

Т. Г. Кольцова, Л. М. Сунгатуллина, Б. Р. Григорьян,
А. М. Петров

ОЦЕНКА ФИТОТОКСИЧНОСТИ ЧЕРНОЗЕМНЫХ ПОЧВ В УСЛОВИЯХ НЕФТЯНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ

Ключевые слова: нефтяное загрязнение, чернозем типичный, чернозем оподзоленный, фитотоксичность.

В лабораторных опытах изучено влияние различных концентраций нефтепродуктов в черноземе типичном и черноземе оподзоленном 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: mineral oil pollution, typical chernozem, podzolized chernozem, phytotoxicity

In laboratory experiments it was studied the influence of different concentrations of mineral oil in a typical chernozem and podzolized chernozem 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].

Цель данной работы заключается в оценке фитотоксичности типичного и оподзоленного черноземов сельскохозяйственного назначения, характерных для Закамья Республики Татарстан, при разных концентрациях нефтяного загрязнения.

Экспериментальная часть

Лабораторно-вегетационные опыты по определению фитопродуктивности проводились в со-

ответствии с ГОСТ Р ИСО 22030-2009 [8]. 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 нефти почв. В качестве контроля также использовали незагрязненную нефтью почву (<0,05 г/кг нефти). В экспериментах с черноземом типичным испытываемые образцы почв содержали 1,08 г/кг, 3,29 г/кг, 5,19 г/кг, 8,62 г/кг нефтепродуктов (НП), с черноземом оподзоленным – 2,19 г/кг, 2,51 г/кг, 4,28 г/кг, 6,49 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 [9].

Пахотный горизонт контрольного варианта чернозема типичного сильногумусирован (содержание гумуса – 10,7%, по Тюрину), характеризуется тяжелосуглинистым гранулометрическим составом, слабощелочной реакцией среды (значение актуальной кислотности – 8,06; обменной – 7,35), низкой обеспеченностью подвижным фосфором (3,9 мг/100 г, по Чирикову) и повышенной – обменным калием (10,4 мг/100 г, по Чирикову), содержание общего азота составило 0,225%, органического углерода – 5,7%. Параметры испытываемых нефтезагрязненных

вариантов чернозема типичного варьируют в следующих пределах: гранулометрический состав – от тяжелосуглинистого до легкогоглинистого, степень кислотности – в узком диапазоне слабощелочных значений (от 7,88 до 7,98), содержание подвижного фосфора – низкое (от 3,8 до 4,5 мг/100 г), обменного калия – повышенное (от 10,4 до 11,6 мг/100 г), общего азота – от 0,239 до 0,275%, органического углерода – от 5,5 до 5,7%.

Пахотный горизонт контрольного варианта чернозема оподзоленного слабогумусирован (содержание гумуса – 6,1%), характеризуется легкоглинистым гранулометрическим составом, слабокислотной реакцией среды (значение актуальной кислотности – 6,17; обменной – 5,47), средней обеспеченностью подвижным фосфором (6,2 мг/100 г) и повышенной – обменным калием (11,5 мг/100 г), содержание общего азота составило 0,176%, органического углерода – 3,2%. Параметры испытываемых нефтезагрязненных вариантов чернозема оподзоленного варьируют в следующих пределах: гранулометрический состав – от тяжелосуглинистого до легкогоглинистого, степень кислотности – в узком диапазоне нейтральных значений (от 6,75 до 7,29), содержание подвижного фосфора – среднее (от 5,5 до 6,5 мг/100 г), обменного калия – от повышенных до высоких значений (11,9-14,3 мг/100 г), общего азота – от 0,132 до 0,196%, органического углерода – от 3,1 до 5,4%.

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 испытываемой 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 надземно-

го побега) [10]. 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 пшеницы и гороха на черноземе типичном при концентрациях нефтепродуктов 3,29 г/кг, 5,19 г/кг, 8,62 г/кг (рис. 1). Установлена сильная отрицательная корреляционная зависимость между всхожестью семян пшеницы на 4 сутки (r = -0,99, p=0,001), 5 сутки (r= -0,89, p=0,042), 6 сутки (r = -0,89, p=0,038), 7 сутки (r = -0,90, p=0,035) и содержанием нефтепродуктов в почве, а также всхожестью семян гороха на 4 сутки (r = -0,95, p=0,013), 5 сутки (r = -0,96, p=0,010), 6 сутки (r= -0,92, p=0,027), 7 сутки (r= -0,88, p=0,048) и концентрацией нефтепродуктов в исследуемых вариантах чернозема типичного. Между тем статистически достоверной корреляционной зависимости между степенью загрязнения нефтью чернозема типичного и энергией прорастания семян тест-культур не зафиксировано. Данный факт, предположительно, связан с выраженным явлением гормезиса, отмеченным при концентрации нефтепродуктов 1,08 г/кг: энергия прорастания пшеницы при данной концентрации превышает контрольный вариант на 5,56%, гороха – на 13,89%. Стимулирующее действие на прорастание семян вызвано, скорее всего, входящими в состав нефти минеральными элементами. Аналогичные результаты получены Т.С. Бородулиной и В.И. Полонским при исследовании влияния нефтезагрязнения почвы на прорастание семян пшеницы и салата [11]. Существенное снижение энергии прорастания тест-культур по сравнению с контролем выявлено в вариантах с содержанием

нефти 3,29 г/кг (пшеницы – на 55,55%, гороха – на 72,22%), 5,19 г/кг (пшеницы – на 63,88%, гороха – на 77,78%), 8,62 г/кг (пшеницы – на 72,22%, гороха – на 83,33%).

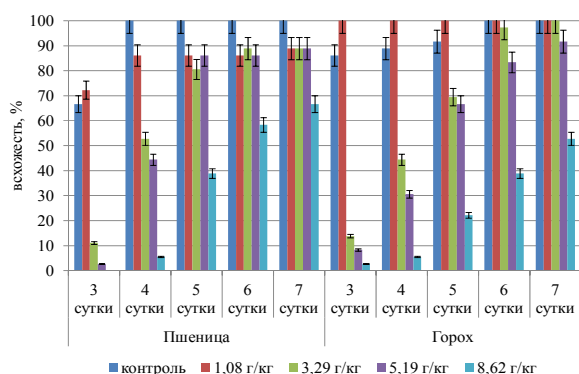


Рис. 1 – Всхожесть семян пшеницы и гороха на черноземе типичном при различном содержании нефтепродуктов

Начиная с 5 суток, всхожесть семян тест-культур на черноземе типичном в нефтезагрязненных вариантах с концентрациями 3,29 г/кг и 5,19 г/кг начинает приближаться к контрольным значениям (рис. 1), не достигая их на 7 сутки во втором случае. Наибольшее негативное воздействие на всхожесть семян пшеницы и гороха оказывает концентрация поллютанта 8,62 г/кг, при которой всхожесть семян пшеницы на 7 сутки не превышает 66,67%, гороха – 52,78% на фоне 100% всхожести в контрольных вариантах.

Токсическое влияние нефтяного загрязнения на всхожесть семян тест-культур на черноземе оподзоленном регистрируется с концентрации 2,19 г/кг, и особенно негативно выражено на всхожести семян гороха (рис. 2). Значительное снижение всхожести семян гороха в нефтезагрязненных вариантах по сравнению с контролем отмечается на 4 сутки и составляет 38,89% при содержании поллютанта 2,19 г/кг, 27,78% – при концентрации 2,51 г/кг, 30,55% – при 4,28 г/кг и 61,11% – при 6,49 г/кг, достигая на 7 сутки значений 41,67%, 36,12%, 25,00% и 22,23% соответственно. Наибольшее угнетение всхожести семян пшеницы по сравнению с контролем зарегистрировано на 3 сутки и составляет 52,77% при концентрации нефтепродуктов 2,19 г/кг, 47,22% – при 2,51 г/кг, 69,44% – при 4,28 г/кг и 86,11% – при 6,49 г/кг. На 7 сутки показатели всхожести семян пшеницы в нефтезагрязненных вариантах близки к контрольным значениям (97,22%) и варьируют в диапазоне от 72,22% (при концентрации 6,49 г/кг) до 80,56% (при концентрации 2,19 г/кг) (рис. 2).

Выявлена сильная отрицательная корреляционная зависимость между энергией прорастания семян пшеницы ($r = -0,95$, $p=0,013$) и количеством нефтепродуктов в исследуемых вариантах чернозема оподзоленного, а также энергией прорастания семян гороха ($r = -0,88$, $p=0,049$) и содержанием поллютанта в почве. Вследствие неравномерности всходов семян тест-культур на нефтезагрязненных

вариантах, отчетливой закономерности в снижении всхожести семян по мере возрастания концентрации нефтепродуктов в черноземе оподзоленном не прослеживается. Тем не менее, зафиксирована сильная отрицательная корреляционная зависимость между всхожестью семян пшеницы на 4 сутки ($r = -0,97$, $p=0,007$), 5 сутки ($r = -0,89$, $p=0,039$), 7 сутки ($r = -0,92$, $p=0,029$) и количеством нефтепродуктов в почве, а кроме того, всхожестью семян гороха на 4 сутки ($r = -0,89$, $p=0,038$) и концентрацией поллютанта в опытных вариантах чернозема оподзоленного.

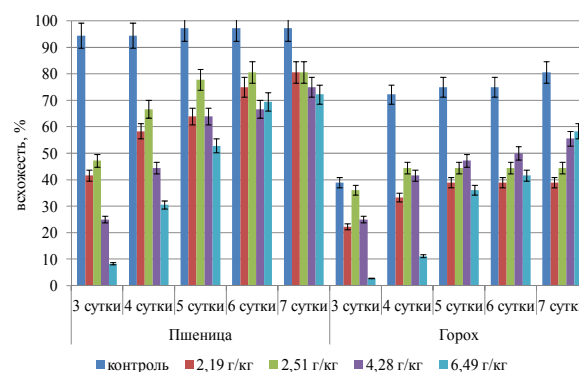


Рис. 2 – Всхожесть семян пшеницы и гороха на черноземе оподзоленном при различном содержании нефтепродуктов

Значения дружности и скорости прорастания семян тест-культур на нефтезагрязненных вариантах чернозема типичного согласуются с полученными результатами по всхожести семян и указывают на угнетающее воздействие нефтепродуктов в почве в количестве 3,29 г/кг, 5,19 г/кг, 8,62 г/кг, при котором происходит снижение скорости прорастания семян пшеницы в 1,45; 1,52 и 2,45 раза соответственно, гороха – в 1,34; 1,53 и 3,07 раза соответственно (табл. 1). Обнаружена сильная отрицательная корреляционная зависимость между скоростью прорастания семян пшеницы ($r = -0,99$, $p=0,002$), гороха ($r = -0,97$, $p=0,007$) за первые 7 суток и концентрацией нефтепродуктов в почве. Кроме того, установлено достоверно значимое снижение дружности прорастания семян пшеницы на 7 сутки ($r = -0,90$, $p=0,035$) с увеличением содержания поллютанта в черноземе типичном.

Полученные данные по дружности прорастания семян тест-культур в исследуемых вариантах чернозема оподзоленного также отражают результаты по всхожести семян. Отрицательное влияние нефти на показатели прорастания опытных семян прослеживается с концентрации 2,19 г/кг (табл. 1). Наименьшие показатели дружности и скорости прорастания семян пшеницы отмечены на вариантах с содержанием поллютанта 4,28 г/кг и 6,49 г/кг. Данные по показателям прорастания семян гороха в нефтезагрязненных вариантах варьируют: максимальное снижение дружности прорастания семян на 3 сутки зафиксировано при концентрации 6,49 г/кг, на 7 сутки – при 2,19 г/кг и 2,51 г/кг, наименьшая скорость прорастания семян зарегистрирована при

содержании поллютанта 2,19 г/кг и 6,49 г/кг. Статистически достоверно выявлено, что с повышением уровня нефтяного загрязнения наблюдается снижение дружности прорастания семян пшеницы на 3 сутки ($r = -0,95$, $p = 0,013$), 7 сутки ($r = -0,92$, $p = 0,029$), скорости прорастания семян пшеницы ($r = -0,94$, $p = 0,016$), а также дружности прорастания семян гороха на 3 сутки ($r = -0,88$, $p = 0,049$).

Таблица 1 – Дружность и скорость прорастания семян пшеницы и гороха при разных уровнях нефтезагрязнения чернозема типичного и оподзоленного

Тип поч- вы	НП, г/кг	Дружность прорастания, % в день		Скорость прораста- ния, число семян в день
		3 сутки	7 сутки	
Чернозем типичный	пшеница			
	<0,05	22,22	14,29	3,67
	1,08	24,07	12,70	3,35
	3,29	3,70	12,70	2,53
	5,19	0,93	12,70	2,41
	8,62	0	9,52	1,5
	горох			
	<0,05	28,70	13,10	3,59
	1,08	33,33	14,29	4,00
	3,29	4,63	14,29	2,68
Чернозем оподзоленный	5,19	2,78	13,10	2,34
	8,62	0,93	7,54	1,17
	пшеница			
	<0,05	31,48	13,89	3,84
	2,19	13,89	11,51	2,62
	2,51	15,74	11,51	2,79
	4,28	8,33	10,71	2,25
	6,49	2,78	10,32	1,91
	горох			
	<0,05	12,96	11,51	2,72
2,19	7,41	5,56	1,36	
2,51	12,04	6,35	1,69	
4,28	8,33	7,94	1,78	
6,49	0,93	8,33	1,36	

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 черноземе типичном и оподзоленном в подавляющем большинстве вариантов наблюдали угнетение роста исследуемых видов тест-растений (рис 3).

Согласно t-критерию Стьюдента, содержание нефти в черноземе типичном в количестве 3,29 г/кг, 5,19 г/кг, 8,62 г/кг приводит к достоверно зна-

чимому снижению длины надземного побега пшеницы соответственно на 72,06%, 86,81%, 99,44% на

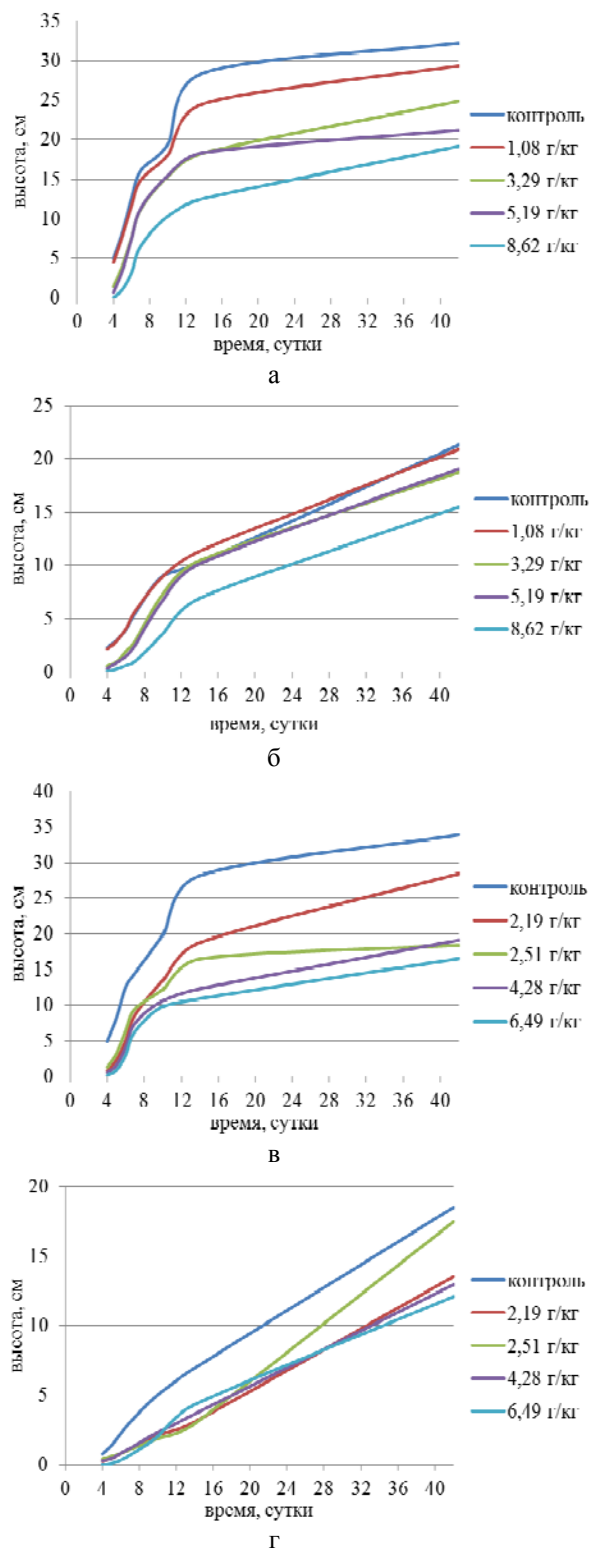


Рис. 3 – Динамика роста растений пшеницы (а, в) и гороха (б, г) на черноземе типичном (а, б) и оподзоленном (в, г) при разных концентрациях нефтепродуктов

4 сутки, 50,79%, 57,88%, 87,19% на 5 сутки, 39,35%, 40,38%, 74,47% на 6 сутки, 30,28%, 29,62%, 59,17% на 7 сутки, 20,97%, 20,46%, 46,81% на 10 сутки, 35,53%, 35,37%, 55,88% на 14 сутки, 22,84%,

34,24%, 40,44% на 42 сутки. Проведенный корреляционный анализ позволил выявить сильную отрицательную зависимость между высотой побегов пшеницы на 4 сутки ($r = -0,93$, $p = 0,023$), 5 сутки ($r = -0,97$, $p = 0,005$), 6 сутки ($r = -0,98$, $p = 0,003$), 7 сутки ($r = -0,98$, $p = 0,004$), 10 суток ($r = -0,98$, $p = 0,005$), 14 сутки ($r = -0,96$, $p = 0,009$), 42 сутки ($r = -0,96$, $p = 0,008$) и концентрацией нефтепродуктов в исследуемых вариантах чернозема типичного.

Помимо этого, установлено статистически достоверное снижение роста побегов гороха при содержании поллютанта в черноземе типичном 3,29 г/кг, 5,19 г/кг, 8,62 г/кг соответственно на 75,15%, 86,67%, 97,12% на 4 сутки, 66,94%, 69,71%, 90,58% на 5 сутки, 49,94%, 62,02%, 84,51% на 6 сутки, 47,01%, 53,64%, 81,37% на 7 сутки, 18,94%, 25,17%, 60,44% на 10 сутки, а также 32,43% и 27,22% на 14 и 42 сутки соответственно при концентрации 8,62 г/кг. Обнаружена сильная отрицательная корреляционная зависимость между длиной побегов гороха на 4 сутки ($r = -0,91$, $p = 0,033$), 5 сутки ($r = -0,92$, $p = 0,026$), 6 сутки ($r = -0,96$, $p = 0,011$), 7 сутки ($r = -0,96$, $p = 0,010$), 10 суток ($r = -0,97$, $p = 0,008$), 42 сутки ($r = -0,96$, $p = 0,008$) и степенью загрязнения нефтью почвы.

В нефтезагрязненных вариантах чернозема оподзоленного также зарегистрировано ингибирование роста побегов тест-культур. В соответствии с t -критерием Стьюдента содержание нефти в количестве 2,19 г/кг, 2,51 г/кг, 4,28 г/кг, 6,49 г/кг вызывает значимое снижение линейного роста побегов пшеницы соответственно на 83,75%, 73,97%, 88,81%, 96,46% на 4 сутки, 71,63%, 60,90%, 80,70%, 89,03% на 5 сутки, 60,02%, 48,72%, 67,43%, 76,15% на 6 сутки, 40,74%, 34,69%, 48,57%, 56,48% на 7 сутки, 32,21%, 38,59%, 46,49%, 50,55% на 10 сутки, 33,36%, 41,54%, 56,37%, 61,29% на 14 сутки, а также 45,65%, 43,58%, 51,23% на 42 сутки в последних трех вариантах.

Достоверно значимая задержка роста побегов гороха в присутствии нефти в количестве 2,19 г/кг, 4,28 г/кг, 6,49 г/кг в черноземе оподзоленном составила соответственно 65,03%, 62,07%, 98,26% на 4 сутки, 67,15%, 67,44%, 93,02% на 5 сутки, 62,59%, 62,16%, 84,39% на 6 сутки, 61,99%, 60,56%, 76,73% на 7 сутки, 57,12%, 53,55%, 59,26% на 10 сутки, 55,49%, 47,42%, 37,74% на 14 сутки, 26,92%, 30,00%, 34,65% на 42 сутки и 62,89%, 63,34%, 62,23%, 57,48% – на 6, 7, 10, 14 сутки соответственно при концентрации нефти 2,51 г/кг.

Зафиксирована сильная отрицательная корреляционная зависимость между высотой побегов пшеницы на 7 сутки ($r = -0,91$, $p = 0,033$), 10 суток ($r = -0,96$, $p = 0,010$), 14 суток ($r = -0,93$, $p = 0,023$), высотой побегов гороха на 4 сутки ($r = -0,92$, $p = 0,025$), 5 сутки ($r = -0,90$, $p = 0,037$) и уровнем содержания нефти в черноземе оподзоленном.

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 сырой и сухой массы проростков на 14 и 42 сутки при уровне нефтезагрязнения чернозема типичного от 3,29 г/кг до 8,62 г/кг включительно и согласуются с полученными результатами по длине побегов и показателям прорастания семян. Установлена сильная отрицательная корреляционная зависимость между сухой биомассой надземной части пшеницы на 14 сутки ($r = -0,92$, $p = 0,026$), 42 сутки ($r = -0,96$, $p = 0,010$), а также сырой биомассой пшеницы на 42 сутки ($r = -0,96$, $p = 0,010$) и концентрацией нефтепродуктов в исследуемых вариантах чернозема типичного. Полученные результаты по 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% ($ДК_{50}$). Уравнение линейной регрессии на 14 сутки имеет вид: $y = -0,0032x + 0,0766$ ($R^2 = 0,8499$), на 42 сутки: $y = -0,0122x + 0,2019$ ($R^2 = 0,9218$). Рассчитанное по результатам хронического лабораторного вегетационного опыта значение концентрации нефтепродуктов в черноземе типичном, не проявляющей фитотоксическое действие ($ДК_{20}$) на пшеницу, составило 5,68 г/кг на 14 сутки и 2,71 г/кг на 42 сутки, $ДК_{50}$ при этом равно 12,53 г/кг и 7,90 г/кг соответственно.

Согласно нашим данным, по рассматриваемому параметру горох оказался менее чувствительным тест-объектом по сравнению с пшеницей: достоверно значимое снижение сухой биомассы проростков гороха отмечено на 14 сутки при содержании нефти 8,62 г/кг, а также на 42 сутки при уровне нефтезагрязнения чернозема типичного в диапазоне от 3,29 г/кг до 8,62 г/кг (табл. 2). Выявлена сильная отрицательная корреляционная зависимость между сухой биомассой надземной части гороха на 42 сутки ($r = -0,90$, $p = 0,037$) и уровнем содержания нефтепродуктов в почве. В соответствии с уравнением регрессии, имеющим вид $y = -0,0102x + 0,3683$ ($R^2 = 0,7631$) на 14 сутки и $y = -0,0239x + 0,6133$ ($R^2 = 0,8120$) на 42 сутки, концентрация нефтепродуктов в черноземе типичном, не оказывающая фитотоксическое действие ($ДК_{20}$) на горох, составляет 8,58 г/кг на 14 сутки и 5,64 г/кг на 42 сутки, $ДК_{50}$ принимает значения 18,90 г/кг и 13,15 г/кг соответственно. Данные предельные концентрации нефти, рассчитанные для чернозема типичного, выше аналогичных, определенных на основе опытных значений биомассы пшеницы.

Учитывая результаты по двум тест-культурам, максимальная концентрация нефтепродуктов в исследуемом черноземе типичном, не оказывающая фитотоксическое действие ($ДК_{20}$) на высшие растения, равна 2,71 г/кг (ориентировочно

2,7 г/кг). Концентрация нефтепродуктов, приводящая к 50% снижению урожайности (ДК₅₀) культурных растений составляет 7,90 г/кг (ориентировочно 7,9 г/кг).

Таблица 2 – Накопление биомассы растениями пшеницы и гороха на черноземе типичном и оподзоленном при разных уровнях нефтяного загрязнения

Тип почв	НП, г/кг	Дружность прорастания, % в день		Скорость прорастания, число семян в день
		3 сутки	7 сутки	
Чернозем типичный	пшеница			
	<0,05	22,22	14,29	3,67
	1,08	24,07	12,70	3,35
	3,29	3,70	12,70	2,53
	5,19	0,93	12,70	2,41
	8,62	0	9,52	1,5
	горох			
	<0,05	28,70	13,10	3,59
	1,08	33,33	14,29	4,00
	3,29	4,63	14,29	2,68
	5,19	2,78	13,10	2,34
	8,62	0,93	7,54	1,17
Чернозем оподзоленный	пшеница			
	<0,05	31,48	13,89	3,84
	2,19	13,89	11,51	2,62
	2,51	15,74	11,51	2,79
	4,28	8,33	10,71	2,25
	6,49	2,78	10,32	1,91
	горох			
	<0,05	12,96	11,51	2,72
	2,19	7,41	5,56	1,36
	2,51	12,04	6,35	1,69
	4,28	8,33	7,94	1,78
	6,49	0,93	8,33	1,36

Ингибирующее влияние нефтезагрязнения чернозема оподзоленного на накопление биомассы тест-культурами резко выражено и проявляется, начиная с концентрации поллютанта, составляющей 2,19 г/кг (табл. 2), что согласуется с результатами по длине побегов. Для обоих тест-объектов зафиксировано статистически значимое снижение сырой и сухой массы надземной части растений на 14 и 42 сутки при содержании нефтепродуктов в черноземе оподзоленном в пределах от 2,19 г/кг до 6,49 г/кг. Обнаружена сильная отрицательная корреляционная зависимость между сырой биомассой пшеницы на 14 сутки ($r = -0,94$, $p = 0,018$), 42 сутки ($r = -0,95$, $p = 0,014$), сухой биомассой пшеницы на 14 сутки ($r = -0,96$, $p = 0,011$), 42 сутки ($r = -0,99$, $p = 0,002$) и степенью загрязнения почвы нефтью. Полученное по результатам хронического лабораторного вегетационного опыта уравнение линейной регрессии на 14 сутки имеет вид: $y = -0,005x + 0,0888$ ($R^2 = 0,9151$), на 42 сутки: $y = -0,0202x + 0,2516$ ($R^2 = 0,9747$). Рассчитанное по уравнению значение концентрации нефтепродуктов в черноземе оподзоленном, не проявляющей фитотоксическое действие (ДК₂₀) на пшеницу, равно 2,88 г/кг на 14 сутки и 2,28 г/кг на 42 сутки, ДК₅₀ при этом составило 8,46 г/кг и 6,09 г/кг соответственно.

Статистически достоверно установлено, что с повышением содержания нефтепродуктов в черноземе оподзоленном происходит снижение интенсив-

ности прироста биомассы гороха на 42 сутки ($r = -0,98$, $p = 0,004$ – для значений сырой биомассы; $r = -0,97$, $p = 0,005$ – для значений сухой биомассы). Согласно уравнению регрессии, имеющему вид $y = -0,0139x + 0,2391$ ($R^2 = 0,6463$) на 14 сутки и $y = -0,0413x + 0,555$ ($R^2 = 0,9475$) на 42 сутки, концентрация нефтепродуктов в черноземе оподзоленном, не оказывающая фитотоксическое действие (ДК₂₀) на горох, составляет 1,72 г/кг на 14 сутки и 2,36 г/кг на 42 сутки, ДК₅₀ соответственно имеет значения 7,53 г/кг и 6,51 г/кг.

Принимая во внимание полученные результаты по двум тест-культурам, максимальная концентрация нефтепродуктов в исследуемом черноземе оподзоленном, не оказывающая фитотоксическое действие (ДК₂₀) на высшие растения, равна 2,32 г/кг (ориентировочно 2,3 г/кг). Концентрация нефтепродуктов, приводящая к 50% снижению урожайности (ДК₅₀) культурных растений составляет 6,30 г/кг (ориентировочно 6,3 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 типичного и оподзоленного чернозема сельскохозяйственного назначения, характерных для Закамья Республики Татарстан, свидетельствуют о преимущественном угнетении всхожести, энергии прорастания, дружности и скорости прорастания семян тест-культур, а также значимом снижении длины надземных побегов и биомассы проростков пшеницы и гороха при нефтяном загрязнении.

По набору рассматриваемых параметров наиболее чувствительным к нефтяному загрязнению тест-объектом является пшеница яровая (*Triticum vulgare* L.) сорта «Экада-97», горох посевной (*Pisum sativum* L.) сорта «Варис» более толерантен к нефтезагрязнению типичного и оподзоленного чернозема.

Выявлено, что концентрация нефтепродуктов в черноземе типичном, не оказывающая фитотоксическое действие (ДК₂₀) на высшие растения, равна 2,7 г/кг. Концентрация нефтепродуктов, приводящая к 50% снижению биомассы (ДК₅₀) культурных растений составляет 7,9 г/кг.

Установлено, что концентрация нефтепродуктов в черноземе оподзоленном, не оказывающая фитотоксическое действие (ДК₂₀) на высшие растения, равна 2,3 г/кг. Концентрация нефтепродуктов, приводящая к 50% снижению биомассы (ДК₅₀) культурных растений составляет 6,3 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. ГОСТ Р ИСО 22030-2009. «*Качество почвы. Биологические методы. Хроническая фитотоксичность в отношении высших растений*»
9. ПНД Ф 16.1:2.22-98 «*МВИ Массовой доли нефтепродуктов в минеральных, органогенных, органо-минеральных почвах и донных отложениях методом ИК-спектрометрии*»
10. 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.
11. Т.С. Бородулина, В.И. Полонский, *Межрегиональная научно-практическая конференция «Проблемы развития АПК Саяно-Алтая»* (Абакан, Россия, 15 декабря 2009 г.). Материалы. Хакаское кн. изд-во, Абакан, 2009. Ч.2. С. 78-81.
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. К.-Н. 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** – канд. биол. наук, с. н. с. лаборатории экологии почв ГНБУ «Академия наук РТ» Института проблем экологии и недропользования АН РТ; t@shmain.ru; **Л. М. Сунгатуллина** – с. н. с. лаборатории экологии почв ГНБУ «Академия наук РТ» Института проблем экологии и недропользования АН РТ, sunlyc@yandex.ru; **Б. Р. Григорьян** – канд. биол. наук, заведующий лабораторией экологии почв ГНБУ «Академия наук РТ» Института проблем экологии и недропользования АН РТ, bobgrig007@gmail.com, Boris.Grigoryan@kpfu.ru; **А. М. Петров** – канд. биол. наук, заведующий лабораторией экологических биотехнологий ГНБУ «Академия наук РТ» Института проблем экологии и недропользования АН РТ, zpan2@rambler.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, Boris.Grigoryan@kpfu.ru; **A. M. Petrov** – Ph. D. in Biology, Head of the Laboratory of Ecological Biotechnology of Research Institute for Problems of Ecology and Mineral Wealth Use of Tatarstan Academy of Sciences. zpan2@rambler.ru.