

ДЕЙСТВИЕ НЕФТЯНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ СЕРОЙ ЛЕСНОЙ ПОЧВЫ НА УРОЖАЙНОСТЬ ЯРОВОГО РАПСА И ПОРАЖАЕМОСТЬ ЕГО ЛОЖНОЙ МУЧНИСТОЙ РОСОЙ (ПЕРОНОСПОРОЗОМ)

Р.А. Осипова, М.Ю. Гилязов

Реферат. Исследования проводили с целью оценки влияния уровня нефтяного загрязнения на урожайность и поражаемость ярового рапса (*Brassica napus* L.) пероноспорозом. Эксперимент выполняли в 2004–2019 гг. в Предкамской зоне Республики Татарстан. Почва опытного участка – преобладающая для зоны серая лесная среднесуглинистая. Незагрязненная почва характеризовалась низким содержанием гумуса и слабокислой реакцией среды, повышенной обеспеченностью подвижными формами фосфора и средней – калия. Почва была преднамеренно загрязнена товарной нефтью 5 мая 2004 г. заливкой с поверхности из расчета 10, 20 и 40 л/м², что соответствовало низкому, среднему и сильному уровню. Согласно схеме севооборота яровой рапс возделывали в 2007, 2011, 2015 и 2019 гг., то есть через 3, 7, 11 и 15 лет после загрязнения почвы. Действие нефтяного загрязнения на поражаемость ярового рапса ложной мучнистой росой оценивали в 2019 г. Урожайность маслосемян ярового рапса тесно коррелировала с уровнем однократного загрязнения серой лесной почвы товарной нефтью в течение не менее 15 лет. В 2019 г. в контрольном варианте она составляла 126 г/м², на почве, загрязненной нефтью в дозе 10 л/м² – 111 г/м², 20 л/м² – 84 г/м² и 40 л/м² – 59 г/м². Установлена статистически достоверная зависимость распространения ($R^2=0,880$) и развития ($R^2=0,861$) ложной мучнистой росы (пероноспороза) от уровня нефтяного загрязнения. При минимальном в опыте уровне загрязнения развитие болезни возрастало, по сравнению с контролем (0,97 %), более чем в три раза (3,17 %), при максимальном – в пять раз (4,84 %). Распространение и развитие болезни оказали значительное негативное влияние на урожайность основной и побочной продукции ярового рапса. Коэффициент детерминации зависимости между сбором маслосемян и поражением растений болезнью был выше ($R^2=0,865\dots0,876$), чем для урожая соломы ($R^2=0,801\dots0,819$).

Ключевые слова: серая лесная почва, нефтяное загрязнение, яровой рапс (*Brassica napus* L.), уровень загрязнения, ложная мучнистая роса (пероноспороз), распространенность и развитие болезни, урожайность.

Введение. Возрастающие объемы добычи и широкое использование продуктов переработки делают нефть и нефтепродукты весьма распространенными источниками загрязнения окружающей среды, в том числе почвенного покрова [1, 2]. Суммарная площадь земель, загрязненных нефтью и нефтепродуктами, в России сегодня превышает 70 тыс. га [3]. Попадание нефти в почву приводит к необратимым изменениям ее морфологических, физических, физико-химических и микробиологических свойств, кроме того, наблюдается токсическое воздействие на растения [4, 5, 6].

При этом весьма слабоизученными остаются вопросы влияния нефтяного загрязнения на заболеваемость сельскохозяйственных культур, несмотря на то, что болезни растений играют важную роль в формировании и сохранении урожайности [7, 8, 9].

Яровой рапс (*Brassica napus* L.) – ценная масличная, кормовая и сидеральная культура, продукты переработки которой используют в пищевой, химической, косметологической и энергетических промышленности [10]. Ложная мучнистая роса – вредоносное заболевание, поражающее всходы и взрослые растения ярового рапса. Поражение на ранних этапах роста и развития приводит к быстрому гниению тканей и гибели растений. В случае более позднего заражения симптомы проявляются в виде локальных желтоватых пятен неправильной формы. При влажной погоде все пораженные части растений покрываются

светлым спорообразующим налетом мицелия гриба. Гриб *Peronospora parasitica* (Pers.) Er. образует одноклеточный, многократно разветвленный мицелий. Патоген сохраняет жизнеспособность в виде толстостенных ооспор в почве и мицелия в семенах до 6 лет. Распространение инфекции на соседние растения осуществляется с каплями дождя [11].

Цель исследования – оценка влияния уровня нефтяного загрязнения на урожайность и поражаемость ярового рапса пероноспорозом.

Условия, материалы и методы. Эксперименты выполняли на опытном поле кафедры агрохимии и почвоведения Казанского государственного аграрного университета, расположенного в Предкамской зоне Республики Татарстан (РТ), площадь которой составляет 21,8 тыс. км², или 32,2 % от общей площади РТ. Предкамская зона РТ расположена в северной части республики, где почвенный покров около 70 % сельскохозяйственных угодий представлен различными типами и подтипами серых лесных почв. Климат зоны умеренно прохладный и достаточно увлажненный. Сумма температур (выше 10 °С) варьирует в пределах 2020...2150 °С, осадков (за тот же период) – 205...220 мм, гидротермический коэффициент – 1,01...1,09.

Почва экспериментального участка – слабогумусированная серая лесная среднесуглинистая. В исходном незагрязненном состоянии она характеризовалась низким содержанием гумуса (2,9 %, по ГОСТ 26213-91) и слабокис-

лой реакцией среды ($pH_{\text{сол.}}=5,4$, по ГОСТ 26484-85), повышенным содержанием подвижных форм фосфора (123 мг/кг, по ГОСТ 26207-91) и средним – калия (115 мг/кг, по ГОСТ 26207-91). Агрохимический анализ почв проводили на кафедре агрохимии и почвоведения Казанского ГАУ и в ФБУЗ «Центр гигиены и эпидемиологии в Республике Татарстан».

Для проведения исследований почву искусственно загрязнили 5 мая 2004 г. товарной нефтью, добытой и подготовленной в НГДУ «Джалильнефть» ОАО «Татнефть», из расчета 10, 20 и 40 л/м², контроль – незагрязненная почва. Загрязнение осуществляли путем равномерной заливки микроделянок – бездонных ящиков, углубленных в почву на 30 см. Площадь одной микроделянки 0,50 м² (0,71×0,71), повторность – четырехкратная, ширина защитных полос 1 м. Предыдущие исследования сотрудников кафедры агрохимии и почвоведения Казанского ГАУ [12] показали, что указанные дозы нефти соответствуют слабому, среднему и сильному уровню загрязнения.

Согласно схеме чередования культур в севообороте яровой рапс возделывали в 2007, 2011, 2015 и 2019 гг., то есть через 3, 7, 11 и 15 лет после загрязнения. Влияние нефтяного загрязнения на поражаемость ярового рапса ложной мучнистой росой оценивали в 2019 г.

Посев ярового рапса сорта Юмарт проводили 13 мая 2019 г. с заделкой семян на глубину 2 см. Перед посевом семена обрабатывали протравителем Витарос из расчета 2,5 л/т. Предшественник – ячмень яровой. Норма высева – 3 млн всхожих семян/га, или 14,8 кг/га с учетом массы 1000 семян (4,45 г) и лабораторной всхожести (90 %). Все работы в опыте выполняли вручную.

Наиболее благоприятные для роста и развития ярового рапса метеорологические условия отмечали в 2007 и 2011 гг. Менее подходящим был вегетационный период 2019 г., который характеризовался превышением среднесуточной температуры в мае и июне, с последующим ее уменьшением до уровня ниже климатической нормы. Одновременно сумма атмосферных осадков во второй половине вегетации превышала среднесуточные показатели в 1,28 (июль) и 1,52 (август) раза. Особенно много их выпало в первой декаде

августа (131 % к норме). В целом по благоприятности метеорологических условий вегетационного периода для роста и развития ярового рапса годы исследования можно расположить в следующий убывающий ряд: 2011>2007>2015>2019 гг.

Статистическую обработку результатов экспериментальных данных проводили методом дисперсионного анализа по Б. А. Доспехову [13]. Корреляционно-регрессионный анализ выполняли с использованием программы Statistica 5.5 for Windows. Развитие болезней учитывали общепринятыми методами.

Распространенность заболеваний (P) определяли по уравнению:

$$P = \frac{n \cdot 100}{N},$$

где P – распространенность болезни, %;
 n – число пораженных растений в пробе, шт.;
 N – общее количество растений в пробе, шт.

Развитие листовых болезней определяли согласно иллюстрированным шкалам (рис. 1) [14].

Анализ и обсуждение результатов исследований. Урожайность ярового рапса, посеянного в почву через 3 года после загрязнения нефтью на уровне 10 л/м², снизилась, по сравнению с контролем, более чем в 3 раза и составила 49 г/м². При более сильном загрязнении она снижалась еще больше: при 20 л/м² – до 34 г/м², при 40 л/м² – до 3 г/м² (рис. 2).

Спустя 7 и 11 лет после попадания нефти продуктивность ярового рапса во всех вариантах возрастала, по сравнению с предыдущей ротацией севооборота. Так, на слабозагрязненной почве сбор маслосемян в третьей ротации севооборота составила 94 % к уровню контроля (незагрязненная почва), в то время как в двух предыдущих ротациях величина этого показателя составляла 32 и 73 % соответственно. При максимальном в опыте загрязнении нефтью (40 л/м²) в первой ротации урожайность маслосемян приближалась к нулю, в последующих она достигала соответственно 25, 41 и 47 % от уровня контроля.

Независимо от давности загрязнения отмечена тесная отрицательная связь между урожайностью ярового рапса и уровнем однократного нефтяного загрязнения. Коэффициенты детерминации (R^2) этих величин варьировали

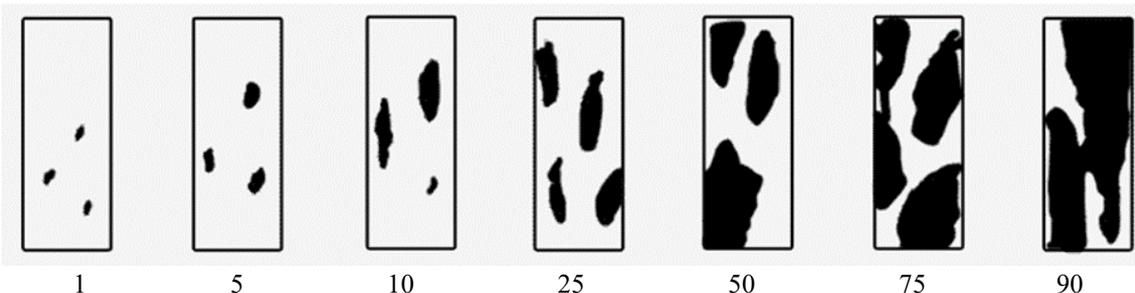


Рис. 1 – Шкала оценки пораженности листьев ярового рапса ложной мучнистой росой, %

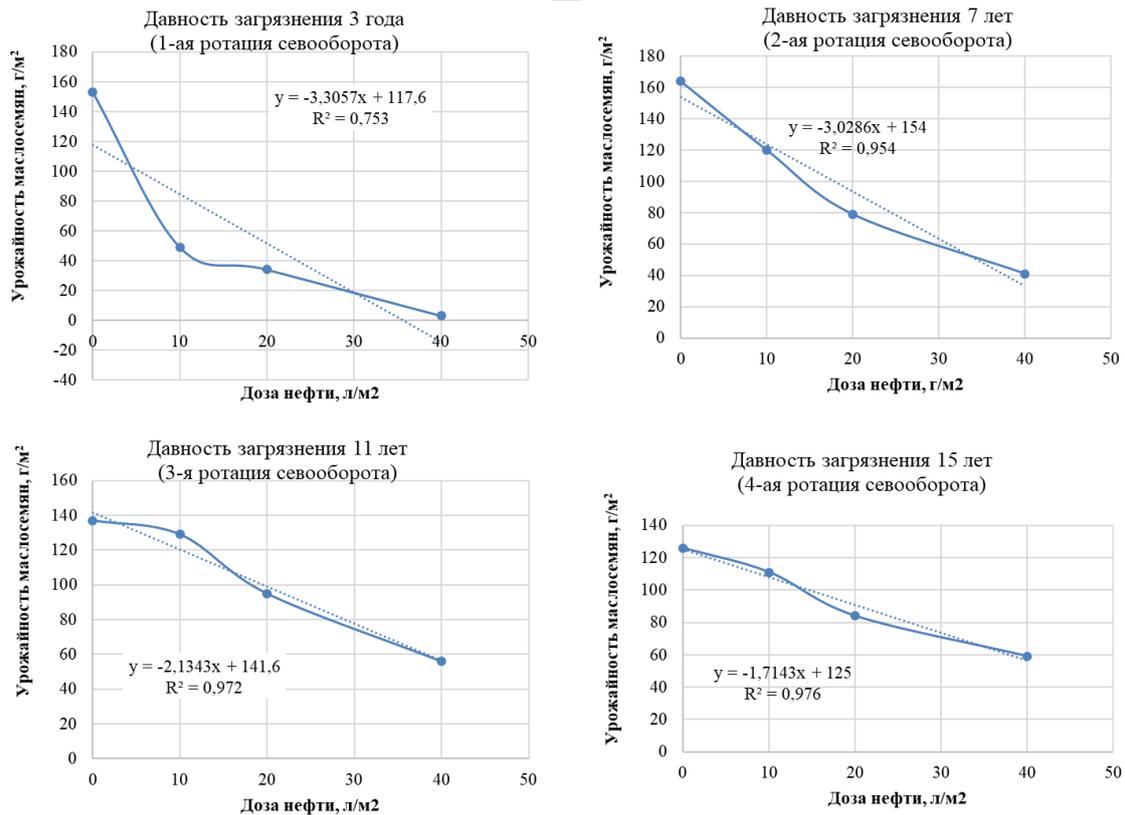


Рис. 2 – Зависимость урожайности маслосемян ярового рапса от доз нефти при различной давности нефтяного загрязнения.

в пределах от 0,753 до 0,976.

Ложная мучнистая роса на листьях ярового рапса в четвертой ротации севооборота (2019 г.) проявлялась в виде локальных, желтоватых пятен неправильной формы. На цветоносах наблюдали продольные, бледно-желтые пятна. Часть пораженных болезнью цветков гипертрофировались и остались стерильными. Образовавшиеся семена были покрыты темно-серыми пятнами и оказались щуплыми.

В контроле распространение болезни составляло 18,6 %. При минимальном в опыте уровне загрязнения нефтью (10 л/м²) величина этого показателя возрастала более чем в 1,5 раза, при максимальном – в 2,0 раза. Достоверных различий в распространении болез-

ни между вариантами с минимальным и средним уровнем загрязнения не установлено (см. табл.).

Аналогичным образом уровень загрязнения серой лесной почвы нефтью влиял на развитие ложной мучнистой росы. Отличие состояло в том, что воздействие нефтяного загрязнения на величину этого показателя проявлялось ещё более рельефно: при минимальном в опыте уровне загрязнения развитие болезни усилилось более чем в 3 раза, при максимальном – в 5 раз. Установлена тесная положительная зависимость распространения ($R^2=0,8804$) и развития ($R^2=0,8610$) болезни от уровня загрязнения серой лесной почвы нефтью 15-летней давности (рис. 3)

Таблица – Действие уровня нефтяного загрязнения серой лесной почвы на поражаемость растений ярового рапса пероноспорозом, 2019 г.

Доза нефти, л/м²	Распространенность болезни, %	Развитие болезни, %
0 (контроль)	18,6	0,97
10	28,9	3,17
20	31,5	3,77
40	37,3	4,84
НСР ₀₅	4,0	0,73

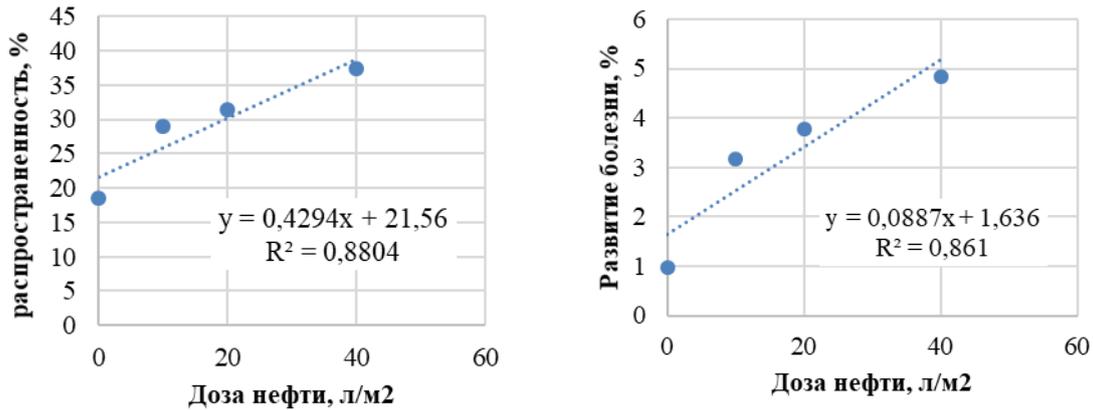
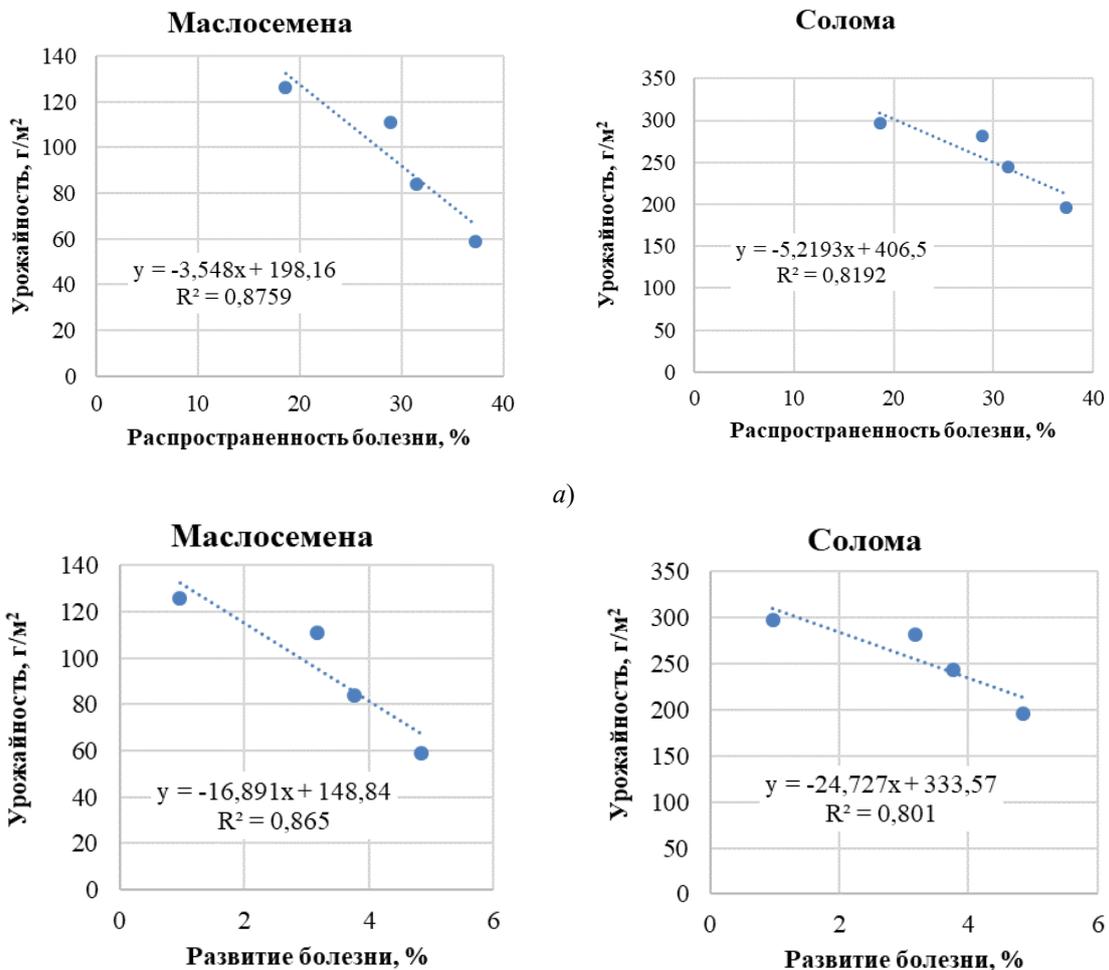


Рис. 3 – Пораженность растений ярового рапса пероноспорозом в зависимости от уровня нефтяного загрязнения серой лесной почвы, 2019 г.

Кроме того, отмечена достаточно тесная отрицательная корреляция урожайности с распространённостью болезни с коэффициентом детерминации (R^2) для маслосемян 0,8759, для соломы – 0,8192 (рисунок 4). Такую же взаи-

мосвязь наблюдали между урожайностью ярового рапса и развитием пероноспорозы. По основной продукции она характеризовалась коэффициентом детерминации (R^2) равным 0,865, по побочной – 0,801.



a)

б)

Рис. 4 – Зависимость урожайности (маслосемян и соломы) ярового рапса на нефтезагрязненной серой лесной почве от распространения (а) и развития (б) пероноспороза, 2019 г.

Выводы. Однократное загрязнение серой лесной почвы нефтью из расчета 10, 20 и 40 л/м² приводило к снижению урожая маслосемян ярового рапса в течение всех 15 лет наблюдения. В зависимости от давности загрязнения, коэффициенты детерминации (R^2) уравнения, характеризующего взаимосвязь между урожайностью ярового рапса и исходным уровнем загрязнения варьировали от 0,753 до 0,976.

Загрязнение почвы нефтью усиливало распространение ($R^2=0,880$) и развитие ($R^2=0,861$) ложной мучнистой росы на растениях ярового рапса. Урожайность маслосемян ярового рапса находилась в тесной отрицательной зависимости от распространения ($R^2=0,876$) и развития болезни ($R^2=0,865$). Аналогичная, но несколько более слабая связь отмечена для сбора побочной продукции ($R^2=0,801...0,819$).

Литература

1. Добыча нефти в РФ в 2018 году повысилась на 1,6 %. URL: <https://www.interfax.ru/business/644895> (дата обращения 12.05.2019).
2. Lim M. W., Lau E. V., Poh Ph. E. A comprehensive guide of remediation technologies for oil contaminated soil – Present works and future directions// Mar. Pollut. Bull. 2016. Vol. 109. No. 1. P. 14–45.
3. Булавинцева А. Д., Мазуркин П. М. Динамика аварий по площади загрязнения на линейной части магистральных нефтепроводов ОАО «АК «Транснефть» // Современные наукоемкие технологии. 2011. № 3. С. 27–29.
4. The effect of petroleum hydrocarbons on seed germination, development and survival of wild and cultivated plants in extreme desert soil / S. Golan, T. Faraj, E. Rahamim, et al. // International Journal of Agriculture and Environmental Research. 2016. Vol. 2. Iss. 6. P. 1743–1767.
5. Леднёв А. В. Изменение свойств почв европейской части Нечерноземной зоны РФ под действием продуктов нефтедобычи и приемы их ремедиации. Ижевск: Цифра, 2018. 229 с.
6. Phytoremediation effect and growth responses of *Cynodon spp.* and *Agropyron desertorum* in a petroleum-contaminated soil / Z. Saracian, M. Haghghi, N. Etemadi et al. // Soil and Sediment Contamination. 2018. Vol. 27. No. 5. P. 393–407.
7. Киреева Н. А., Галимзянова А. М., Мифтахова А. М. Микромицеты почв, загрязненных нефтью, и их фитотоксичность // Микология и фитопатология. 2000. Т. 34. Вып. 1. С. 36–41.
8. Назаров А. В., Иларионов С. А., Азизова Э. А. Формирование растительности на экспериментальных загрязненных площадках // Вестник Пермского университета. 2000. Вып. 2. С. 80–84.
9. Иларионов С. А., Назаров А. В., Калачникова И. Г. Роль микромицетов в фитотоксичности нефтезагрязненных почв // Экология. № 5. 2003. С. 341–346.
10. Селекция рапса и сурепицы во ВНИИМК / С. Л. Горлов, Л. А. Горлова, Э. Б. Бочкарева и др. // Нива Татарстана. 2016. № 1. С. 7–10.
11. Пероноспороз или ложная мучнистая роса рапса (*Peronospora parasitica* (Pers.) Fr. URL: <https://www.avgust.com/atlas/b/detail.php?ID=6163> (дата обращения 18.09.2020).
12. Гильзов М. Ю., Гайсин И. А. Агрэкологическая характеристика и приемы рекультивации нефтезагрязненных черноземов Республики Татарстан. Казань: Фэн, 2003. 228 с.
13. Доспехов Б. А. Методика опытного дела. 5-е изд., перераб. и доп. М.: Агропромиздат, 1985. 351 с.
14. Учет болезней зерновых и крупяных культур, 2014 г. URL: <https://agroflora.ru/uchet-boleznej-zernovykh-i-kruyuanykh-kultur> (дата обращения: 24.01.2021).

Сведения об авторах:

Осипова Регина Анатольевна – аспирант, e-mail: Reginka300894@mail.ru

Гильзов Миннегали Юсупович – доктор сельскохозяйственных наук, профессор кафедры агрохимии и почвоведения, e-mail: mingilyazov@yandex.ru

Казанский государственный аграрный университет, г. Казань, Россия.

EFFECT OF CRUDE OIL CONTAMINATION ON SPRING RAPE VULNERABILITY BYDOWNY MILDEW IN FOREST GRAY SOIL R.A. Osipova , M.Yu. Gilyazov

Abstract. The work is devoted to the assessment of the impact of a single oil pollution of the soil on the yield and disease incidence of spring rape plants (*Brassica napus* L.). The study was conducted in experimental site of agrochemistry and soil science department of Kazan State Agrarian University, which is located in Predkamye zone of Tatarstan Republic. The soil in experimental site is clay loamy gray forest soil, which is typical for this zone. The main nutrient properties of uncontaminated soil was low content of humus, slightly high content of labile Phosphorous and moderate availability of labile Potassium, the pH was slightly acid. The soil was intentionally contaminated by crude oil on soil surface at the rates of 10, 20 and 40 l/m². Based on the previous research, the contamination levels in this study are presented as low, moderate and high levels. The yield of oilseeds of spring rape was closely correlated with the level of one-time pollution of gray forest soil with crude oil over at least 15 years. The results showed that the increase of downy mildew abundance ($R^2=0,8804$) and development ($R^2=0,8610$) correlated with the soil contamination level. Consequently, both abundance and development of downy mildew induced as significant negative effect on the yield of the main and side rape production. The strength of oil seeds production correlation with the level of plant infection ($R^2=0,8652\pm 0,8759$) was more significant as compared to the correlation strength with the decrease of rape shoot yield ($R^2=0,8013\pm 0,8192$).

Keywords: gray forest soil, crude oil contamination, spring rape, contamination level, downy mildew, disease abundance and development, yield.

References

1. Oil production in Russia in 2018 increased by 1.6%. [Internet]. “Interfax” - international information group. [cited 2019 May 12]. Available from: <https://www.interfax.ru/business/644895>.

2. Lim MW, Lau EV, Poh PhE. A comprehensive guide of remediation technologies for oil contaminated soil. Present works and future directions. *Mar. Pollut. Bull.* 2016; 109 (1): 14-45 p.
3. Bulavintseva AD, Mazurkin PM. [Dynamics of accidents in the area of contamination on the linear part of the main oil pipelines of JSC “AK “Transneft”]. *Sovremennye naukoemkie tekhnologii.* 2011; (3): 27-29 p.
4. Golan S, Faraj T, Rahamim E. The effect of petroleum hydrocarbons on seed germination, development and survival of wild and cultivated plants in extreme desert soil. *International journal of agriculture and environmental research.* 2016; 2 (6): 1743-1767 p.
5. Lednev AV. *Izmenenie svoystv pochv evropeiskoi chasti Nechernozemnoi zony RF pod deistviem produktov nefte dobychi i priemy ikh remediatsii.* [Changes in the properties of soils in the European part of the Non-Chernozem zone of the Russian Federation under the influence of oil production and methods of their remediation]. Izhevsk: Tsifra. 2018; 229 p.
6. Saraeian Z, Haghighi M, Etemadi N. Phytoremediation effect and growth responses of *Cynodon* spp. and *Agropyron desertorum* in a petroleum-contaminated soil. *Soil and sediment contamination.* 2018; 27 (5): 393-407 p.
7. Kireeva NA, Galimzyanova AM, Miftakhova AM. [Micromycetes of soils contaminated with oil and their phytotoxicity]. *Mikologiya i fitopatologiya.* 2000; 34 (1): 36-41 p.
8. Nazarov AV, Ilarionov SA, Azizova EA. [Formation of vegetation on experimental contaminated sites]. *Vestnik Permskogo universiteta.* 2000; (2): 80-84 p.
9. Ilarionov SA, Nazarov AV, Kalachnikova IG. [Role of micromycetes in phytotoxicity of oil-contaminated soils]. *Ekologiya.* 2003; (5): 341-346 p.
10. Gorlov SL, Gorlova LA, Bochkareva EB. [Breeding of rapeseed and rapeseed in VNIIMK]. *Niva Tatarstana.* 2016; (1): 7-10 p.
11. Peronosporosis or downy mildew of rapeseed (*Peronospora parasitica* (Pers.) Fr. [Internet]. Avgust is the largest Russian company for the development, production and information technology support for the use of chemical plant protection products. [cited 2020 Sep. 18]. Available from: <https://www.avgust.com/atlas/b/detail.php?ID=6163>.
12. Gilyazov MYu, Gaisin IA. *Agroekologicheskaya kharakteristika i priemy rekul'tivatsii neftezagryaznennykh chernozemov Respubliki Tatarstan.* [Agroecological characteristics and methods of recultivation of oil-contaminated chernozems of the Republic of Tatarstan]. Kazan: Fen. 2003; 228 p.
13. Dospekhov BA. *Metodika opytnogo dela.* [Technique of experimental work]. Moscow: Agropromizdat. 1985; 351 p.
14. Accounting for diseases of grain and cereal crops. [Internet]. Agricultural cite AgroFlora.ru. 2014. [cited 2021 Jan. 24]. Available from: <https://agroflora.ru/uchet-boleznej-zernovykh-i-krupyanykh-kultur>.

Authors:

Osipova Regina Anatolevna – post graduate student, e-mail: Reginka300894@mail.ru
 Gilyazov Minnegali Yusupovich – D. Sc. (Agr.), prof., professor of Agrochemistry and Soil Science Department, e-mail: mingilyazov@yandex.ru
 Kazan State Agrarian University, Kazan, Russia