

УДК 502:614.76:665.71

ОЦЕНКА ФИТОТОКСИЧНОСТИ ПОЧВЫ, ЗАГРЯЗНЕННОЙ НЕФТЕПРОДУКТАМИ

¹А.В. Синдирева, доктор биологических наук, профессор

²С.Б. Ловинецкая, старший преподаватель

¹Омский государственный аграрный университет
им. П. А. Столыпина, Омск, Россия

²Сибирская государственная автомобильно-дорожная
академия, Омск, Россия
E-mail: a.lovin@mail.ru

Ключевые слова: нефтепродукты, почва, биотестирование, фитотоксичность

Реферат. В последние годы проблема загрязнения почв нефтью и нефтепродуктами становится все более актуальной. Большинство земель в большей или меньшей степени затронуты этим видом загрязнения. В статье дана оценка фитотоксичности почвы, загрязненной нефтепродуктами. С этой целью определен фитотоксический эффект методом проростков, а также ферментативная активность почвы и растений, интенсивность дыхания почвы. Для эксперимента использовалось вязкое топливо для тихоходных двигателей. В качестве тест-культур были выбраны кресс-салат, овсяница луговая, овес посевной и горох посевной. Всхожесть тестовых растений снижается при 0,1 %-м загрязнении на 21–33 %, а при 1 %-м – на 40 % у кресс-салата и 45 % у овсяницы. Загрязнение нефтепродуктами оказывает сильное фитотоксическое воздействие на систему «почва – растение». Ферментативная активность в листьях кресс-салата возрастает, а в листьях овсяницы убывает при повышении концентрации нефтепродуктов. Однако кресс-салат сильнее реагирует на загрязнение почвы нефтепродуктами. Установлена связь фитотоксичности почвы с концентрацией нефтепродуктов и сроками загрязнения. С увеличением концентрации нефтепродуктов фитотоксичность почвы усиливается. Возрастание времени инкубации загрязнения на растения влияет по-разному в зависимости от их индивидуальных особенностей. Фитотоксический эффект при увеличении времени инкубации загрязнения для овса посевного снижается. Для гороха посевного более токсичной является почва через 3 месяца после загрязнения. С течением времени интенсивность дыхания почвы при концентрации в ней нефтепродуктов 1 % значительно возрастает, что свидетельствует о стимулирующем действии нефтепродуктов в данной концентрации на биологическую активность микроорганизмов.

EVALUATION OF PHYTOTOXICITY OF SOIL POLLUTED BY OIL PRODUCTS

¹ Sindireva A. V., Dr. of Biological Sc., Professor

² Lovinetskaya S. B., Senior teacher

¹Omsk State Agrarian University named after P.A. Stolypin, Omsk, Russia

²Siberian State Transport Academy, Omsk, Russia

Key words: oil products, soil, biotesting, phytotoxicity.

Abstract. The problem of soil pollution is getting more and more urgent. The most part of soil is polluted to some extent. The paper estimates phytotoxicity of soil polluted by oil products. The authors define phytotoxic effect and enzyme soil and plant activity by means of seedling method. The authors used viscous fuel for slow speed engines for the experiment. The authors used cress, meadow fescue, oat and pea as testing crops. Germination of testing crops is reducing on 21–33 % at 0.1 % pollution; 1 % pollution results in 40 % reducing of germination of cress and 45 % of oats. Soil pollution caused by oil products has strong phytotoxic impact onto the system “soil-crop”. Enzyme effect in the leaves of cress is increasing whereas in the leaves of oats it is reducing when the concentration of oil products is increased. Cress responses greatly to the soil pollution caused by oil products. The authors observed the relation among soil phytotoxicity, concentration of oil products and periods of pollution. When concentration of oil products is increasing, soil phytotoxicity becomes

stronger. Long periods of pollution influence crops in different way. Phytotoxic effect of oats is reducing when periods of pollution are longer. Soil polluted more than 3 months is more toxic for peas. As time goes, soil respiration intensity is reducing when concentration of oil products is 1 %. This shows the effect of oil products on biological activity of microorganisms.

Нефтепродукты (НП) являются одними из главных загрязнителей почвы. Нефтяному загрязнению особенно подвержены территории нефтегазовых промыслов, нефтераспределительных пунктов и нефтебаз.

Причинами загрязнения являются, как правило, грубые нарушения технологии добычи и переработки нефти и нефтепродуктов, а также различные аварийные ситуации, при которых происходят разливы нефти, нефтепродуктов и вод, содержащих нефть [1].

Превышение в почве фоновых значений концентраций нефтепродуктов в десятки и сотни раз также наблюдается в крупных городах, богатых предприятиями химической промышленности и обладающих большой сетью автодорог.

Загрязнение почв нефтепродуктами под воздействием транспорта существенно отличается от аварийных разливов нефти при добыче и транспортировке, так как в нижние горизонты НП проникают постепенно, по мере возрастания концентраций веществ на поверхности [2].

Аэрозольные выбросы углеводородов приводят к образованию гидрофобной пленки на поверхности почв, в результате чего снижается промачивание их водой [3].

Нефтяное загрязнение почв сопровождается усилением их фитотоксичности. Установлено, что утрата плодородия почвы связана с непосредственным гербицидным влиянием легких фракций нефти. Нефтяные кислоты и другие продукты биodeградации углеводородов негативно влияют на качество нефтезагрязненных почв, оказывая косвенное воздействие и на растительный организм [4].

Под влиянием углеводородов происходит гибель растительного покрова, замедляется рост растений, отмечается хлороз и тенденция к обезвоживанию, нарушаются функции фотосинтеза и дыхания, изменяется структура хлоропластов. Поступающая в клетки и сосуды растений нефть вызывает токсические эффекты. Наблюдается недоразвитие растений вплоть до полного отсутствия генеративных органов. Особенно страдают сосудистые растения. Токсическое действие нефти на высшие растения в лабораторных условиях проявляется при концентрациях более 50 мг/кг почвы.

Загрязнение в большинстве случаев ингибирует активность ферментов, при этом оксидоредуктазы являются наиболее чувствительными к загрязнению НП. При содержании нефти и моторного масла в черноземе обыкновенном до 1 % нарушаются биогеоценотические функции почвы, а при содержании их до 5 %, кроме того, наблюдаются нарушения химических, биохимических и физических функций, в то время как аналогичные нарушения при воздействии бензина и солярки наблюдаются лишь при 10 %-м загрязнении [5].

Загрязнение почв нефтью и нефтепродуктами нарушает стабильное функционирование экосистемы: меняются физико-химические свойства почвы, активность основных ферментов, участвующих в важных биологических процессах. В связи с этим представляет несомненный интерес выявление направленности биохимических процессов в растениях, произрастающих на почвах, загрязненных различными видами топлив [6–10].

Цель исследований – установить связь фитотоксичности почвы с концентрацией НП и сроками загрязнения методом биотестирования.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Для достижения поставленной цели было проведено два опыта в 2010–2015 гг.

Объектами исследований в первом опыте являлись почвенные образцы с начальными концентрациями НП 0,1 и 1 % по массе. Для эксперимента использовалось вязкое топливо для тихоходных двигателей, которое является смесью мазутов с керосиново-газойлевыми фракциями. В качестве тест-культур использовались кресс-салат (*Lepidium sativum*) и овсяница луговая (*Festuca pratensis*). В качестве показателей были выбраны лабораторная всхожесть семян тест-культур, пероксидазная активность листьев тест-растений, а также каталазная активность и интенсивность дыхания почвы, загрязненной нефтепродуктами.

Посев семян осуществлялся через два дня после внесения НП в почву. Всхожесть определяли по общепринятой методике на 7-е сутки после посева. Пероксидазную активность листьев растений определяли на 15-е сутки после посева, когда растения достигали необходимой для исследо-

вания биомассы. Интенсивность дыхания почвы определяли на 10, 20 и 30-е сутки после внесения загрязнения. Все опыты заложены в четырехкратной повторности.

Во втором опыте фитотоксичность почвы оценивали методом проростков [1], для чего вычислен фитотоксический эффект (ФЭ, %) по формуле

$$\text{ФЭ} = \frac{\Pi_k - \Pi_x}{\Pi_k}$$

где Π_k – показатели контрольного растения;

Π_x – показатель растения, выращенного на предположительно фитотоксичной среде.

В качестве показателей использовались всхожесть семян тест-культур, а также масса и длина наземной и корневой части растений.

Объектами исследований являлись почвенные образцы с начальными концентрациями НП 0,1; 1 и 2% по массе. Для эксперимента использовали вязкое топливо для тихоходных двигателей. Тест-культурами послужили овёс посевной (*Аvena sativa*) и горох посевной (*Pisum sativum*).

Посев семян производили через 2 дня, 1 месяц и 3 месяца после внесения НП в почву. Все опыты заложены в четырехкратной повторности.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Во время проведения исследований на всех образцах почвы, загрязненной НП, были обнаружены очаги появления плесени. Это связано с тем, что НП при попадании на поверхность почвы создают тонкую пленку, которая препятствует проникновению влаги в толщу почвы, а также нарушает естественный воздухообмен.

Первый опыт показал (рис.1), что всхожесть тестовых растений снижается при 0,1%-м загрязнении на 21–33%, а при 1%-м загрязнении на 40% у кресс-салата и 45% у овсяницы.

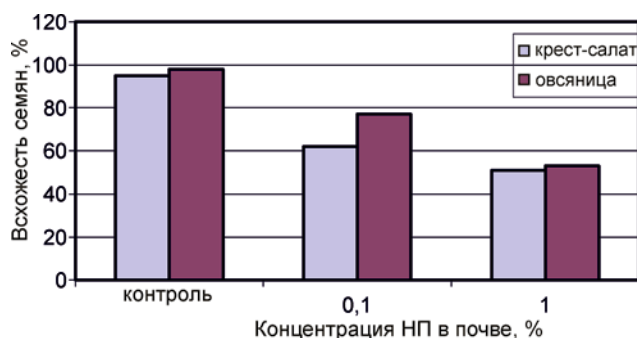


Рис. 1. Влияние НП на всхожесть семян растений
The impact of oil products on seed germination

Активность пероксидазы у тестовых растений изменялась по-разному (рис. 2). Кресс-салат сильнее реагирует на загрязнение почвы нефтепродуктами. В его листьях активность пероксидазы увеличивалась при 0,1%-м загрязнении в 2 раза, а при 1%-м – в 6 раз относительно контроля. В листьях овсяницы этот показатель снижался при 0,1%-м загрязнении в 1,5, а при 1%-м – в 2 раза относительно контроля. По-видимому, это связано с индивидуальными особенностями растений, с накоплением в их тканях перекисных соединений. Но так как любое изменение ферментативной активности указывает на нарушение метаболизма растений, можно говорить об ответной реакции растений на стресс, вызванный НП.

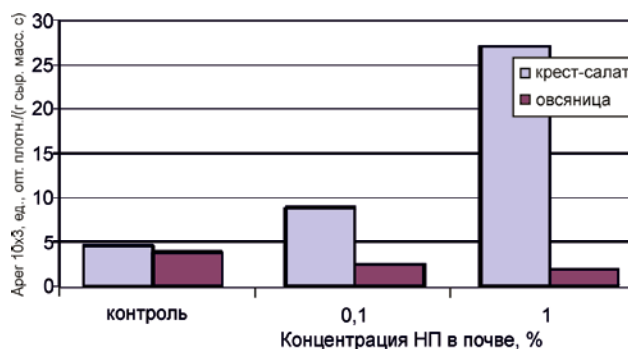


Рис. 2. Влияние НП на активность пероксидазы растений

The impact of oil products on crops peroxidase

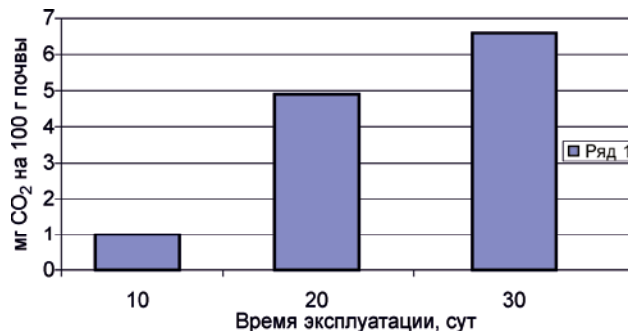


Рис. 3. Влияние НП на интенсивность дыхания почвы
The impact of oil products on soil respiration intensity

Интенсивность дыхания почвы также может быть критерием ее фитотоксичности. Выделение углекислого газа из почвы зависит от её физических и химических свойств, гидротермических условий и характеризует интенсивность биологических процессов в ней. Интенсивность дыхания почвы определяли для 1%-й концентрации НП в почве (рис. 3). Этот показатель увеличился за период наблюдений (на 30-е сутки от начала эксперимента) в 6,6 раза относительно контроля, что говорит о стимулирующем действии НП в данной

концентрации на биологическую активность микроорганизмов.

Таким образом, при внесении НП в почву в количестве 1% в течение 30 суток происходит увеличение интенсивности дыхания почвы в связи с активной деятельностью микроорганизмов по трансформации углеводов.

Во втором опыте реакция растений на загрязнение почвы нефтепродуктами неодинакова при одной и той же дозе загрязнения ввиду их физиологических особенностей.

Максимальный фитотоксический эффект для овса (табл. 1) практически по всем показателям

наблюдался при посеве семян на 2-е сутки после внесения 2% НП. Фитотоксический эффект снижается при 1%-м загрязнении и практически не изменяется и остается высоким при 2%-м загрязнении. ФЭ по длине и биомассе наземной и корневых частей растений возрастает с увеличением концентрации НП и снижается с увеличением времени экспозиции. Наибольший ФЭ наблюдается на 2-е сутки после внесения в почву 2% НП и составляет 35–46%. Спустя 3 месяца с момента загрязнения почва становится практически нетоксична по отношению к овсу для всех концентраций НП.

Таблица 1

Влияние содержания и времени экспозиции НП на фитотоксичность почвы по отношению к овсу и гороху
The impact of oil products on soil phytotoxicity in relation to oat and pea

Показатель	Время экспозиции загрязнения, сут	Фитотоксический эффект (%) при концентрации НП					
		0,1%		1%		2%	
		овес	горох	овес	горох	овес	горох
Всхожесть	2	15,1	0,52	23,6	-26,1	41,3	-8,6
	30	5,6	2,3	10,7	10,3	35,7	14,5
	90	0	11,7	0	67,0	43	87,5
Длина корней	2	4,8	2,3	28,8	4,5	40,8	4,8
	30	3,7	5,1	11,5	-3,9	17,9	-50,7
	90	0,6	14,2	0,8	73	12,5	49,0
Масса корней	2	1,6	1,2	18,2	5,8	37,4	40,3
	30	1,5	2,6	11,4	9,9	19,9	-46,8
	90	1,2	8,5	6,7	26,8	13,3	-8,9
Высота растений	2	4,6	0,4	24,5	10	46,4	13,3
	30	0,1	1,6	0,1	22,5	12,3	-0,5
	90	2,0	1,7	2,3	65,2	1,7	51,8
Масса проростков	2	3,3	2,4	5,2	13,8	35,3	-6,3
	30	2,1	4,3	4,8	13,8	11,7	-6,3
	90	1,4	7,1	3,6	60,0	8,6	41,4

Для гороха максимальных значений ФЭ достиг через 3 месяца, но на физиологические и морфологические показатели различные дозы НП действуют неодинаково. Всхожесть гороха посевного уменьшается с увеличением времени инкубации загрязнения при всех концентрациях. Причем 1%-е и 2%-е содержание НП в почве стимулирует всхожесть гороха на 2-е сутки инкубации, на что указывают отрицательные значения ФЭ. Но через 3 месяца почва становится намного токсичнее для гороха, ФЭ по всхожести увеличивается и становится максимальным для почвы с 2%-м загрязнением.

На 2-е сутки после загрязнения НП практически не изменяется длина корней, но существенно уменьшается их масса при концентрации 2%, т.е. корни становятся более тонкими. То же время ин-

кубации мало влияет на размеры и биомассу проростков. Стимулирующее действие на корневую систему оказывают НП с концентрацией в почве 2% через месяц после загрязнения. При этом масса и длина корней увеличиваются в среднем на 40–50%. Длина и масса проростков при этом же времени инкубации загрязнения увеличивается с повышением концентрации, ФЭ уменьшается примерно на 20%.

При посеве растений через 3 месяца после загрязнения длина корней сильно уменьшается, причем наибольший ФЭ наблюдается в почве с концентрацией НП 1%. Масса корней уменьшается по сравнению с контролем в почве с концентрацией НП 1%, но увеличивается в почве с 2%-й концентрацией. По отношению к длине и массе проростков ФЭ через 3 месяца после загрязне-

ния сильно возрастает, что, скорее всего, связано с токсичностью продуктов трансформации углеводородов.

ВЫВОДЫ

1. Почва с концентрацией НП 0,1 % нетоксична для всех исследуемых культур. При увеличении концентрации НП в почве от 0,1 до 2 % наблюдается значительное изменение всех исследуемых показателей фитотоксичности почвы.

2. Нефтепродукты с содержанием в почве 1 % оказывают симулирующее действие на числен-

ность и активность микроорганизмов, что приводит к повышению интенсивности дыхания почвы в 6,6 раза на 30-е сутки исследования.

3. Реакция растений на загрязнение почвы нефтепродуктами неодинакова при одной и той же дозе загрязнения. Фитотоксический эффект при увеличении времени инкубации загрязнения для овса посевного снижается. Для гороха посевного более токсичной является почва через 3 месяца после загрязнения, причем 1 % НП в почве наиболее негативно сказывается на развитии и росте растений.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Орлов Д. С., Садовникова Л. К., Лозановская Л. Н. Экология и охрана биосферы при химическом загрязнении: учеб. пособие для хим., хим.-технол. и биол. спец. вузов. – М.: Высш. шк., 2002. – 334 с.
2. Каверина Н. В. Нефтепродукты в почвах придорожных пространств // Вестн. Воронеж. ун-та. Сер. География и геоэкология. – 2002. – Вып. 1. – С. 110–114.
3. Автомобильные дороги в экологических системах. Проблемы взаимодействия / Д. Н. Кватарадзе [и др.]. – М.: ГЕОС, 1999. – 240 с.
4. Леонтьева И. В. Оценка фитотоксичности нефтезагрязненной серой лесной почвы по показателям роста и развития яровой пшеницы (*Triticum aestivum* L.) // Тез. докл. XV Междунар. конф. студентов и аспирантов по фундаментальным наукам «Ломоносов-2008». – М.: МГУ, 2008. – С. 75–76.
5. Гогмачадзе Г. Д. Агроэкологический мониторинг почв и земельных ресурсов Российской Федерации / предисл. и общ. ред. Д. М. Хомякова. – М.: Изд-во Моск. ун-та, 2010. – 592 с.
6. Новоселова Е. И., Тухватуллина А. Ф. Роль ферментативной активности в осуществлении почвой трофической функции в условиях нефтяного загрязнения. – Уфа, 2009. – С. 592–593.
7. Синдирева А. В., Ловинецкая С. Б., Гейс В. В. Использование газонных трав для фиторемедиации почв, загрязненных нефтепродуктами // Вестн. Ом. гос. аграр. ун-та. – 2016. – № 1 (21). – С. 92–97.
8. Ловинецкая С. Б., Еремеева В. Г., Синдирева А. В. Оценка содержания нефтепродуктов в почвах придорожных территорий г. Омска и Омской области и возможности их ремедиации // Ом. науч. вестн. – 2015. – № 138. – С. 241–245.
9. Chachina S. B., Voronkova N. A., Baklanova O. N. Biological remediation of the engine lubricant oil-contaminated soil with three kinds of earthworms, *Eisenia fetida*, *Eisenia andrei*, *Dendrobena veneta*, and a mixture of microorganisms // Procedia Engineering. – 2015. – Vol. 113. – P. 113–123.
10. Влияние нефтепродуктов на фитотоксичность почвы / А. В. Синдирева, С. Б. Ловинецкая, М. Ю. Кошелева, В. В. Гейс // Всемирный день охраны окружающей среды (Экологические чтения – 2015): материалы Междунар. науч.-практ. конф. (5 июня 2015 г.). – Омск: Изд-во АНО ВПО «Ом. экон. ин-т», 2015. – С. 225–233.

REFERENCES

1. Orlov D. S., Sadovnikova L. K., Lozanovskaya L. N. *Ekologiya i okhrana biosfery pri khimicheskom zagryaznenii* [Ecology and protection of the biosphere in chemical contamination]. Moscow: Vyssh. shk., 2002. 334 p. (In Russ.).
2. Kaverina N. V. Vestn. *Vestnik Voronezhskogo universiteta. Seriya Geografiya i geoekologiya*, Vyp. 1 (2002): 110–114. (In Russ.).
3. Kvatardze D. N. i dr. *Avtomobil'nye dorogi v ekologicheskikh sistemakh. Problemy vzaimodeystviya* [Roads in ecological systems. Interaction problems]. Moscow: GEOS, 1999. 240 p. (In Russ.).

4. Leont'eva I.V. *Otsenka fitotoksichnosti neftezagryaznennoy seroy lesnoy pochvy po pokazatelyam rosta i razvitiya yarovoy pshenitsy (Triticum aestivum L.)* [Abstracts of conference reports]. Moscow: MGU, 2008. pp. 75–76. (In Russ.).
5. Gogmachadze G.D. *Agroekologicheskiy monitoring pochv i zemel'nykh resursov Rossiyskoy Federatsii* [Agroecological monitoring of soils and land resources of the Russian Federation]. Predisl. i obshch. red. D.M. Khomyakova. – Moscow: Izd-vo Mosk. un-ta, 2010. 592 p. (In Russ.).
6. Novoselova E.I., Tukhvatullina A.F. *Rol fermentativnoy aktivnosti v osushchestvlenii pochvoy troficheskoy funktsii v usloviyakh neftyanogo zagryazneniya* [The role of enzymatic activity in the implementation of soil trophic function in conditions of oil pollution]. Ufa, 2009. pp. 592–593. (In Russ.).
7. Sindireva A.V., Lovinetskaya S.B., Geys V.V. *Vestnik Omskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*, no. 1 (21) (2016): 92–97. (In Russ.).
8. Lovinetskaya S.B., Ereemeeva V.G., Sindireva A.V. *Omskiy nauchnyy vestnik*, no. 138 (2015): 241–245. (In Russ.).
9. Chachina S.B., Voronkova N.A., Baklanova O.N. Biological remediation of the engine lubricant oil-contaminated soil with three kinds of earthworms, *Eisenia fetida*, *Eisenia andrei*, *Dendrobena veneta*, and a mixture of microorganisms. *Procedia Engineering*, Vol. 113 (2015): 113–123.
10. Sindireva A.V., Lovinetskaya S.B., Kosheleva M.Yu., Geys V.V. *Vsemirnyy den okhrany okruzhayushchey sredy (Ekologicheskie chteniya – 2015)* [Conference materials]. Omsk: Izd-vo ANO VPO «Om. ekon. In-t», 2015. pp. 225–233. (In Russ.).