

ГЕОЭКОЛОГИЯ
GEOECOLOGY

DOI 10.22363/2313-2310-2020-28-4-336-348

УДК 614.76

Научная статья / Scientific article

**Изменение фитотоксичности почв,
загрязненных нефтепродуктами,
в процессе их микробиологической ремедиации
при внесении гуминовых препаратов**

А.С. Чердакова✉, С.В. Гальченко

*Рязанский государственный университет имени С.А. Есенина,
Российская Федерация, 390000, Рязань, ул. Свободы, д. 46*✉ cerdakova@yandex.ru

Аннотация. Приводятся результаты экспериментальных исследований по оценке фитотоксичности почв, загрязненных нефтепродуктами различных фракций (бензин, дизельное топливо, мазут), в процессе их микробиологической ремедиации при внесении гуминовых препаратов. Исследования осуществлялись в условиях вегетационного эксперимента, в котором моделировались процессы биоремедиации почв, загрязненных различными нефтепродуктами, с применением микробиодеструкторов и гуминовых препаратов («Экорост» и «Гуми»). Установлено, что биоремедиационные мероприятия с использованием микробиодеструкторов не позволяют осуществить полную детоксикацию почвы, загрязненной различными нефтепродуктами. Выявлено проявление гуминовыми препаратами детоксифицирующих свойств в отношении нефтеуглеводородного загрязнения почв при их биоремедиации. Выраженность этих свойств варьирует и зависит от типа нефтепродукта-загрязнителя, его концентрации, а также от свойств самих препаратов.

Ключевые слова: загрязнение почвы, нефтепродукты, биоремедиация, микробиодеструкторы, фитотоксичность, гуминовые препараты

Благодарности и финансирование. Работа выполнена при финансовой поддержке гранта Российского фонда фундаментальных исследований и Правительства Рязанской области № 18-45-623003 р_мол_а «Исследование влияния биоПАВ на основе гуминовых веществ на процессы микробиологической ремедиации природных сред, загрязненных нефтепродуктами».

История статьи: поступила в редакцию 03.08.2020; принята к публикации 10.10.2020.

Для цитирования: Чердакова А.С., Гальченко С.В. Изменение фитотоксичности почв, загрязненных нефтепродуктами, в процессе их микробиологической ремедиации

при внесении гуминовых препаратов // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности. 2020. Т. 28. № 4. С. 336–348. <http://dx.doi.org/10.22363/2313-2310-2020-28-4-336-348>

Change of phytotoxicity of soils contaminated with oil products in the process of their microbiological remediation during the application of humic preparations

Alina S. Cherdakova✉, Svetlana V. Galchenko

Ryazan State University named for S. Yesenin,
46 Svobody St, Ryazan, 390000, Russian Federation
✉ cerdakova@yandex.ru

Abstract. The article presents the results of experimental studies on the assessment of the phytotoxicity of soils contaminated with oil products of various fractions (gasoline, diesel fuel, fuel oil) in the process of their microbiological remediation with the introduction of humic preparations. The studies were carried out under the conditions of a vegetation experiment, in which the processes of bioremediation of soils contaminated with various oil products were simulated using microbiodestructors and humic preparations (“Ekorost” and “Gumi”). It has been established that the implementation of bioremediation measures using microbiodestructors does not allow for complete detoxification of soil contaminated with various oil products. The manifestation of detoxifying properties of humic preparations in relation to oil-hydrocarbon pollution of soils during their bioremediation was revealed. The severity of these properties varies and depends on the type of oil-polluting product, its concentration, as well as on the properties of the preparations themselves.

Keywords: soil pollution, petroleum products, bioremediation, microbiodestructors, phytotoxicity, humic preparations

Acknowledgements and Funding. This work was supported by a grant from the RFBR and the Government of the Ryazan Region No. 18-45-623003 r_mol_a “Investigation of the effect of biosurfactants based on humic substances on the processes of microbiological remediation of natural environments contaminated with oil products”.

Article history: received 03.08.2020; revised 10.10.2020.

For citation: Cherdakova AS, Galchenko SV. Change of phytotoxicity of soils contaminated with oil products in the process of their microbiological remediation during the application of humic preparations. *RUDN Journal of Ecology and Life Safety*. 2020;28(4):336–348. (In Russ.) <http://dx.doi.org/10.22363/2313-2310-2020-28-4-336-348>

Введение

Растущие объемы добычи нефти, производства и использования нефтепродуктов, техногенные аварии при эксплуатации трубопроводов, промышленных объектов и транспорта приводят к масштабному углеводородному загрязнению всех компонентов окружающей среды, в том числе и почв. Самоочищение загрязненных нефтеуглеводородами почв является сложнейшим, многофакторным процессом и происходит крайне медленно. Значительно сокращают время восстановления почв микробиологические нефтеокисляю-

щие ремедиаторы [1–5]. Но зачастую активность вносимых в почву микробиоремедиаторов ограничивают такие факторы, как высокие уровни загрязнения, низкое содержание элементов питания, повышенная кислотность почвенного раствора и др. В этой связи возникает необходимость научного поиска способов стимуляции деятельности нефтеокисляющей микрофлоры и детоксикации нефтезагрязненных почв. Считаем, что для решения данной задачи необходимо рассмотреть гуминовые вещества и промышленные препараты на их основе, которые проявляют поверхностно-активные свойства, снижают поверхностное натяжение и препятствуют коалесценции капель на границе фаз «нефть – вода», увеличивая площадь активного взаимодействия микроорганизмов с питательным субстратом [6–10].

Гуминовые вещества обладают выраженными детоксифицирующими свойствами по отношению к нефтеуглеводородному загрязнению, а также могут служить источником крайне необходимых для нефтеокисляющих микроорганизмов биогенных элементов (азот, фосфор и др.) и положительно влияют на важные для их функционирования свойства очищаемых почв (рН, окислительно-восстановительные условия и др.). Тем самым гуминовые вещества способствуют формированию благоприятных условий для «работы» микробиоремедиаторов [7–11].

Целью работы являлась оценка изменения фитотоксичности почв, загрязненных нефтепродуктами, в процессе их микробиологической ремедиации при внесении гуминовых препаратов.

Материалы и методы

Исследования по реализации указанной цели осуществлялись в условиях вегетационного эксперимента, в котором моделировались процессы биоремедиации почв, загрязненных различными нефтепродуктами, с применением микробиодеструкторов и гуминовых препаратов. Для закладки эксперимента использовались образцы серой лесной почвы, отобранные в экологически чистом районе, с участка, неподверженного прямому техногенному воздействию, с глубины гумусового горизонта по общепринятой методике в соответствии с требованиями ГОСТ 17.4.3.01–2017 [12].

Моделирование нефтеуглеводородного загрязнения осуществлялось путем внесения в серую лесную почву наиболее распространенных нефтепродуктов-загрязнителей – бензина АИ-95, дизельного топлива и мазута в количестве 50 и 100 г/кг (содержание нефтепродуктов равно 5 и 10 % соответственно). В качестве источника нефтеокисляющих микроорганизмов применялся биопрепарат «Дестройл», представляющий собой культуру штамма *Acinetobacter species JN-2* – неспоровые, неподвижные, грамотрицательные бактерии, обладающие высокой способностью к биодеструкции нефтяных углеводородов. Биопрепарат «Дестройл» применяли во всех вариантах опыта в виде суспензии, приготовленной согласно инструкции производителя.

В эксперименте использовались промышленные гуминовые препараты, различные по своему агрегатному состоянию, источникам и технологии получения, характеристика которых представлена в табл. 1.

Таблица 1

Основные характеристики экспериментальных гуминовых препаратов*

Показатели	Наименование препарата	
	«Экорост»	«Гуми»
Агрегатное состояние	Жидкое (раствор)	Твердое (порошок для приготовления суспензии)
Сырье	Низинный торф	Бурый уголь
Технология получения	Гидродинамическая кавитация	Щелочная экстракция
pH, ед. pH	7,3	8,5
Сумма гуминовых и фульвовых кислот, г/л	70,0	60,0
Азот общий, г/л	2,8	5,0
Калий общий, г/л	5,8	10,0
Фосфор общий, г/л	0,01	5,0

Примечание: * – по данным производителя.

Table 1

Basic characteristics of experimental humic preparations*

Indicators	Preparation name	
	“Ekorost”	“Gumi”
State of aggregation	Liquid (solution)	Solid (powder for suspension preparation)
Raw material	Low-lying peat	Brown coal
Production technology	Hydrodynamic cavitation	Alkaline extraction
pH	7.3	8.5
The sum of humic and fulvic acids, g/l	70.0	60.0
Total nitrogen, g/l	2.8	5.0
Total potassium, g/l	5.8	10.0
Total phosphorus, g/l	0.01	5.0

Source: * – according to the manufacturer.

Указанные гуминовые препараты вносили в подготовленную описанным образом почву в концентрации 0,01 % водного раствора. Выбор концентрации препаратов основывался как на данных источников научной литературы [6; 7; 13], так и на результатах собственных, проведенных ранее исследований.

Контролем в эксперименте служили загрязненные нефтепродуктами и обработанные микробиопрепаратом образцы серой лесной почвы без внесения гуминовых препаратов. Таким образом, схема эксперимента включала варианты, представленные в табл. 2.

Экспериментальная оценка изменения фитотоксичности почв, загрязненных нефтепродуктами, в процессе их биоремедиации при внесении гуминовых препаратов производилась методом биотестирования по ГОСТ Р ИСО 22030-2009 [14]. В качестве тест-культур использовались овес посевной (*Avena sativa* L.) и редька масличная (*Brassica rapa* L.) [14]. Критериями оценки фитотоксичности анализируемых почвенных образцов служили количество поросших семян, длина зародышевого стебелька и средняя длина зародышевых корней (корешков).

Таблица 2

Схема модельного эксперимента

№ п/п	Вариант эксперимента	Краткое условное обозначение
Экспериментальная линия с почвой, загрязненной бензином		
1.	Серая лесная почва + бензин 50 г/кг + «Дестройл» (контроль)	КБ50
2.	Серая лесная почва + бензин 100 г/кг + «Дестройл» (контроль)	КБ100
3.	Серая лесная почва + бензин 50 г/кг + 0,01 % р-р «Экорост» + «Дестройл»	ЭБ50
4.	Серая лесная почва + бензин 100 г/кг + 0,01 % р-р «Экорост» + «Дестройл»	ЭБ100
5.	Серая лесная почва + бензин 50 г/кг + 0,01 % р-р «Гуми» + «Дестройл»	ГБ50
6.	Серая лесная почва + бензин 100 г/кг + 0,01 % р-р «Гуми» + «Дестройл»	ГБ100
Экспериментальная линия с почвой, загрязненной дизельным топливом		
7.	Серая лесная почва + дизельное топливо 50 г/кг + «Дестройл» (контроль)	КД50
8.	Серая лесная почва + дизельное топливо 100 г/кг + «Дестройл» (контроль)	КД100
9.	Серая лесная почва + дизельное топливо 50 г/кг + 0,01 % р-р «Экорост» + «Дестройл»	ЭД50
10.	Серая лесная почва + дизельное топливо 100 г/кг + 0,01 % р-р «Экорост» + «Дестройл»	ЭД100
11.	Серая лесная почва + дизельное топливо 50 г/кг + 0,01 % р-р «Гуми» + «Дестройл»	ГД50
12.	Серая лесная почва + дизельное топливо 100 г/кг + 0,01 % р-р «Гуми» + «Дестройл»	ГД100
Экспериментальная линия с почвой, загрязненной мазутом		
13.	Серая лесная почва + мазут 50 г/кг + «Дестройл» (контроль)	КМ50
14.	Серая лесная почва + мазут 100 г/кг + «Дестройл» (контроль)	КМ100
15.	Серая лесная почва + мазут 50 г/кг + 0,01 % р-р «Экорост» + «Дестройл»	ЭМ50
16.	Серая лесная почва + мазут 100 г/кг + 0,01 % р-р «Экорост» + «Дестройл»	ЭМ100
17.	Серая лесная почва + мазут 50 г/кг + 0,01 % р-р «Гуми» + «Дестройл»	ГМ50
18.	Серая лесная почва + мазут 100 г/кг + 0,01 % р-р «Гуми» + «Дестройл»	ГМ100

Table 2

Model experiment scheme

No.	Experiment variant	Short designation
Experimental line with soil contaminated with benzine		
1.	Gray forest soil + benzine 50 g/kg + "Destroil" (control)	CB50
2.	Gray forest soil + benzine 100 g/kg + "Destroil" (control)	CB100
3.	Gray forest soil + benzine 50 g/kg + 0,01% solution "Ekorost" + "Destroil"	EB50
4.	Gray forest soil + benzine 100 g/kg + 0,01% solution "Ekorost" + "Destroil"	EB100
5.	Gray forest soil + benzine 50 g/kg + 0,01% solution "Gumi" + "Destroil"	GB50
6.	Gray forest soil + benzine 100 g/kg + 0,01% solution "Gumi" + "Destroil"	GB100
Experimental line with diesel contaminated soil		
7.	Gray forest soil + diesel fuel 50 g/kg + "Destroil" (control)	CD50
8.	Gray forest soil + diesel fuel 100 g/kg + "Destroil" (control)	CD100
9.	Gray forest soil + diesel fuel 50 g/kg + 0,01% solution "Ekorost" + "Destroil"	ED50
10.	Gray forest soil + diesel fuel 100 g/kg + 0,01% solution "Ekorost" + "Destroil"	ED100
11.	Gray forest soil + diesel fuel 50 g/kg + 0,01% solution "Gumi" + "Destroil"	GD50
12.	Gray forest soil + diesel fuel 100 g/kg + 0,01% solution "Gumi" + "Destroil"	GD100
Experimental line with soil contaminated with masut		
13.	Gray forest soil + masut 50 g/kg + "Destroil" (control)	CM50
14.	Gray forest soil + masut 100 g/kg + "Destroil" (control)	CM100
15.	Gray forest soil + masut 50 g/kg + 0,01% solution "Ekorost" + "Destroil"	EM50
16.	Gray forest soil + masut 100 g/kg + 0,01% solution "Ekorost" + "Destroil"	EM100
17.	Gray forest soil + masut 50 g/kg + 0,01% solution "Gumi" + "Destroil"	GM50
18.	Gray forest soil + masut 100 g/kg + 0,01% solution "Gumi" + "Destroil"	GM100

Статистическая обработка полученных экспериментальных данных проводилась с использованием приложения Microsoft Office Excel и программного пакета Statistica.

Результаты и их обсуждение

Прежде чем оценить детоксицирующие свойства гуминовых препаратов по отношению к нефтеуглеводородному загрязнению почв, была проанализирована фитотоксичность контрольных вариантов опыта (без внесения гуминовых препаратов) по сравнению с незагрязненной нефтепродуктами почвой (серая лесная почва без внесения нефтепродуктов, микробиодеструкторов и гуминовых препаратов – далее фоновый контроль). Такое построение исследований обусловлено необходимостью оценки результативности детоксикации загрязненных почв после проведенной биоремедиации без стимулирования гуминовыми препаратами. К концу эксперимента на контрольных вариантах с внесением бензина он был практически полностью подвержен деструкции и содержался в почве лишь в небольших количествах, ввиду чего на данном этапе исследований указанные образцы не анализировались.

Полученные результаты показали, что почва контрольных вариантов эксперимента оказывает выраженный фитотоксический эффект по сравнению с незагрязненной нефтепродуктами почвой по всем критериям оценки.

Зависимость фитотоксического эффекта загрязненных почв, как от типа нефтепродукта, так и от его концентрации, весьма отчетливо отражает показатель всхожести семян тест-культур (рис. 1).

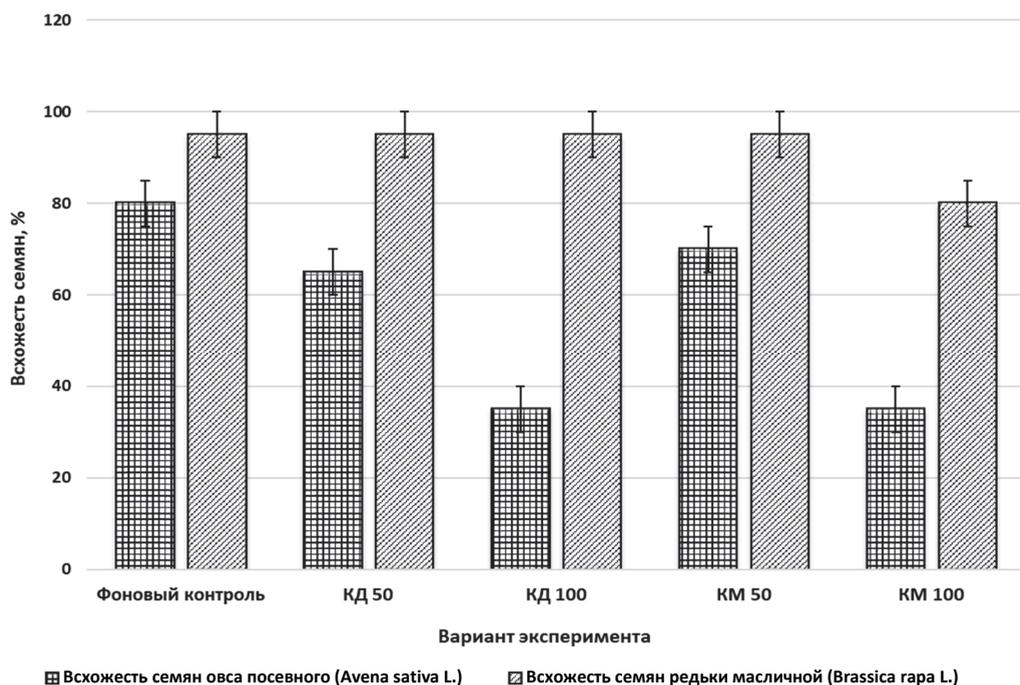


Рис. 1. Изменение всхожести семян тест-культур в эксперименте

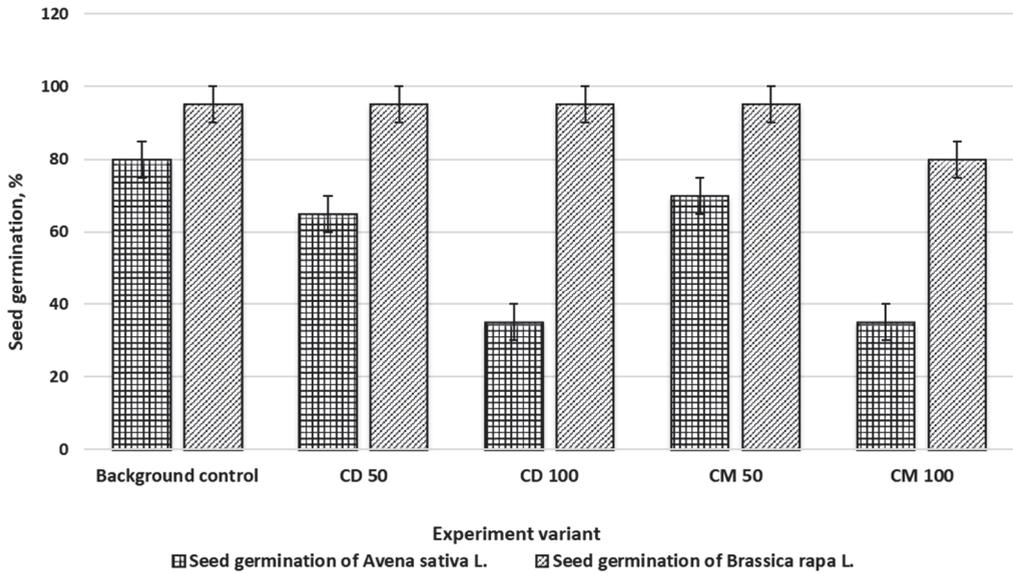


Figure 1. Change in seed germination of test cultures in the experiment

Наиболее отчетливое ингибирующее влияние нефтеуглеводородного загрязнения почвы на процессы прорастания семян отмечено в отношении овса посевного (*Avena sativa* L.). При этом дизельное топливо и мазут оказали примерно одинаковый фитотоксический эффект на тест-культуру. Однако в эксперименте была заметна отчетливая тенденция снижения всхожести семян с ростом концентрации нефтепродуктов в почве, что характерно и для дизельного топлива, и для мазута. Так, на вариантах с внесением в почву токсикантов в количестве 100 г/кг, всхожесть семян была почти в два раза ниже, чем на вариантах с концентрацией загрязнителя 50 г/кг. В данном случае определяющую роль в токсичном влиянии загрязненной нефтепродуктами почвы сыграла концентрация загрязнителя, а не его индивидуальные свойства.

В отношении редьки масличной (*Brassica rapa* L.) фитотоксичность проявили только образцы почвы, загрязненные мазутом. Наиболее выраженное угнетение всхожести семян данной тест-культуры регистрировалось при концентрации 100 г/кг мазута в почве.

Все другие используемые для оценки фитотоксичности критерии также показали существенное ингибирование ростовых процессов тест-культур при загрязнении почвы нефтепродуктами (рис. 2).

Так, во всех вариантах эксперимента с внесением нефтепродуктов даже после окончания процесса биоремедиации почвы не удалось полностью ее детоксифицировать.

По критерию изменения длины зародышевого стебелька редька масличная (*Brassica rapa* L.) оказалась более чувствительна к токсичному действию загрязнителей. Даже при минимальной экспериментальной дозе нефтепродуктов в 50 г/кг длина зародышевого стебелька сократилась в среднем на 62 % при загрязнении почвы мазутом и на 72 % при загрязнении дизельным

топливом. В вариантах эксперимента с внесением 100 г/кг мазута в почву снижение данного показателя по сравнению с незагрязненной почвой было максимальным и составило практически 90 %.

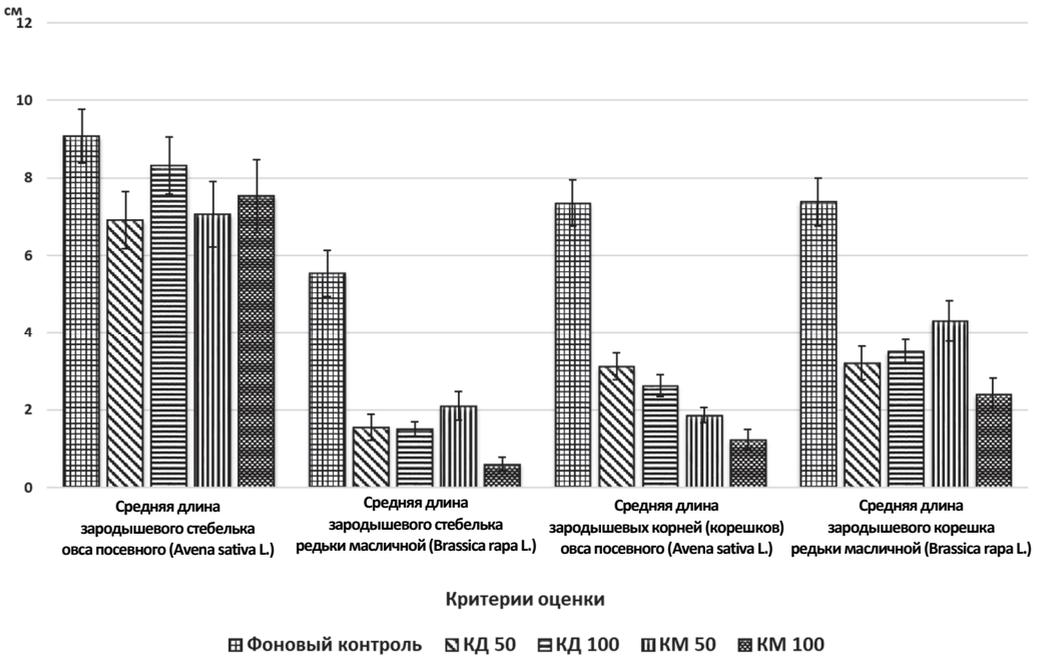


Рис. 2. Изменение показателей ростовых процессов тест-культур в эксперименте

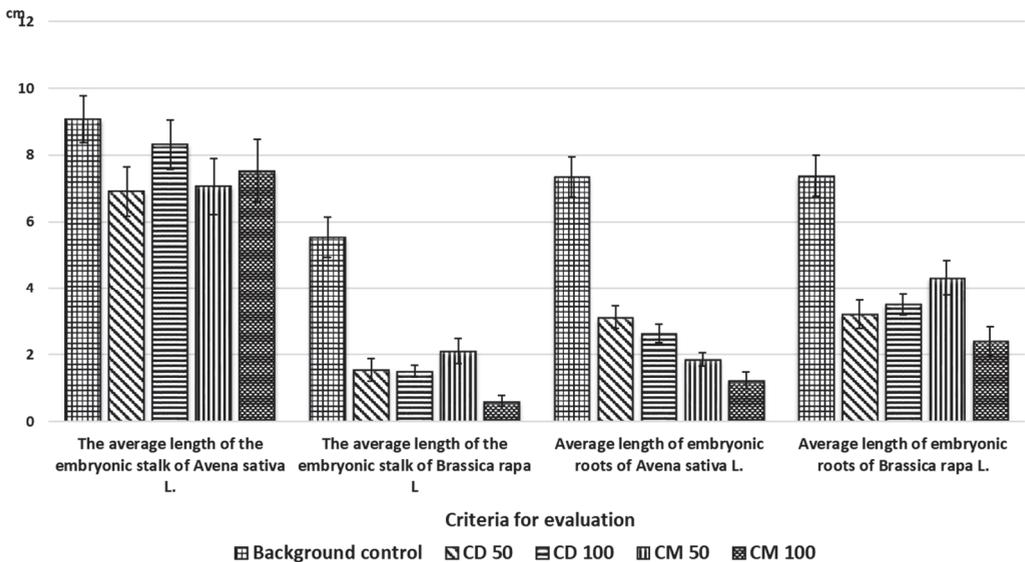


Figure 2. Change in the indicators of growth processes of test cultures in the experiment

Наиболее отчетливое фитотоксичное действие нефтепродуктов было заметно по показателю средней длины зародышевых корней тест-культур, ингибирование которого составило от 50 до 85 % в различных вариантах

эксперимента. При этом прослеживалась тенденция увеличения фитотоксичности с ростом концентрации загрязнителей в почве, что наиболее выражено при использовании в качестве тест-культуры овса посевного (*Avena sativa* L.). Как в отношении овса посевного (*Avena sativa* L.), так и в отношении редьки масличной (*Brassica rapa* L.) максимальный фитотоксичный эффект отмечался при загрязнении почвы мазутом в дозе 100 г/кг, где угнетение ростовых процессов по сравнению с незагрязненной почвой составило 85 и 68 % соответственно.

На следующем этапе были исследованы детоксицирующие свойства гуминовых препаратов по отношению к нефтеуглеводородному загрязнению почв. Данная оценка основывалась на анализе фитотоксичности почвенных образцов вышеописанного модельного вегетационного эксперимента. Опираясь на результаты предыдущего этапа работы, применялся наиболее чувствительный к нефтеуглеводородному загрязнению почв критерий оценки фитотоксичности, а именно длина зародышевого корешка. В качестве тест-культуры использовалась редька масличная (*Brassica rapa* L.).

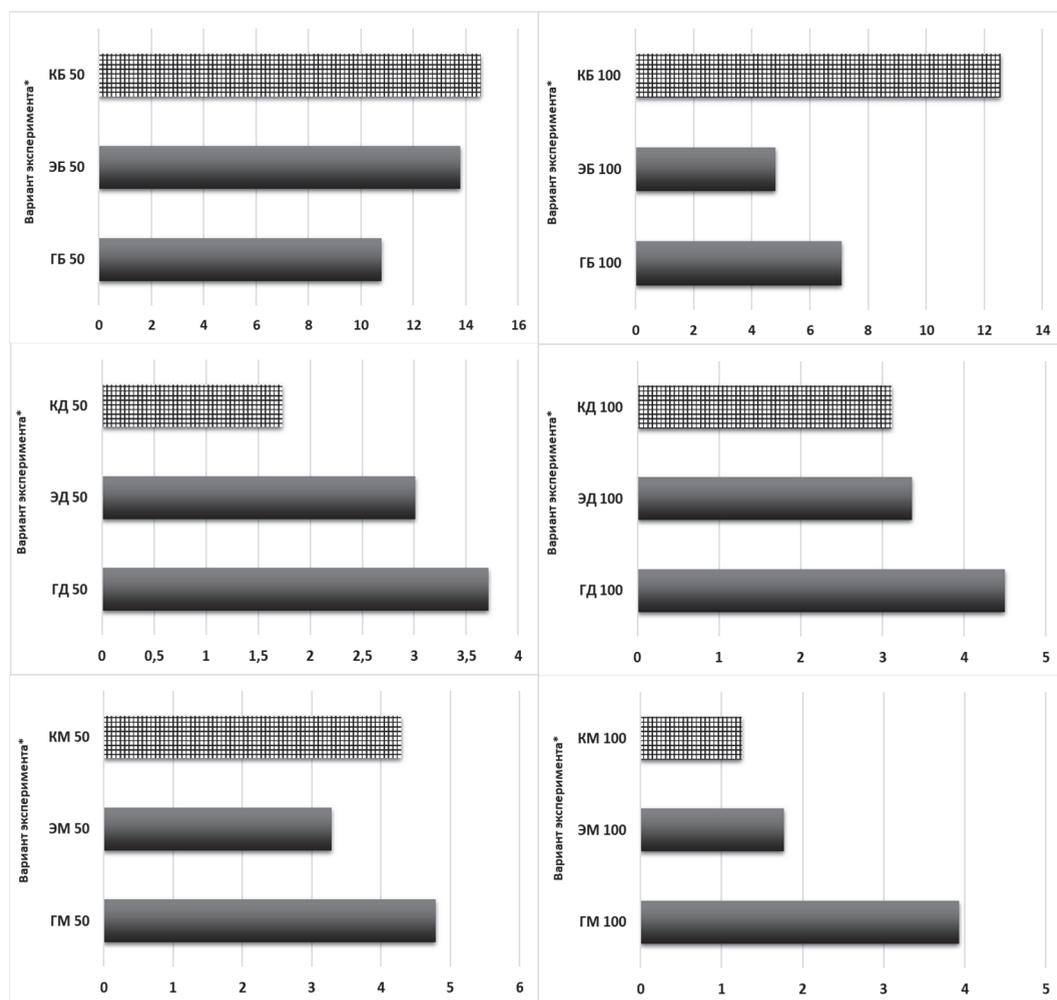


Рис. 3. Длина зародышевого корешка редьки масличной (*Brassica rapa* L.), см: штриховкой обозначены контрольные варианты эксперимента (без внесения в почву гуминовых препаратов)

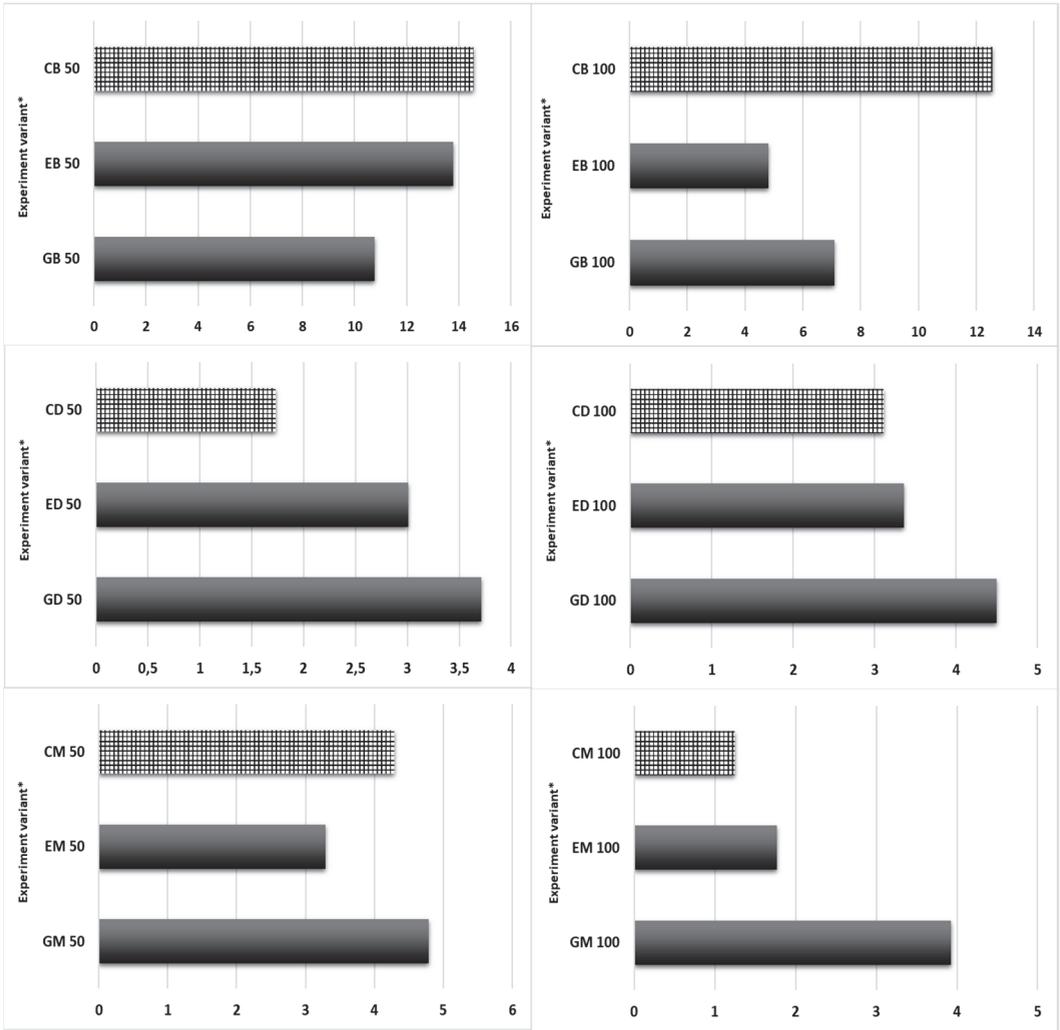


Figure 3. The length of the embryonic root of *Brassica rapa* L., cm: shaded lines indicate control variants of the experiment (without adding humic preparations to the soil)

Полученные результаты свидетельствуют о проявлении гуминовыми препаратами детоксифицирующих свойств в отношении нефтеуглеводородного загрязнения почв при их биоремедиации. Установлено, что выраженность этих свойств зависит как от характеристик загрязнения (тип нефтепродукта-загрязнителя и его концентрация), так и от свойств самих препаратов (рис. 3).

Так, в отношении бензина явного проявления гуминовыми препаратами детоксифицирующих свойств не отмечалось. Напротив, в ряде вариантов с их внесением регистрировалось некоторое усиление фитотоксического эффекта по сравнению с контролем. Описываемая ситуация может быть связана с сорбцией некоторого количества бензина гуминовыми веществами, что препятствует основному процессу его утилизации из почвы – испарению.

Использование гуминовых препаратов на загрязненной дизельным топливом почве способствовало снижению ее фитотоксичности. Однако выраженность данного эффекта несколько различалась в отношении анализируемых препаратов. Например, препарат «Экорост» проявил себя только при уровне

загрязнения 50 г/кг, что выражалось в увеличении длины зародышевых корней тест-культуры в среднем на 74 % по сравнению с контролем. На вариантах с загрязнением почвы дизельным топливом в концентрации 100 г/кг действие «Экороста» было незначительным. Напротив, «Гуми» оказывал детоксифицирующее влияние в отношении двух уровней загрязнения, но максимальным оно было при внесении 50 г/кг дизельного топлива, где стимуляция роста редьки масличной (*Brassica rapa* L.) составила 114 % по сравнению с контролем.

В отношении детоксикации загрязненной мазутом почвы установлено положительное влияние препарата «Гуми». Эффект от внесения «Экороста» был невыраженным. Снижение фитотоксичности при внесении «Гуми» оказалось максимальным для уровня загрязнения 100 г/кг мазута в почве, где стимуляция ростовых процессов тест-культуры составила 214 % по сравнению с контролем.

В целом детоксифицирующие свойства препарата «Гуми» более выражены по сравнению с «Экоростом», что, по нашему мнению, обусловлено его составом и свойствами. Поскольку препарат «Гуми» получен из угля, то для него характерно высокое содержание ароматических фрагментов в структуре молекул гуминовых веществ и, соответственно, выраженное сродство к ароматическим компонентам нефтепродуктов [9; 10; 15]. Ввиду этого его диспергирующее и солубилизирующее действие по отношению к нефтеуглеводородам выше, чем у «Экороста», что способствует увеличению доступности загрязнителей для нефтеокисляющей микрофлоры и интенсификации их биодеструкции, а следовательно, и более эффективной детоксикации загрязненной почвы. Кроме того, препарат «Гуми», по сравнению с «Экоростом», содержит большее количество минеральных элементов (азота, фосфора и калия), выступая более выгодным источником минерального питания микробиоремедиаторов в процессе утилизации углеводородов нефтепродуктов.

Заключение

Установлено, что при биоремедиации загрязненной нефтепродуктами почвы с использованием нефтеокисляющей микрофлоры отмечается их высокая фитотоксичность по целому ряду показателей, обуславливающая необходимость применения эффективных детоксикантов, в качестве которых мы рассматриваем гуминовые препараты.

В результате применения гуминовых препаратов удалось повысить уровень детоксикации загрязненной почвы, что выражалось в снижении ее фитотоксичности.

Эффективность гуминовых препаратов в отношении стимуляции микробиологической деструкции того или иного нефтепродукта и детоксикации загрязненной почвы во многом определяется спецификой молекулярной структуры препаратов, которая, в свою очередь, зависит от сырьевого источника их получения.

Список литературы / References

- [1] Liu Q, Tang J, Gao K, Giesy JP. Aerobic degradation of crude oil by microorganisms in soils from four geographic regions of China. *Scientific Reports*. 2017;7(Part C):15–38. <http://dx.doi.org/10.1038/s41598-017-14032-5>
- [2] Atlas RM, Hazen TC. Oil biodegradation and bioremediation: A tale of the two worst spills in US history. *Environmental Science & Technology*. 2011;45(16):67–75. <http://dx.doi.org/10.1021/es2013227>
- [3] Brown LD, Cologgi DL, Gee KF, Gee F, Ulrich AC. *Bioremediation of oil spills on land*. New Jersey: John Wiley & Sons, Hoboken; 2015.
- [4] Edmo MR, Karlos KHM, Marcos TR. Prospect, isolation, and characterization of microorganisms for potential use in cases of oil bioremediation along the coast of Trindade Island, Brazil. *Journal of Environmental Management*. 2015;156:15–22. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jenvman.2015.03.016>
- [5] Vineetha V, Shibu K. Bioremediation of oil contaminated soil. *2012 International Conference on Green Technologies (ICGT), 18–20 December 2012, Trivandrum, India*. New York: IEEE; 2012. p. 64–77. <http://dx.doi.org/10.1109/ICGT.2012.6477954>
- [6] Liang Y-N, Britt DW, McLean JE, et al. Humic acid effect on pyrene degradation: finding of an optimal range for pyrene solubility and mineralization enhancement. *Appl. Microbiol. Biotechnol.* 2007;74:1368–1375. <http://dx.doi.org/10.1007/s00253-006-0769-8>
- [7] Lipczynska-Kochany E. Humic substances, their microbial interactions and effects on biological transformations of organic pollutants in water and soil: a review. *Chemosphere*. 2018;202:420–437. <http://dx.doi.org/10.1016/j.chemosphere.2018.03.104>
- [8] Ivanov AA, Yudina NV, Maltseva EV, Matis EYa, Svarovskaya LI. Stimulation of the activity of microorganisms by humin preparations in oil-polluted soils. *Eurasian Soil Science*. 2010;43:210–215. <http://dx.doi.org/10.1134/S1064229310020110>
- [9] Grechishcheva NY, Meshcheryakov SV, Perminova IV, Kholodov VA. Stabilization of oil-in-water emulsions by highly dispersed particles: role in self-cleaning processes and prospects for practical application. *Russian Journal of General Chemistry*. 2017;87: 2166–2180. <http://dx.doi.org/10.1134/S1070363217090432>
- [10] Grechishcheva NY. Development of scientific foundations for the use of humic substances to eliminate the consequences of oil pollution of soil and water environments. Dissertation of the Doctor of Chemical Sciences. Moscow; 2016. (In Russ.)
Гречищева Н.Ю. Разработка научных основ применения гуминовых веществ для ликвидации последствий нефтезагрязнения почвенных и водных сред : дис. ... д-ра хим. наук. М., 2016. 326 с.
- [11] Stepanov AA, Gosse DD, Panina MA. Application of the humic preparation “Piter-Pit” for detoxification and reclamation of oil-contaminated soil. *Problems of Agrochemistry and Ecology*. 2018;(1):55–57. (In Russ.)
Степанов А.А., Госсе Д.Д., Панина М.А. Применение гуминового препарата «Питер-Пит» для детоксикации и рекультивации нефтезагрязненной почвы // Проблемы агрохимии и экологии. 2018. № 1. С. 55–57.
- [12] GOST 17.4.3.01–2017. *Nature Conservation (SSOP). Soils. General requirements for sampling*. Moscow: Federal Agency for Technical Regulation and Metrology; 2019. (In Russ.)
ГОСТ 17.4.3.01–2017. Охрана природы (ССОП). Почвы. Общие требования к отбору проб. М. : Стандартинформ, 2019. 9 с.
- [13] Beškoski VP, Milic J, Gojgic-Cvijovic GD, Ilic M. Bioremediation of soil polluted with crude oil and its derivatives: microorganisms, degradation, pathways, technologies. *Hemijaska Industrija*. 2019;74(4):455–460. <http://dx.doi.org/10.2298/HEMIND110824084B>

- [14] GOST R ISO 22030–2009. *Soil quality. Biological methods. Chronic phytotoxicity for higher plants*. Moscow: Federal Agency for Technical Regulation and Metrology; 2011. (In Russ.) ГОСТ Р ИСО 22030–2009. Качество почвы. Биологические методы. Хроническая фитотоксичность в отношении высших растений. М. : Стандартинформ, 2011. 33 с.
- [15] Yang Yu, Shu L, Wang X, Xing B, Tao S. Mechanisms regulating bioavailability of phenanthrene sorbed on a peat soil-origin humic substance. *Environmental toxicology and chemistry*. 2012;31(7):1431–1437. <http://dx.doi.org/10.1002/etc.1844>

Сведения об авторах:

Чердакова Алина Сергеевна, кандидат биологических наук, доцент, кафедра географии, экологии и природопользования, Рязанский государственный университет имени С.А. Есенина. eLIBRARY SPIN-код: 5372-7424; Scopus Author ID: 57202028624. E-mail: cerdakova@yandex.ru

Гальченко Светлана Васильевна, кандидат биологических наук, доцент, кафедра биологии и методики ее преподавания, Рязанский государственный университет имени С.А. Есенина. eLIBRARY SPIN-код: 1524-2513; Scopus Author ID: 57211478599. E-mail: s.galchenko2017@yandex.ru

Bio notes:

Alina S. Cherdakova, Candidate of Biological Sciences, Associate Professor, Department of Geography, Ecology and Nature Management, Ryazan State University named for S. Yesenin. eLIBRARY SPIN-code: 5372-7424; Scopus Author ID: 57202028624. E-mail: cerdakova@yandex.ru

Svetlana V. Galchenko, Candidate of Biological Sciences, Associate Professor, Department of Biology and Methods of its Teaching, Ryazan State University named for S. Yesenin. eLIBRARY SPIN-code: 1524-2513; Scopus Author ID: 57211478599. E-mail: s.galchenko2017@yandex.ru