



Научная статья

УДК 504.054

doi: 10.55186/25876740_2026_69_5_733

ОЦЕНКА ТОКСИЧНОСТИ ПОЧВ, ПОДВЕРЖЕННЫХ ПИРОГЕННОМУ ВОЗДЕЙСТВИЮ, С ПОМОЩЬЮ МЕТОДА ФИТОИНДИКАЦИИ

Г.Г. Морковкин¹, Д.А. Шаповалов¹, Р.Е. Войтенко², К.Д. Богословский²

¹Государственный университет по землеустройству, Москва, Россия

²Московский институт теплотехники Государственной корпорации по космической деятельности, Москва, Россия

Аннотация. В статье приведены результаты исследований фитотоксичности почвенного покрова земель на территориях лесного фонда Рязанской области, подверженных пирогенному воздействию (Спасский, Клепиковский и Рязанские районы). С помощью мониторинга земель методом фитоиндикации (биотестирование по длине роста тест-объекта) был установлен высокий и средний уровень фитотоксичности на землях лесного фонда Рязанской области при пирогенном воздействии. Показано, что фитоиндикация является универсальным, доступным, финансово экономичным методом исследования для всех категорий земель — от лесных экосистем до урбанизированных и промышленных территорий. Для повышения эффективности метода мониторинга земель предложено создание автоматизированного программного модуля на языке Python с целью оперативного расчета фитотоксичности. Расширение пакета обработки данных, который позволит анализировать состояние почв за несколько лет исследований и выявить тренд на восстановление почв, подверженных деградации, интеграции с ГИС, разработке веб-интерфейса и desktop-приложения. Предложена детализация уровней фитотоксичности для объективного зонирования исследуемых территории, определяя зоны с максимальной сильной фитотоксичностью.

Ключевые слова: почвенный покров, растение-индикатор, биогеоценоз, почвенный мониторинг, лесные пожары, хвойный породный состав, класс пожарной опасности

Original article

ASSESSMENT OF THE TOXICITY OF SOILS SUBJECT TO PYROGENIC EFFECTS USING THE PHYTOINDICATION METHOD

G.G. Morkovkin¹, D.A. Shapovalov¹, R.E. Voitenko², K.D. Bogoslovsky²

¹The State University of Land Use Planning, Moscow, Russia

²Moscow Institute of Thermal Engineering of the State Corporation for Space Activities, Moscow, Russia

Abstract. The article presents the results of studies of the phytotoxicity of the soil cover of lands in the territories of the forest fund of the Ryazan region exposed to pyrogenic effects (Spassky, Klepikovsky and Ryazan districts). With the help of monitoring of lands by the phytoindication method (biotesting by the length of the test object), a high and medium level of phytotoxicity was established on the lands of the forest fund of the Ryazan region under pyrogenic effects. Phytoindication has been proven to be a universal, affordable, and financially cost-effective research method for all categories of land, from forest ecosystems to urbanized and industrial areas. To increase the effectiveness of the land monitoring method, it is proposed to create an automated software module in Python for the purpose of operational calculation of phytotoxicity. Expansion of the data processing package, which will allow analyzing the state of soils over several years of research and identify the trend towards soil restoration, subject to degradation, integration with GIS, development of a web interface and desktop application. It is proposed to detail the levels of phytotoxicity for the objective zoning of the studied territories, defining the zones with the strongest phytotoxicity.

Keywords: soil cover, indicator plant, biogeocenosis, soil monitoring, forest fires, coniferous species composition, fire hazard class

Введение. Метод фитоиндикации, основанный на биотестировании почв по морфологическим признакам роста растения-индикатора, применим для оценки состояния почвенного покрова различных типов земель, подверженного антропогенному влиянию [6, 7, 8]. Метод фитоиндикации ранее не применялся для систематического контроля почвенного покрова лесного фонда, подверженного пожарам. Биотестирование постпирогенных почв позволяет количественно сравнить степень их деградации и трансформации. Актуальность метода исследования подтверждается его успешным применением на урбанизированных и промышленных землях [2, 3, 7]. С помощью фитоиндикации открывается возможность в кратчайшие сроки с минимальными финансовыми затратами провести оценку экологического состояния и определить временную характеристику протекания процессов восстановления

функционирования почвенного покрова постпирогенных ландшафтов.

Цель данной работы — изучение возможности использования метода фитоиндикации для оценки общей фитотоксичности почв, подверженных пирогенному воздействию.

Методология проведения исследования. В основу методологии исследования положен системный подход к оценке экологического состояния почвенного покрова.

Оценка фитотоксичности почв, подвергшихся воздействию лесных пожаров на территории Рязанской области, базируется на способности тест-растений (биоиндикаторов) реагировать на наличие токсичных веществ, образующихся в процессе пиролиза и последующего выгорания лесной подстилки и лесного горючего материала [4, 5]. В основу метода входит количественная оценка угнетения роста растения-биоиндикатора, посеянного на образцах почв

горельников в сравнении с контрольной почвой. На рисунке 1 представлены последствия лесных пожаров в Рязанской области.

Метод исследования базируется на физиологической чувствительности семян и проростков растения-индикатора к фенольным соединениям, полициклическим ароматическим углеводородам, кислотности почвы, которые возникают после пожара. Универсальность метода обусловлена тем, что ответная реакция тест-культуры является интегральной оценкой комплекса пирогенных веществ, которые влияют на трансформацию почвенного покрова [4]. В качестве биоиндикатора был использован салат-латук, т.к. растение характеризуется своей скоростью роста, лабораторной всхожестью и чувствительностью к аккумуляции поллютантов [1, 7, 8].

Проращивание семян проводилось при средней температуре 22°C. На 3, 6 и 9 день

проводился анализ интенсивности прорастания и длины роста, а также фиксировались его морфологические признаки [7, 8].

Фитотоксичность вычисляют по формуле (1) как процент угнетения испытуемого растения относительно контроля:

$$\phi = [(d_{p.k} - d_{p.э}) / d_{p.k}] \times 100\%$$
 (1)

где:
др.к. — длина роста на контроле;
др.э. — длина роста на экспериментальном участке. Уровень фитотоксичности определяется согласно таблице 1 [7, 8].



Рисунок 1. Пожароопасная ситуация в районах Рязанской области
Figure 1. Fire-hazardous situation in the districts of the Ryazan region

Таблица 1. Уровни фитотоксичности почвенного покрова
Table 1. Levels of phytotoxicity of the soil cover

Уровень фитотоксичности	Характеристика уровней
<20%	фитотоксичность не проявляется
20-40%	слабая фитотоксичность
40-60%	средняя фитотоксичность
>60%	сильная фитотоксичность

Наличие фитотоксичности может свидетельствовать о проявлении процессов деградации почвенного покрова после пожара за счет утраты гумуса, проявления гидрофобности, накопления токсичных пирогенных соединений. Оценка динамики фитотоксичности за несколько лет после пожара может быть использована для расчета скорости естественной регенерации почв или эффективности восстановления лесного фонда.

Таким образом, методология фитоиндикации представляет собой целостную систему от полевого отбора проб до количественной и качественной оценки токсичного воздействия и позволяет получать достоверные данные о состоянии постпирогенных почв.

Результаты. В 2024 и 2025 годах нами были проведены исследования оценки проявления фитотоксичности почв лесных территорий

Рязанской области (Спасский, Клепиковский и Рязанские районы), где в 2022 году зафиксированы низовые устойчивые пожары. Результаты эксперимента представлены в таблицах 2 и 3.

По годам наблюдений для всех рассматриваемых районов отмечается тенденция на снижение уровня фитотоксичности от 2024 к 2025 году на 2 — 4%. Однако есть некоторые особенности, характерные для территорий, где пирогенное воздействие отмечалось дважды (Спасский район, 2010 и 2022 годы). Здесь на выгоревших участках на расстоянии 5 и 50 м от очага пожара фитотоксичность в 2025 г. составила от 87% до 64% и восстановление свойств почв идет медленнее, чем в Клепиковском и Рязанском районах.

На рисунках 2, 3 представлены уровни фитотоксичности в Рязанской области за 2024 и 2025 годы исследований.

Таблица 2. Фитотоксичность почв Рязанской области (2024 г.)
Table 2. Phytotoxicity of soils in the Ryazan region (2024)

Район Рязанской области	Расстояние от очага пожара, м	Срок определения фитотоксичности (количество дней)					
		3		6		9	
		длина роста	фитотокс. (%)	длина роста	фитотокс. (%)	длина роста	фитотокс. (%)
Спасский	5	0,23	90	0,4	88	0,9	82
	50	0,56	75	1,11	68	1,7	67
	100	0,8	65	1,4	60	2,3	55
	500	1,4	39	2	42	2,9	44
	1000	1,6	30	2,5	28	3,2	38
Клепиковский	5	0,3	86	0,8	77	1,5	71
	50	0,9	60	1,6	54	2,3	55
	100	1,5	34	2,0	42	2,6	50
	500	1,8	21	2,4	31	3,2	38
	1000	2,1	8	2,8	20	3,6	30
Рязанский	5	0,7	69	1,3	62	1,9	63
	50	1,3	43	1,8	48	2,2	57
	100	1,65	28	2,1	40	2,6	50
	500	1,8	21	2,4	31	2,9	44
	1000	2,0	13	2,8	20	3,2	38
Контроль		2,3		3,5		5,2	

Таблица 3. Фитотоксичность почв Рязанской области (2025 г.)
Table 3. Phytotoxicity of soils in the Ryazan region (2025)

Район Рязанской области	Расстояние от очага пожара, м	Срок определения фитотоксичности (количество дней)					
		3		6		9	
		длина роста	фитотокс. (%)	длина роста	фитотоксичность, %	длина роста	фитотокс. (%)
Спасский	5	0,29	87	0,51	85	1,07	79
	50	0,64	72	1,21	65	1,85	64
	100	0,87	62	1,49	57	2,40	54
	500	1,46	37	2,12	39	3,05	41
	1000	1,67	27	2,61	25	3,30	37
Клепиковский	5	0,40	83	0,93	73	1,69	68
	50	1,00	57	1,73	51	2,52	52
	100	1,60	30	2,15	39	2,78	47
	500	1,90	17	2,50	29	3,40	35
	1000	2,20	4	2,90	17	3,80	27
Рязанский	5	0,79	66	1,45	59	2,10	60
	50	1,39	40	1,94	45	2,42	53
	100	1,74	24	2,22	37	2,78	47
	500	1,90	17	2,50	29	3,09	41
	1000	2,08	10	2,92	17	3,41	34
Контроль		2,3		3,5		5,2	

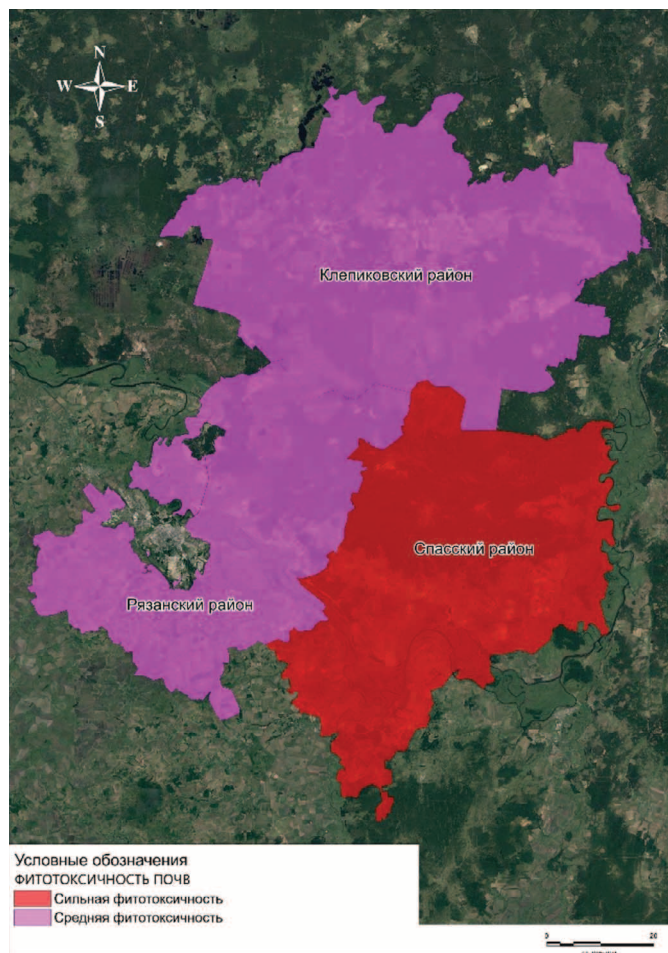


Рисунок 2. Уровни фитотоксичности в районах Рязанской области за 2024 г.
Figure 2. Levels of phytotoxicity in the districts of the Ryazan region 2024

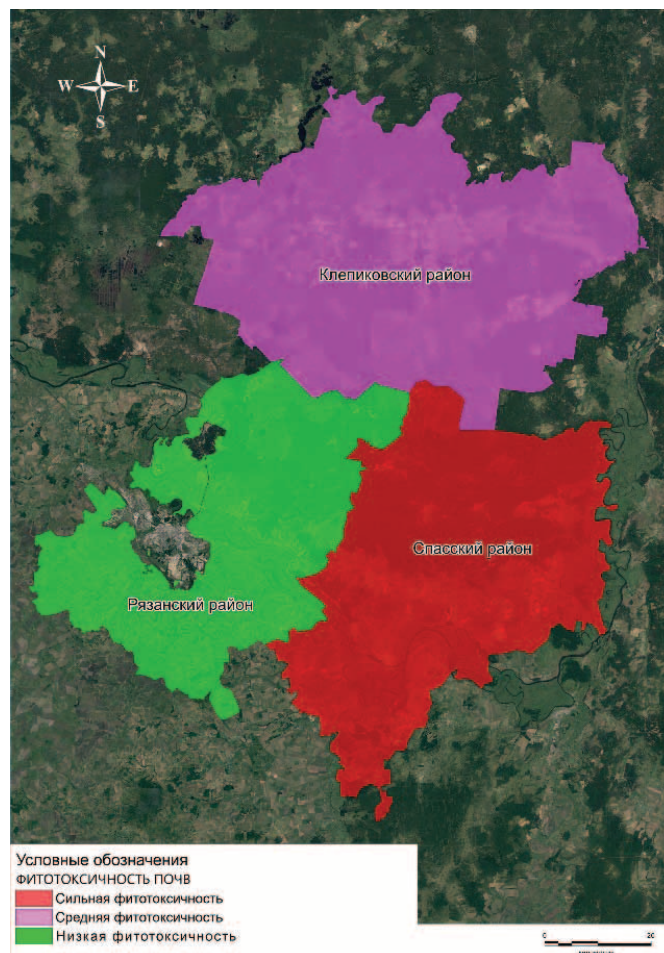


Рисунок 3. Уровни фитотоксичности в районах Рязанской области за 2025 г.
Figure 3. Levels of phytotoxicity in the districts of the Ryazan region 2025

Изменение состояния почвенного покрова и уровня фитотоксичности, вероятно, можно увязать и с температурой горения при лесном пожаре в зависимости от удаленности от его очага. На рисунке 4 продемонстрирована температура горения в зависимости от расстояния от очага пожара.

В Спасском районе был зафиксирован низовой пожар с высокой скоростью интенсивности пожара (3 м/с), переходящий в верховой [9, 10]. Температура горения при низовом пожаре составила более 650°C, что подтверждается полным выгоранием лесной подстилки, сильным повреждением коры и камбия из-за перехода низового в верховой пожар [10].

Настоящие исследования выявили потребность в дополнительной детализации уровней фитотоксичности. В принятых методиках оценки фитотоксичности выделяют четыре ее уровня (табл. 1), однако отмечено, что на разных участках рассматриваемых объектов, где присутствует сильная фитотоксичность (более 60%), наблюдаются разные морфологические признаки роста растения-индикатора, а также интенсивность прорастания. В таблице 4 представлены характеристики ростков растения-индикатора на примере Спасского района Рязанской области в зависимости от фитотоксичности в %.

Таким образом, добавление пятого уровня фитотоксичности (>80% «очень сильная фитотоксичность») предоставляет возможность более точно зонировать и дифференцировать участки исследования с максимально высоким уровнем фитотоксичности.

Фитоиндикация подтверждает свою универсальность в мониторинге почвенного покрова земель различного функционального назначения, однако ручная обработка данных результатов исследований требует больших временных затрат. Нами предлагается автоматизировать этот этап исследований с исполь-

зованием языка программирования Python, совместно с библиотекой данных (Numpy, Pandas, Matplotlib.pyplot), что позволяет ускорить обработку пакета данных и визуализировать полученные результаты. На рисунке 5 представлена часть базового кода в консоли Google Colab.

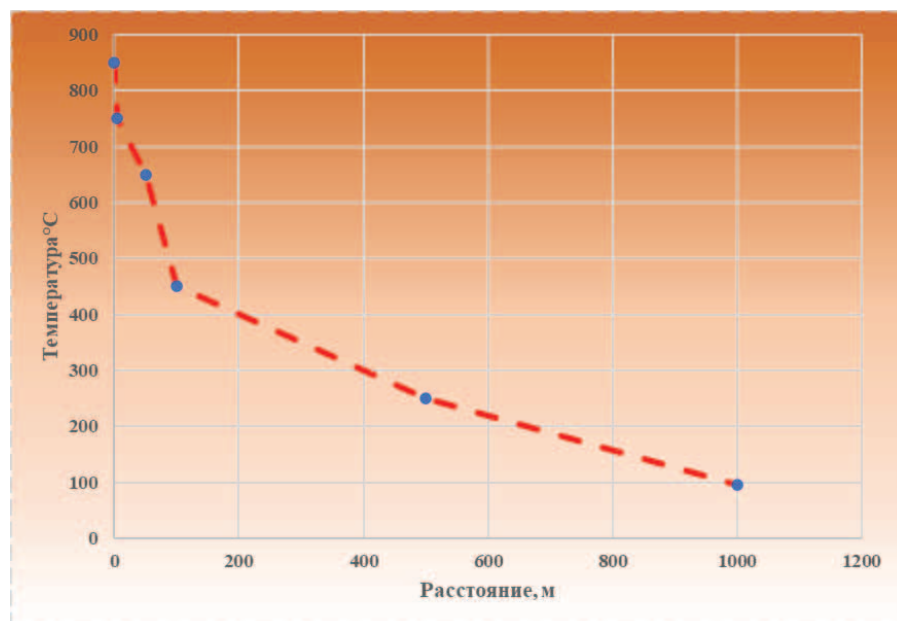


Рисунок 4. Температура горения в зависимости от расстояния от очага пожара
Figure 4. Burning temperature depending on the distance from the fire source



Базовый код расчета фитоиндикации почвенного покрова состоит из нескольких этапов, которые включают в себя: импортирование вышеперечисленных библиотек, которые осуществляют математические операции, формирование таблиц и графиков. Далее была создана формула расчета фитотоксичности, которая представлена в формуле 1. С помощью цикла «while» набирается пакет данных по объекту исследования, которые в дальнейшем формируются в таблице, с помощью команд «df_sorted», «df_grouped», где отражены все необходимые параметры. Затем формируются линейные

и столбчатые графики. На рисунке 6 представлена тестовая обработка данных исследования с формированием таблицы на примере Спасского района Рязанской области.

На рисунке 7 представлен линейный график, который демонстрирует корреляцию расстояния от очага пожара (м) и фитотоксичности (%).

Также программный код позволяет выстроить столбчатую диаграмму, которая представлена на рисунке 8, с помощью которой визуально легче сориентироваться на каком именно расстоянии от очага загрязнения фиксируется сильная, средняя или слабая фитотоксичность.

Таблица 4. Характеристика всхожести ростков растения-индикатора
Table 4. Characteristics of the germination of the indicator plant

Показатель	Фитотоксичность 60 — 80%	Фитотоксичность > 80%
Всхожесть	10 — 20%	5 — 10%, смена почти не прорастают

а)

```
import numpy as np # 1-й этап (формирование библиотек)
import pandas as pd
import matplotlib.pyplot as plt

def calc_phytotoxicity(control, experiment): # 2-й этап (формирование уровня фитотоксичности)
    """Расчёт фитотоксичности в %."""
    return round(((control - experiment) / control) * 100, 1)

def get_toxicity_level(tox): # 3-й этап (определение уровня фитотоксичности)
    """Возвращает текстовый уровень фитотоксичности."""
    if tox > 60:
        return 'Сильная фитотоксичность'
    elif 40 < tox <= 60:
        return 'Средняя фитотоксичность'
    elif 20 < tox <= 40:
        return 'Слабая фитотоксичность'
    elif tox < 20:
        return 'Фитотоксичность практически не проявляется'
    else:
        return 'Фитотоксичность не проявляется'
```

б)

```
'Опыт (см)': exp,
'Контроль (см)': ctrl,
'Фитотоксичность (%)': tox,
'Уровень': level
})
print(f"> Токсичность = {tox}% ({level}) на расстоянии {dist} м\n")

except ValueError:
    print("Ошибка ввода! Используйте точку для дробных чисел (например, 2.3). Повторите.\n")

# 5-й этап (формирование данных таблиц)
df = pd.DataFrame(data)
print("\n" + "="*60)
print("ИТОГОВАЯ ТАБЛИЦА (регион: {}).format(region))
print(df.to_string(index=False))

filename = f'phytotoxicity_{region}.csv'
df.to_csv(filename, index=False, encoding='utf-8')
print(f"> Результаты сохранены в файл '{filename}'.")

# Подготовка данных для графиков # 6-й этап (сортировка данных по расстоянию от очага загрязнения, уровню фитотоксичности)
df_sorted = df.sort_values('Расстояние (м)')
df_grouped = df.groupby('Расстояние (м)', as_index=False).agg(
    mean_toxicity=('Фитотоксичность (%)', 'mean'),
```

Рисунок 5. Части базового программного кода

а) начало базового кода б) завершение базового кода

Figure 5. Parts of the basic program code

а) start of the basic code б) end of the basic code

```
Длина роста в опыте (для "stop"): stop

ИТОГОВАЯ ТАБЛИЦА (регион: Рязанская область, Спасский район)
      Регион  Расстояние (м)  Опыт (см)  Контроль (см)  Фитотоксичность (%)  Уровень
Рязанская область, Спасский район    5.0    0.29    2.3    87.4 Сильная фитотоксичность
Рязанская область, Спасский район   50.0    0.64    2.3    72.2 Сильная фитотоксичность
Рязанская область, Спасский район   100.0    0.87    2.3    62.2 Сильная фитотоксичность
Рязанская область, Спасский район   500.0    1.46    2.3    36.5 Слабая фитотоксичность
Рязанская область, Спасский район  1000.0    1.67    2.3    27.4 Слабая фитотоксичность

Результаты сохранены в файл 'phytotoxicity_Рязанская область, Спасский район.csv'.
```

Рисунок 6. Тестовая обработка данных вывод в таблице на примере Спасского района
Figure 6. Test data processing and output in a table using the example of Spassky District

Данный базовый код позволил ввести и обработать пакет данных по Спасскому району и предоставить табличный и графический результат за 1 мин. 15 сек., доказывая свою практическую значимость и предоставляя более точные результаты исследования. Написание базового программного кода открывает путь к созданию более сложных алгоритмов для следующих мероприятий по улучшению метода фитоиндикации:

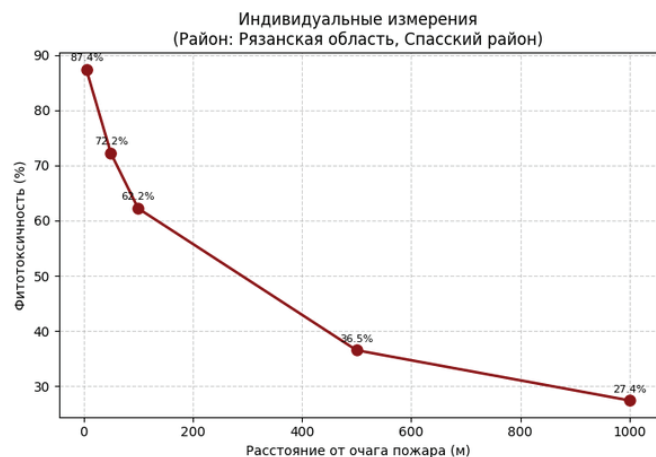
- создание веб-интерфейса и приложения;
- возможность интеграции с ГИС (привязка участков отбора почв к координатам, построение индекса-фитотоксичности);
- хранение большего объема пакета данных, для ежегодной динамики изменений почвенного покрова, с возможностью проследивания трендов восстановления;
- создание реестра исследуемых объектов с кластеризацией уровней фитотоксичности.

Заключение. В рамках настоящего и более ранних исследований [2 — 4, 7] был проведен анализ влияния антропогенных факторов на почвенных покровах земель различного функционального назначения методом фитоиндикации. Метод продемонстрировал высокую чувствительность как к антропогенному, так и к пирогенному воздействию. Для повышения эффективности использования метода фитоиндикации предложено автоматизировать расчеты результатов исследований и провести детализацию уровней фитотоксичности.

Таким образом, универсальность, экономичность, оперативность метода фитоиндикации для оценки токсичности почв позволяют использовать его в качестве базового при проведении экологического мониторинга почвенного покрова.

Список источников

1. Булохов А.Д. Фитоиндикация и ее практическое применение. Брянск: Изд-во БГУ, 2004. 254 с.
2. Войтенко Р.Е., Богословский К.Д., Морковкин Г.Г. Опыт использования метода фитоиндикации для оценки экологического состояния почвенного покрова городских территорий. Биодиагностика и экологическая оценка окружающей среды: современные технологии, проблемы и решения: материалы IV международного симпозиума (Москва, 28-31 августа 2023 г.) Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Москва: Постер-М, 2023 С. 33-37.
3. Войтенко Р.Е., Богословский К.Д., Морковкин Г.Г. Использование метода фитоиндикации для выявления деградирующих почв и экологического зонирования территорий. Роль почв в биосфере и жизни человека: материалы докладов II Международной научной конференции «Роль почв в биосфере и жизни человека», посвященной 110-летию со дня рождения академика Г.В. Добровольского и 270-летию Московского университета (Москва, МГУ, 27-30 октября 2025 г.). Москва: МАКС Пресс. 2025. С. 20-23.
4. Войтенко Р.Е., Богословский К.Д., Морковкин Г.Г., Нагина В.В., Галеев А.А. Мониторинг состояния лесных экосистем и фитотоксичности почв в условиях лесных пожаров. Обеспечение комплексной безопасности населения и территорий в экстремальных климатических условиях: Сборник материалов Международной научно-практической конференции (Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова, 30 января 2025 г., Архангельск, Россия). Москва: ФГБУ ВНИИ ГОЧС (ФЦ), 2025. С. 150-154.
5. Залесов С.В. Лесная пирология: учебник; Министерство науки и высшего образования Российской Федерации, Уральский государственный лесотехнический университет. 4-е изд., перераб. и доп. Екатеринбург: УГЛТУ, 2021. 396 с.



Графики сохранены в файл 'phytotoxicity_plots_Рязанская область, Спасский район.png'

Терминал

Рисунок 7. Линейный график корреляции расстояния от очага пожара и средней фитотоксичности на примере Спасского района
Figure 7. Linear graph of the correlation between the distance from the fire and the average phytotoxicity in the Spassky District



✓ 13:32 Python 3

Рисунок 8. Столбчатый график на примере Спасского района
Figure 8. A bar chart example for the Spassky District

6. Иваныкина Т.В. Актуальность биоиндикации растений в условиях техногенного загрязнения // Вестник Амурского государственного университета. Естественные и экономические науки. 2010. № 51. С. 81-83.

7. Максимова Н.Б., Морковкин Г.Г., Лаврентьева А. Оценка токсичности и загрязненности почв методом фитоиндикации // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2003. № 2. С. 106-112.

8. Назаренко Н.Н. Биоиндикация окружающей среды: учебно-практическое пособие / Н.Н. Назаренко, М.Ю. Мосиенко. Челябинск: Изд-во Южно-Уральского государственного гуманитарно-педагогического университета, 2019. 115 с.

9. Пожары и пожарная безопасность в 2024 г. Статистика пожаров и их последствий: информационно-аналитический сборник. Балашиха: ФГБУ ВНИИПО МЧС России, 2025 112 с.

10. Мелехов И.С. Лесная пирология: Учеб. пособие для студентов лесохоз. факультета М.: МЛТИ, 1978. 71 с.

References

1. Bulokhov A.D. (2004). *Fitoindikatsiya i ee prakticheskoe primeneniye* [Phytoindication and its practical application], Bryansk, Izd-vo BGU, 254 p.

2. Voitenko R.E., Bogoslovskii K.D., Morkovkin G.G. (2023). *Opyt ispol'zovaniya metoda fitoindikatsii dlya otsenki ekologicheskogo sostoyaniya pochvennogo pokrova gorodskikh territorii* [Experience of using the phytoindication method to assess the ecological state of soil cover in urban areas]. *Biodiagnostika i ekologicheskaya otsenka okruzhayushchei sredy: sovremennyye tekhnologii, problemy i resheniya: materialy IV mezhdunarodnogo simpoziuma (Moskva, 28–31 avgusta 2023 g.)* [Biodiagnostics and environmental assessment: modern technologies, problems and solutions: Proceedings of the IV International Symposium (Moscow, August 28–31, 2023)], Moscow, Poster-M, pp. 33-37.

3. Voitenko R.E., Bogoslovskii K.D., Morkovkin G.G. (2025). *Ispol'zovanie metoda fitoindikatsii dlya vyvazheniya degradiruyushchikh pochv i ekologicheskogo zonirovaniya territorii* [Use of the phytoindication method for identifying degrading soils and ecological zoning of territories]. *Roľ pochv v biosfere i zhizni cheloveka: materialy dokladov II Mezhdunarodnoi nauchnoi konferentsii «Roľ pochv v biosfere i zhizni cheloveka», posvyashchennoi 110-letiyu so dnya rozhdeniya akademika G.V. Dobrovolskogo i 270-letiyu Moskovskogo universiteta (Moskva, MGU, 27-30 oktyabrya 2025 g.)* [Role of soils in the biosphere and human life: Proceedings of the II International Scientific Conference «Role of soils in the biosphere and human life», dedicated to the 110th anniversary of Academician G.V. Dobrovolsky and the 270th anniversary of Moscow University (Moscow, MSU, October 27-30, 2025)], Moscow, MAKSPress, pp. 20-23.

4. Voitenko R.E., Bogoslovskii K.D., Morkovkin G.G., Nagina V.V., Galeev A.A. (2025). *Monitoring sostoyaniya lesnykh ekosistem i fitotoksichnosti pochv v usloviyakh lesnykh pozharov. Obespechenie kompleksnoy bezopasnosti naseleniya i territorii v ekstremal'nykh klimaticheskikh usloviyakh: Sbornik materialov Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii (Severnnyy (Arkticheskii) federal'nyy universitet imeni M.V. Lomonosova, 30 yanvarya 2025 g., Arhangel'sk, Rossiya), Moskva, FGBU VNI GOChS (FC), pp. 150-154.*

5. Zalesov S.V. (2021). *Lesnaya pirologiya: uchebnik* [Forest pyrology: textbook], 4th ed., revised and expanded, Ekaterinburg, UGLTU, 396 p.

6. Ivanykina T.V. (2010). *Aktual'nost' bioindikatsii rastenii v usloviyakh tekhnogennogo zagryazneniya* [Relevance of plant bioindication under technogenic pollution]. *Vestnik Amurskogo gosudarstvennogo universiteta. Estestvennye i ekonomicheskie nauki* [Bulletin of Amur State University. Natural and Economic Sciences], no. 51, pp. 81-83.

7. Maksimova N.B., Morkovkin G.G., Lavrent'eva A. (2003). *Otsenka toksichnosti i zagryaznenosti pochv metodom fitoindikatsii* [Assessment of toxicity and contamination of soils by phytoindication method]. *Vestnik Altaiskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* [Bulletin of Altai State Agrarian University], no. 2, pp. 106-112.

8. Nazarenko N.N., Mosienko M.Yu. (2019). *Bioindikatsiya okruzhayushchei sredy: uchebno-prakticheskoe posobie* [Environmental bioindication: educational and practical guide], Chelyabinsk, Publishing House of South Ural State Humanitarian Pedagogical University, 115 p.

9. *Pozhary i požarnaya bezopasnost' v 2024 g. Statistika požarov i ikh posledstviy: informatsionno-analiticheskii sbornik* [Fires and fire safety in 2024. Statistics of fires and their consequences: information and analytical collection], (2025), Balashikha, FGBU VNIPO MChS Rossii, 112 p.

10. Melekhov I.S. (1978). *Lesnaya pirologiya: ucheb. posobie dlya studentov lesokhoz. fak.* [Forest pyrology: textbook for students of forestry faculty], Moscow, MLTI, 71 p.

Информация об авторах:

Морковкин Геннадий Геннадьевич, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, профессор кафедры почвоведения, мелиорации и геоэкологии, Государственный университет по землеустройству, ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-8830-7135>, ggwork@mail.ru

Шаповалов Дмитрий Анатольевич, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры математики, физики и анализа данных, Государственный университет по землеустройству, ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-8268-911X>, shapoval_ecology@mail.ru

Войтенко Римма Евгеньевна, инженер службы по надзору во взрывоопасных производствах, экологии, охраны труда и пожарной профилактики, Московский институт теплотехники Государственной корпорации по космической деятельности, voitenko.rimma@yandex.ru

Богословский Константин Дмитриевич, инженер службы по надзору во взрывоопасных производствах, экологии, охраны труда и пожарной профилактики, Московский институт теплотехники Государственной корпорации по космической деятельности, kostan.ogc@gmail.com

Information about the authors:

Gennady G. Morkovkin, doctor of agricultural sciences, professor, professor of the department of soil science, land reclamation, and geoecology, State University of Land Use Planning, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8830-7135>, ggwork@mail.ru.

Dmitry A. Shapovalov, doctor of engineering sciences, professor, professor of the department of physics, mathematics and data analyses, State University of Land Use Planning, ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-8268-911X>, shapoval_ecology@mail.ru.

Rimma E. Voitenko, engineer of the service for supervision in explosive industries, ecology, labor protection and fire prevention, Moscow Institute of Thermal Engineering of the State Corporation for Space Activities, voitenko.rimma@yandex.ru

Konstantin D. Bogoslovsky, engineer of the service for supervision in explosive industries, ecology, labor protection and fire prevention, Moscow Institute of Thermal Engineering of the State Corporation for Space Activities, kostan.ogc@gmail.com

