

Оригинальная статья

<https://doi.org/10.26897/1997-6011-2024-2-13-20>

УДК 632.95.02.24.4: 633.13:631.421:631.44:632.122(470.53)



ОЦЕНКА ФИТОТОКСИЧЕСКОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НЕФТЕПРОДУКТОВ НА ВСХОЖЕСТЬ ОВСА ПОСЕВНОГО (*AVENA SATIVA* L.)

Н.П. Карпенко^{1✉}, И.В. Глазунова^{1,2}, М.А. Ширяева^{2,3}

¹ Всероссийский научно-исследовательский институт гидротехники и мелиорации имени А.Н. Костякова; 127434, г. Москва, ул. Б. Академическая, 44, корп. 2, Россия

² Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева; 127434, г. Москва, ул. Тимирязевская, 49, Россия

³ Федеральный научный центр гигиены им. Ф.Ф. Эрисмана Роспотребнадзора; 141010, г. Мытищи, ул. Семашко, 2, Россия

Аннотация. Цель исследований – оценка фитотоксического воздействия нефтепродуктов на всхожесть овса посевного (*Avena sativa* L.) для дальнейшего подбора мелиорантов в целях повышения всхожести сельскохозяйственной культуры и уменьшения концентраций загрязняющих веществ. Исследования проводились в Пермском крае, на территории, приуроченной к водосборному бассейну реки Кама. Фитотоксичность загрязненной нефтепродуктами почвы оценивалась по всхожести семян, энергии прорастания, росту и развитию корней и побегов. Всхожесть семян оценивалась на 7-й день как процент проросших семян от общего числа высеянных. Анализы по агрохимическому составу почв и содержанию микроэлементов в почвенной влаге проводились каждую неделю в течение месяца в 5 повторностях. Результаты показали, что в почве содержится значительное количество подвижного фосфора и незначительное количество нитратного азота. Исследования по выявлению количества погибших клеток овса длились до 15 суток. Значительное отклонение от контроля наблюдалось при концентрации нефтепродуктов более 500 мг/кг, при этом количество погибших клеток овса составило свыше 30%.

Ключевые слова: фитотоксичность, загрязнение почв, нефтепродукты, овес посевной, всхожесть, статистический анализ

Формат цитирования: Карпенко Н.П., Глазунова И.В., Ширяева М.А. Оценка фитотоксического воздействия нефтепродуктов на всхожесть овса посевного (*Avena sativa* L.) // Природообустройство. 2024. № 2. С. 13-20. <https://doi.org/10.26897/1997-6011-2024-2-13-20>

Original article

ASSESSMENT OF THE PHYTOTOXIC EFFECT OF PETROLEUM PRODUCTS ON THE GERMINATION OF OATS (*AVENA SATIVA* L.)

N.P. Karpenko^{1✉}, I.V. Glazunova^{2,1}, M.A. Shiryayeva^{2,3}

¹ All-Russian research institute of hydraulic engineering and land reclamation named after A.N. Kostyakov; 127434, Moscow, B. Akademicheskaya str., 44, building 2, Russia

² Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy; 49 Timiryazevskaya str., Moscow, 127434, Russia

³ Federal Scientific Center of Hygiene named after F.F. Erisman of Rosпотребнадзор; 141010, Mytishchi, Semashko str., 2, Russia

Abstract. The purpose of the study was to assess the phytotoxic effect of petroleum products on the germination of oats (*Avena sativa* L.) for further selection of ameliorants to increase the germination of agricultural crops and reduce the concentrations of pollutants. The research was carried out in the Perm Territory, on the territory confined to the catchment area of the Kama River. Phytotoxicity of oil-contaminated soil was assessed by seed germination, germination energy, growth and development of roots and shoots. Seed germination was estimated on day 7 as the percentage of germinated seeds out of the total number sown. Analyses on the agrochemical composition of soils and the content of trace elements in soil moisture were carried out every week for a month in 5 replicates. The results showed that the soil contains a significant amount of mobile phosphorus and a negligible amount of nitrate nitrogen. Studies to identify the number of dead oat cells lasted up to 15 days. A significant deviation from the control was observed at the concentration of petroleum products more than 500 mg/kg, while the number of dead oat cells was more than 30%.

Keywords: phytotoxicity, soil pollution, oil products, oats, germination, statistical analysis

Format of citation: Karpenko N.P., Glazunova I.V., Shiryaeva M.A. Assessment of the phytotoxic effect of petroleum products on the germination of oats (*Avena sativa* L.) // Prirodoobustrojstvo. 2024. No. 2. P. 13-20. <https://doi.org/10.26897/1997-6011-2024-2-13-20>

Введение. Воздействие добычи, использования и переработки нефтепродуктов на компоненты окружающей среды является сложной проблемой. Нефтяные углеводороды – одна из наиболее распространенных групп стойких органических загрязнителей [1]. Нефть разрушает структуру почвы и изменяет ее физическое, химическое и биологическое состояние [2, 3].

Согласно перечню поручений Правительства Российской Федерации по реализации «Стратегии экологической безопасности Российской Федерации на период до 2025 года» необходимо провести ряд мероприятий по рекультивации земель, подверженных загрязнению в результате хозяйственной деятельности [4]. Проведение рекультивационных мероприятий возможно при наличии четких критериев и стандартов оценки уровня содержания нефтяных углеводородов в почве, а экологическое нормирование направлено на оптимизацию взаимодействия человечества и природы [5]. На совещании по развитию агропромышленного и рыбохозяйственного комплексов 5 апреля 2022 г. подчеркивалось, что целью развития является отечественное сельское хозяйство: производство продовольствия, увеличение мелиорации, восстановление земель, повышение интенсивности их использования [6]. Методы экологического нормирования, в том числе нефти и нефтепродуктов в почвах, требуют разработки четких стандартов качества [7] и норм допустимого остаточного содержания нефтепродуктов в почвах. Поэтому важно разработать методическую базу, включающую в себя обоснование показателей для оценки качества почв и установления допустимого воздействия на них, особенно на сельскохозяйственные почвы.

Растительные тест-организмы были успешно использованы для определения токсичности загрязненных почв и воды [8]. Преимуществом фитотестов с высшими растениями по сравнению с водной средой является использование загрязненной почвы. Недостатком является сравнительно большая продолжительность анализа. Известно, что нефть и нефтепродукты оказывают прямое токсическое воздействие на высшие растения, нарушают водный обмен в почве и повреждают корни, вызывая анаэробные условия. Это подавляет прорастание семян и рост побегов и корней растений, задерживает цветение, а цветки этих растений редко образуют семена [9-11].

В Российской Федерации действует ГОСТ (государственный стандарт) Р ИСО 22030-2009 [12], который описывает метод определения ингибирования темпов роста и репродуктивной способности высших растений под влиянием почвы в контролируемых условиях. Рекомендуется использовать два вида растений: быстрорастущую горчицу полевую (*Brassica rapa* CrGC syn. Rbr) и овес посевной (*Avena sativa* L.). Продолжительность экспериментов должна быть достаточной для достижения целей по определению устойчивости испытуемых растений к воздействию.

Цель исследований: оценка фитотоксического воздействия нефтепродуктов на всхожесть овса посевного (*Avena sativa* L.) для дальнейшего подбора мелиорантов в целях повышения всхожести сельскохозяйственной культуры и уменьшения концентраций загрязняющих веществ.

Исследования проводились в Пермском крае на территории, приуроченной к водосборному бассейну реки Кама. Детектирование загрязненных территорий становится сложным процессом при разливах и утечках небольших концентраций нефтепродуктов. Точечные загрязнения приводят к формированию литохимических ореолов, оказывающих негативное воздействие на экосистему.

Аварийные разливы и утечки привели к формированию литохимических потоков, воздействуя на близлежащие территории. Концентрации в почве значительно превышают допустимое значение (1000 мг/кг), что свидетельствует об отсутствии возможности экосистемы к самоочищению, приводит к угнетению растительности вплоть до ее полной гибели. По некоторым данным, концентрация нефтепродуктов вблизи нефтегазоносных площадей Южно-Сухокумской группы месторождений составляет 2160-4690 мг/кг. В почвах, отобранных на лугах, отмечено высокое содержание нефтепродуктов [13, 14].

В Пермском крае развивается сельское хозяйство. Согласно данным Росстата площадь посевных площадей на 2020 год составляет 757,2 тыс. га [15].

Большую часть посевных площадей в Пермском крае составляют кормовые культуры (60%), 13,5% составляют площади озимой и яровой пшеницы, на третьем месте – ячмень (8,8%), на четвертом – овес посевной (6,6%) (рис. 1).



Рис. 2. Содержание агрохимических показателей в образцах почвы, мг/кг

Fig. 2. Content of agrochemical parameters in soil samples, mg/kg

Таблица 1. Данные исследований содержания микроэлементов в почвенной влаге

Table 1. Studies data of the content of trace elements in soil moisture

| Т0/образец почвы | Ес, $\mu\text{s/cm}$ | Сu, мг/л | Cd, мг/л | Pb, мг/л | Zn, мг/л | pH |
|-------------------|----------------------|----------------|---------------|----------------|---------------|----------------|
| 1 (контроль) | 36.71±11.00 a | 0.04±0.00 b | 0.05± 0.02 ab | 0.13±0.02 a | 0.47±0.26 ab | 7.29±0.30 b |
| 2 | 43.98±8.93 a | 0.03±0.00 b | 0.04±0.00 b | 0.14±0.02 a | 0.25±0.022 b | 7.5±0.04 ab |
| 3 | 40.56±1.55 a | 0.31±0.17 a | 0.08±0.03 a | 0.14±0.02 a | 0.66±0.26 a | 7.59±0.11 ab |
| 4 | 41.70±0.97 a | 0.43±0.43 a | 0.08±0.01 a | 0.13±0.01 a | 0.70±0.098 a | 7.68±0.18 a |
| 5 | 37.15±10.00 a | 0.03±0.00 b | 0.05±0.01 ab | 0.12±0.02 a | 0.41±0.15 ab | 7.42±0.13 ab |
| 6 | 38.09±4.16 a | 0.04±0.01 b | 0.05±0.00 ab | 0.13±0.02 a | 0.40±0.048 ab | 7.41±0.13 ab |
| T12/образец почвы | Ес, $\mu\text{s/cm}$ | Сu, мг/л, | Cd, мг/л | Pb, мг/л | Zn, мг/л | pH |
| 1 (контроль) | 3.56±0.16 cd | 0.04±0 b | 0.07± 0.02 b | 0.08± 0.0025 a | 0.84±0.61 b | 6.61 ±0.09 abc |
| 2 | 2.88±0.087 d | 0.014±0.001 c | 0.022±0.011 b | 0.06±0.03 a | 0.13±0.15 c | 7.56±0.19 a |
| 3 | 6.88±0.12 a | 0.15±0.07 a | 0.68± 0.34 a | 0.28±0.2 a | 16.18±8.13 a | 5.66± 0.98 c |
| 4 | 6.06±0.63 b | 0.15±0.083 a | 0.65±0.5 a | 0.3±0.38 a | 6.75±2.65 a | 6.12 ±0.81 bc |
| 5 | 3.75±0.15 c | 0.015±0.005 c | 0.23±0.09 b | 0.07±0.03 a | 0.006±0.1 c | 7.35± 0.36 ab |
| 6 | 3.05± 0.07 cd | 0.02±0.0006 bc | 0.02± 0.005 b | 0.10±0.02 a | 0.10±0.02 c | 7.45±0.39 ab |

исследований были отмечены значительные отличия от контроля для экспериментов 3 и 4, а к 12-й неделе – для экспериментов 2, 3, 4, 5. В отношении Cd наблюдались незначительные различия между концентрациями в образцах почвенной влаги, а к концу эксперимента значительные различия наблюдались для экспериментов 2, 3, 4. Для Zn наблюдались незначительные различия между концентрациями в образцах почвенной влаги, но к концу исследований были отмечены существенные различия для образцов 2, 5, 3, 6.

В концентрации 200 мг/кг отрицательное действие не отмечено (всхожесть составила 81,0% по сравнению с контролем). Нефтепродукты в концентрациях 800 и 1000 мг/кг вызывают снижение длины корня овса на 17,81% (в дозе 800 мг/кг различия статистически значимы, $p = 0,005$). Значения динамики прорастания семян представлены в таблице 2.

Установлено, что нефтепродукты оказали ингибирующее действие на всхожесть овса в концентрациях 500-1200 мг/кг, которая составила менее 80% от контроля (рис. 3).

На рисунке 4 показана 20-дневная скорость ингибирования роста побегов овса посевного разных экспериментов загрязненной почвы. В случае экспериментов 1 и 2 ингибирование не наблюдалось до концентрации 40% почвы, загрязненной нефтепродуктами. При сочетании почвы в эксперименте 3 ингибирование роста побегов возрастало с увеличением содержания нефтепродуктов. Это явление можно объяснить высокими концентрациями загрязняющих веществ в почве по сравнению с другими загрязненными почвами. Увеличение концентрации нефтепродуктов приводило к значительному снижению толерантности овса посевного.

Статистический анализ данных проводился в программе RStudio. Для выявления корреляционных связей влияния содержания компонентов в почвах на накопление этих элементов в растениях применялся метод ANCOVA (ковариационный анализ). ANCOVA позволил осуществить статистический контроль над неконтролируемыми переменными, чтобы можно было использовать обычные методы анализа без искажения результатов.

Рабочие гипотезы, положенные в основу исследований:

Γ_0 : нет связи во влиянии содержания нефтепродуктов в почвах на концентрацию нефтепродуктов в образцах овса посевного.

Γ_1 : существует связь во влиянии содержания нефтепродуктов в почве на концентрацию нефтепродуктов в растениях.

Для каждого образца растения была построена гистограмма распределения данных (рис. 4). Согласно гистограмме, распределение данных является централизованным и относительно симметричным для обоих образцов.

Данные графика Q-Q (рис. 5) подтвердили, что в полученных данных нет отклонений от стандартного нормального распределения, так

Таблица 2. Характеристики, полученные в ходе исследований всхожести овса посевного
Table 2. Characteristics obtained in the course of the study of germination of oats

| Значения всхожести семян овса посевного, % / Values of oat seeds germination, % | | | | | | |
|---|--|-------------------------------------|-------------------------------------|--------------------------------------|------------------------------------|-------------------------------------|
| | Вариант опыта, концентрация нефтепродуктов, мг/кг Variant of the experiment, concentration of oil products, mg / kg | | | | | |
| | Контроль / Control | 200 | 500 | 800 | 1000 | 1200 |
| Всхожесть, % / Germination, % | 79,32 | 43,16 | 31,22 | 25,00 | 15,25 | 7,9 |
| Длина корня овса посевного / Length of the oat root | | | | | | |
| | Вариант опыта, концентрация нефтепродуктов, мг/кг Variant of the experiment, concentration of oil products, mg / kg | | | | | |
| | Контроль / Control n =120 | 200 n =90 | 500 n =62 | 800 n =39 | 1000 n =42 | 1200 n =12 |
| Длина корня, см Length of the root, cm | 10,20 (7,50; 12,45) | 9,30 (6,70; 11,00) p=0,075 | 10,00 (8,00; 12,00) p=0,35 | 9,00* (6,50; 11,40) p=0,005 | 9,00 (7,80; 10,80) p=0,35 | 5,50* (4,10; 6,20) p=0,000 |

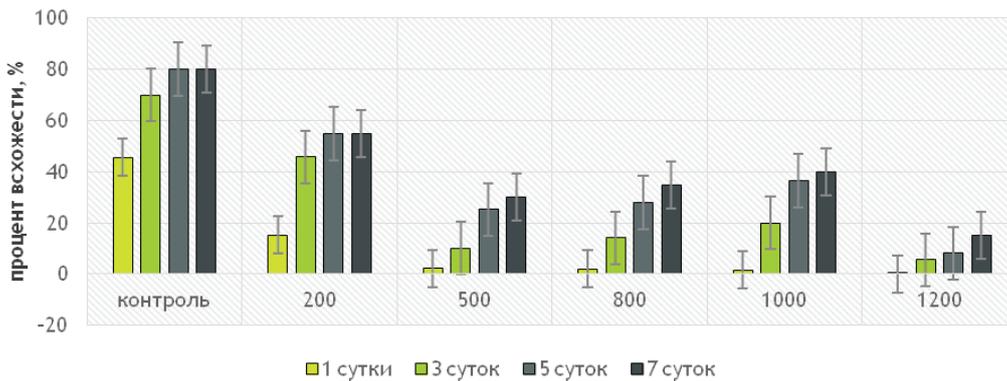


Рис. 3. Динамика прорастания семян
Fig. 3. Dynamics of seed germination

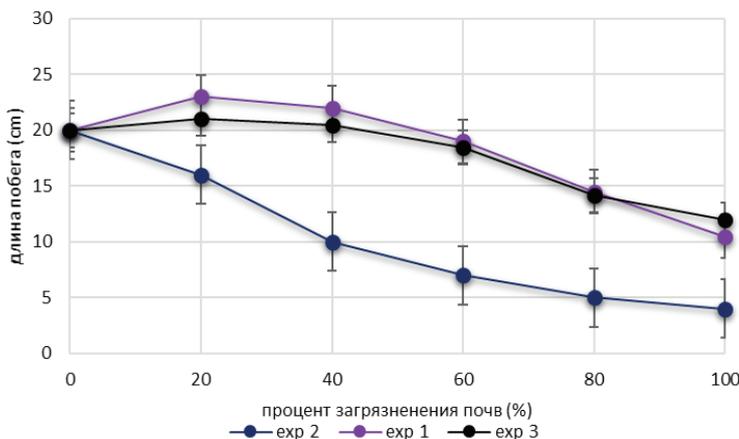


Рис. 4. Влияние загрязнения нефтепродуктами на длину побегов овса посевного через 20 дней
Fig. 4. Effect of oil products contamination on the length of oat shoots after 20 days

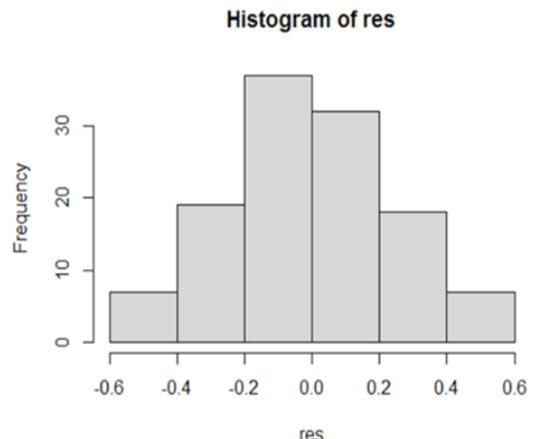


Рис. 5. Гистограмма распределения данных для овса посевного
Fig. 5. Distribution bar chart for oat

как большая часть точек на графике расположена на линии.

На конечном графике статистического анализа показан один и тот же наклон линий, но разные точки пересечения для разных уровней качественной переменной (рис. 6), что свидетельствует о взаимосвязи содержания нефтепродуктов в почве и концентрации нефтепродуктов в исследуемых образцах растений.

Исследования гибели клеток овса показали результат превышения контроля в 2, 5 и 10 раз, а также то, что результат напрямую зависит от концентрации нефтепродуктов в почве.

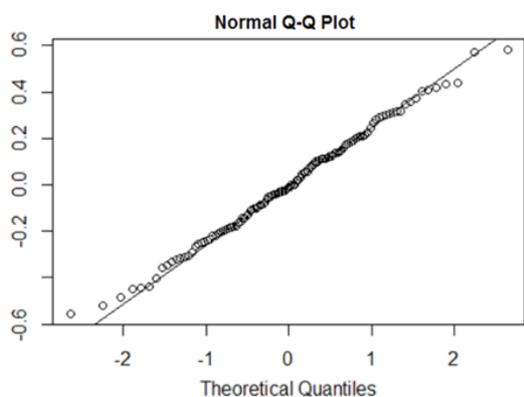


Рис. 6. График Q-Q plot для овса посевного

Fig. 6. Q-Q plot for oats

Гибель клеток в корнях овса посевного (рис. 8) в минимальной концентрации нефтепродуктов обнаружена начиная с 10 суток, в то время как в остальных концентрациях – с 5 суток (по критерию Стьюдента значение $p\text{-value} < 0,05-0,001$).

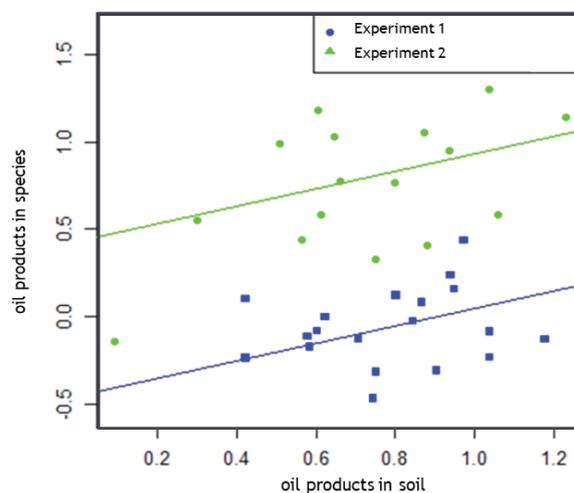


Рис. 7. Диаграмма рассеяния влияния нефтепродуктов в почве на накопительный эффект в корнях овса посевного

Fig. 7. Scatter diagram of the effect of oil products in the soil on the cumulative effect in the roots of oats

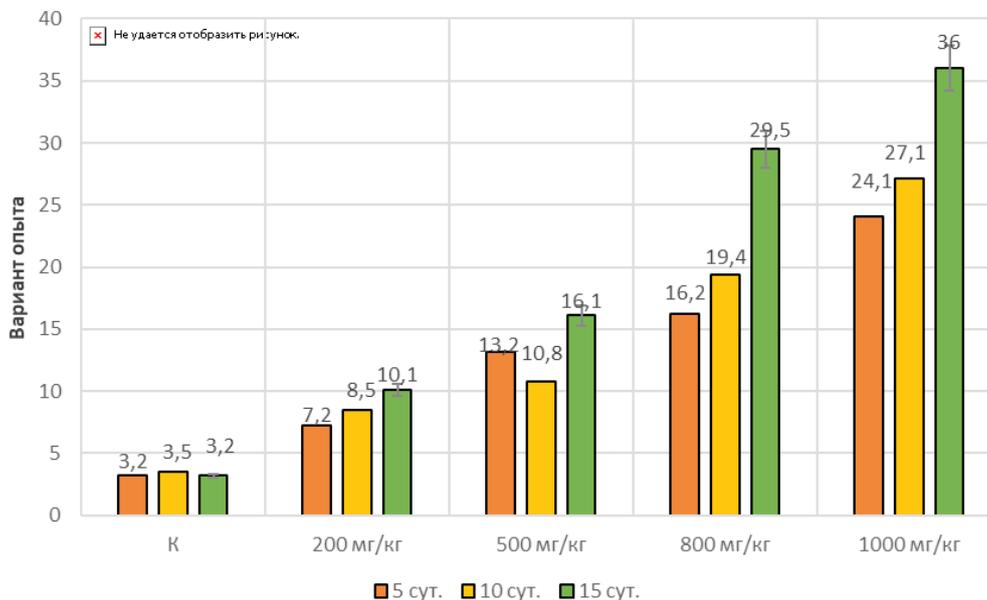


Рис. 8. Количество умерших клеток в корнях овса посевного, %

Fig. 8. Number of dead cells in the roots of oats, %

Выводы

Исследования проводились в Усольском районе Пермского края на территории водосбора реки Кама. Был проведен анализ согласно данным Росстата по структуре посевных площадей исследуемого региона. Большую часть посевных

площадей в Пермском крае составляют кормовые культуры (60%); 13,5% составляют площади озимой и яровой пшеницы; на третьем месте – ячмень (8,8%), на четвертом – овес посевной (6,6%).

Нефтепродукты не оказали значительного фитотоксического действия на семена овса

посевого *Avena sativa* в концентрации 200 мг/кг. Выявлен ингибирующий эффект нефтепродуктов (начиная с концентрации 500 мг/кг) на динамику и энергию прорастания семян овса посевного, всхожесть, а при более высоких концентрациях – и на развитие первичного корня.

Результаты исследований на содержание в почве агрохимических компонентов показали, что в почве содержится значительное количество подвижного фосфора и незначительное количество нитратного азота. Накопление фосфатов может быть обусловлено низкой усвояемостью исследуемыми сельскохозяйственными культурами фосфора.

Список использованных источников

1. **Gamage S.S.W., Masakorala K., Brown M.T., Gamag S.M.K.W.** Tolerance of *Impatiens balsamina* L. and *Crotalaria retusa* L. to grow on soil contaminated by used lubricating oil: A comparative study, *Ecotoxicol. Environ. Safety*, 2020. Vol. 188. P. 109911.
2. **Карпенко Н.П., Ширяева М.А.** Оценка влияния нефтедобычи на качество водных объектов Пермского края с применением ГИС-технологий // *Природообустройство*. 2023. № 1. С. 95-101.
3. **Pikovskii Yu., Gennadiev A.N., Chernyanskii S.S.** et al. The problem of diagnostics and standardization of the levels of soil pollution by oil and oil products. *Eurasian Soil Sci.* 2003. Vol. 36, № 9. Pp. 1010-1018.
4. О Стратегии экологической безопасности Российской Федерации на период до 2025 года: Указ Президента Российской Федерации, утв. 19 апреля 2017 г. № 176. URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_215668/71330e43fc48d840d4e7c44eb8e184f03207692/ (дата обращения: 25.04.2022).
5. Об охране окружающей среды: Федеральный закон от 10 января 2002 г. № 7-ФЗ. URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_34823/ (дата обращения: 25.04.2022).
6. **Бегляров Д.С., Бакштанин А.М., Костина Е.С.** Влияние типов и конструкций рыбозащитных сооружений на сохранение рыбных популяций внутренних водоемов страны // *Природообустройство*. 2019. № 5. С. 64-71.
7. **Кульнев В.В.** Биотестирование почв на основе фрактальных характеристик растений / Насонов А.Н., Цветков И.В., Король Т.С. и др. // *Принципы экологии*. 2020. № 4 (38). С. 40-53.
8. **Карпенко Н.П., Глазунова И.В., Редников С.Н.** Оценка влияния лесонасаждений на обоснование гидролесомелиоративных мероприятий и качество водной среды на водосборном бассейне // *Природообустройство*. 2023. № 2. С. 36-42.
9. OECD (2006) OECD-Guideline for the testing of chemicals (2003) Terrestrial plant test: 208: Seedling emergence and seedling growth test. <http://www.oecd.org/chemical-safety/testing/33653757.pdf>.
10. **El-Hashash E.F.** and Karima Mohamed El-Abasy K.M. Barley (*Hordeum vulgare* L.) breeding, in *Advances in Plant Breeding Strategies: Cereals*, Al-Khayri J.M., **Jain S.M.** and Johnson D.V. Eds., Cham: Springer. 2019. Vol. 5.

В концентрации 200 мг/кг значительное количество гибели клеток наблюдалось на 10-е сутки проведения эксперимента, а в концентрациях 500-1000 мг/кг – на 5-е сутки. Процент гибели клеток овса посевного составил до 36%, что в 10 раз превышает контроль.

По результатам проведенного полевого эксперимента и лабораторных исследований рекомендованный для рассматриваемой местности диапазон использования овса посевного как культуры-освоителя составляет ниже 200 мг/кг, при котором не выявлено ингибирующее действие на растения, что ниже общих рекомендаций 200...500 мг/кг.

References

1. **Gamage S.S.W., Masakorala K., Brown M.T., Gamag S.M.K.W.** Tolerance of *Impatiens balsamina* L. and *Crotalaria retusa* L. to grow on soil contaminated by used lubricating oil: A comparative study, *Ecotoxicol. Environ. Safety*, 2020, vol. 188, p. 109911
2. **Karpenko N.P., Shiryayeva M.A.** Assessment of the impact of oil production on the quality of water bodies in the Perm territory using GIS technologies // *Prirodostroystvo*. 2023. No. 1. P. 95-101.
3. **Pikovskii Yu., Gennadiev A.N., Chernyanskii S.S.**, et al. The problem of diagnostics and standardization of the levels of soil pollution by oil and oil products, *Eurasian Soil Sci.*, 2003, vol. 36, no. 9, pp. 1010-1018.
4. Decree of the President of the Russian Federation "On the Strategy of Environmental Safety of the Russian Federation for the period up to 2025" was approved by the President of the Russian Federation on April 19, 2017 No. 176. http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_215668/71330e43fc48d840d4e7c44eb8e184f03207692/. Access mode: 04/25/2022.
5. Federal Law No. 7-FZ (On Environmental Protection), 10.01.2002. http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_34823/. Access mode 04/25/2022.
6. **Beglyarov D.S., Bakshtanin A.M., Kostina E.S.** The influence of types and designs of fish protection structures on the conservation of fish populations of inland reservoirs of the country // *Prirodostroystvo*. 2019. No. 5. Pp. 64-71.
7. **Kulnev V.V.** Biotesting of soils based on fractal characteristics of plants / Nasonov A.N., Tsvetkov I.V., Korol T.S. et al. // *Principles of ecology*. 2020. No. 4 (38). P. 40-53.
8. **Karpenko N.P., Glazunova I.V., Rednikov S.N.** Assessment of the impact of forest plantations on the justification of hydroforestry measures and the quality of the aquatic environment in the catchment area // *Prirodostroystvo*. 2023. No. 2. P. 36-42.
9. OECD (2006) OECD-Guideline for the testing of chemicals (2003) Terrestrial plant test: 208: Seedling emergence and seedling growth test. <http://www.oecd.org/chemical-safety/testing/33653757.pdf>.
10. **El-Hashash E.F.** and Karima Mohamed El-Abasy K.M. Barley (*Hordeum vulgare* L.) breeding, in *Advances in Plant Breeding Strategies: Cereals*, Al-Khayri J.M., **Jain S.M.**, and Johnson D.V., Eds., Cham: Springer, 2019, vol. 5.

11. USEPA (1996) U.S. EPA-United States Environmental Protection Agency (1996) Ecological Effects Test Guidelines (OPPTS850.4200): Seed Germination/Root Elongation Toxicity Test.

12. ГОСТ Р ИСО (Российские стандарты и стандарты ИСО) № 22030-2009; ISO 22030:2005: Качество почвы. Биологические методы. 2005, 2009.

13. **Быкова М.В., Пашкевич М.А.** Проблема промышленного загрязнения почв нефтепродуктами // Тенденции развития науки и образования. 2020. № 67-1. С. 82-86.

14. **Ермакова Л.С.** Оценка устойчивости почв Пермского края к загрязнению углеводородами // Молодежная наука-2022: технологии, инновации. 2022. № 1 (1). С. 201-205.

15. Пермский край в цифрах. 2023: Краткий статистический сборник / Территориальный орган Федеральной службы государственной статистики по Пермскому краю. URL: <https://59.rosstat.gov.ru/storage/mediabank/Пермский%20край%20в%20цифрах%202023.pdf>.

16. ГОСТ Р 58595-2019. Национальный стандарт Российской Федерации. Почвы. Отбор проб. URL: <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293726/4293726631.pdf>.

Об авторах

Нина Петровна Карпенко, д-р техн. наук, ведущий научный сотрудник; SPIN-код: 3054-6462, AuthorID: 532745; <https://orcid.org/0000-0001-6638-149X>; nkarpenko@yandex.ru

Ирина Викторовна Глазунова, канд. техн. наук, доцент; SPIN-код: 7508-2272, AuthorID: 127917; <https://orcid.org/0000-0003-4931-2008>; ivglazunova@mail.ru

Мargarita Александровна Ширяева, младший научный сотрудник; SPIN-код: 4706-0330, AuthorID: 1081861; <https://orcid.org/0000-0001-8019-1203>; Shiryayeva.MA@fncg.ru

Критерии авторства / Authorship criteria

Карпенко Н.П., Глазунова И.В., Ширяева М.А. выполнили экспериментальные и теоретические исследования, на основании которых провели обобщение и написали рукопись, имеют на статью авторское право и несут ответственность за плагиат.

Конфликт интересов / Conflict of interests

Авторы заявляют об отсутствии конфликтов интересов / The authors declare that there are no conflicts of interest

Вклад авторов / Contribution of authors

Все авторы сделали равный вклад в подготовку публикации / All the authors made an equal contribution to the preparation of the publication

Поступила в редакцию / Received at the editorial office 28.12.2023

Поступила после рецензирования / Received after peer review 14.02.2024

Принята к публикации / Accepted for publication 14.02.2024

11. USEPA (1996) U.S. EPA-United States Environmental Protection Agency (1996) Ecological Effects Test Guidelines (OPPTS850.4200): Seed Germination/Root Elongation Toxicity Test.

12. GOST R ISO (Russian standards and ISO standards) No. 22030-. 2009; ISO 22030:2005: Soil quality. Biological Methods, 2005, 2009.

13. **Bykova M.V., Pashkevich M.A.** The problem of industrial soil pollution with petroleum products // Trends in the development of science and education. 2020. No. 67-1. pp. 82-86.

14. **Ermakova L.S.** Assessment of soil stability of the Perm territory to hydrocarbon pollution // Molodezhnaya nauka 2022: Technologies, innovations. 2022. No. 1(1). pp. 201-205.

15. Perm Region in numbers. 2023: A short statistical collection/ Territorial body of the Federal State Statistics Service for the Perm Region. Access mode: <https://59.rosstat.gov.ru/storage/mediabank/Permian%20kray%20b%20ciphers%202023.pdf>

16. GOST R58595-2019 is the national standard of the Russian Federation. Soils. Sampling. Access mode: <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293726/4293726631.pdf>

Author information

Nina P. Karpenko, DSc (Eng), Senior Researcher, PIN code: 3054-6462, Author ID: 532745; <https://orcid.org/0000-0001-6638-149X>; nkarpenko@yandex.ru

Irina V. Glazunova, CSc (Eng), Associate Professor; SPIN code: 7508-2272, AuthorID: 127917; <https://orcid.org/0000-0003-4931-2008>; ivglazunova@mail.ru

Margarita A. Shiryayeva, Junior Researcher, SPIN-code: 4706-0330, AuthorID: 1081861; <https://orcid.org/0000-0001-8019-1203>; Shiryayeva.MA@fncg.ru

Karpenko N.P., Glazunova I.V., Shiryayeva M.A. carried out experimental and theoretical studies, on the basis of which they generalized and wrote the manuscript, they have a copyright on the article and are responsible for plagiarism.