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

УДК: 504.054

Особенности профильного распределения микроэлементов на примере локально нарушенных почв агроэкологического стационара РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева

Кокотаева Д.П., Габечая В.В., Андреева И.В., Морев Д.В.

Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева

Аннотация

В работе приведены результаты исследований профильного распределения ряда микроэлементов (бор, кобальт, медь, молибден, никель, селен, цинк) в условиях локально нарушенных дерново-подзолистых почв агроэкологического стационара РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева. Отмечается значительная горизонтальная и профильная дифференциация их содержания в особенности в верхней части профиля. Все исследуемые элементы за исключением молибдена накапливаются в верхней части профиля. Выявлены наиболее значимые факторы распределения указанных микроэлементов, в т.ч.: микрорельеф (для никеля и цинка r>0,7 практически на весь профиль), кислотность (для никеля, цинка и меди значения r>0,79 в поверхностном слое) и содержание органического вещества (Значимые r>0,69 отмечаются в верхнем слое для всех элементов за исключением меди и цинка). Помимо нарушенности профиля по ряду элементов (цинк и медь) отмечается превышение значений ПДК на отдельных точках. Статистически значимого влияния на продуктивность горчицы белой установлено не было.

Ключевые слова: РАСПРЕДЕЛЕНИЕ МИКРОЭЛЕМЕНТОВ, ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА, ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ, МОЛИБДЕН, ЦИНК, ГОРЧИЦА БЕЛАЯ, МОСКВА, НАРУШЕННЫЕ ПОЧВЫ, ПРОФИЛЬНОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ

Введение

Микроэлементы играют важнейшую роль как для жизни растений, так и

Электронный научно-производственный журнал
«АгроЭкоИнфо»

функционирования экосистем в целом, являясь неотъемлемой составляющей продуктивности сельскохозяйственных культур [1]. Некоторые микроэлементы, такие как медь, цинк, молибден и др. относятся к группе эссенциальных, т. е. постоянно присутствуют в организме и играют исключительную роль в обеспечении жизнедеятельности [2, 3]. Поддержание баланса микроэлементов в сельскохозяйственном производстве все чаще включает в себя использование удобрений с высоким содержанием микроэлементов. Интенсификация сельскохозяйственного производства зачастую сопряжена с увеличением поступления микроэлементов и с традиционными удобрениями, особенно фосфорными. Влияя на почвенный биотический комплекс, микроэлементы оказывают воздействие и на эмиссию парниковых газов из почвы [4, 5].

Следует отметить, что значительное повышение концентраций в почве ряда микроэлементов, таких как цинк, медь и др. приводит к проявлению признаков угнетения биоты, т. к. эти элементы представляют собой в то же время тяжелые металлы [6, 7]. Они также могут накапливаться в кормах и далее по трофическим цепям попадать в организмы людей и животных. Комплексное изучение вертикального распределения микроэлементов в почвенном профиле позволяет не только выявить потенциальные источники загрязнения, но и оценить миграционную способность различных элементов в системе "почва-растение" [8, 9].

Цель исследования заключалась в проведении экологической оценки распределения микроэлементов (B, Co, Mo, Ni, Cu, Se, Zn) в профиле локально нарушенных дерново-подзолистых почв в условиях Агроэкологического стационара РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева.

Объекты и методы

Представленные исследования профильного распределения микроэлементов в локально-нарушенных легкосуглинистых дерново-подзолистых почвах проводили на участке Агроэкологического стационара РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева с горчицей белой. Стационар расположен в северном административном округе г. Москвы (Координаты расположения 55.8401532, 37.5519539). На территории отмечается высокая замусоренность почв строительными отходами, стеклом и прочим материалом. Территория

объекта исследований представляет собой сложный комплекс условий с длительной историей землепользования (табл. 1), в том числе под технические нужды гаражного кооператива и автосервиса. Рельеф участка - слабонаклонный, с малым уклоном склона (не более 1°), с выраженным микрорельефом в виде небольших пониженных областей и искусственных насыпей.

Таблица 1. Агрохимические показатели исследуемого участка

Показатель	Кислотность		Содержание подвижных форм, мг/кг				Орг. вещ-во, %
	pH (водн.)	pH (KCl)	P_2O_5	K_2O	NH_4^+	NO_3^-	
Среднее значение ± СКО	7,28 ± 0,45	6,76 ± 0,35	283 ± 112	178 ± 45	8,2 ± 3,1	3,9 ± 2,8	3,81 ± 1,2
Обеспеченность	-	-	Очень высокая	Высокая	Нормальная	Низкая	Низкая

Содержание макроэлеметов в почве можно оценить как достаточное для выращивания горчицы белой [10]. Следует отметить характерное для большинства дерново-подзолистых почв региона относительно низкое содержание органического вещества и близкую к нейтральной кислотность почвы, также благоприятную для произрастания растений [11]. Определение подвижных форм фосфора и калия проводили по методу Кирсанова в модификации ЦИНАО.

Отбор проб почвы производили на глубину до 100 см буром Эдельмана на десяти точках, расположенных в случайном порядке по всей площади участка (рис. 1). Определение кислоторастворимых форм (7 мл осч HNO_3 и 3 мл H_2O) микроэлементов проводили с использованием микроволновой системы Ethos Up (Milestone, Италия) для пробоподготовки и дальнейшего анализа на ИСП-МС SUPEC 7000 (Focused Photonics Inc., КНР).

Для визуализации данных и построения профильного распределения микроэлементов использовали пакет AQP для языка программирования R в среде RStudio. Расчет корреляционных зависимостей выполняли с помощью табличного процессора MS Excel из пакета Microsoft 365. Визуализацию пространственного распределения точек выполняли в пакете программ QGIS 3.34.10.

Электронный научно-производственный журнал
«АгроЭкоИнфо»

Рис. 1. Точки пробоотбора на исследуемом участке агроэкологического стационара РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева

Результаты исследований

Проведенный анализ выявил значительное варьирование содержания исследуемых микроэлементов в профиле локально-нарушенной дерново-подзолистой почвы агроэкологического стационара РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева (рис. 2).

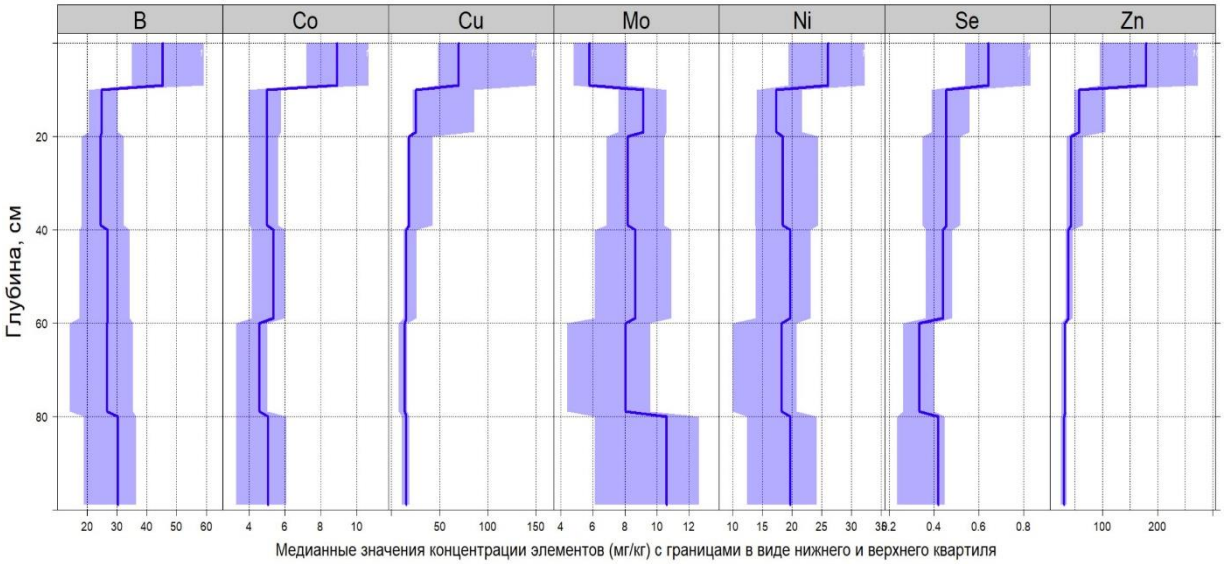

Рис. 2. Профильное распределение микроэлементов в нарушенной дерново-подзолистой почве агроэкологического стационара РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева

Для подавляющего большинства элементов отмечается накопление в верхнем пахотном слое почвы, что говорит об антропогенном источнике их поступления. При этом наибольшие концентрации характерны для меди и цинка, что свидетельствует о наличии локального загрязнения. Самые низкие концентрации отмечаются для селена, причем по всей глубине (в пределах 0,17-1,47 мг/кг), что значительно ниже оптимальных значений для большинства сельскохозяйственных культур (0,5-1,0 мг/кг). Дефицит данного элемента необходимо учитывать при составлении системы удобрений на данном участке. В отличие от остальных исследуемых микроэлементов, молибден имеет обратное распределение и самые низкие значения концентрации на поверхности, а наибольшие – в слое 80-100 см (до 15,4 мг/кг). Такие особенности объясняются прежде всего образованием молибденатов [12]. Также может происходить его активное связывание на поверхности с органическим веществом.

Проведенные исследования выявили значительные вариации содержания цинка в почвенном профиле - от 18,89 до 1150,01 мг/кг. Верхние горизонты (0-10 см) характеризуются повышенными концентрациями (100-500 мг/кг), тогда как в глубоких слоях (80-100 см) содержание элемента снижается до 20-50 мг/кг (рис. 3).

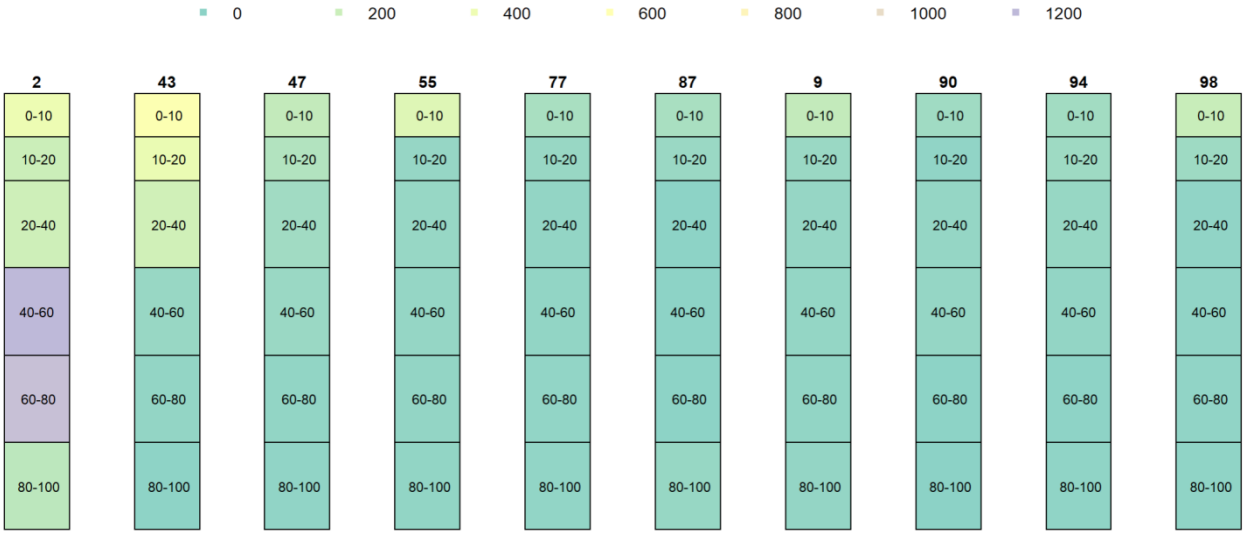

Рис. 3. Профильное распределение цинка в нарушенной дерново-подзолистой почве агроэкологического стационара РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева (мг/кг)

Поведение цинка в почвенной системе определяется комплексом взаимодействующих факторов. Щелочная реакция среды (pH 7,28) способствует образованию труднорастворимых соединений, снижая доступность элемента, высокое

содержание фосфора (283 мг/кг) приводит к формированию нерастворимых фосфатов цинка, создавая так называемый "фосфатный барьер", органическое вещество играет двойственную роль, с одной стороны связывая цинк в устойчивые комплексы, с другой - способствуя его аккумуляции в верхних горизонтах.

Следует отметить точки 2 и 43 из-за концентраций, в 5-10 раз превышающих ПДК (100 мг/кг). Такие уровни содержания цинка могут вызывать фитотоксический эффект, проявляющийся в нарушении поглощения железа и марганца, а также в угнетении корневой системы. В то же время глубокие горизонты многих точек и особенно точки 87 характеризуются дефицитным содержанием элемента (<30 мг/кг), что может приводить к развитию межжилкового хлороза и задержке роста растений.

Содержание никеля в исследуемых почвах варьирует в широких пределах от 7,82 до 67,7 мг/кг, демонстрируя сложную пространственную организацию (рис. 4). На большинстве точек (9, 77, 87, 90, 94, 98) наблюдается распределение с постепенным снижением концентрации с глубиной. Однако на точках 2, 43, 47 и 55 выявлены выраженные максимумы в средних горизонтах (40-80 см), достигающие 67,7 мг/кг, что может свидетельствовать о процессах аккумуляции.

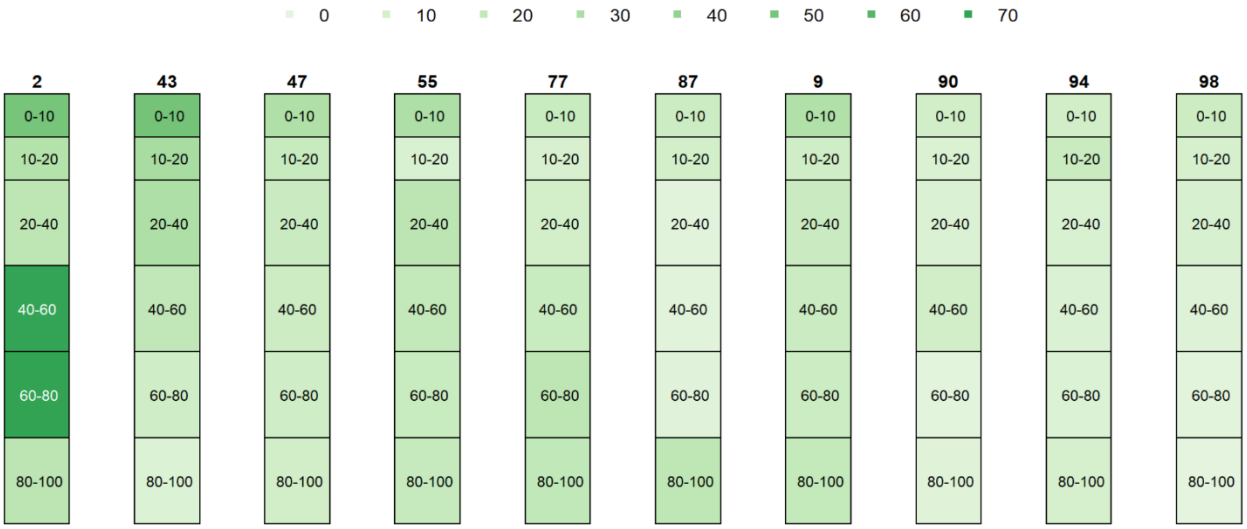

Рис. 4. Профильное распределение никеля в исследуемой дерново-подзолистой почве агроэкологического стационара РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева (в мг/кг)

Поведение никеля в почвенной системе определяется кислотностью (щелочная реакция среды способствует переходу элемента в малоподвижные формы), количеством органики (органика, а также глинистые минералы способны активно сорбировать никель).

Электронный научно-производственный журнал
«АгроЭкоИнфо»

Особого внимания заслуживает возможное антропогенное влияние, связанное с промышленными выбросами или внесением фосфорных удобрений.

Корреляционный анализ показал наличие высоких взаимосвязей для большинства исследуемых элементов в верхнем горизонте почвы (табл. 2).

Таблица 2. Коэффициенты корреляции между элементами в слое почвы 0-10

	Рельеф	*B*	*Co*	*Ni*	*Cu*	*Zn*	*Se*
Рельеф	1,00						
B	0,70	1,00					
Co	0,80	0,76	1,00				
Ni	0,88	0,79	0,98	1,00			
Cu	0,46	0,27	0,73	0,67	1,00		
Zn	0,81	0,66	0,93	0,93	0,81	1,00	
Se	0,80	0,70	0,98	0,96	0,83	0,97	1,00
Mo	0,51	0,72	0,54	0,56	0,20	0,38	0,48

Примечание: *0,632 - значимый для n = 10, p = 0,05.

Высокое значение коэффициента корреляции между Cu и Zn (r=0,81) подтверждает их общее антропогенное происхождение. Сильная связь между Co и Ni (r=0,98) указывает на геогенное происхождение этой пары элементов. С ростом глубины наличие тесных взаимосвязей между большинством исследуемых элементов сохраняется.

Заключение

Проведенные исследования позволили выявить как значительное вертикальное, так и горизонтальное варьирование микроэлементов. Наибольшие концентрации элементов (за исключением молибдена) отмечаются в верхнем пахотном горизонте, что связано с антропогенным воздействием и биологическим круговоротом. На распределение микроэлементов в профиле в наибольшей степени влияет микрорельеф участка (для никеля и цинка r>0,7 практически на весь профиль), кислотность (для никеля, цинка и меди значения r>0,79 в поверхностном слое) и содержание органического вещества (значимые r>0,69 отмечаются в верхнем слое для всех элементов за исключением меди и цинка). На отдельных точках выявлены локальные превышения значений ПДК по ряду элементов (более 5ПДК для цинка и меди) вследствие техногенного загрязнения. Статистически значимого влияния микроэлементов на продуктивность горчицы белой установлено не было.

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

Список использованных источников:

1. Мотузова, Г.В. Микроэлементы в агроценозах: баланс и экологические риски/ Г.В. Мотузова // Почвоведение. 2021 – № 3 – С. 45-58.

2. Охрименко, М.В. Физиологическое значение микроэлементов для растений/ М.Ф. Охрименко// Физиология и биохимия культурных растений - 1986 - № 6 - С.571-576.

3. Тютюма, Н.В. Роль микроэлементов в стимулировании роста и развития растений и повышении их устойчивости к неблагоприятным условиям среды/ Н.В. Тютюма// Вестник Российского университета дружбы народов, 2003 – №8 – С. 129-133.

4. Агроэкологический мониторинг почвенных потоков закиси азота в природных и агрогенно измененных черноземах Центрально-черноземного заповедника / А. Тембо, М. Самарджич, Д. В. Морев [и др.] // Агрохимический вестник. – 2014. – № 5. – С. 19-24. – EDN STILNZ.

5. Наилучшие доступные почво- и углерод-сберегающие технологии природопользования, экологического мониторинга и контроля / И. И. Васенев, Н. А. Александров, И. В. Андреева [и др.]. – Москва : Российский государственный аграрный университет- Московская сельскохозяйственная академия им. К.А. Тимирязева, 2023. – 240 с. – ISBN 978-5-6049459-1-9. – EDN LAPOOA.

6. Динамика изменения агрохимических показателей почвы и растительного покрова на нарушенных территориях в условиях Экологического стационара / М. Т. Спыну, М. В. Тихонова, Е. М. Илюшкова [и др.] // Агрохимический вестник. – 2024. – № 6. – С. 42-46. – DOI 10.24412/1029-2551-2024-6-007. – EDN EZQORR.

7. Эколого-геохимическая оценка накопления тяжелых металлов в почве разновозрастных ампелоценозов в условиях склонового ландшафта горной гряды Фрушка гора Республики Сербия / И. В. Андреева, В. В. Габечая, Д. В. Морев, Е. Б. Таллер // Тимирязевский биологический журнал. – 2023. – № 3. – С. 13-28. – DOI 10.26897/2949-4710-2023-3-13-28. – EDN IACOIX.

8. Синдирева, А.В. Локальные биогеохимические циклы микроэлементов в агроэкосистемах Западной Сибири/ А.В. Синдирева // Геохимия, 2023 – Т. 68 – №10 – С. 1045-1058.

9. Kabata-Pendias, A. Trace Elements in Soils and Plants, 5th ed./ A. Kabata-Pendias// CRC Press, 2020. – P. 365-380.

10. Велкова, Н.И. Факторы влияющие на урожайность горчицы белой/ Н.И. Велкова, В.П. Наумкин// Вестник научных конференций. – 2016. – № 11-5(15). – С. 48-50.

11. Иванов, А.И. Современные методы оценки плодородия дерново-подзолистых почв/ А.И. Иванов, С.К. Петрова// Агрохимия. – 2023 – №5. – С. 45-52.

12. Трешкин, И.А. Молибден в дерново-подзолистых почвах и его влияние на жизнедеятельность растений/ И.А. Трешкин// Материалы Всероссийской научно-практической конференции с международным участием, посвященной 50-летию освоения Нечерноземной зоны, 2024. - С. 219-226.

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

==========

Цитирование: Кокотаева Д.П., Габечая В.В., Андреева И.В., Морев Д.В. Особенности профильного распределения микроэлементов на примере локально нарушенных почв агроэкологического стационара РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева [Электрон. ресурс] // АгроЭкоИнфо: Электронный научно-производственный журнал. – 2025. – № 5. – Режим доступа: http://agroecoinfo.ru/STATYI/2025/5/st_519.pdf
DOI: https://doi.org/10.51419/202155519.