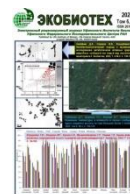




ЭКОБИОТЕХ

ISSN 2618-964X

<http://ecobiotech-journal.ru>


ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ РАЗЛИЧНЫХ ЗАГРЯЗНИТЕЛЕЙ НА РОСТ И РАЗВИТИЕ РАСТЕНИЙ-РЕМЕДИАНТОВ

Коршунова Т.Ю.*, Искужина М.Г., Кузина Е.В.,
Мухаматдырова С.Р., Рамеев Т.В.

Уфимский Институт биологии Уфимского федерального
исследовательского центра РАН, Уфа, Россия

*E-mail: lab.biotech@yandex.ru

Фиторемедиация является экологически безопасным, недорогим и эстетически привлекательным методом очистки и восстановления нарушенных территорий, в том числе, подвергшихся негативному воздействию предприятий нефтедобывающего и нефтеперерабатывающего комплекса. Однако для ее успешного осуществления необходимы растения, обладающие устойчивостью не только к нефти, но и к дополнительным поллютантам, которые могут входить в ее состав или изначально присутствовать в почве. В работе было изучено влияния нефти, хлорида натрия, тяжелых металлов (кадмий, медь, свинец) и гербицидов разных групп (Тапира, Фенизана и Чисталана) на всхожесть, рост побегов и корней растений семейств Бобовые и Злаковые для оценки возможности их использования для реабилитации почвы от нефти при наличии сопутствующих загрязнителей.

Показана токсичность для тестируемых культур меди (за исключением люпина), а также гербицидов Фенизан и Чисталан, компонентом которых является дикамба. Наиболее перспективными растениями для фиторемедиации по совокупности изученных признаков оказались люпин, ячмень и овес. Они обладали высокой (80% и более) всхожестью, не снижающейся в присутствии поллютантов, были способны к удлинению побегов и корней на фоне нефти как основного загрязнителя и проявляли устойчивость к некоторым другим ксенобиотикам (люпин – к кадмию, свинцу и гербициду Тапир; ячмень – к кадмию и свинцу; овес – к кадмию и Тапиру).

Ключевые слова: фиторемедиация ♦ бобовые и злаковые культуры ♦ нефть ♦ хлорид натрия ♦ тяжелые металлы ♦ гербициды ♦ всхожесть ♦ морфометрические показатели

EVALUATION OF THE INFLUENCE OF VARIOUS POLLUTANTS ON THE GROWTH AND DEVELOPMENT OF REMEDIANT PLANTS

Korshunova T.Yu.*, Iskuzina M.G., Kuzina E.V.,
Mukhamatdyarova S.R., Rameev T.V.

Ufa Institute of Biology Ufa Federal Research Center
of the Russian Academy of Sciences Ufa, Russia

*E-mail: lab.biotech@yandex.ru

Phytoremediation is an environmentally safe, inexpensive and aesthetically attractive method of cleaning and restoring areas that have been adversely affected by oil production and refinery enterprises. However, its successful implementation requires plants that are resistant not only to oil, but also to additional pollutants that may be part of its composition or initially present in the soil. In the work, the influence of oil, sodium chloride, heavy metals (cadmium, copper, lead) and herbicides of different groups (Tapir, Fenizan and Chistalan) on the germination, growth of shoots and roots of plants of the Legume and Cereal families was studied to assess the possibility of their use for soil rehabilitation from oil in the presence of associated contaminants.

The toxicity for the tested cultures of copper (with the exception of lupine), herbicides Fenizan and Chistalan was shown. The most promising plants for phytoremediation in terms of the studied traits were lupine, barley and oats. They had a high (80% or more) germination, which did not decrease in the presence of pollutants, were capable of elongation of shoots and roots against the background of oil as the main pollutant, and were resistant to some other xenobiotics (lupine – to cadmium, lead and the herbicide Tapir; barley – to cadmium and lead; oats – to cadmium and Tapir).

Keywords: phytoremediation ♦ legumes ♦ cereals ♦ oil ♦ sodium chloride ♦ heavy metals ♦ herbicides ♦ germination ♦ morphometric parameters

Поступила в редакцию: 03.09.2023

[Цитировать | Cite as](#)

DOI: [10.31163/2618-964X-2023-6-3-156-165](https://doi.org/10.31163/2618-964X-2023-6-3-156-165)

EDN: [NRDBJN](https://www.edn.ru/NRDBJN)



ВВЕДЕНИЕ

Биоремедиация, основанная на способности живых объектов к разложению поллютантов, считается простым, безопасным и экономически выгодным способом ликвидации последствий антропогенного загрязнения [Sales da Silva et al., 2020; Mambwe et al., 2021; Stepanova et al., 2022]. Одним из ее направлений является фиторемедиация, которая помимо вышеперечисленных достоинств, обладает еще эстетической привлекательностью для населения [Allamin et al., 2020; Wei et al., 2021]. Основным сдерживающим фактором для ее широкого использования является снижение биомассы растений в результате стресса, вызванного совокупностью неблагоприятных условий (токсичностью загрязнителя, нарушением водно-воздушного режима почвы, снижением доступности питательных микроэлементов и пр.). Это, в свою очередь, может привести к очень медленным темпам восстановления.

Очистка сельскохозяйственных почв, нарушенных в результате аварийных нефтеразливов, с помощью биологических методов представляет собою очень сложную задачу. Причина этого заключается в том, что помимо основного загрязнителя – нефти, в них практически всегда присутствуют дополнительные поллютанты, такие как остаточные количества химических средств защиты растений, различные соли (большой частью хлориды) [Сангаджиева, Самтанова, 2013] и тяжелые металлы, содержащиеся в сырой нефти [Gondall et al., 2006]. Кроме того, источником поступления последних могут быть минеральные удобрения и пестициды, регламент применения которых был нарушен [Chen et al., 2015]. Каждый из этих ксенобиотиков сам по себе оказывает негативное воздействие на растения [Olaranont et al., 2018; Mahapatra et al., 2019; Safdar et al., 2019; Ghorri et al., 2019], а в случае одновременного нахождения в почве они могут усиливать отрицательные эффекты друг друга [Renoux et al., 2013]. Поэтому для реабилитации нефтезагрязненных сельскохозяйственных угодий необходимо использовать растения, способные поддерживать свою биомассу на уровне, достаточном для проведения фиторемедиационных мероприятий при наличии дополнительных токсикантов.

В связи с вышеизложенным, целью работы было изучение влияния нефти, хлорида натрия, тяжелых металлов и гербицидов разных групп на растения и оценка перспективности их применения для биологической очистки почв от нефти в условиях сопутствующего загрязнения.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Объектами исследования служили семена и проростки растений семейств Бобовые (*Fabaceae*) и Злаковые (*Poaceae*), представители которых наиболее часто используются для фиторемедиации, в т.ч. нефтезагрязненных почв как самостоятельно, так и в составе травосмесей [Wei et al., 2020; Oyedeji et al., 2022; Kuzina et al., 2022; Meistininkas et al., 2023]:

- семейство Бобовые: люцерна изменчивая (*Medicago sativa* subsp. *varia* (Martyn) Arcang.) сорта Галия, донник белый (*Melilotus albus* Medik.) сорта Чермасан, люпин белый (*Lupinus albus* L.) сорта Дега, клевер луговой (*Trifolium pratense* L.) сорта Ранний 2, нут бараний (*Cicer arietinum* L.) сорта Заволжский, горох посевной (*Pisum sativum* L.) сорта Чишминский 95;

- семейство Злаковые: суданская трава (*Sorghum × drummondii*) сорта Кинельская 100, могар (итальянское просо) (*Setaria italica* (L.) P. Beauv) сорта Башкирский, ячмень (*Hordeum vulgare* L.) сорта Михайловский, костер безостый (*Bromopsis inermis* Leyss) сорта

Чишминский 4, овсяница луговая (*Festuca pratensis* Huds.) сорта Свердловская 37, овес посевной (*Avena sativa* L.) сорта Рысак.

В качестве загрязнителей использовали:

- нефть, 20.0 г/кг почвы;
- хлорид натрия, 2.5 г/кг почвы;
- кадмий в виде $\text{Cd}(\text{CH}_3\text{COO})_2 \times 2\text{H}_2\text{O}$, 0.5 г/кг почвы;
- свинец в виде $\text{Pb}(\text{CH}_3\text{COO})_2 \times 3\text{H}_2\text{O}$, 10.0 г/кг почвы;
- медь в виде $\text{CuSO}_4 \times 5\text{H}_2\text{O}$, 40.0 г/кг почвы;
- гербицид Тапир (ООО «Агро Эксперт Групп», д.в. имазетапир), 15.0 мкг/кг почвы;
- гербицид Фенизан (ЗАО «Щелково Агрохим», д.в. дикамба и хлорсульфурон),

5.0 мкг/кг почвы;

- гербицид Чисталан (ООО «АХК-АГРО», д.в. 2,4-Д (2-этилгексилловый эфир) и дикамба (натриевая соль)), 20.0 мкг/кг почвы.

Гербициды вносили в виде рабочего раствора, приготовленного согласно рекомендациям производителя.

50 г тщательно измельченной увлажненной почвы, содержащей какой-либо один дополнительный компонент, помещали в чашки Петри. 30 штук семян, предварительно замоченных в водопроводной воде на 30 минут, раскладывали на поверхности почвы и далее инкубировали в течении 3-8 суток (в зависимости от вида растений) при комнатной температуре (22-24°C). После этого подсчитывали процент проросших семян и измеряли длину побегов и корней.

Статистическую обработку данных проводили с использованием стандартных программ MS Excel. Данные представлены как среднее \pm стандартная ошибка. Достоверность различий оценивали с помощью t-критерия Стьюдента.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Всхожесть семян зависела как от самого растения, так и от использованного загрязнителя (рисунок). Из всех культур самым низким исходным показателем обладал донник (47%). Среди бобовых максимальное число проросших семян зафиксировано у люпина и гороха (81 и 83% соответственно), а среди злаков – у суданской травы, ячменя и овса (88-99%). В целом, можно отметить более высокую начальную всхожесть представителей сем. *Poaceae*.

Как известно, на ранних стадиях своего развития растения особо подвержены негативному воздействию факторов среды [Kamath et al., 2004; Ebadi et al., 2018; Ruiz-Huerta et al., 2022]. Однако нефть в небольших концентрациях может оказывать на них стимулирующее действие [Кузина и др., 2019], что может объясняться присутствием в ее составе веществ с рострегулирующей активностью [Bona et al., 2011]. В настоящем эксперименте достоверное увеличение всхожести на нефтесодержащей почве по сравнению с контролем наблюдали у люпина, гороха, ячменя и овсяницы (на 5-18%) (рисунок).

Считается, что виды сем. *Poaceae* обладают большей солеустойчивостью по сравнению с бобовыми. Это связывают с тем, что центры происхождения многих из них (пшеница, ячмень, овес, просо, сорго) находятся в аридных районах Северной Америки и Юго-Восточной Азии, где засоленные почвы занимают значительные территории. Длительная эволюция в таких условиях содействовала отбору наиболее солетолерантных форм растений и закреплению этого признака в потомстве. У бобовых культур эволюция

протекала в регионах с достаточным увлажнением и малой распространенностью засоленных почв (горные области Юго-Западной и Центральной Азии, горы Центральной Африки), поэтому среди них нет галофитов [Удовенко, 1989]. В представляемой работе хлорид натрия подавлял всхожесть у большинства тестируемых растений, за исключением люпина и овса, на прорастание семян которых он не оказывал какого-либо достоверного влияния, и нута – у него количество проросших семян при внесении в почву соли возросло на 9% по сравнению с контролем (рисунок).

Тяжелые металлы оказывали неодинаковое и неоднозначное влияние на анализируемый показатель. Так, наличие кадмия достоверно снижало всхожесть донника, могара и костра, но повышало ее у клевера. Ионы меди отрицательно влияли на количество проросших семян у всех тестируемых культур, за исключением люпина, а присутствие свинца не только не угнетало всхожесть бобовых растений, но даже повышало ее у люцерны, люпина и клевера (рисунок). Согласно [ГОСТ 17.4.1.0283], свинец и кадмий по своей токсичности относятся к первому классу (высоко опасные), а медь – ко второму (умеренно опасные), но в данном исследовании именно она наиболее заметно ингибировала прорастание по сравнению с другими металлами.

Для гербицидов, в целом, было характерно относительно нейтральное влияние на всхожесть злаковых культур и дифференцированное воздействие на процесс прорастания у бобовых (рисунок). Так, Тапир стимулировал всхожесть люцерны и нута и угнетал ее у клевера. Фенизан способствовал уменьшению количества проросших семян у донника, клевера и нута, а Чисталан – у люцерны, донника и гороха. Также можно отметить, что Фенизан и Чисталан являются более токсичными для растений (возможно, из-за входящей в их состав дикамбы), хотя эта тенденция чаще всего достоверно не подтверждается.

Эффективность фиторемедиации почв зависит от продуктивности растений. Чем значительнее биомасса, тем большее количество поллютантов можно удалить с ее помощью. Поэтому активация роста побегов и, особенно, корней является желаемой ответной реакцией на присутствие загрязнителя, которая должна повышать способность фиторемедиантов к накоплению и деструкции ксенобиотиков совместно с ризосферными бактериями. В связи с этим, представлялось важным выяснить, как влияют на морфометрические параметры изучаемых растений нефть, соль, тяжелые металлы и гербициды. Так, показано, что нефть подавляла рост побегов и корней у клевера и нута, но способствовала этому процессу у люпина (побег – на 80.9, корень – на 28.9%), суданской травы (побег – на 19.0, корень – на 37.8%), ячменя (побег – на 24.2, корень – на 17.7%), овса (побег – на 26.3, корень – на 58.8%) и овсяницы (побег – на 75.8, корень – на 39.1%). Она стимулировала надземную и угнетала подземную часть у люцерны и гороха (таблица). Наличие этого загрязнителя в почве не оказывало положительного эффекта на могар. Можно отметить, что внесение нефти привело к удлинению побега и снижению длины корня у большинства бобовых растений, а на эти части злаковых культур она оказывала, в основном, стимулирующее действие.

Засоление почвы крайне негативно сказалось на ростовых характеристиках всех растений. Только у овса эти показатели снизились не так значительно, как у остальных культур (побег – на 16.2, корень – на 14.2%), а у люпина они уменьшились недостоверно (таблица). Вместе с тем, согласно некоторым данным [Зайцева и др., 2009; Кривобочек и др.,

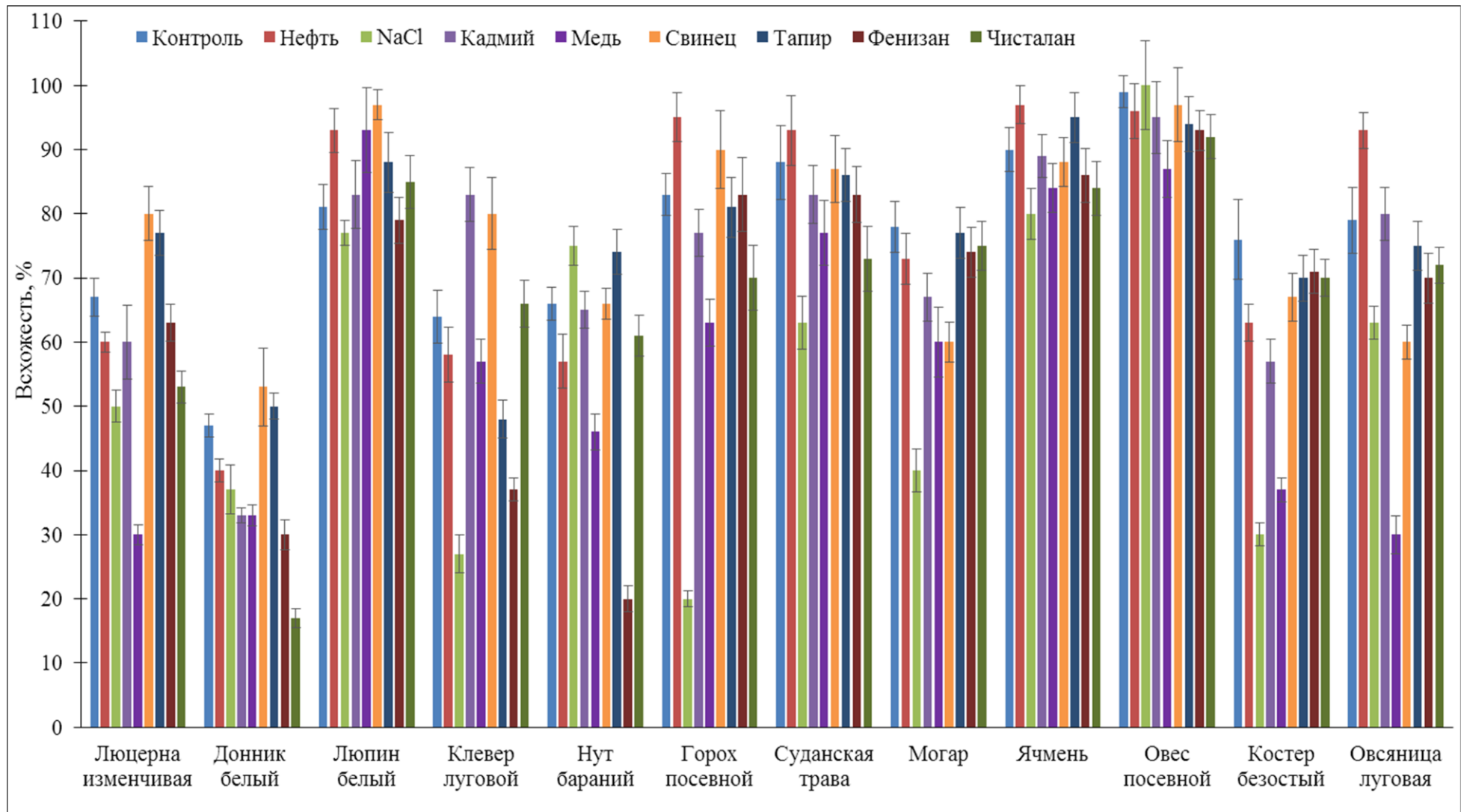


Рис. Всхожесть семян растений в зависимости от вида загрязнителя

Таблица. Длина побегов и корней растений в зависимости от вида загрязнителя, мм

Растение	Контроль		Нефть		NaCl		Тяжелые металлы						Гербициды					
	побег	корень	побег	корень	побег	корень	Cd ²⁺		Cu ²⁺		Pb ²⁺		Тапир		Фенизан		Чисталан	
							побег	корень	побег	корень	побег	корень	побег	корень	побег	корень	побег	корень
Люцерна изменчивая	21.3	18.1	24.0	9.2	7.8	7.6	11.2	10.8	6.1	3.3	13.8	12.3	25.1	19.7	5.6	3.9	9.0	4.6
Донник белый	20.8	12.4	28.6	11.2	8.0	3.8	8.4	5.9	4.5	3.0	10.1	8.3	30.0	13.1	3.0	3.0	9.0	3.0
Люпин белый	13.6	32.2	24.6	41.5	13.1	31.4	13.2	47.5	12.7	29.6	18.3	42.7	16.6	33.9	3.2	15.6	5.5	7.3
Клевер луговой	13.6	15.9	6.2	11.2	4.0	8.3	7.3	11.3	8.1	9.2	10.6	11.7	10.6	10.1	7.0	3.4	11.1	4.8
Нут бараний	12.8	33.5	8.0	17.5	11.0	26.0	12.5	28.8	6.0	6.7	13.6	27.1	18.4	45.4	6.6	7.0	8.0	13.8
Горох посевной	19.7	31.2	38.6	27.5	9.4	9.7	12.0	16.7	4.0	10.6	10.5	17.6	14.5	36.0	5.0	7.2	8.8	10.5
Суданская трава	36.9	36.0	43.9	49.6	3.0	12.1	7.3	11.3	3.5	5.3	10.8	15.5	28.7	24.1	25.7	27.6	22.9	11.7
Могар	13.9	17.0	9.6	16.5	4.0	8.3	13.4	16.6	3.0	5.5	10.6	11.1	10.2	9.2	10.4	13.3	11.7	14.0
Ячмень	14.9	24.9	18.5	29.3	10.5	13.4	19.9	33.4	6.0	6.9	18.9	27.8	15.4	12.3	13.1	15.2	11.6	18.3
Овес посевной	22.8	33.0	28.8	52.4	19.1	28.3	21.9	39.1	18.7	26.7	9.3	15.1	26.2	36.3	23.1	30.7	18.4	29.1
Костер безостый	17.4	24.5	19.0	39.7	7.6	8.6	6.7	15.9	10.3	13.1	14.5	24.4	15.8	14.7	15.6	20.8	14.1	17.2
Овсяница луговая	21.9	20.2	38.5	28.1	6.1	11.7	12.8	18.4	11.4	6.5	7.3	11.5	17.3	18.4	20.5	16.9	17.3	12.4

Примечание. Полужирным шрифтом выделены значения, которые достоверно отличаются от контроля при $p \leq 0.05$, t-тест.

2017], люпин считается слабо-, а овес – среднесолеустойчивой культурой. Вместе с тем, отмечается, что существуют различия в толерантности к стрессовым факторам, в том числе к засолению, не только между разными видами сельскохозяйственных растений, но и между сортами одной и той же культуры [Ткачева, Досеева, 2015; Беловолова и др., 2021; Гераськин и др., 2021], что, вероятно, и имело место в нашем случае.

При оценке влияния тяжелых металлов на длину проростков и их корней обнаружена та же тенденция, что и при изучении всхожести семян (таблица). Наиболее токсичной оказалась медь, которая подавляла развитие надземной и подземной части всех растений. В целом, кадмий более заметно угнетал бобовые культуры, чем злаки (за исключением люпина, у которого он усиливал развитие корней и не влиял на побег). Его внесение в почву стимулировало рост побегов и корней у ячменя (на 33.6 и 34.1% соответственно), не ингибировало анализируемые признаки у могоара и удлиняло подземную часть овса (на 18.5%). Свинец оказывал положительный эффект на длину проростков и корней люпина (побег – на 34.6, корень – на 32.6%) и ячменя (побег – 26.8, корень – на 11.7%) и способствовал снижению этих показателей у остальных культур.

В присутствии гербицида Тапир размер побега у люцерны, донника, люпина увеличивался, а корня – достоверно не изменялся (таблица). Препарат подавлял развитие и надземной, и подземной части клевера, суданской травы, могоара, костра и овсяницы, но увеличивал их длину у нута (побег – на 43.8, корень – на 35.5%) и овса (побег – 14.9, корень – на 10.0%). Гербициды Фенизан и Чисталан проявили токсичность по отношению к ростовым характеристикам всех растений, которая была более резко выражена при воздействии на бобовые культуры.

Что касается ответных реакций конкретных растений на внесение в почву загрязнителей, то можно отметить следующее:

- у люцерны и донника количество проросших семян увеличивалось только под действием свинца и Тапира, однако в случае донника это увеличение было недостоверным. Активация роста побегов этих растений происходила под воздействием нефти и Тапира, в других случаях имело место их угнетение. Ксенобиотики, кроме Тапира и нефти (в случае донника), ингибировали корневую систему обеих культур;

- всхожесть люпина достоверно не снижалась в присутствии загрязнителей и даже возрастала при внесении в почву меди, свинца и нефти, причем два последних вещества стимулировали развитие побегов и корней. Наличие NaCl, кадмия, свинца и Тапира не приводило к снижению морфометрических показателей у люпина;

- несмотря на то, что количество проросших семян клевера в почве с кадмием или свинцом значительно возрастало, он демонстрировал отсутствие устойчивости ко всем токсикантам, что проявилось в достоверном уменьшении длины его надземной и подземной части при их применении;

- у нута под влиянием поллютантов происходило угнетение роста корней (за исключением Тапира) и побегов (за исключением кадмия, свинца и Тапира), но при этом у него единственного из тестируемых растений наблюдалось достоверное повышение всхожести в ответ на поступление в среду хлорида натрия;

- у гороха только нефть оказывала позитивный эффект на процесс прорастания семян и длину побегов, а Тапир – на рост корней. Во всех остальных случаях зафиксировано подавление ростовых характеристик растения.

- нефть единственная способствовала возрастанию всхожести, а также удлинению побегов и корней суданской травы, в других вариантах опыта отмечено угнетение этих

показателей под воздействием поллютантов;

- у могоара отсутствовала какая-либо положительная реакция на внесение дополнительных компонентов в почву, его всхожесть и размерные характеристики либо снижались, либо оставались без изменения;

- для ячменя установлено достоверное увеличение количества проросших семян под воздействием нефти. Кадмий, свинец и нефть способствовали развитию надземной и подземной части растений;

- такие загрязнители как нефть, хлорид натрия, кадмий, свинец и Тапир не влияли на всхожесть овса, но при этом нефть и гербицид повышали размеры побега и корня, а кадмий – корня;

- под действием поллютантов происходило угнетение прорастания семян и морфометрических показателей проростков костра. Только нефть активировала рост его корней и нейтрально воздействовала на побег этого растения, а свинец – на корни;

- у овсяницы отмечено ингибирование изучаемых характеристик в ответ на все ксенобиотики, за исключением нефти, которая увеличивала ее всхожесть и размеры надземной и подземной части.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В настоящей работе изучено влияние нефти и сопутствующих ей загрязнителей в виде хлорида натрия, тяжелых металлов (кадмия, меди, свинца), а также гербицидов разных классов (Тапира, Фенизана и Чисталана) на всхожесть, рост побегов и корней растений семейств бобовые и злаковые. Установлена токсичность для тестируемых культур меди (за исключением люпина), гербицидов Фенизан и Чисталан.

По совокупности изученных признаков, наиболее перспективными растениями для фиторемедиации нефтезагрязненных сельскохозяйственных почв среди представителей семейства *Fabaceae* можно считать люпин, а среди *Poaceae* – ячмень и овес. Они обладали стабильно высокой (80% и более) всхожестью, которая не снижалась при внесении в почву поллютантов, были способны к наращиванию фитомассы в присутствии нефти как основного загрязнителя и обладали устойчивостью к некоторым дополнительным ксенобиотикам (люпин – к кадмию, свинцу и гербициду Тапир; ячмень – к кадмию и свинцу; овес – к кадмию и Тапиру), что проявилось в удлинении их побегов и корней.

ФИНАНСОВАЯ ПОДДЕРЖКА

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 23-24-00130, <https://rscf.ru/project/23-24-00130/>.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Беловолова А.А., Громова Н.В., Голосной Е.В. Солеустойчивость зернобобовых культур и их сортовая разнокачественность // Вестник АПК Ставрополья. 2021. № 4(44). Р. 21–26.
2. Гераськин С.А., Дикарев А.В., Лыченкова М.А. Дифференциация сортов ячменя по устойчивости к кадмию сохраняется на протяжении всего жизненного цикла растений // Агрохимия. 2021. № 2. С. 78–85. DOI: [10.31857/S0002188121020071](https://doi.org/10.31857/S0002188121020071)
3. ГОСТ 17.4.1.02-83. Охрана природы. Почвы. Классификация химических веществ для контроля загрязнения. Портал нормативных документов. URL: <http://www.OpenGost.ru>

4. Зайцева Р.И., Желнакова Л.И., Никитина Н.С. Характеристика солеустойчивости кормовых культур в начальной фазе вегетации при засолении чернозема хлоридом натрия // Бюл. Почв. ин-та. 2009. № 63. С. 25–40.
5. Кривобочек В.Г., Стаценко А.П., Тразанова Е.А., Курышев И.А. Свободный пролин – биохимический показатель солеустойчивости растений // Аграрный научный журнал. 2017. № 1. С. 16–19. DOI: 10.28983/asj.v0i1.8
6. Кузина Е.В., Бакаева М.Д., Рафикова Г.Ф., Четверикова Д.В., Кудоярова Г.Р. Влияние бактериализации семян суданской травы штаммами рода *Pseudomonas* на их всхожесть и дальнейший рост на фоне загрязнения почвы углеводородами нефти // Экобиотех. 2019. Т. 2. № 2. С. 184–188. DOI: 10.31163/2618-964X-2019-2-2-184-188
7. Сангаджиева Л.Х., Самтанова Д.Э. Химический состав пластовых вод и их влияние на загрязнение почвы // Геология, география и глобальная энергия. 2013. № 3 (50). С. 168–178.
8. Ткачева М.С., Досеева О.А. К вопросу солеустойчивости риса (обзор) // Научный журнал КубГАУ. 2015. № 105 (01). Статья 57. <http://ej.kubagro.ru/2015/01/pdf/57.pdf>
9. Удовенко Г.В. Механизмы адаптации растений к засолению почвы: физиологические и генетические аспекты солеустойчивости растений // Проблемы солеустойчивости растений. Ташкент: ФАН, 1989. С. 113–142.
10. Allamin I.A., Halmi M.I.E., Yasid N.A., Ahmad S.A., Abdullah S.R.S., Shukor Y. Rhizodegradation of petroleum oily sludge contaminated soil using *Cajanus cajan* increases the diversity of soil microbial community. Sci. Rep. 2020, 10, Article 4094. DOI: 10.1038/s41598-020-60668-1
11. Bona C., Rezende I.M., Oliveira Santos G., Souza L.A. Effect of soil contaminated by diesel oil on the germination of seeds and the growth of *Schinus terebinthifolius* Raddi (*Anacardiaceae*) seedlings // Brazil. Arch. Biol. Technol. 2011. V. 54 (6). P. 1379–1387. DOI: 10.1590/s1516-89132011000600025
12. Chen M., Xu P., Zeng G., Yang C., Huang D., Zhang J. Bioremediation of soils contaminated with polycyclic aromatic hydrocarbons, petroleum, pesticides, chlorophenols and heavy metals by composting: Applications, microbes and future research needs // Biotechnol. Adv. 2015. V. 33 (6). P. 745–755. DOI: 10.1016/j.biotechadv.2015.05.003
13. Ebadi A., Khoshkholgh Sima N.A., Olamaee M., Hashemi M., Ghorbani Nasrabadi R. Remediation of saline soils contaminated with crude oil using the halophyte *Salicornia persica* in conjunction with hydrocarbon-degrading bacteria // J. Environ. Manag. 2018. V. 219. P. 260–268. DOI: 10.1016/j.jenvman.2018.04.115
14. Ghorri N.H., Ghorri T., Hayat M.Q., Imadi S.R., Gul A., Altay V., Ozturk M. Heavy metal stress and responses in plants // Int. J. Environ. Sci. Technol. 2019. V. 16. P. 1807–1828. DOI: 10.1007/s13762-019-02215-8
15. Gondall M.A., Hussain T., Yamari Z.H., Baig M.A. Detection of heavy metals in Arabian crude oil residue using laser induced breakdown spectroscopy // Talanta. 2006. V. 69. P. 1072–1078.
16. Kamath R., Rentz J.A., Schnoor J.L., Alvarez P.J.J. Phytoremediation of hydrocarbon-contaminated soils: principles and applications // Studies in Surface Science and Catalysis. 2004. V. 151. P. 447–478.
17. Kuzina E., Mukhamatdyarova S., Sharipova Y., Makhmutov A., Belan L., Korshunova T. Influence of bacteria of the genus *Pseudomonas* on leguminous plants and their joint application for bioremediation of oil contaminated soils // Plants. 2022. V. 11 (23). Article 3396. DOI: 10.3390/plants11233396

18. Mahapatra K., De S., Banerjee S., Roy S. Pesticide mediated oxidative stress induces genotoxicity and disrupts chromatin structure in fenugreek (*Trigonella foenum – graecum* L.) seedlings // J. Hazard. Mater. 2019. V. 369. P. 362–374. DOI: [10.1016/j.jhazmat.2019.02.056](https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2019.02.056)
19. Mambwe M., Kalebaila K.K., Johnson T. Remediation technologies for oil contaminated soil // Global J. Environ. Sci. Manage. 2021. V. 7. P. 419–438. DOI: [10.22034/gjesm.2021.03.07](https://doi.org/10.22034/gjesm.2021.03.07)
20. Meistininkas R., Vaskevicienė I., Dikšaitytė A., Pedisius N., Zaltauskaitė J. Potential of eight species of legumes for heavy fuel oil-contaminated soil phytoremediation // Sustainability. 2023. V. 15 (5). Article 4281. DOI: [10.3390/su15054281](https://doi.org/10.3390/su15054281)
21. Olanranton Y., Stewart A.B., Traiperm P. Physiological and anatomical responses of a common beach grass to crude oil pollution // Environ. Sci. Pollut. Res. 2018. V. 25. P. 28075–28085. DOI: [10.1007/s11356-018-2808-2](https://doi.org/10.1007/s11356-018-2808-2)
22. Oyedeji A.A., Besenyei L., Kayode J., Fullen M.A. An appraisal of phytoremediation as an alternative and effective remediation technology for crude oil-contaminated soils: A review // Afr. J. Environ. Sci. Technol. 2022. V. 16 (8). P. 311–319. DOI: [10.5897/AJEST2017.2350](https://doi.org/10.5897/AJEST2017.2350)
23. Renoux A.Y., Zajdlik B., Stephenson G.L., Moulins L.J. Risk-based management of site soils contaminated with a mixture of hazardous substances: methodological approach and case study // Hum. Ecol. Risk Assess. 2013. V. 19. P. 1127–1146. DOI: [10.1080/10807039.2012.691825](https://doi.org/10.1080/10807039.2012.691825)
24. Ruiz-Huerta E.A., Armienta-Hernández M.A., Dubrovsky J.G., Gómez-Bernal, J.M. Bioaccumulation of heavy metals and As in maize (*Zea mays* L.) grown close to mine tailings strongly impacts plant development // Ecotoxicology. 2022. V. 31 P. 447–467. DOI: [10.1007/s10646-022-02522-w](https://doi.org/10.1007/s10646-022-02522-w)
25. Safdar H., Amin A., Shafiq Y., Ali A., Yasin R., Shoukat A., Hussan M.U., Sarwar M.I. A review: Impact of salinity on plant growth // Nat. Sci. 2019. V. 17 (1). P. 34–40. DOI: [10.7537/marsnsj170119.06](https://doi.org/10.7537/marsnsj170119.06)
26. Sales da Silva I.G., Gomes de Almeida F.C., Padilha da Rocha e Silva N.M., Casazza A.A., Converti A., Asfora Sarubbo L. Soil bioremediation: overview of technologies and trends // Energies. 2020. V. 13(18): 4664. DOI: [10.3390/en13184664](https://doi.org/10.3390/en13184664)
27. Stepanova A.Y., Gladkov E.A., Osipova E.S., Gladkova O.V., Tereshonok D.V. Bioremediation of soil from petroleum contamination // Processes. 2022. V. 10. Article 1224. DOI: [10.3390/pr10061224](https://doi.org/10.3390/pr10061224)
28. Wei Y. Research on the present situation of soil oil pollution and phytoremediation technology in Northern Shaanxi // E3S Web of Conf. EDP Sciences. 2020. V. 165. Article 02030. DOI: [10.1051/e3sconf/202016502030](https://doi.org/10.1051/e3sconf/202016502030)
29. Wei Z., Van Le Q., Peng W., Yang Y., Yang H., Gu H., Lam S.S., Sonne C. A review on phytoremediation of contaminants in air, water and soil // J. Hazard. Mater. 2021. V. 403. Article 123658. DOI: [10.1016/j.jhazmat.2020.123658](https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2020.123658)

Цитировать как

Коршунова Т.Ю., Искужина М.Г., Кузина Е.В., Мухаматдырова С.Р., Рамеев Т.В. Оценка влияния различных загрязнителей на рост и развитие растений-ремедиантов // Экобиотех, 2023, Т. 6 № 3. С. 156-165. DOI: [10.31163/2618-964X-2023-6-3-156-165](https://doi.org/10.31163/2618-964X-2023-6-3-156-165). EDN: NRDBJN

Cited as

Korshunova T.Yu., Iskuzina M.G., Kuzina E.V., Mukhamatdyarova S.R., Rameev T.V. Evaluation of the influence of various pollutants on the growth and development of remediant plants. *Ekobiotech*. 2023, V. 6 (3). P. 156-165. DOI: [10.31163/2618-964X-2023-6-3-156-165](https://doi.org/10.31163/2618-964X-2023-6-3-156-165). EDN: NRDBJN (In Rus.)