

УДК 504.054

DOI: 10.58168/EnvPr2026_107-111

ВОЗМОЖНЫЕ СПОСОБЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ФИТОТОКСИЧНОСТИ ПОЧВ
МЕТОДАМИ БИОИНДИКАЦИИPOSSIBLE METHODS FOR DETERMINING SOIL PHYTOTOXICITY USING
BIOINDICATION METHODS

Бабунцова К.Д., студентка 3 курса Лесного факультета, ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет им. Г.Ф. Морозова», Воронеж, Россия

Babuntsova K.D., 3rd-year student of the Forestry Faculty, Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov, Voronezh, Russia

Моисеева Е.В., к.б.н., доцент кафедры экологии, защиты леса и лесного охотоведения ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет им. Г.Ф. Морозова», Воронеж, Россия

Moiseeva E.V., PhD in Biology, Associate Professor of the Department of Ecology, Forest Protection and Game Management, Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov, Voronezh, Russia

Аннотация. В работе проведен сравнительный анализ трех методов биоиндикации фитотоксичности почв: метода проростков, метода почвенных пластинок и метода водных вытяжек. Установлено, что метод проростков оптимален для экспресс-диагностики благодаря простоте оборудования и короткому сроку получения результатов (3–7 суток). Метод почвенных пластинок демонстрирует более высокую точность за счет прямого контакта семян с твердой фазой почвы и сорбированными загрязнителями. Использование водных вытяжек признано наименее чувствительным подходом; его применение рекомендуется ограничивать оценкой жидких сред. Выбор тест-объектов (редис, горчица, кресс-салат, овес, подорожник) критически важен, так как видовая специфика определяет вариативность реакции на тяжелые металлы, нефтепродукты и иные поллютанты. На примере урбанизированных территорий выявлена градация фитотоксичности: от 10–20% в рекреационных зонах до ~40% в жилых массивах и 70–100% в промышленных и транспортных узлах. При интерпретации данных необходимо учитывать биогенные факторы (ризосферный эффект, активность микромицетов), способные модулировать проявление токсичности. Для обеспечения надежности интегральной оценки рекомендуется комбинировать как минимум два метода и использовать тест-культуры из разных ботанических семейств.

Abstract. The article analyzes three approaches to bioindication of phytotoxicity of soils: the method of seedlings, the method of soil plates and the method of water extracts. The sprouting method is convenient for quick diagnosis, as it requires a minimum of equipment and gives results in 3-7 days. The soil plate method is more accurate because the seeds are in direct contact with the solid phase of the soil, including sorbed pollutants. Water extracts have shown the least sensitivity and are not recommended for soil assessment, except for liquid media. The choice of test plants (radish, mustard, watercress, oats, plantain) significantly affects the result, since their reaction to heavy metals, petroleum products and other pollutants varies. Using the example of urban soils, it is shown that phytotoxicity

is 10-20% in recreational areas, about 40% in residential areas, and 70-100% in industrial and transport areas. The biogenic factor (rhizosphere effect, micromycetes) can both enhance and weaken the manifestations of toxicity, which must be taken into account when interpreting the data. For a reliable integral assessment, several test cultures from different families should be combined and at least two methods should be used.

Ключевые слова: Фитотоксичность почв, биоиндикация, биотестирование, метод проростков, тест-растения, антропогенная нагрузка, почвенные пластинки, ризосферный эффект, городские почвы.

Keywords: Phytotoxicity of soils, bioindication, biotesting, the method of seedlings, test plants, anthropogenic load, soil plates, rhizosphere effect, urban soils.

Почвенный покров выступает ключевым депонирующим компонентом биосферы, аккумулирующим загрязняющие вещества. Кумулятивный эффект приводит к тому, что при длительном и интенсивном поступлении поллютантов их концентрация в верхних горизонтах достигает критических значений. Это провоцирует развитие фитотоксичности – способности почвы подавлять прорастание семян, угнетать рост корневой системы и надземной биомассы высших растений. Данное явление напрямую диктует продуктивность экосистем, урожайность агроценозов и жизнеспособность зеленых насаждений в урбанизированной среде.

Традиционный физико-химический анализ, несмотря на высокую точность определения индивидуальных загрязнителей, имеет принципиальное ограничение: он не учитывает совместное действие компонентов почвенного раствора и твердой фазы. В реальных условиях поллютанты функционируют в виде сложных смесей, проявляя эффекты синергизма или антагонизма. Биоиндикация лишена этого недостатка, поскольку тест-организм реагирует на интегральное токсическое воздействие всей среды, включая как исходные, так и трансформированные формы загрязнителей, без необходимости априорного знания их химического состава.

В практике экспресс-диагностики наиболее распространен метод проростков. Его востребованность обусловлена простотой, низкой себестоимостью и возможностью применения как в полевых, так и в лабораторных условиях. Суть метода заключается в размещении семян тест-культуры на поверхности субстрата или в контакте с ним с последующей оценкой через 3–7 суток. Ключевыми регистрируемыми параметрами выступают энергия прорастания, общая всхожесть, длина главного корня и побега, а также сырая или сухая биомасса. Многочисленные исследования подтверждают, что длина корня является наиболее чувствительным индикатором: корневая система угнетается при концентрациях токсикантов, которые еще не влияют на общую всхожесть. Так, при слабом загрязнении тяжелыми металлами семена могут давать 100% всходов, но формировать укороченные, деформированные корни без боковых ответвлений.

Однако классический метод проростков имеет существенный недостаток: отсутствие прямого и длительного контакта семян с твердой фазой почвы. Это часто приводит к занижению оценки токсичности, особенно в случае слаборастворимых загрязнителей. Яркий пример – исследование почв г. Тобольска с использованием *Plantago major* и *Plantago media*, где незначительное подавление роста тест-растений послужило основанием для вывода о низкой антропогенной нагрузке, что могло быть следствием именно методической погрешности.

Для нивелирования этой проблемы был разработан метод почвенных пластинок. Он обеспечивает прямой контакт развивающейся корневой системы с твердой фазой, позволяя токсикантам, сорбированным на почвенных частицах, проявлять свое действие. Методика предполагает увлажнение навески почвы (50 г) до 60% от полной полевой влагоемкости, формирование плотной пластинки в чашке Петри и высев 50 семян. Инкубация при 20–25 °С в течение 3–7 суток с последующей отмывкой и замером проростков дает более релевантную картину.

Именно этот метод позволил выявить тонкие биологические эффекты, недоступные для химического анализа. Например, при изучении ризосферного эффекта на черноземах Воронежской области было установлено, что почва из-под 9-летних плодовых деревьев стимулировала рост проростков горчицы (длина корней превышала контроль в 4,1 раза). В то же время почва из-под 50-летнего сада не проявляла стимулирующих свойств, вероятно, из-за накопления токсичных метаболитов или истощения лабильных органических веществ. Сравнительные данные убедительно доказывают: водные вытяжки часто дают ложноотрицательные результаты. Если при проращивании на вытяжке угнетение отсутствует, прямой посев на почвенную пластинку может выявить выраженный токсический эффект. Поэтому для оценки загрязнения слаборастворимыми соединениями (тяжелые металлы, нефтепродукты, ПАУ) метод почвенных пластинок является предпочтительным.

Метод водных вытяжек, напротив, целесообразно применять лишь для узких задач: оценки миграции поллютантов в грунтовые воды или рисков для гидробионтов. Для оценки именно фитотоксичности он малопригоден, так как основная масса токсикантов в почве находится в сорбированном состоянии и не переходит в водную фазу при стандартном соотношении почва:вода (1:2 или 1:5). Низкая токсичность вытяжки не является гарантом экологической безопасности самого почвенного субстрата.

Критически важным этапом биотестирования является выбор тест-объекта. Чувствительность растений варьирует, и некорректный подбор вида ведет к ошибкам интерпретации: устойчивый вид маскирует загрязнение, а гиперчувствительный дает ложную тревогу на фоновых значениях.

Редис (*Raphanus sativus*) признан стандартом благодаря быстрому прорастанию (3–4 суток) и четкой, легко измеряемой реакции корневой системы, которая надежно коррелирует с концентрацией поллютантов.

Горчица белая (*Sinapis alba*) прорастает еще быстрее (2–3 суток), обладает крупными, удобными в работе семенами и высокой неприхотливостью, что делает ее идеальной для полевых экспресс-тестов.

Овес (*Avena sativa*) и кресс-салат (*Lepidium sativum*) часто используются в паре для калибровки чувствительности. Исследования в Воронеже показали, что овес демонстрирует более выраженное угнетение корней при техногенном загрязнении, тогда как кресс-салат более вынослив. Угнетение даже такого толерантного вида, как кресс-салат, служит надежным маркером высокого уровня загрязнения.

Подорожник (*Plantago* spp.) перспективен для долгосрочного мониторинга урбанизированных территорий благодаря своей распространенности и формовому разнообразию, однако медленный рост (10–14 суток) ограничивает его применение в оперативной диагностике.

Оптимальной практикой считается использование батареи тестов из 2–3 видов разных семейств, что позволяет нивелировать видовую специфичность и получить устойчивую интегральную оценку.

Городские почвы, испытывающие комплексное давление (транспортные выбросы, реагенты, переуплотнение), служат репрезентативным полигоном для апробации этих методов. Многолетний мониторинг в Воронеже (2014–2018 гг.) выявил четкую градиацию: в промышленных и транзитных зонах фитотоксичность достигала 70–80% (вплоть до 100% в локальных точках), в жилых кварталах – около 40%, тогда как в рекреационных зонах (парки, лесопарки) показатели не превышали 10–20%, соответствуя фоновым значениям.

Особый интерес представляет вертикальное распределение токсичности. Верхние горизонты (до 40 см) зачастую демонстрируют умеренную токсичность, тогда как на глубине 80–100 см фиксируется резкий скачок фитотоксичности, коррелирующий с пиковыми концентрациями Zn, Pb, Cr и Ni. Это свидетельствует о многолетней миграции загрязнителей вглубь профиля, в то время как поверхностный слой частично saniруется за счет вымывания, биопоглощения и антропогенного перемешивания.

Наконец, нельзя игнорировать биогенный фактор. Высокая фитотоксичность может быть обусловлена не только техногенными поллютантами, но и активностью почвенных микромицетов, продуцирующих токсины. Использование метода инициированного микробного сообщества (предварительная инкубация почвы во влажных условиях) показало, что в некоторых пробах токсичность после инкубации возрастала в разы при неизменном химическом составе. Метод почвенных пластинок успешно фиксирует этот эффект, так как проростки контактируют с мицелием, в то время как водные вытяжки его «не видят».

Биоиндикация наиболее адекватным инструментом оценки фитотоксичности почв, обеспечивающим учет суммарного и синергетического действия загрязнителей. Среди методик метод почвенных пластинок демонстрирует наивысшую достоверность, особенно на переувлажненных или богатых органикой субстратах, тогда как метод водных вытяжек имеет ограниченную область применения. Для получения объективных результатов необходимо комбинировать тест-культуры с разной чувствительностью и учитывать биогенный фактор, способный как маскировать, так и потенцировать техногенное воздействие.

Список литературы

1. Аверчева О.Н. Биоиндикация и биотестирование окружающей среды: учеб.-метод. пособ / О.Н. Аверчева, Т.В. Сапегина. – Ярославль : ЯрГУ, 2018. – 120 с.
2. Козловская И.Ю. Оценка фитотоксичности почв методом биотестирования / И.Ю. Козловская, Д.А. Апанасевич // Химическая технология и техника. Минск, 2023. – С. 370–372.
3. Попова Е.И. Метод проростков для экспресс-диагностики загрязнения почв / Е.И. Попова. – Наука и образование. 2016. – № 4. – С. 1-6.
4. Цаценко Л.В. Биологическое тестирование почвы: метод. указ / Л.В. Цаценко. – Краснодар : КубГАУ, 2016. – 39 с.
5. Назаренко Н.Н. Вклад биогенного фактора в фитотоксическую активность почв города Воронежа / Н.Н. Назаренко, И.Д. Свистова, Л.В. Брындина // Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Химия. Биология. – 2020. – № 2. – С. 45–52.

References

1. Avercheva O. N. Bioindication and biotesting of the environment: a textbook and methodological manual / O. N. Avercheva, T. V. Sapegina. - Yaroslavl: Yaroslavl State University, 2018. - 120 p.
2. Kozlovskaya I. Yu. Assessment of soil phytotoxicity by biotesting / I. Yu. Kozlovskaya, D. A. Apanasevich // Chemical technology and engineering. Minsk, 2023. - Pp. 370-372.
3. Popova E. I. Seedling method for rapid diagnostics of soil pollution / E. I. Popova. - Science and education. 2016. - No. 4. - Pp. 1-6.
4. Tsatsenko L. V. Biological testing of soil: method. manual / L. V. Tsatsenko. – Krasnodar: KubSAU, 2016. – 39 p.
5. Nazarenko N.N. Contribution of the biogenic factor to the phytotoxic activity of soils in the city of Voronezh / N.N. Nazarenko, I.D. Svistova, L.V. Bryndina // Bulletin of Voronezh State University. Series: Chemistry. Biology. – 2020. – No. 2. – P. 45–52.