

DOI: <https://doi.org/10.60797/JAE.2024.50.10>

**ВЛИЯНИЕ МИНЕРАЛЬНЫХ УДОБРЕНИЙ НА ПРИМЕРЕ ДИАММОНИЙФОСФАТ NP 18:46 НА
ДЕКОНТАМИНАЦИЮ ВЫЩЕЛОЧЕННЫХ ЧЕРНОЗЕМОВ КРАСНОЯРСКОГО КРАЯ**

Научная статья

Коротченко И.С.¹, Первышина Г.Г.^{2,*}

¹ORCID : 0000-0002-9099-9537;

²ORCID : 0000-0001-5880-5395;

¹Красноярский государственный аграрный университет, Красноярск, Российская Федерация

²Сибирский федеральный университет, Красноярск, Российская Федерация

* Корреспондирующий автор (gpervyshina[at]sfu-kras.ru)

Аннотация

В статье приводятся данные по влиянию минеральных удобрений (на примере диаммонийфосфат NP 18:46) на детоксикацию почв, загрязненных тяжелыми металлами (свинец, кадмий). Смоделировано в полевых условиях смоделировано загрязнение почв тяжелыми металлами в соотношениях от 1 до 5 ПДК. Поведение тяжелых металлов (ТМ) в почве изучали в микрополевым опыте применением детоксиканта, в качестве которого использовали универсальное высококонцентрированное безнитратное азотно-фосфорное удобрение Диаммонийфосфат NP 18:46. Показано, что внесение ТМ в почву приводит к резкому повышению содержания в ней подвижных форм свинца и кадмия. Зафиксирована обратная зависимость между уровнем концентрации подвижной формы тяжелых металлов (Cd, Pb) в почвах и дозами детоксиканта. Установлено, что происходит достоверное ($P \leq 0,01$) снижение до ПДУ концентрации ТМ в почве при использовании диаммония фосфата (NP 18:46) в дозе 200 кг/га. Отмечено, что при внесении двойных доз диаммония фосфата (NP 18:46) через 120 дней инкубации подвижность тяжелых металлов по сравнению с контролем снизилась на 4,6 и 3,2% (Pb), и 6,5 и 7,3% (Cd), соответственно.

Ключевые слова: тяжелые металлы, свинец, кадмий, выщелоченный чернозем, деконтаминация почв, детоксикант.

**INFLUENCE OF MINERAL FERTILIZERS ON DECONTAMINATION OF LEACHED BLACK SOILS OF
KRASNOYARSK KRAI ON THE EXAMPLE OF DIAMMONIUM PHOSPHATE NP 18:46**

Research article

Korotchenko I.S.¹, Pervishina G.G.^{2,*}

¹ORCID : 0000-0002-9099-9537;

²ORCID : 0000-0001-5880-5395;

¹Krasnoyarsk State Agrarian University, Krasnoyarsk, Russian Federation

²Siberian Federal university, Krasnoyarsk, Russian Federation

* Corresponding author (gpervyshina[at]sfu-kras.ru)

Abstract

The article presents data on the effect of mineral fertilizers (on the example of diammonium phosphate NP 18:46) on detoxification of soils contaminated with heavy metals (lead, cadmium). Soil contamination with heavy metals in ratios from 1 to 5 MAC was modelled in field conditions. Behaviour of heavy metals (HM) in soil was studied in micro-field experiment by application of detoxicant, as which universal highly concentrated nitrate-free nitrogen-phosphorus fertilizer Diammonium phosphate NP 18:46 was used. It is shown that the application of HM to the soil leads to a sharp increase in the content of mobile forms of lead and cadmium in it. The inverse dependence between the level of concentration of mobile form of heavy metals (Cd, Pb) in soils and doses of detoxicant was registered. It was found that there is a reliable ($P \leq 0.01$) reduction to AEL concentration of HM in soil when using diammonium phosphate (NP 18:46) at a dose of 200 kg/ha. It was observed that when double doses of diammonium phosphate (NP 18:46) were applied after 120 days of incubation, the mobility of heavy metals decreased by 4,6 and 3,2% (Pb), and 6,5 and 7,3% (Cd), respectively, compared to the control.

Keywords: heavy metals, lead, cadmium, leached black soil, soil decontamination, detoxicant.

Введение

Загрязнение тяжелыми металлами почв сельскохозяйственного назначения приобретает угрожающий масштаб. Так, авторами [1], [2] отмечено, что число экосистем, подверженных негативным тенденциям воздействия промышленного сектора, продолжает расширяться. По оценке, приведённой в работах [1], [4], более 50% земельных участков в мире, подвергшихся антропогенному воздействию, характеризуется повышенным содержанием ТМ, что приводит к тяжелым экологическим последствиям [3]. Среди способов ремедиации почв, загрязненных тяжелыми металлами, особое внимание привлекает стабилизация загрязняющих веществ с помощью мелиорантов [5], относящиеся к методам «мягкой» ремедиации, в качестве которых могут выступать и минеральные удобрения. Однако проведенные исследования [6], [7], [8] свидетельствуют о том, что внесение фосфорных удобрений может сопровождаться как связыванием, так и высвобождением ТМ. Действительно, ранее было установлено, что апатит

достаточно эффективно связывает свинец и кадмий из их почвенных водных экстрактов, однако аналогичных исследований, касающихся свойств диаммония фосфата (NP 18:46) зафиксировано не было.

Поэтому целью наших исследований была оценка влияния минерального удобрения (диаммоний фосфат (NP 18:46)) на аккумуляцию тяжелых металлов в почве.

Методы и принципы исследования

Тяжелые металлы вносились в слой почвы толщиной 0...20 см в виде хорошо растворимых солей (уксуснокислый свинец, сульфат кадмия гидратированный) в концентрации от 1 до 5ПДК на чистый металл. В схему опыта входили варианты с внесением детоксиканта – Диаммонийфосфат NP 18:46 (универсальное высококонцентрированное безнитратное азотно-фосфорное удобрение). Расчет концентраций ТМ произведен согласно данным ПДК с учетом фонового содержания металлов, приведенных гигиеническими нормативами (СанПиН 1.2.3685-21), а доза внесения Диаммонийфосфат NP 18:46 – согласно рекомендациям производителя.

После внесения свинца почва инкубировалась в течение 30 дней. Исследования проведены в условиях Красноярского края на выщелоченном черноземе.

Отбор почвенных образцов проводился в начале и конце вегетационного периода возделываемых растений (яровой рапс *Brassicaparussp. Oleifera* сорта Надежный 92) в слое почвы 0-20 см согласно ГОСТ Р 58595-2019. Посев семян в количестве 30 штук на одну емкость, площадью 0,3 м²производили в чернозем выщелоченный, повторность опыта четырехкратная.

Определение подвижных и валовых форм тяжелых металлов (Pb, Cd) проводили на атомно-абсорбционном анализаторе PinAAcle 900T (НИЦ ФГБОУ ВО Красноярского ГАУ).

Статистическую обработку результатов исследований проводили с использованием надстройки «Пакет анализа» в программном обеспечении Microsoft Office Excel 2010 и Statistica 6,0 for Windows.

Основные результаты

Изучение влияния различных доз детоксиканта на содержание валовых (табл.1) и подвижных (табл. 2) форм ТМ (Pb, Cd) в почвогрунте проводили после уборки урожая яровой рапса.

Таблица 1 - Валовое содержание ТМ в почве при использовании детоксиканта до и после уборки урожая рапса

DOI: <https://doi.org/10.60797/JAE.2024.50.10.1>

	Вариант	Дозы детоксиканта, кг/га	Pb (1...5 ПДК), мг/кг				
			1	2	3	4	5
Начало вегетационного периода	Контроль (без детоксиканта)	-	22,12	42,17	63,05	83,5	106,89
	Диаммоний фосфат (NP 18:46)	100	17,55	38,49	51,02	62,11	83,17
		200	20,43	40,69	49,57	54,91	75,45
	Фон	-	8,70				
После уборки урожая	Контроль (без детоксиканта)	-	20,82	40,74	60,57	80,63	100,26
	Диаммоний фосфат (NP 18:46)	100	12,3	17,29	30,81	40,15	64,97
		200	7,83	10,55	15,06	37,73	51,74
	Фон	-	8,54				
	ПДК (ОДК) [#]		32				
Начало вегетационного периода	Детоксикант	Дозы детоксиканта, кг/га	Cd (1...5 ПДК), мг/кг				
			1	2	3	4	5
	Контроль (без детоксиканта)	-	0,94	1,36	2,47	3,55	4,81
	Диаммоний фосфат (NP 18:46)	100	0,76	1,23	2,14	3,05	4,74
		200	0,74	0,91	1,78	2,41	3,69
Фон	-	0,12					
После уборки урожая	Контроль (без детоксиканта)	-	0,92	1,32	2,31	3,5	4,79
	Диаммоний фосфат (NP 18:46)	100	0,31	0,52	0,97	1,97	2,53
		200	0,24	0,31	0,84	1,31	2,47
	Фон	-	0,17				
	ПДК (ОДК) [#]	-	1				

Примечание: # – СанПиН 1.2.3685-21

Таблица 2 - Содержание подвижных форм ТМ в почве при использовании детоксиканта до и после уборки урожая рапса

DOI: <https://doi.org/10.60797/JAE.2024.50.10.2>

	Детоксикант	Дозы детоксиканта, кг/га	Pb (1...5 ПДК), мг/кг				
			1	2	3	4	5
Начало вегетационного периода	Контроль (без детоксиканта)	-	2,98	4,56	9,16	18,95	44,9
	Диаммоний фосфат (NP 18:46)	100	2,36	4,45	8,22	17,65	33,5
		200	2,02	4,13	5,31	13,23	31,7
	Фон	-	1,57				
После уборки урожая	Контроль (без детоксиканта)	-	2,86	4,43	8,12	17,83	44,6
	Диаммоний фосфат (NP 18:46)	100	1,11	3,15	5,44	15,52	30,4
		200	0,9	2,17	3,24	11,31	26,67
	Фон	-	1,12				
	ПДК (ОДК) [#]	-	6				
	Детоксикант	Дозы детоксиканта, кг/га	Cd (1...5 ПДК), мг/кг				
			1	2	3	4	5
Начало вегетационного периода	Контроль (без детоксиканта)	-	0,29	0,42	0,56	0,77	1,02
	Диаммоний фосфат (NP 18:46)	100	0,25	0,38	0,52	0,76	0,93
		200	0,19	0,26	0,39	0,71	0,87
	Фон	-	0,08				
После уборки урожая	Контроль (без детоксиканта)	-	0,28	0,38	0,53	0,75	0,96
	Диаммоний фосфат (NP 18:46)	100	0,15	0,27	0,36	0,54	0,77
		200	0,08	0,11	0,25	0,47	0,68
	Фон	-	0,07				
	ПДК (ОДК) [#]	-	0,3				

Примечание: [#] – СанПиН 1.2.3685-21

Обсуждение

Анализ валового содержания токсикантов: свинца, кадмия, как и следовало ожидать, показывает повышенное содержание в черноземе, выщелоченном при дополнительном внесении их водных растворов в почву. При этом содержание ТМ увеличивается пропорционально концентрации внесенного загрязнителя – в 5-6 раз в сравнении с контрольным вариантом, с фоновым вариантом – в 11-18 раз. При внесении повышенных доз ТМ содержание токсикантов превышало предельно-допустимую концентрацию (ПДК) в 5 раз. Совместное внесение ТМ с детоксикантом способствовало их большему связыванию почвенно-поглощающим комплексом.

Изучение содержания подвижных форм ТМ показало, что дополнительная обработка почвы их водными растворами привечало к резкому повышению содержания в ней подвижных форм этих элементов.

Особенно важным является определение содержания подвижных форм тяжелых металлов в почве как более доступных для растений, так и наиболее опасных. В наших экспериментах установлено, что концентрация подвижной формы металлов в почвах зависит от дозы их внесения и достоверно снижается при применении исследуемого детоксиканта. Наблюдается обратная зависимость между уровнем концентрации подвижной формы тяжелых металлов в почвах и дозами детоксиканта.

Содержание подвижного кадмия варьировало от 0,07 мг/кг до 1,02 мг/кг, при этом относительное его содержание (% от валового) изменялось от 11% в контроле до 57% при высоком уровне загрязнения почвы. Для свинца содержание подвижных форм составляло от 1,12 (фон) до 44,9 мг/кг; доля подвижных форм данного элемента при уровнях загрязнения 1–5 ПДК составляла 13% – 24% от валового содержания. Следовательно, внесение ТМ (Pb, Cd) в чернозем выщелоченный в дозах 1–5 ПДК приводило к резкому повышению содержанию их подвижных форм.

По степени подвижности элементов в условиях полевого опыта металлы в убывающем ряду можно расположить следующим образом: Cd>Pb. Таким образом, по нашим данным, кадмий обладал на порядок большей подвижностью, чем свинец, что согласуется с данными других исследователей [9], [10].

При модельном загрязнении почвы ТМ от 1 до 5 ПДК за 120 дней инкубации ТМ в почве наблюдалось значительное изменение подвижности свинца и кадмия. Так, изменение подвижности свинца в почвенном слое 0-20 см составляло 0,7–11%, кадмия – 2,6–9,5% соответственно, при применении двойной дозы токсиканта было зафиксировано снижение данной величины на 55% (Pb) и 58% (Cd).

Во время инкубации почвы часть подвижных форм ТМ в результате влияния почвенных факторов перешла в недоступное для растений состояние. Однако снижение почвой подвижности внесенных ТМ было неодинаковым и зависело от дозы: чем выше была доза, тем меньшее количество ТМ (в процентном отношении) фиксировалось почвой.

Заключение

В результате выполнения данной работы было установлено, что внесение ТМ в почву приводит к резкому повышению содержания в ней подвижных форм свинца и кадмия. Наблюдается обратная зависимость между уровнем концентрации подвижной формы данных тяжелых металлов в почвах и дозами детоксиканта. Установлено, что происходит достоверное ($P \leq 0,01$) снижение до ПДУ концентрации ТМ в почве при использовании диаммония фосфата (NP 18:46) в дозе 200 кг/га.

При внесении двойных доз диаммония фосфата (NP 18:46) через 120 дней инкубации подвижность тяжелых металлов по сравнению с контролем снизилась на 4,6 и 3,2% (Pb), и 6,5 и 7,3% (Cd), соответственно.

Конфликт интересов

Не указан.

Рецензия

Все статьи проходят рецензирование. Но рецензент или автор статьи предпочли не публиковать рецензию к этой статье в открытом доступе. Рецензия может быть предоставлена компетентным органам по запросу.

Conflict of Interest

None declared.

Review

All articles are peer-reviewed. But the reviewer or the author of the article chose not to publish a review of this article in the public domain. The review can be provided to the competent authorities upon request.

Список литературы / References

1. He Z. Heavy Metal Contamination of Soils: Sources, Indicators, and Assessment / Z. He, J. Shentu, V.C. Baligar [et al.] // *Journal of Environmental Indicators*. — 2015. — 9. — P. 14–18.
2. Tóth G. Maps of heavy metals in the soils of the European Union and proposed priority areas for detailed assessment / G. Tóth, T. Hermann, J. Szatmári, L. Pásztor // *Science of the Total Environment*. — 2016. — 565. — P. 1054–1062.
3. Kozlov M.V. Industrial barrens: extreme habitats created by non-ferrous metallurgy / M.V. Kozlov, E.I. Zvereva. — Dordrecht : Springer, 2004. — P. 69–91.
4. Копцик Г.Н. Ремедиация почв техногенных пустошей в Кольско субарктике: современное состояние и многолетняя динамика / Г.Н. Копцик, С.В. Копцик, И.Е. Смирнова [и др.] // *Почвоведение*. — 2021. — 4. — С. 489–501.
5. Копцик Г.Н. Современные подходы к ремедиации почв, загрязненных тяжелыми металлами (обзор литературы) / Г.Н. Копцик // *Почвоведение*. — 2014. — 7. — С. 851–868.
6. Munksgaard N.G. Fertilizer amendment of mining-impacted soils from Broken Hill, Australia: fixation or release of contaminants? / N.G. Munksgaard, B.G. Lottermoser // *Water, Air, Soil Pollut.* — 2011. — 215. — P. 373–397.

7. Chen X. Evaluation of heavy metal remediation using mineral apatite / X. Chen, J.V. Wright, J.L. Conca [et al.] // *Water, Air, Soil Pollut.* — 1997. — 98. — P. 57–78.
8. Raicevic S. In situ stabilization of toxic metals in polluted soils using phosphates: theoretical prediction and experimental verification / S. Raicevic, T. Kaludjerovic-Radoici, A.I. Zouboulis // *Journal of Hazardous Materials.* — 2005. — 117. — P. 41–53.
9. Коротченко И.С. Деконтаминация почв, загрязненных тяжелыми металлами / И.С. Коротченко // *Природообустройство.* — 2014. — 4. — С. 22–24.
10. Коротченко И.С. Детоксикация тяжелых металлов (Pb, Cd, Cu) в системе "почва-растение" в лесостепной зоне Красноярского края / И.С. Коротченко, Н.Н. Кириенко. — Красноярск : Красноярский государственный аграрный университет, 2012. — 250 с.

Список литературы на английском языке / References in English

1. He Z. Heavy Metal Contamination of Soils: Sources, Indicators, and Assessment / Z. He, J. Shentu, V.C. Baligar [et al.] // *Journal of Environmental Indicators.* — 2015. — 9. — P. 14–18.
2. Tóth G. Maps of heavy metals in the soils of the European Union and proposed priority areas for detailed assessment / G. Tóth, T. Hermann, J. Szatmári, L. Pásztor // *Science of the Total Environment.* — 2016. — 565. — P. 1054–1062.
3. Kozlov M.V. Industrial barrens: extreme habitats created by non-ferrous metallurgy / M.V. Kozlov, E.I. Zvereva. — Dordrecht : Springer, 2004. — P. 69–91.
4. Koptsik G.N. Remediation of soils in technogenic wastelands in the Kola subarctic: current state and long-term dynamics / G.N. Koptsik, S.V. Koptsik, I.E. Smirnova [et al.] // *Pochvovedenie [Soil science].* — 2021. — 4. — P. 489–501. [in Russian]
5. Koptsik G.N. Modern approaches to remediation of soils contaminated with heavy metals (literature review) / G.N. Koptsik // *Pochvovedenie [Soil science].* — 2014. — 7. — P. 851–868. [in Russian]
6. Munksgaard N.G. Fertilizer amendment of mining-impacted soils from Broken Hill, Australia: fixation or release of contaminants? / N.G. Munksgaard, B.G. Lottermoser // *Water, Air, Soil Pollut.* — 2011. — 215. — P. 373–397.
7. Chen X. Evaluation of heavy metal remediation using mineral apatite / X. Chen, J.V. Wright, J.L. Conca [et al.] // *Water, Air, Soil Pollut.* — 1997. — 98. — P. 57–78.
8. Raicevic S. In situ stabilization of toxic metals in polluted soils using phosphates: theoretical prediction and experimental verification / S. Raicevic, T. Kaludjerovic-Radoici, A.I. Zouboulis // *Journal of Hazardous Materials.* — 2005. — 117. — P. 41–53.
9. Korotchenko I.S. Decontamination of soils contaminated with heavy metals / I.S. Korotchenko // *Prirodobuystvo [Environmental management].* — 2014. — 4. — P. 22–24. [in Russian]
10. Korotchenko I.S. Detoxification of heavy metals (Pb, Cd, Cu) in the soil-plant system in the forest-steppe zone of the Krasnoyarsk Territory / I.S. Korotchenko, N.N. Kirienko. — Krasnoyarsk : Krasnoyarsk State Agrarian University, 2012. — 250 p. [in Russian]