

Научная статья

УДК 631.453:574.21

EDN EZDOKE

<https://doi.org/10.22450/978-5-9642-0629-3-18-24>

Результаты биотестирования почвы, содержащей тяжелые металлы

Александр Архипович Алтаев, кандидат биологических наук, доцент, старший научный сотрудник

Сибирский федеральный научный центр агробиотехнологий Российской академии наук, Республика Бурятия, Улан-Удэ, Россия, altaev@mail.ru

Аннотация. В статье рассмотрена методика и результаты биотестирования грунта, загрязненного тяжелыми металлами. Приводятся показатели роста и развития растений в вегетационно-лабораторном опыте по определению фитотоксичности изучаемого грунта. В эксперименте использовались семена аборигенных представителей флоры Забайкалья – *Larix sibirica*, *Elymus sibiricus*, *Bromopsis inermis*, *Melilotus albus* и *Festuca ovina*.

Ключевые слова: биотестирование почвы, фитотоксичность грунта, тяжелые металлы в почве

Для цитирования: Алтаев А. А. Результаты биотестирования почвы, содержащей тяжелые металлы // Агропромышленный комплекс: проблемы и перспективы развития : материалы междунар. науч.-практ. конф. (Благовещенск, 18–19 апреля 2024 г.). Благовещенск : Дальневосточный ГАУ, 2024. С. 18–24.

Original article

The results of biotesting soil containing heavy metals

Alexander A. Altaev, Candidate of Biological Sciences, Associate Professor, Senior Researcher

Siberian Federal Scientific Center of Agricultural Biotechnology of the Russian Academy of Sciences, Republic of Buryatia, Ulan-Ude, Russia

altaev@mail.ru

Abstract. The article discusses the methodology and results of biotesting soil contaminated with heavy metals. The indicators of plant growth and development in the vegetative laboratory experiment to determine the phytotoxicity of the studied soil are given. In the experiment were used the seeds of the flora of Transbaikalia – *Larix sibirica*, *Elymus sibiricus*, *Bromopsis inermis*, *Melilotus albus* и *Festuca ovina*.

Keywords: soil biotesting, soil phytotoxicity, heavy metals in the soil

For citation: Altaev A. A. The results of biotesting soil containing heavy metals. Proceedings from Agro-industrial complex: problems and prospects of development: *Mezhdunarodnaya nauchno-prakticheskaya konferentsiya (Blagoveshchensk, 18–19 aprelya 2024 g.)* (PP. 18–24), Blagoveshchensk, Dal'nevostochnyj gosudarstvennyj agrarnyj universitet, 2024 (in Russ.).

Введение. В органическом земледелии не используются почвы и грунты, загрязненные тяжелыми металлами, поэтому их предварительно химически анализируют и, в некоторых случаях, тестируют на фитотоксичность.

Фитотоксичность – это свойство почвы, обусловленное наличием загрязняющих веществ и токсинов, подавлять рост и развитие высших растений. Необходимость определения этого показателя возникает при мониторинге химически загрязненных почв, например, повышенными концентрациями тяжелых металлов, которые приводят к неблагоприятным экологическим последствиям [1–3]. При оценке токсичности почвы в качестве биотестов обычно используются растения [4]. Известно, что устойчивость растения к неблагоприятным факторам среды зависит от его возраста, а точнее от фазы индивидуального развития. Прорастание семян – наиболее уязвимый этап индивидуального развития высших растений, когда наблюдается минимальная устойчивость к неблагоприятным факторам и, соответственно, максимальная чувствительность к их воздействию. В этой связи растения в эту фазу развития представляют собой наиболее репрезентативный объект тестирования, а различные параметры роста и развития являются основными показателями фитотоксичности почв при проведении экологических экспериментов. Основными параметрами, изучаемыми в процессе биотестирования, являются всхожесть и энергия прорастания семян.

Методика исследований. Уровень фитотоксичности почв (грунтов) оценивается по ингибированию определяемых показателей; желательно брать тест-культуру, характерную для конкретного региона. В лабораторном экспе-

рименте нами использовались семена следующих аборигенных представителей флоры Забайкалья – лиственница сибирская (*Larix sibirica*), пырейник сибирский (*Elymus sibiricus* L.), кострец безостый (*Bromopsis inermis* Holub), донник белый (*Melilotus albus* Medik.) и овсяница овечья (*Festuca ovina* Huds.).

Семена тестовых растений проращивали на исследуемом грунте в лабораторных растильнях, при постоянной температуре, естественном освещении и периодическом поливе. Ввели ежедневное визуальное наблюдение за проростками (до 41 дня), каждые 7 дней фиксировали результаты возможного токсического (ингибирующего) воздействия тяжелых металлов на начальный онтогенез испытываемых растений по следующим показателям – длина надземной части (мм), их всхожесть и сохранность (процент).

Опыт имел пять повторностей, в каждую растильню высевали по 30 семян тестовых растений (3 ряда по 10 шт.), фиксировали средний биометрический результат. Достоинствами указанного способа являются его простота и оперативность. Он легко выполним для исследования множества почвенных проб мониторинга окружающей среды. Метод позволяет выявить ингибирующее (токсическое) действие загрязненных почв на прорастание семян. В ходе опыта фиксируют всхожесть, энергию прорастания, длину наземной и корневой систем, массу проростков.

В качестве «условно загрязненной» почвы использовался почвенно-растительный слой, снятый с месторождения полиметаллических руд с целью дальнейшего его использования для биологической рекультивации месторождения. Почва определена нами, как дерновая таежная мерзлотная [5].

Результаты исследований. Результаты определения методом пламенной фотометрии геохимических показателей почвы представлены в таблице 1. В качестве геохимических показателей, имеющих базовое значение для рекультивационных работ, определено валовое содержание и содержание подвиж-

ных элементов – загрязнителей. Валовое содержание является фактором емкости, отражающим прежде всего потенциальную опасность загрязнения растительной продукции, инфильтрационных и поверхностных вод и пылеватых частиц, переносимых в результате дефляции.

Таблица 1 – Валовое содержание тяжелых металлов в исследуемой почве
В миллиграммах на килограмм

	Содержание элементов, мг/кг								
	Al	Fe	Mn	Cu	As	Pb	Ti	Zn	Sb
Почва	≥5 000	≥5 000	1 067	26,7	3,00	48,5	75,5	119,2	≤5,0
ПДК*	–	–	1 500– 3 000	60–125	15–50	100–200	–	70–400	5–10
ПДК**	–	–	1 500	55	2,0	30	–	100	4,5
* Предельные допустимые концентрации валовых содержаний тяжелых металлов в поверхностном слое почвы, предельные по фитотоксичности. ** Предельные допустимые концентрации валовых содержаний тяжелых металлов и мышьяка.									

Оценка валового содержания элементов в почве, обладающих химикотоксикологическим действием показала, что элементы Mn, Cu, As, Ti, Sb по этому показателю находятся в пределах предельных допустимых концентраций. Содержание Pb и Zn превышает ПДК, что означает загрязнение почвы этими элементами. Содержание подвижных форм определяет актуальные запасы токсичных элементов в почве. В качестве реперных элементов отобраны Pb, Zn, Mn, имеющие наибольшее массовое содержание (табл. 2).

Таблица 2 – Содержание подвижных элементов тяжелых металлов в почве (0–20 см)
В миллиграммах на килограмм

	Содержание подвижных элементов, мг/кг		
	Pb	Zn	Mn
Исследуемая почва	3,47	1,72	24,45
ПДК*	6,00	23,00	–
ПДК**	6,00	–	80
* Предельные допустимые концентрации подвижных тяжелых металлов в поверхностном слое почвы, предельные по фитотоксичности. ** Предельно допустимые концентрации химических веществ в почве (ГН 2.1.7.2041–06).			

Анализ содержания подвижных тяжелых металлов показал, что исследуемые дерновые таежные мерзлотные почвы не превышают ПДК. Опытом выявлено незначительное ингибирующее (токсическое) действие «загрязненного» грунта на прорастание семян, всхожесть и длину проростков. Фитотоксичность грунта рассчитывали по всхожести семян ($\Phi T_{\text{всх}}$) и длине проростков ($\Phi T_{\text{длина}}$), используя соответственно формулы (1) и (2):

$$\Phi T_{\text{всх}} = \frac{(\text{Всх}_\text{к} - \text{Всх}_\text{г}) \cdot 100}{\text{Всх}_\text{к}}, \quad (1)$$

$$\Phi T_{\text{длина}} = \frac{(\text{Дл}_\text{к} - \text{Дл}_{\text{иссл}}) \cdot 100}{\text{Дл}_\text{к}} \quad (2)$$

где $\text{Всх}_\text{к}$ – всхожесть семян на контроле, %

$\text{Всх}_\text{г}$ – всхожесть семян на грунте, %

$\text{Дл}_\text{к}$ – длина проростка на контроле, мм;

$\text{Дл}_{\text{иссл}}$ – длина исследуемого проростка, мм.

Результаты расчетов приведены в таблице 3.

Таблица 3 – Показатели роста и развития растений в вегетационно-лабораторном опыте по определению фитотоксичности грунта (n = 5)

Вид растения	5 дней	12 дней	19 дней	26 дней	33 дня	41 день
<i>Длина проростков, мм</i>						
Лиственница	–	2±0,5	22±0,9	30±1,2	34±2,0	39±2,3
Донник	3±0,5	11±0,6	19±1,2	50±2,4	52±2,5	55±2,3
Пырейник	–	77±1,8	125±2,2	136±2,3	145±2,5	157±2,8
Кострец	–	57±1,9	87±2,5	112±2,9	141±3,2	156±3,4
Овсяница	–	51±1,8	64±2,1	78±2,2	103±2,2	109±2,7
<i>Количество проростков, шт. на растильню</i>						
Лиственница	0	18±2	19±3	19±3	16±3	8±1
Донник	3	20±3	20±2	20±3	20±3	20±2
Пырейник	0	21±3	21±3	21±2	21±3	21±2
Кострец	0	21±3	21±3	21±3	21±3	21±3
Овсяница	0	20±2	20±3	20±2	20±2	20±2
<i>Всхожесть/сохранность проростков, %</i>						
Лиственница	0	85,7±2,8	90,5±0,5	90,5±2,1	76,2±1,2	38,1±0,5
Донник	14,3±3,2	95,2±2,7	95,2±1,4	95,2±3,1	95,2±1,2	95,2±0,7
Пырейник	0	100±0,2	100±0,1	100±0,3	100±0,8	100±0,5
Кострец	0	100±0,3	100±0,5	100±0,8	100±0,2	100±0,8
Овсяница	0	95,2±2,1	95,2±1,3	95,2±0,8	95,2±0,7	95,2±0,7

Полученные результаты оценивали на 12 день проращивания по шкале фитотоксичности (табл. 4):

менее 20 % – фитотоксичность не проявляется;

20–40 % – слабая фитотоксичность;

40–60 % – средняя фитотоксичность;

более 60 % – сильная фитотоксичность.

Таблица 4 – Фитотоксичность грунта по всхожести и длине проростков тест-растений

Тест-растение	Всхожесть, %	Фитотоксичность грунта по всхожести, %	Длина проростков, мм	Фитотоксичность грунта по длине проростков, %
Лиственница	85,7±2,8	2,0	2±0,5	0
Донник	95,2±2,7	3,3	11±0,6	26,7
Пырейник	100	0	77±1,8	3,75
Кострец	100	0	57±1,9	1,7
Овсяница	95,2±2,1	2,9	51±1,8	6,1

Закключение. *Результаты проведенного вегетационно-лабораторного опыта по изучению фитотоксичности почвогрунта показали, что по всхожести и длине проростков исследуемая почва незначительно ингибирует начальный органогенез растений. Таким образом, выявленные тяжелые металлы проявляли фактически нейтральное действие на показатели прорастания и интенсивность начального роста растений. Однако, такие почвогрунты недопустимо использовать в органическом земледелии, их можно рекомендовать для выращивания непродовольственных сельскохозяйственных растений, лесных культур и в озеленении.*

Список источников

1. Алексеев Ю. В. Тяжелые металлы в почвах и растениях. Ленинград : Агропромиздат, 1987. 142 с.
2. Баздырев Г. И., Пронина Н. Б., Родригес Д. Р. Тяжелые металлы в системе почва-растение на склоновых землях // Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии. 2001. Вып. 2. С. 81–104.

3. Кабата-Пендиас А., Пендиас Х. Микроэлементы в почвах и растениях. М. : Мир, 1989. 439 с.
4. ГОСТ Р ИСО 22030–2009. Качество почвы. Биологические методы. Хроническая фитотоксичность в отношении высших растений. М. : Стандартинформ, 2019. 28 с.
5. Алтаев А. А., Будажапов Л. З., Билтуев А. С., Уланов А. К. Оценка фиторемедиационных свойств горно-таежной флоры лиственничного биотопа в Забайкалье // Научная жизнь. 2023. Т. 18. № 4 (130). С. 507–519.

References

1. Alekseev Yu. V. *Heavy metals in soils and plants*, Leningrad, Agropromizdat, 1987, 142 p. (in Russ.).
2. Bazdyrev G. I., Pronina N. B., Rodriguez D. R. Heavy metals in the soil-plant system on sloping lands. *Izvestiya Timiryazevskoi sel'skokhozyaistvennoi akademii*, 2001;2:81–104 (in Russ.).
3. Kabata-Pendias A., Pendias H. *Trace elements in soils and plants*, Moscow. Mir, 1989, 439 p. (in Russ.).
4. The quality of the soil. Biological methods. Chronic phytotoxicity against higher plants. (2009) *GOST R ISO 22030–2009 docs.cntd.ru* Retrieved from <https://docs.cntd.ru/document/1200077669> (Accessed 12 January 2024) (in Russ.).
5. Altaev A. A., Budazhapov L. Z., Biltuev A. S., Ulanov A. K. Assessment of phyto-remediation properties of the mountain taiga flora of the larch biotope in Transbaikalia. *Nauchnaya zhizn'*, 2023;18;4(130):507–519 (in Russ.).

© Алтаев А. А., 2024

Статья поступила в редакцию 20.03.2024; одобрена после рецензирования 28.03.2024; принята к публикации 29.05.2024.

The article was submitted 20.03.2024; approved after reviewing 28.03.2024; accepted for publication 29.05.2024.