

ФИТОТОКСИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ФУЛЬВОПОДОБНЫХ СОЕДИНЕНИЙ ТОРФА

М. А. Шелоник, Ю. Г. Янута

Институт природопользования НАН Беларуси, Минск, Беларусь

Аннотация. Исследованы фитотоксические свойства препаратов, полученных из торфяного сырья методом окислительной деструкции в зависимости от типа торфа и срока хранения препарата. Установлено, что фульвоподобные соединения, выделенные из верхового торфа, оказывали стимулирующее действие на корни редьки масличной (*Brassica rapa*), в то время как соединения, выделенные из низинного торфа, либо проявляли слабое токсическое действие, либо не оказывали никакого эффекта. Установлено, что срок хранения наработанных сухих препаратов сказывается на их фитотоксических свойствах путем снижения энергии прорастания редьки масличной (*Brassica rapa*). Отмечается, что энергия прорастания фульвоподобных соединений после 6-летнего хранения была в 1,12–1,16 раз выше по сравнению с препаратом 12-летней давности.

Ключевые слова: фитотоксичность; фульвоподобные кислоты; растительные тест-объекты; биометрические показатели; торф.

Для цитирования. Шелоник М. А., Янута Ю. Г. Фитотоксические свойства фульвоподобных соединений торфа // Природопользование. – 2025. – № 1. – С. 196–202.

PHYTOTOXIC PROPERTIES OF THE FULVO-LIKE COMPOUNDS OF PEAT

M. A. Shelonik, Yu. G. Yanuta

Institute of Nature Management of the National Academy of Sciences of Belarus, Minsk, Belarus

Abstract. The phytotoxic properties of preparations obtained from peat raw materials by the method of oxidative destruction depending on the type of peat and the shelf life of the preparation have been studied in the work. It was found that fulvic-like compounds isolated from high-moor peat had a stimulating effect on the roots of the test object, while compounds isolated from lowland peat showed either a weak toxic effect or had no effect. It was found that the shelf life of the developed dry preparations affects their phytotoxic properties by reducing the germination energy of test cultures. It is noted that the germination energy of fulvic-like compounds after 6 years of storage was 1.12–1.16 times higher compared to the 12-year-old preparation.

Keywords: phytotoxicity; fulvic-like acids; plant test objects; biometric indicators; peat.

For citation. Shelonik M. A., Yanuta Yu. G. Phytotoxic properties of the fulvo-like compounds of peat. *Nature Management*, 2025, no. 1, pp. 196–202.

Введение. С момента выделения гуминовых соединений из природного сырья сфера их практического использования расширяется. Традиционным направлением использования гуминовых препаратов считается их применение для нужд сельского хозяйства, в первую очередь как подкормки для растений [1, 2]. В качестве исходного сырья для их производства используют торф, бурый и каменный уголь, леанардит и другие каустоболиты. В Республике Беларусь основным сырьем для производства водорастворимых гуминовых препаратов является торф. Согласно данным [3], Беларусь входит в тройку мировых стран по объемам добычи торфа, при этом более 10 % добываемого торфа применяется в нетопливных целях. Как показано в работе Пантелеева [4], перспективным направлением использования препаратов глубокой переработки торфа является производство кислоторастворимых соединений, повышающих миграционную подвижность металлов. По существующей классификации гуминовые вещества, растворимые в кислой среде, относятся к фульвокислотам. С целью отличия природных фульвокислот, выделение которых происходит путем незначительного изменения структуры, нами исследованы соединения, полученные путем деструкции исходного торфяного сырья. В дальнейшем такие соединения станем называть фульвоподобными кислотами (ФПК). Учитывая повышенную подвижность тяжелых металлов (ТМ), ФПК можно рассматривать как перспективные материалы для фиторемедиации территорий, загрязненных ТМ [5].

Фитотестирование как разновидность биотестирования издавна используют для определения качества семян, плодородия почв сельхозугодий, в биомедицинских исследованиях и относительно недавно стали применять в природоохранной сфере для оценки экологического качества природных

сред (например, вод и почв) [6, 7]. Высшие растения позволяют оценить объект исследований комплексно. Это дает возможность уже на первой стадии выявить лимитирующие факторы и более детально их исследовать.

При подборе тест-объектов для проведения фитотестирования предлагается использовать список растений согласно ISO 22030:2005. При этом следует учитывать, что в качестве тест-объектов подходят растительные виды, обладающие следующими характеристиками:

- 1) растения С4-типа (например: кукуруза, сахарный тростник, просо);
- 2) растения, состоящие в симбиозе с азотфиксирующими бактериями (например, бобовые);
- 3) растения экологически и экономически значимые для исследуемого региона (например, для Республики Беларусь: из двудольных растений – это рапс, сахарная свекла, лен, клевер; однодольные растения в основном представлены злаковыми – овсом, ячменем, рожью, пшеницей).

В качестве объектов для тестирования ксенобиотиков, таких как полициклические ароматические углеводороды, нефтепродукты, тяжелые металлы в фитотестах чаще всего применяют сорго, кресс-салат, редьку масличную, горчицу белую, ячмень и другие растения, поскольку они демонстрируют избирательную чувствительность к различным видам этих веществ. Сорго и горчица, благодаря своей высокой чувствительности, широко используются для оценки воздействия нефтепродуктов [8, 9]; кресс-салат, ячмень, пшеница – для определения токсичности пестицидов [10]; редька масличная – для выявления некоторых тяжелых металлов [11].

Цель работы – изучить фитотоксические свойства ФПК в зависимости от типа торфа и срока хранения ранее наработанных ФПК.

Материалы и методы исследования. В качестве исходного сырья для получения ФПК использовали торф из месторождения «Туршовка-Чертово» (Крупский район, Минская область). Общетеchnические характеристики определяли согласно [12]. Результаты анализа представлены в табл. 1.

Таблица 1. Общетеchnические характеристики исходного сырья

Table 1. General technical characteristics of the feedstock

Образец	Глубина отбора, см	Зольность, %	Тип торфа	Степень разложения, %
1	20–40	7,4	Низинный	35–40
2	40–60	1,2	Верховой	35

ФПК извлекали путем обработки исходного торфа перекисью водорода согласно методике [13]. Извлечение ФПК осуществляли с помощью последовательной трехкратной обработки окисленного образца торфа водой в соотношении окисленный торф : вода, равном 1 : 10. Затем выдерживали смеси в течение 1 ч на лабораторном шейкере WiseShake SHO-1D при 130 об/мин. После этого образец отстаивали в течение 15 мин, жидкую фракцию декантировали и фильтровали на беззольном фильтре типа «Белая лента». Полученный фильтрат объединяли, переносили в выпарную чашку и высушивали в вакуум-шкафу при температуре 50 °С при разряжении 0,98 атм. После сушки образец измельчали и хранили в вакуум-эксикаторе над P₂O₅.

Для исследования фитотоксических свойств использовали ФПК из верхового и низинного торфа, а также наработанные ФПК 6- и 12-летней давности. Водные вытяжки из ФПК получали согласно СТБ 17.13.05-36-2015. Из-за кислой среды (рН от 1,0–3,0), ФПК могут оказывать токсическое действие на растения, поэтому рН доводили до значений 6,0–7,0 добавлением 0,1 н. щелочи. Готовые вытяжки после разбавляли в 10, 100 и 1000 раз дистиллированной водой. В чашки Петри раскладывали фильтровальную бумагу, на которой равномерно распределяли 10 семян тест-объекта, в качестве которого в эксперименте использовали семена редьки масличной (*Brassica rapa*) с величиной всхожести не менее 80 %, предварительно прошедшие лабораторный контроль качества на всхожесть согласно ГОСТ 12038-84. Затем в каждую чашку вносили 5 мл исследуемых вытяжек. В качестве контроля использовали дистиллированную воду. Подготовленные таким образом образцы помещали в термощкаф ТС80М-2 при температуре 23,8 °С. Результаты развития тест-культур фиксировали каждые 24 ч. Оценку фитотоксических свойств осуществляли после 72 ч экспозиции. Повторность опыта – трехкратная.

Оценку результатов исследований проводили по таким показателям, как энергия прорастания семян, длина проростков и корней, биомасса надземной части. На основании имеющихся показателей рассчитывали индекс токсичности (ИТФ) для определения класса опасности по формуле [6]:

$$\text{ИТФ}_{\text{общ.}} = \frac{T_{01} / T_{k1} + T_{02} / T_{k2} + T_{03} / T_{k3}}{3},$$

где T_{01} – значение опыта одного показателя (например, длина корневой части); T_{k1} – значение контроля одного показателя; T_{02} – значение опыта второго показателя; T_{k2} – значение контроля второго показателя; T_{03} – значение опыта третьего показателя; T_{k3} – значение контроля третьего показателя.

Полученные значения интерпретировали следующим образом: VI класс (ИТФ > 1,10) – фактор, оказывает стимулирующее действие на тест-объект; V класс (ИТФ = 0,91–1,10) – фактор не оказывает существенного влияния на развитие тест-объекта, т. е. величина тест-функции находится на уровне контроля; IV класс (ИТФ = 0,71–0,90) – низкая токсичность; III класс (ИТФ = 0,50–0,70) – средняя токсичность; II класс (ИТФ < 0,50) – высокая токсичность фактора, I класс (среда непригодна для жизни тест-объекта) – сверхвысокая токсичность, вызывающая гибель тест-объекта [11].

Результаты и их обсуждение. Полученные результаты исследований фитотоксичности представлены в табл. 2 и на рис. 1–5.

Таблица 2. Исследование индекса токсичности фульвоподобных кислот, выделенных из торфа

Table 2. Study of toxicity index of fulvic acids isolated from high-moor and low-moor peat

Образец	Разбавление	Длина, см		Биомасса надземной части, г	Энергия прорастания, %	Т ₀ /Т _к			Класс токсичности по ИТФ
		корней	проростков			корневой части	надземной части	биомассы надземного растения	
Контроль	–	1,815 ± 0,148	1,030 ± 0,071	0,749	86	–	–	–	–
ФПС из верхового торфа	1 : 10	2,320 ± 0,071	1,246 ± 0,381	1,215	93	1,278	1,209	1,622	VI
	1 : 100	2,875 ± 0,162	1,010 ± 0,127	0,791	90	1,584	0,981	1,056	VI
	1 : 1000	2,625 ± 0,191	1,695 ± 0,120	0,816	90	1,446	1,645	1,090	VI
ФПС из низинного торфа	1 : 10	1,955 ± 0,145	0,925 ± 0,216	0,895	86	1,077	0,898	1,195	V
	1 : 100	1,920 ± 0,989	0,755 ± 0,021	0,697	83	1,057	0,733	0,930	V
	1 : 1000	1,996 ± 0,608	1,083 ± 0,295	0,1418	83	1,100	1,051	0,189	IV

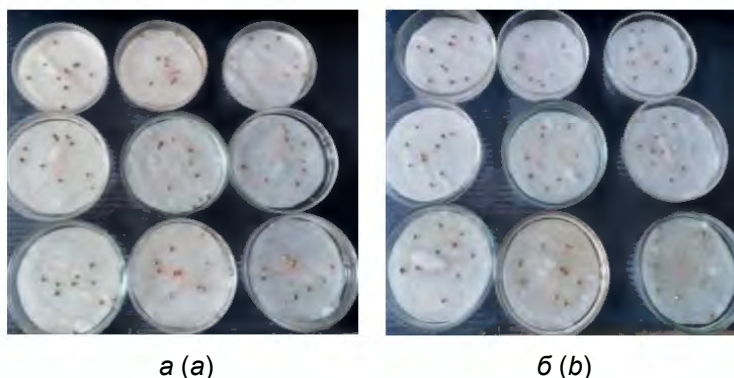


Рис. 1. Начало эксперимента по фитотестированию для фульвоподобных кислот, выделенных из низинного (а) и верхового (б) торфа при разведении в 10, 100, 1000 раз (сверху вниз)

Fig. 1. Beginning of the phytotesting experiment for fulvic-like acids isolated from lowland (a) and high-moor (b) peat at dilutions of 10,100,1000 times (top to bottom)

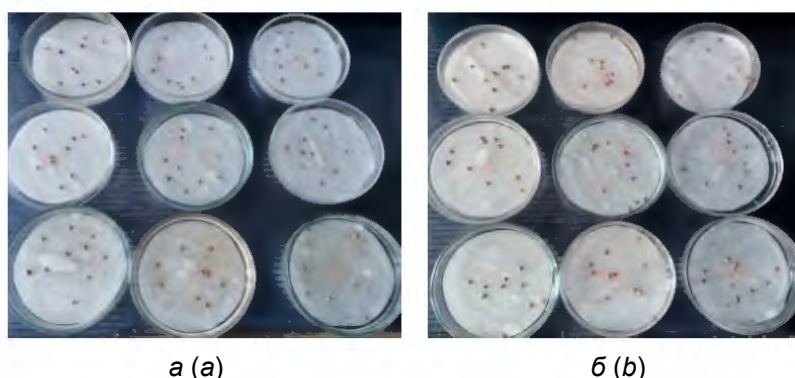


Рис. 2. Результаты фитотестирования через 1 сут для фульвоподобных кислот, выделенных из низинного (а) и верхового (б) торфа при разведении в 10, 100, 1000 раз (сверху вниз)

Fig. 2. Results of phytotesting after 1 day for fulvic-like acids isolated from lowland peat (a) and high-moor (b) peat at dilution of 10, 100, 1000 times (top to bottom)

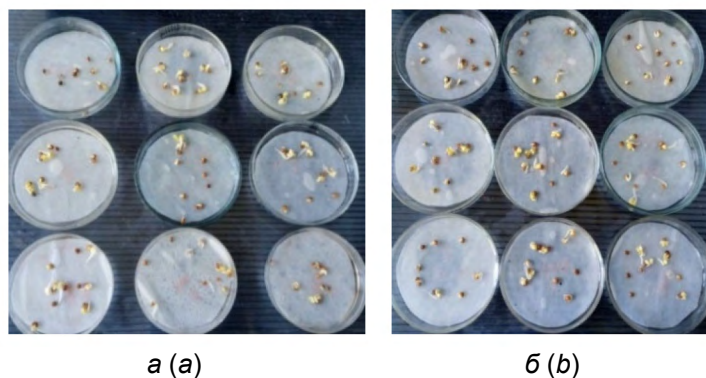


Рис. 3. Результаты фитотестирования через 2 сут для фульвоподобных кислот, выделенных из низинного (а) и верхового (б) торфа при разведении в 10, 100, 1000 раз (сверху вниз)

Fig. 3. Results of phytotesting after 2 days for fulvic-like acids isolated from lowland peat (a) and high-moor (b) peat at dilution of 10, 100, 1000 times (top to bottom)

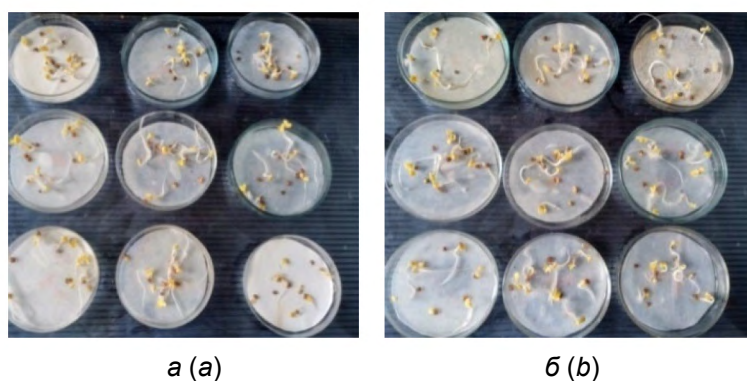


Рис. 4. Результаты фитотестирования через 3 сут для фульвоподобных кислот, выделенных из низинного (а) и верхового (б) торфа при разведении в 10, 100, 1000 раз (сверху вниз)

Fig. 4. Results of phytotesting after 3 days for fulvic-like acids isolated from lowland peat (a) and high-moor (b) peat at dilution of 10, 100, 1000 times (top to bottom)



Рис. 5. Состояние корневой системы после фитотестирования при разведении 1 : 1000 для верхового (а) и низинного (б) торфа

Fig. 5. The state of the root system after phytotesting at a dilution of 1 : 1000 for high-moor (a) and low-moor (b) peat

Визуальная оценка динамики развития растений показала, что в течение первых 48 ч с момента начала опыта значительных отличий в темпах прорастания и развития семян редьки масличной не было зафиксировано. Значимые изменения в развитии растений отмечаются через 72 ч с начала опыта. Данные различия связаны с тем, что тест-культура на первых этапах развития потребляет питательные вещества, содержащиеся в семядолях. По исчерпанию их зародыш активно потребляет вещества из окружающей среды [13].

Наибольшее значение из всех показателей приходится на состояние корней (или корневой системы), поскольку именно они в первую очередь находятся в непосредственном контакте с действующим токсическим веществом. При высоких значениях токсических веществ в растениях нарушается транспорт ионов и работа некоторых ферментов, в результате чего доступность микро- и макроэлементов в корне изменяется. Визуально на растениях это отображается в виде почернения корней [14].

Исходя из анализа данных, которые приведены в табл. 1, установлено, для верхового торфа отмечается стимулирующее действие по отношению к растению, в то время как для низинного торфа видимых эффектов не наблюдается. Полученные результаты можно объяснить рН исходных вытяжек. Верховой торф, как правило, имеет кислую среду и низкий уровень питательных веществ в отличие от низинного торфа. Оптимальный уровень рН в ФПК способствует лучшему усвоению растениями необходимых питательных веществ. В то же время отклонения рН от нейтральных значений могут нанести вред корневой системе, что негативно скажется как на поглощении воды и питательных веществ, так и, следовательно, на росте и урожайности растений.

Кроме типа торфа на фитотоксичность влияет и срок хранения сухих препаратов ФПК. Со временем свойства препаратов могут изменяться, что в результате может привести к ингибированию роста растений, вплоть до их смерти [15].

По результатам исследования токсичности ФПК после его длительного хранения установлено (табл. 3), что в среднем оптимальная концентрация ФПК после как 6-летнего, так и 12-летнего хранения достигает от 10 до 0,05 мг/дм³. Наибольшая длина корней отмечена для образцов ФПК после 12-летнего хранения и составила 2,4–3,2 см, длина проростков – 1,29–0,85 см; для ФПК после 6-летнего хранения длина корней в среднем составила 2,4–2,8 см, длина проростков – 0,66–1,22 см. Согласно рассчитанному ИТФ можно отметить, что ФПК вне зависимости от срока хранения имели либо IV класс (низкая токсичность), либо V класс (т. е. не оказывали никакого эффекта на тест-растения). При этом энергия прорастания ФПК после 6-летнего хранения превышала значения в 1,12–1,16 раза.

Таблица 3. Исследование токсичности фульвоподобных соединений после 6- и 12-летнего хранения при различных концентрациях

Table 3. Toxicity study of fulvic-like compounds after 6 and 12 years of storage at different concentrations

Образец	Концентрация, мг/дм ³	Энергия прорастания, %	Длина, см		Биомасса надземной части, г	Т ₀ /Т _к			Класс опасности по ИТФ
			корней	проростков		корневой части	надземной части	биомассы	
Контроль	–	80	2,98 ± 0,89	1,27 ± 0,33	1,95	–	–	–	–
ФПК после 12-летнего хранения	1000	46,6	2,40 ± 0,42	0,90 ± 0,12	1,63	0,805	0,708	0,835	IV
	250	60	2,70 ± 1,06	0,85 ± 0,47	1,76	0,906	0,669	0,902	IV
	100	60	3,20 ± 0,07	0,96 ± 0,05	1,43	1,073	0,755	0,733	IV
	10	62	2,80 ± 0,83	1,17 ± 0,02	1,43	0,939	0,921	0,733	V
	0,1	60	2,75 ± 0,21	0,95 ± 0,07	1,85	0,923	0,748	0,969	V
	0,05	62	2,75 ± 0,08	0,87 ± 0,28	1,95	0,922	0,685	1,000	V
ФПК после 6-летнего хранения	1000	60	2,77 ± 0,07	0,94 ± 0,04	1,45	0,929	0,740	0,743	IV
	250	60	2,73 ± 0,44	0,98 ± 0,08	1,74	0,916	0,771	0,892	IV
	100	60	2,60 ± 0,22	0,66 ± 0,20	1,63	0,872	0,519	0,835	IV
	10	60	2,74 ± 0,20	0,79 ± 0,08	1,80	0,919	0,622	0,923	V
	0,1	73	2,71 ± 0,10	1,20 ± 0,38	1,31	0,910	0,944	0,671	V
	0,05	80	2,72 ± 1,40	1,22 ± 0,09	0,93	0,912	0,960	0,476	V

Заключение. В результате проведенных исследований по изучению фитотоксических свойств ФПК в зависимости от типа торфа и срока хранения ранее наработанных ФПК выявлено, что препараты, полученные из верхового торфа, обладают стимуляционным эффектом, в то время как низинный торф не демонстрирует подобной активности. Установлено, что оптимальная концентрация ФПК для семян редьки после как 6-летнего, так и 12-летнего хранения составляет от 10 до 0,05 мг/дм³. В результате сохранность сухих препаратов не коррелирует с их фитотоксичностью. Будущие исследования в этом направлении откроют возможности для применения в сельском хозяйстве и фиторемедиации загрязненных территорий.

Список использованных источников

1. Афиногенова, С. Н. Применение гуминовых удобрений в растениеводстве / С. Н. Афиногенова, О. В. Черкасов // Научные инновации – аграрному производству : материалы Междунар. науч.-практ. конф., Омск, 21 февр. 2018 г. / Омский гос. агр. ун-т им. П. А. Столыпина ; редкол.: А. А. Гайвас (гл. ред.). – Омск, 2018. – С. 51–52.
2. Маркина, Е. О. Влияние промышленных гуминовых веществ на свойства почв / Е. О. Маркина, Н. В. Сырчина // Экология родного края: проблемы и пути их решения : материалы XII Всерос. науч.-практ. конф., Киров, 13–14 апр. 2017 г. / Вятский гос. ун-т ; редкол.: С. В. Дегтева (гл. ред.) [и др.]. – Киров, 2017. – С. 46–49.
3. Станюта, Д. Торфяная промышленность – в поисках баланса экономических интересов и экологических факторов / Д. Станюта // Энергоэффективность. – 2013. – № 11. – С. 16–21.
4. Пантелей, К. С. Исследование фильтрации жидкостей в торфе, осложненной осмотическими явлениями : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 314 / К. С. Пантелей ; Калининский политехн. ин-т. – Калинин, 1970. – 28 с.
5. Esringü, A. Remediation of Pb and Cd polluted soils with fulvic acid / A. Esringü, M. Turan, A. Cangönül // Forests. – 2021. – Vol. 12, № 11. – P. 1–13.
6. Применение фитотестирования для решения задач экологического почвоведения / В. А. Терехова, Л. П. Воронина, О. В. Николаева [и др.] // Использование и охрана природных ресурсов в России. – 2016. – № 3. – С. 37–41.
7. Методология биодиагностики почв и особенности некоторых методов биоиндикации и биотестирования (обзор) / В. А. Терехова, С. А. Кулачкова, Е. В. Морачевская, А. П. Кирюшина // Вестник Московского университета. Почвоведение. – 2023. – Т. 78, № 2. – С. 1–12.
8. Cojocar, P. Toxicity of soil pollution with petroleum on plant seeds / P. Cojocar, F. Statescu, G. Biali // International Multidisciplinary Scientific GeoConference : SGEM. – 2019. – Vol. 19, № 3. – P. 1–15.
9. Using sweet sorghum varieties for the phytoremediation of petroleum-contaminated salinized soil: A preliminary study based on pot experiments / D. Ma, J. Xu, J. Zhang [et. al.] // Toxics. – 2023. – Vol. 11, № 3. – P. 1–15.
10. Atanasova, D. Opportunities for overcoming the phytotoxicity of pesticides in wintering oats (*Avena sativa* L.) by application of organic fertilizers / D. Atanasova, V. Manaeva // Journal of mountain agriculture on the Balkans. – 2021. – Vol. 24, № 6. – P. 206–218.
11. Nickel toxicity in Brassica rapa seedlings-Impact on sulfur metabolism and mineral nutrient content / D. H. Prajapati, T. Ausma, De Boer [et. al.] // Journal fur Kulturpflanzen = Journal of Cultivated Plants. – 2020. – Vol. 72, № 9. – P. 473–478.
12. Лиштван, И. И. Основные свойства торфа и методы их определения / И. И. Лиштван, Н. Т. Король. – Минск : Наука и техника, 1975. – 320 с.
13. Бамбалов, Н. Н. Деструкция гуминовых кислот торфа перекисью водорода / Н. Н. Бамбалов, Т. П. Смычник // Весці Акадэміі навук БССР. Сер. хім. навук. – 1986. – С. 75–78.
14. Harper, S. Phytotoxic effects of Al on root growth are confounded in the presence of fulvic and humic acids / S. Harper, N. Menzies // Soil Systems. – 2023. – Vol. 7, № 3. – P. 68–75.
15. Бухаров, А. Ф. Кинетика Прорастания семян. Методы исследования и параметры / А. Ф. Бухаров, Д. Н. Балеев, А. Р. Бухарова // Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии. – 2017. – Вып. 2. – С. 5–19.

References

1. Afinogenova S. N., Cherkasov O. V. *Primenenie guminovykh udobrenij v rastenievodstve* [Application of humic fertilizers in crop production]. *Nauchnye innovacii – agrarnomu proizvodstvu. Materialy mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii* [Proc. of the Int. sci.-pract. conf. "Scientific innovations – agrarian production"]. Omsk, 2018, pp. 51–52 (in Russian)
2. Markina E. O., Syrchina N. V. *Vliyanie promyshlennykh guminovykh veshchestv na svojstva pochv* [The influence of industrial humic substances on soil properties]. *Ekologiya rodnogo kraja: problemy i puti ih resheniya. Materialy XII Vserossijskoj nauchno-prakticheskoy konferencii* [Proc. of the XII all-Russian sci.-pract. conf. "Ecology of the native land: problems and ways of their solution"]. Kirov, 2017, pp. 46–49 (in Russian)
3. Stanyuta D. *Torfyanaya promyshlennost' – v poiskah balansa ekonomicheskikh interesov i ekologicheskikh faktorov* [The peat industry – in search of a balance between economic interests and environmental factors]. *Energoeffektivnost' = Energy Efficiency*, 2013, no. 11, pp. 16–21 (in Russian)
4. Pantelej K. S. *Issledovanie fil'tracii zhidkостей v torfe, oslozhennoj osmoticheskimi yavleniyami. Avtoreferat dissertacii kandidata tekhnicheskikh nauk* [Study of liquid filtration in peat complicated by osmotic phenomena. PhD abs. of tech. sci.]. Kalinin, 1970, 28 p. (in Russian)
5. Esringü A., Turan M., Cangönül A. Remediation of Pb and Cd polluted soils with fulvic acid. *Forests*, 2021, vol. 12, no. 11, pp. 1–13.
6. Terekhova V. A., Voronina L. P., Nikolaeva O. V., Bardina T. V., Kalmatskaya O. A., Kiryushina A. P., Uchanov P. V., Kreslavsky V. D., Vasilyeva G. K. *Primenenie fitotestirovaniya dlya resheniya zadach ekologicheskogo pochvovedeniya* [Application of phytotesting to solve problems of ecological soil science]. *Ispol'zovanie i ohrana prirodnih resursov v Rossii = Use and Protection of Natural Resources in Russia*, 2016, no. 3, pp. 37–41. (in Russian)
7. Terekhova V. A., Kulachkova S. A., Morachevskaya E. V., Kiryushina A. P. *Metodologiya biodiagnostiki pochv i osobennosti nekotorykh metodov bioindikacii i biotestirovaniya (obzor)* [Methodology of soil biodiagnosics and features of some methods of bioindication and biotesting (review)]. *Vestnik moskovskogo universiteta. Pochvovedenie = Moscow University Bulletin. Soil Science*, 2023, vol. 78, no. 2, pp. 1–12. (in Russian)

8. Cojocar P., Stasescu F., Biali G. Toxicity of soil pollution with petroleum on plant seeds. *International Multidisciplinary Scientific GeoConference : SGEM*, 2019, vol. 19, no. 3, pp. 1–15.
9. Ma D. J. Xu, Zhang J., Ren L., Li J., Zhang Z., Xia J., Xie H., Wu T. Using sweet sorghum varieties for the phytoremediation of petroleum-contaminated salinized soil: a preliminary study based on pot experiments. *Toxics*, 2023, vol. 11, no. 3, pp. 1–15.
10. Atanasova D., Manaeva V. Opportunities for overcoming the phytotoxicity of pesticides in wintering oats (*Avena sativa* L.) by application of organic fertilizers. *Journal of mountain agriculture on the Balkans*, 2021, vol. 24, no. 6, pp. 206–218.
11. Prajapati D. H., Ausma T., Hawkesford M. J., De Boer J., De Kok L. J. Nickel toxicity in Brassica rapa seedlings- Impact on sulfur metabolism and mineral nutrient content. *Journal fur Kulturpflanzen = Journal of cultivated plants*, 2020, vol. 72, no. 9, pp. 473–478.
12. Lishtvan I. I., Korol N. T. *Osnovnye svoystva torfa i metody ih opredeleniya* [Basic properties of peat and methods for their determination]. Minsk, Science and Technology Publ., 1975, 320 p. (in Russian)
13. Bambalov N. N., Smychnik T. P. *Destrukciya guminovykh kislot torfa peroksidom vodoroda* [Destruction of humic acids peat with hydrogen peroxide]. *Vesci Akademii navuk BSSR. Seryya himichnyh navuk = Izvestia of the Academy of Sciences of the BSSR. Series of Chemical Sciences*, 1986, no. 3, pp. 75–78. (in Russian)
14. Harper S., Menzies N. Phytotoxic effects of Al on root growth are confounded in the presence of fulvic and humic acids. *Soil Systems*, 2023, vol. 7, no. 3, pp. 68–75.
15. Buharov A. F., Baleev D. N., Buharova A. R. *Kinetika prorastaniya semyan. Metody issledovaniya i parametry* [Kinetics of seed germination. Research methods and parameters]. *Izvestiya Timiryazevskoj sel'skohozyajstvennoj akademii = Izvestiya of the Timiryazev Agricultural Academy*, 2017, iss. 2, pp. 5–19. (in Russian)

Информация об авторах

Янута Юрий Григорьевич – кандидат технических наук, доцент, заместитель директора по научной работе, заведующий лабораторией физико-химической механики природных дисперсных систем, Институт природопользования НАН Беларуси (ул. Ф. Скорины, 10, 220076, г. Минск, Беларусь). E-mail: yanuta@tut.by

Шелоник Мария Александровна – младший научный сотрудник, Институт природопользования НАН Беларуси (ул. Ф. Скорины, 10, 220076, г. Минск, Беларусь). E-mail: maria.shelonik006@gmail.com

Information about authors

Yuriy G. Yanuta – Ph. D. (Technical), Assistant Professor, Deputy Director, Head of Lab. of physico-chemical mechanics of natural dispersed systems, Institute of Nature Management of the National Academy of Sciences of Belarus (10, F. Skoriny Str., 220076, Minsk, Belarus). E-mail: yanuta@tut.by

Mariya A. Shelonik – Junior Researcher, Institute of Nature Management of the National Academy of Sciences of Belarus (10, F. Skoriny Str., 220076, Minsk, Belarus). E-mail: maria.shelonik006@gmail.com