-284 (2006).

© Т. Г. Кольцова - к.б.н., ст. науч. сотр. лаб. экологии почв ГНБУ «Академия наук РТ» Института проблем экологии и недропользования АН РТ, t@shmain.ru; Л. М. Сунгатуллина - ст. науч. сотр. той же лаборатории, sunlyc@yandex.ru; Б. Р. Григорьян - к.б.н., зав. лаб. экологии почв ГНБУ «Академия наук РТ» Института проблем экологии и недропользования АН РТ, bobgrig007@gmail.com; В. Н. Башкиров - д.т.н., проф., зав. каф. химической технологии древесины КНИТУ, vlad_bashkirov@mail.ru.

© T. G. Koltsova, Ph.D. in Biology, Senior Researcher, Laboratory of Soil Ecology of Research Institute for Problems of Ecology and Mineral Wealth Use of Tatarstan Academy of Sciences, t@shmain.ru; L. M. Sungatullina, Senior Researcher, Laboratory of Soil Ecology of Research Institute for Problems of Ecology and Mineral Wealth Use of Tatarstan Academy of Sciences, sunlyc@yandex.ru; B. R. Grigoryan, Ph.D. in Biology, Head of Laboratory of Soil Ecology of Research Institute for Problems of Ecology and Mineral Wealth Use of Tatarstan Academy of Sciences, bobgrig007@gmail.com; V. N. Bashkirov, Ph.D. in Technics, Full Professor, Head of the Department of Wood Chemical Technology of KNRTU, vlad_bashkirov@mail.ru.