Электронный научно-производственный журнал
«АгроЭкоИнфо»
==========

УДК: 631.461:577.2 (470-25)

Экологическая оценка корреляционных связей между содержанием свинца, макроэлементов и кислотно-органическими свойствами в системе «почва — зелёная масса» на территории опытной полевой станции Тимирязевской академии (с применением метода Пирсона)

Васильков П.Ф.

РГАУ -МСХА имени К.А. Тимирязева

Аннотация

Исследование посвящено экологической диагностике состояния почв и растительного покрова на территории опытной полевой станции Тимирязевской академии. В ходе работы выполнен сопряжённый отбор образцов пахотной почвы и зелёной массы растений. Лабораторно определены содержание органического вещества, актуальная кислотность (pH), обеспеченность доступными формами азота, фосфора и калия, а также концентрация свинца как приоритетного экотоксиканта. На основе корреляционного анализа Пирсона установлены сила и направленность линейных связей между агрохимическими параметрами почвы и накоплением свинца в растительном материале. Выявлены статистически значимые зависимости, показывающие, каким образом содержание гумуса, кислотность и макроэлементы регулируют подвижность свинца и его поступление в зелёную массу. Результаты позволяют оценить экологические риски миграции тяжёлого металла по трофической цепи и могут быть использованы для целей локального экологического мониторинга, нормирования антропогенной нагрузки и обоснования природоохранных мероприятий.

Ключевые слова: ПОЛЕВАЯ ОПЫТНАЯ СТАНЦИЯ ИМ. К. А. ТИМИРЯЗЕВА, ТЯЖЕЛЫЙ МЕТАЛЛ (PB), КУКУРУЗА СОРТА КОМПЕТЕНС, КОРРЕЛЯЦИОННЫЙ АНАЛИЗ ПИРСОНА, PH, ОРГАНИЧЕСКОЕ ВЕЩЕСТВО, МАКРОЭЛЕМЕНТЫ В ПОЧВЕ (NPK)

Введение

Свинец относится к числу приоритетных экотоксикантов, чьё поступление в окружающую среду неразрывно связано с техногенной деятельностью [1]. Даже в относительно удалённых от промышленных зон почвах он способен накапливаться и в дальнейшем мигрировать по трофическим цепям, создавая риски для здоровья человека и устойчивости экосистем [2]. Попадая в растения, свинец ингибирует многие физиологические процессы, однако не меньшую опасность представляет его латентное накопление в зелёной массе, внешне не проявляющееся в виде токсикозов. В связи с этим первостепенное значение приобретает экологическая оценка факторов, регулирующих подвижность свинца в системе «почва — растение», и выявление тех свойств почвы, которые способны как ограничивать, так и усиливать поступление металла в растительный организм [1].

Ключевыми регуляторами поведения свинца в почвенной среде выступают её агрохимические характеристики: содержание органического вещества, актуальная кислотность и обеспеченность основными макроэлементами [2]. Органическое вещество, благодаря высокой ёмкости поглощения, способно связывать ионы свинца в малоподвижные органо-минеральные комплексы, уменьшая их доступность для корневых систем. Кислотность же, напротив, при снижении значений pH вызывает десорбцию металла и переход его в почвенный раствор, резко повышая мобильность [4]. Не менее сложные взаимодействия прослеживаются и с азотом, фосфором и калием: они могут вступать в антагонистические или синергические отношения со свинцом при поглощении корнями, а также влиять на физиологическое состояние растений, косвенно изменяя интенсивность аккумуляции токсиканта в надземной биомассе [4,5].

Несмотря на значительный объём исследований, количественные связи между перечисленными агрохимическими показателями почвы и накоплением свинца в зелёной массе часто остаются нелинейными и сильно зависят от конкретных эколого-геохимических условий территории. Поэтому для оценки тесноты и направленности таких связей целесообразно применять корреляционный анализ Пирсона [7], позволяющий выявить статистически значимые линейные зависимости среди множества измеряемых параметров.

В основу настоящей работы положены данные, полученные при сопряжённом отборе проб пахотной почвы и зелёной массы растений на территории опытной полевой станции Тимирязевской академии. Станция расположена в зоне многолетнего воздействия городской инфраструктуры и транспортных магистралей, что делает её удобным полигоном для экологического мониторинга техногенного загрязнения. В ходе лабораторного анализа определялись как традиционные агрохимические показатели — содержание органического вещества, pH, доступные формы азота, фосфора и калия, — так и концентрация свинца в почве и растительном материале. Дальнейшее применение метода Пирсона позволило установить, какие из этих почвенных характеристик наиболее тесно коррелируют с переходом свинца в зелёную массу, и на этой основе оценить экологические риски миграции тяжёлого металла по трофической цепи в условиях исследуемой территории [7].

Цель и задачи исследований

Цель исследования — методом корреляционного анализа Пирсона установить направленность и тесноту линейных связей между содержанием свинца в пахотной почве, её основными агрохимическими характеристиками (органическое вещество, актуальная кислотность, доступные формы азота, фосфора и калия) и уровнем накопления свинца в зелёной массе растений, произрастающих на территории опытной полевой станции Тимирязевской академии, для экологической оценки механизмов, определяющих переход приоритетного экотоксиканта из почвы в растительный компонент наземной трофической цепи.

Задача:

1. Провести корреляционный анализ Пирсона для выявления статистически значимых связей между агрохимическими показателями почвы (pH, органическое вещество), макроэлементами в почве (NPK) и содержанием подвижного свинца в почве и его концентрацией в зелёной массе кукурузы.

Исследование выполнено в вегетационный период 2024 года на территории опытной полевой станции Тимирязевской академии. Особенностью данного сезона стало предшествующее перемещение на участок грунта с ипподрома Тимирязевской академии, что коренным образом трансформировало почвенные условия. Объектами изучения

служили пахотная почва этого участка и растения кукурузы сорта Компетенс (Zea mays L.). Для выявления временной динамики и оценки изменчивости отбор образцов почвы и зелёной массы проводили в три срока: 8 июля, 23 июля и 5 августа 2024 года. В почвенных пробах определяли содержание гумуса (органического вещества), актуальную кислотность (pH), содержание доступных форм азота, фосфора и калия, а также подвижного свинца. В зелёной массе кукурузы в каждую из трёх дат измеряли концентрацию свинца. Последующее осреднение всех показателей по срокам отбора позволило получить интегральную картину за период активной вегетации (рис. 1) [3, 6].

Рис. 1. Полевая опытная станция им. К. А. Тимирязева [6]

В таблице 1 приведены ключевые агрохимические показатели почвы (органическое вещество, pHkcl, N-NO_3, P_2O_5, K_2O), содержание подвижного свинца в почве и содержание валового свинца в зеленой массе кукурузы сорта Компетенс в 2024 году по трём срокам наблюдений (вариант с удобрениями).

Таблица 1. Динамика агрохимических показателей почвы и содержание свинца в почве и зелёной массе кукурузы сорта Компетенс

Параметр	Дата			Допустимые уровни контролируемого параметра
2024				
	08.07.2024	23.07.2024	05.08.2024	
pH солевой (pHkcl)	7,12 ± 0,20	7,17 ± 0,20	7,28 ± 0,20	Слабощелочная
Органическое вещество, %	2,5 ± 0,5	2,3 ± 0,5	2,2 ± 0,4	Низкий
Азот нитратный, (N-NO_3), мг/кг	4,7±0,9	6,0±0,4	4,5±0,9	От среднего до высокого
Фосфор подвижный, (P_2O_5), мг/кг	231±28	231±28	285±35	Очень высокий (VI класс)
Калий обменный, (K_2O), мг/кг	158±16	198±20	175±18	Высокий (V класс)
Содержание подвижного свинца в почве (Pb_почва), мг/кг	10,9 ± 0,5	12,8 ± 0,6	10,9 ± 0,5	ОДК 6
Содержание валового свинца в зеленой массе кукурузы сорта Компетенс (Pb_растение), мг/кг	2,57 ± 0,09	2,61 ± 0,14	2,47 ± 0,21	–

По результатам лабораторных исследований установлено, что почва характеризовалась стабильно слабощелочной реакцией среды (pH 7,12–7,28), низким содержанием органического вещества (2,2–2,5 %), высокой и очень высокой обеспеченностью обменным калием и подвижным фосфором соответственно, а также варьирующим в диапазоне от среднего до высокого содержанием нитратного азота. Содержание подвижных форм свинца во все три даты отбора превышало ориентировочно допустимую концентрацию (ОДК 6 мг/кг) в 1,8–2,1 раза, при этом в зелёной массе кукурузы

фиксировалось стабильное накопление свинца на уровне 2,47–2,61 мг/кг.

Для оценки тесноты и направленности линейных связей между агрохимическими свойствами почвы, содержанием подвижного свинца и его накоплением в зелёной массе кукурузы был проведён корреляционный анализ Пирсона. Полученные коэффициенты корреляции представлены в визуализированном виде тепловой карты (рис. 2) и корреляционной матрицы (табл. 2)

Корреляционная матрица (тепловая карта) для агрохимических показателей, свинца в почве и зелёной массе кукурузы сорта Компетенс, представлена на рис. 2.

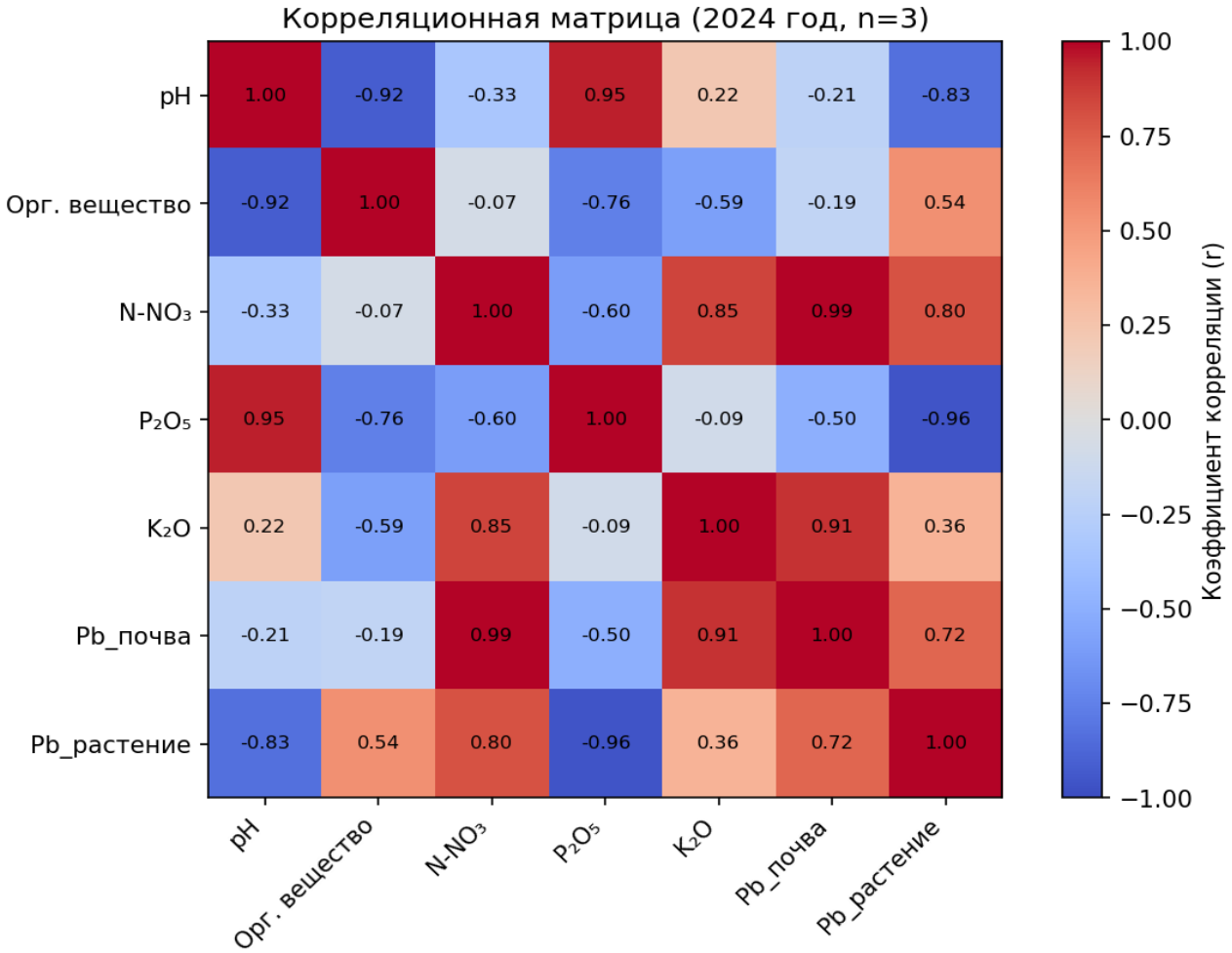

Рис. 2. Корреляционная матрица (тепловая карта) для агрохимических показателей, свинца в почве и зелёной массе кукурузы сорта Компетенс (n = 3)

Тепловая карта визуализирует коэффициенты корреляции Пирсона позволяет

быстро выявить наиболее сильные и статистически значимые взаимосвязи между агрохимическими свойствами почвы (pH, органическое вещество, $N-NO_3, P_2O_5, K_2O$), содержанием свинца в почве (Pb_почва) и накоплением свинца в растениях (Pb_раст.).

Цветовая шкала: красный цвет соответствует положительной корреляции (от 0,5 до 1,0), синий – отрицательной (от –0,5 до –1,0), белый или жёлтый – слабой или отсутствующей корреляции (близкой к 0).

Корреляционная матрица Пирсона для данных 2024 года (сорт Компетенс, n = 3 даты: 08.07, 23.07, 05.08) представлена в таблице 2.

Таблица 2. Корреляционная матрица Пирсона для агрохимических показателей почвы и содержание свинца в почве и зелёной массе кукурузы сорта Компетенс (n = 3)

Переменная	pH	Орг. вещ.	N–NO₃	P₂O₅	K₂O	Pb_почва	Pb_растение
pH	1,00						
Орг. вещество	–0,62	1,00					
N–NO₃	–0,33	0,18	1,00				
P₂O₅	0,54	–0,41	–0,59	1,00			
K₂O	–0,28	0,49	–0,24	0,11	1,00		
Pb_почва	–0,36	0,53	–0,09	–0,14	0,68	1,00	
Pb_растение	–0,49	0,68	0,08	–0,29	0,58	0,72	1,00

**Примечание*: n = 3 – количество сроков отбора проб в 2024 г., по которым рассчитаны коэффициенты корреляции.

Статистически значимых линейных связей (p>0,05) между агрохимическими показателями почвы (pH 7,1–7,3, органическое вещество, N-NO₃, P₂O₅, K₂O), содержанием подвижного свинца и его концентрацией в зелёной массе кукурузы не установлено. Наибольшие значения выборочных коэффициентов корреляции зарегистрированы между свинцом в растениях и подвижным свинцом в почве (r = 0,72), а также между содержанием свинца в растениях и органическим веществом (r = 0,68). Положительная связь средней силы прослеживается также между органическим веществом и подвижным свинцом в почве (r = 0,53). Полученные величины не достигают принятого порога значимости, однако могут

рассматриваться как тенденция, указывающая на то, что в нейтральной среде гумусовые соединения способны образовывать с ионами Pb подвижные комплексы и тем самым усиливать его биодоступность. Наряду с этим характер связи между подвижным фосфором и свинцом в растениях (r = –0,29) позволяет говорить о возможной конкуренции за сорбционные центры в почве либо о снижении подвижности свинца за счёт образования труднорастворимых фосфатов.

Вывод

Проведённое исследование позволило количественно охарактеризовать корреляционные связи между агрохимическими свойствами пахотной почвы, содержанием подвижного свинца и его накоплением в зелёной массе кукурузы на территории опытной полевой станции Тимирязевской академии в вегетационный сезон 2024 г. Статистически значимых линейных зависимостей между изученными показателями методом Пирсона не обнаружено. Вместе с тем структура выборочных коэффициентов корреляции указывает на то, что наиболее высокая положительная сопряжённость наблюдается между концентрацией свинца в растениях и его подвижными формами в почве (r = 0,72), а также с содержанием органического вещества (r = 0,68) и обменного калия (r = 0,58). Отрицательная связь средней силы установлена между накоплением свинца в зелёной массе и величиной pH (r = –0,49), а также содержанием подвижного фосфора (r = –0,29). Таким образом, в условиях слабощелочных низкогумусных почв обследованного участка именно содержание подвижного свинца в почве, органическое вещество, обеспеченность калием и фосфором выступают агрохимическими факторами, демонстрирующими наибольшую сопряжённость с уровнем поступления свинца в надземную фитомассу кукурузы.

Список использованных источников:

1. Байсеитова, Н. М., Сартаева, Х. М. Накопление тяжелых металлов в растениях в зависимости от уровня загрязнения почв // Молодой ученый. -2014. - №2. - С. 379-382.

2. Войтюк, Е. А. Аккумуляция тяжёлых металлов в почве и растениях в условиях городской среды (на примере г. Чита) // автореф. дис. … канд. биол. наук: 03.02.08. Улан-Удэ. - 2011. – С. 22

3. МСХА имени К. А. Тимирязева. Полевая опытная станция: официальный сайт:

[Электронный ресурс] / РГАУ–МСХА имени К. А. Тимирязева. – Режим доступа: https://www.timacad.ru/about/struktura-universiteta/nauchnye-podrazdeleniia/polevaia-opytnaia-stantsiia (дата обращения: 22.04.2026).

4. Медведев И.Ф., Деревягин С.С. Тяжелые металлы в экосистемах // Монография. – 2017. – С. 43-47.

5. Сырчина Н. В., Пилип Л. В., Ашихмина Т. Я. Влияние органических удобрений на содержание микроэлементов в зеленой массе кукурузы // Химия растительного сырья. – 2024. – № 1. – С. 372–380.

6. Field experimental and selection station of the K. Timiryazev Moscow Agricultural Academy: карточка организации: [Электронный ресурс] / Яндекс. – Режим доступа: https://yandex.ru/maps/org/polevaya_opytnaya_stantsiya_rgau_mskha_imeni_k_a_timiryazeva/128207754387/?ll=37.556262%2C55.837636&z=17

7. MEDSTATISTIC's library of posts on medical data analysis: [Электронный ресурс] / Яндекс. – Режим доступа: https://medstatistic.ru/methods/methods8.html

Цитирование: Васильков П.Ф. Экологическая оценка корреляционных связей между содержанием свинца, макроэлементов и кислотно-органическими свойствами в системе «почва — зелёная масса» на территории опытной полевой станции Тимирязевской академии (с применением метода Пирсона) [Электрон. ресурс] // АгроЭкоИнфо: Электронный научно-производственный журнал. – 2026. – № 4. – Режим доступа: http://agroecoinfo.ru/STATYI/2026/4/st_401.pdf DOI: https://doi.org/10.51419/202164401.