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

УДК 631.4; 574.56

Оценка загрязнения агроземов тяжелыми металлами в составе магнитной фазы и конкреций

Горохова С.М., Васильев А.А., Щуренко Н.М.

Пермский государственный аграрно-технологический университет

Аннотация

Эколого-геохимическая оценка почвенного покрова входит в задачи мониторинга безопасности компонентов окружающей среды. Работа посвящена использованию методов экологического магнетизма для оценки содержания тяжелых металлов в агроземах, расположенных в зоне влияния промышленных предприятий. Исследования выполнены в пределах реперного участка ГЦАС ФГУП «Пермский». Почва сформировалась на почвообразующей породе древнеаллювиального генезиса. Магнитная фаза породы в большей степени, чем пахотный слой, обогащена тяжелыми металлами в составе магнитных частиц. Под влиянием оглеения в составе магнитных частиц пахотного слоя концентрация тяжелых металлов снизилась. Железо-марганцевые конкреции аккумулируют Mn, Cr, V, Zn, Ni, Cu, Co. Пахотный горизонт загрязнен никелем относительно предельно допустимых концентрации (ПДК) химических элементов в почве.

Ключевые слова: ЭКОЛОГО-ГЕОХИМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА, МОНИТОРИНГ ПОЧВ, АГРОЛАНДШАФТ, ЗАГРЯЗНЕНИЕ ПОЧВЫ ТЯЖЕЛЫМИ МЕТАЛЛАМИ

Введение

Почвы сельскохозяйственных угодий, расположенные близ крупных промышленных центров и вдоль транспортных сетей, подвержены полиметаллическому загрязнению из разных антропогенных источников [1–3].

Концентраторами тяжелых металлов (ТМ) в почвах выступают (гидр)оксиды железа в составе магнитных частиц и конкреций, наряду с органическим веществом, глинистыми минералами, соединениями серы [4–7].

Электронный научно-производственный журнал
«АгроЭкоИнфо»

Распределение ТМ по профилю почв неравномерно ввиду миграции загрязнителей, которая зависит от реакции почвенной среды, емкости геохимических барьеров, окислительно-восстановительных условий [8]. В связи с этим актуально проводить мониторинг содержания ТМ в почвах с признаками гидроморфизма.

Цель исследования – охарактеризовать содержание тяжелых металлов в составе магнитной фазы агроземов глееватых в зоне влияния Осенцовского промышленного узла г. Пермь.

Объекты исследования

Изучался состав и свойства агрозёма тёмного глееватого тяжелосуглинистого на древнеаллювиальных отложениях надпойменной террасы р. Верхняя Мулянка. Разрез заложен в пределах реперного участка ГЦАС ФГУП «Пермский», расположенного в зоне влияния Осенцовского промышленного узла г. Перми. В районе исследований компоненты окружающей среды подвержены существенному антропогенному воздействию. Так, согласно паспорту реперного участка, расстояние от границы исследуемого участка до объектов загрязнения окружающей среды было следующим: международный аэропорт «Большое Савино» – 10 км, железная дорога – 1 км, автодорога – 0,1 км, нефтегазоперерабатывающий завод – 1 км. ТЭЦ – 1 км. Таким образом, объект исследования находится в области аэрогенного рассеивания поллютантов.

Методы исследования

Закладка почвенного разреза, морфологическое описание профиля почв и отбор проб почв выполнены в 2018 году согласно методике проведения крупномасштабных почвенных обследований [9]. Магнитная сепарация почвы выполнена сухим методом [10].

Определение магнитной восприимчивости (МВ) проводили каппаметром КТ-6 в пятикратной повторности на площадках площадью 1 $м^2$, расстояние между площадками 10 м. Протяженность трансекты 370 м.

Методом атомно-абсорбционной спектрометрии (ААС) проанализирован валовой химический состав вмещающей матрицы почвы. Образец массой 0,2-0,4 г с точностью до 10^{-4} г разлагали 5 мл смесью концентрированных азотной и соляной кислот (1:3). ААС проб проведена в трехкратной повторности на приборе iCE 3500 (Thermo Scientific,

США) с пламенной атомизацией [11].

Электронно-зондовый микроанализ магнитной фазы почвы выполнен на растровом электронном микроскопе высокого разрешения FEI Quanta 650FEG (FEI, США) с энерго-дисперсионным спектрометром EDAX Octane Elite. Исследование образцов проводили в режиме низкого вакуума (давление 200 Па) при ускоряющем напряжении 20 кВ.

Сравнение величин МВ разномагнитных фаз почвы проводили с использованием коэффициентов ферримагнитности и диамагнитности почвы, которые рассчитывали по следующим формулам:

$$K_{fm} = \frac{æ_{fm}}{æ_{soil}} \quad 1)$$

K_{fm} – коэффициент ферримагнитности;

$æ_{fm}$ – магнитная восприимчивость магнитной фазы, 10^{-5} СИ;

$æ_{soil}$ – магнитная восприимчивость почвы до проведения магнитной сепарации, 10^{-5} СИ.

$$K_{dm} = \frac{æ_{dm}}{æ_{soil}} \quad 2)$$

K_{dm} – коэффициент диамагнитности;

$æ_{dm}$ – магнитная восприимчивость немагнитной фазы, 10^{-5} СИ.

Эколого-геохимическая оценка химического состава почвы и магнитной фазы выполнена по коэффициентам аккумуляции-рассеивания: KK_{SOIL}, $KK_{BEDROCK}$, $KK_{LITHOSPHERE}$, CF, Кс, $KK_{ALEKSEENKO}$ и $KK_{VINOGRADOV}$, которые рассчитывались по следующим формулам:

Коэффициент концентрации относительно почвы (KK_{SOIL}):

$$KK_{SOIL} = \frac{C}{C_{SOIL}} \quad 3)$$

C_1 – концентрация i-го химического элемента в магнитной фазе, мг/кг;

C_{SOIL} – концентрация i-го химического элемента в почве до проведения магнитной сепарации, мг/кг.

Коэффициент концентрации относительно предельно допустимых концентраций (ПДК) химических веществ в почве (Кс) [12]:

$$Кс = \frac{C}{C_{ПДК}} \quad (4)$$

$C_{ПДК}$ – предельно допустимая концентрация (ПДК) i-го химического элемента почве [12], мг/кг.

Величины KK_{SOIL} и Кс оценивали следующим образом: если коэффициент концентрации ≥1, то образец обогащен i-м химическим элементом, в противном случае – обеднен.

Коэффициент концентрации относительно почвообразующей породы ($KK_{BEDROCK}$):

$$KK_{BEDROCK} = \frac{C}{C_{BEDROCK}} \quad (5)$$

C – концентрация i-го химического элемента в почве (магнитной фазе), мг/кг;

$C_{BEDROCK}$ – концентрация i-го химического элемента в почвообразующей породе, мг/кг.

Коэффициент концентрации относительно кларка литосферы по А.П. Виноградову ($KK_{LITHOSPHERE}$) [13]:

$$KK_{LITHOSPHERE} = \frac{C}{C_{LITHOSPHERE}} \quad (6)$$

$C_{LITHOSPHERE}$ – кларк i-го химического элемента литосферы по А.П. Виноградову [13], мг/кг.

Коэффициент загрязнения (CF) [14]:

$$CF = \frac{C}{C_{BACKGROUND}} \quad (7)$$

$C_{BACKGROUND}$ – региональный фон i-го химического элемента по И.С. Копылову [15], мг/кг.

Коэффициент концентрации относительно почв селитебных территорий России по В.А. Алексеенко ($KK_{ALEKSEENKO}$) [16]:

$$KK_{ALEKSEENKO} = \frac{C}{C_{ALEKSEENKO}} \quad (8)$$

$C_{ALEKSEENKO}$ – кларк i-го химического элемента почв селитебных территорий России по В.А. Алексеенко, мг/кг [16].

Электронный научно-производственный журнал
«АгроЭкоИнфо»

Коэффициент концентрации относительно кларка почв мира по А.П. Виноградову ($KK_{VINOGRADOV}$) [17]:

$$KK_{VINOGRADOV} = \frac{C}{C_{VINOGRADOV}} \quad (8)$$

$C_{VINOGRADOV}$ – кларк i-го химического элемента почв мира по А.П. Виноградову, мг/кг [17].

При использовании $KK_{BEDROCK}$, $KK_{LITHOSPHERE}$, CF, $KK_{ALEKSEENKO}$ и $KK_{VINOGRADOV}$ загрязнение компонентов почвы классифицировали следующим образом: <1 «слабое загрязнение», 1 ≤x <3 «умеренное загрязнение», 3 ≤x <6 «значительное загрязнение», x >6 «очень сильное загрязнение» [14].

Геостатистический анализ МВ почвенного покрова выполнен в программном пакете Statistica 10. Математическая статистическая обработка результатов исследования выполнена по Дмитриеву Е.А. [18] в программном пакете MS Office 2010.

Результаты исследования

Морфологическая характеристика. Агрозём тёмный глееватый тяжелосуглинистый на древнеаллювиальных отложениях. Координаты разреза: 57° 94′ 02″ с.ш. 56° 13′ 60″ в.д. Вид угодий – залежь два года. Растительность: борщевик обыкновенный, сныть обыкновенная, пижма обыкновенная и др.

PY, 0-25 см. Влажный, темно-серый, тяжелосуглинистый, комковато-ореховато-зернистый, плотный, много корней, граница ровная, переход резкий по окраске.

$BT_{1\ g\ Ca}$, 25-40 см. Влажный, светло-бурый с белесым оттенком, тяжелосуглинистый, зернисто-комковатый, плотный, мало корней, вскипает, граница ровная, переход постепенный по окраске.

$BT_{2\ Ca}$, 40-65 см. Влажный, светло-бурый, тяжелосуглинистый, зернисто-комковатый, плотный, редкие корни, вскипает более интенсивно по карбонатным прожилкам, на буром фоне желто-бурые карбонатные прожилки диаметром 0,2-0,3 мм, граница ровная, переход постепенный по окраске.

BC_{Ca}, 65-85 см. Влажный, светло-бурый (светлее вышележащего), тяжелосуглинистый, зернисто-комковатый, плотный, редкие корни, вскипает, переход постепенный по окраске и структуре.

C_{Ca}, 85-100 см. Влажный, светло-бурый, светлее вышележащего, тяжелосуглинистый, глыбистый, плотный, вскипает.

Агрохимические свойства. Агротемногумусовый горизонт характеризуется средним содержанием гумуса, нейтральной реакцией почвенного раствора, высокой степенью насыщенности основаниями, очень высоко обеспечен подвижным фосфором (табл. 1).

Таблица 1. Физико-химические свойства агрозёма тёмного глееватого тяжелосуглинистого

Горизонт, глубина отбора образца, см	Гумус, %	S	Hг	ЕКО	V, %	pH_{H_2O}	P_2O_5 мг/100 г
		мг-экв/100 г					
1	***2***	***3***	***4***	***5***	***6***	***7***	***8***
PY, 0-25	5,9	57,5	1,7	59,2	97	7,4	62
$BT_{1\ g\ Ca}$, 25-40	0,2	42,5	0,6	43,1	99	7,5	47
$BT_{2\ Ca}$, 40-65	0,2	47,5	0,6	48,1	99	7,6	40
BC_{Ca}, 65-85	0,2	40,0	0,6	40,6	98	7,7	34
C_{Ca}, 85-100	0,1	40,0	0,6	40,6	98	7,8	26

Магнитная восприимчивость. Содержание магнитной фазы в агротемногумусовом горизонте составило 0,34% от массы горизонта, что в 6,8 раза выше, чем в почвообразующей породе. В условиях Среднего Предуралья магнитная фаза почв формируется в процессе почвообразования, которое сочетается с литогенно-техногенным фактором [15].

Среднее значение МВ пахотного горизонта агрозёма тёмного глееватого составляет $24 \pm 3 \times 10^{-5}$ СИ. Магнитная восприимчивость ферримагнитной фазы в 40 раз выше, чем у почвы до проведения магнитной сепарации (табл. 2).

Таблица 2. Объемная магнитная восприимчивость разномагнитных фаз агрозёма тёмного глееватого тяжелосуглинистого

№ п/п	Горизонт, глубина отбора образца, см	æ $\times 10^{-5}$ СИ		K_{fm}	K_{dm}
		Почва до магнитной сепарации	Магнитная фаза		
1	***2***	***3***	***4***	***5***	***6***
1	PY, 0-25	24	950	40	0,7

Магнитная восприимчивость почвенного покрова в трансекте варьировала незначительно (V=7,9%) и находилась в диапазоне от 20×10^{-5} СИ до 32×10^{-5} СИ.

В пределах трансекты, на расстоянии 50 м и 200 м от начала трансекты, величина МВ увеличивалась на 25% относительно средней арифметической МВ пахотного горизонта (рис. 1).

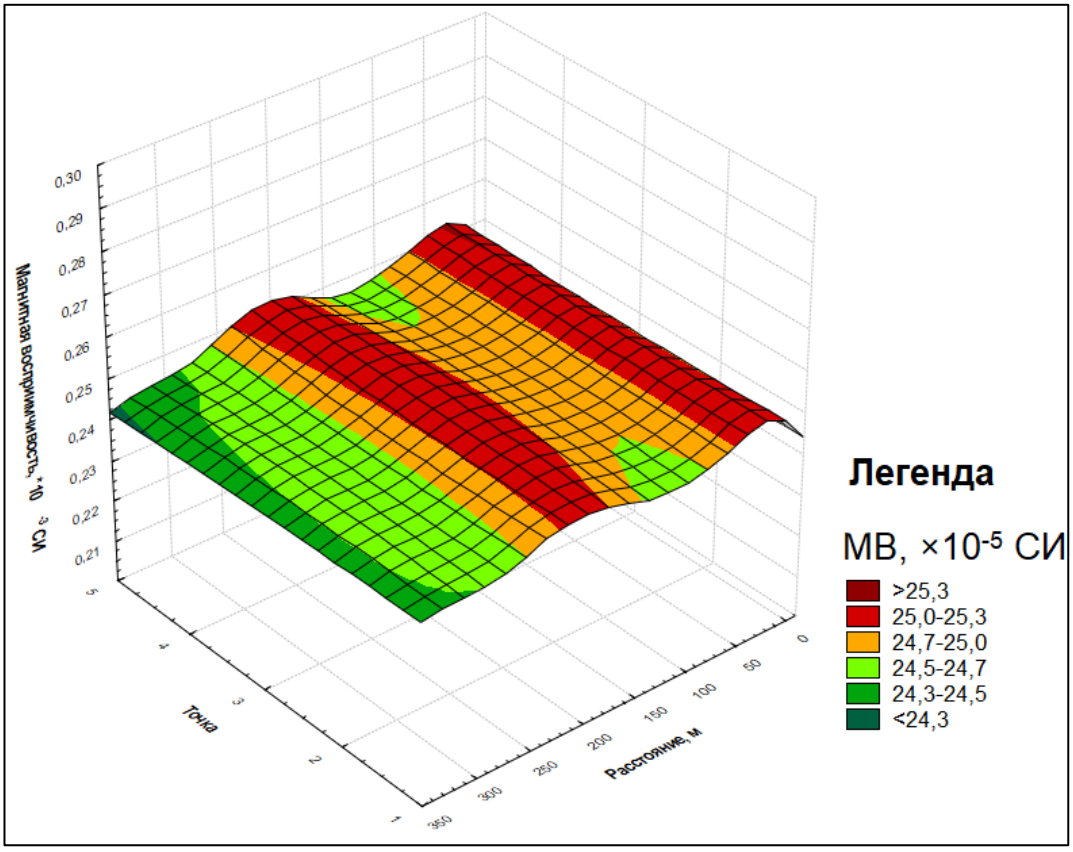


Рис. 1. Графическая модель трехмерной динамики пространственного распределения магнитной восприимчивости в слое 0-5 см агрозема (n=185)

Тяжелые металлы. Концентрация ТМ в агротемногумусовом горизонте агрозёма тёмного глееватого тяжелосуглинистого составляет, мг/кг: Mn 1394,7; Zn 51,8; Ni 108,3; Cu 67,5; Co 21,4 (табл. 3).

Таблица 3. Валовой химический состав агрозёма тёмного глееватого тяжелосуглинистого по данным атомно-абсорбционной спектрометрии

№ п/п	Горизонт, глубина отбора образца, см	Образец	Mn	Zn	Ni	Cu	Co
			мг/кг				
1	*2*	*3*	*4*	*5*	*6*	*7*	*8*
1	PY, 0-29	почва до магнитной сепарации	1394,7	51,8	108,3	67,5	21,4
2	C_{Ca}, 90-100		609,7	39,1	46,4	46,4	15,4

Аккумуляция-рассеивание химических элементов в почве охарактеризована путем составления геохимических рядов. В пахотном горизонте наблюдается аккумуляция Ni, Mn, Cu, Co относительно почвообразующей породы, кларка литосферы, регионального фона, кларка почв селитебных территорий России, кларка почв мира. Почвообразующая порода обогащена никелем относительно регионального фона, кларков почв селитебных территорий и почв и мира, что согласуется с выводами И.С. Копылова [15] о природно-техногенной обогащенности ТМ почв Среднего Предуралья (табл. 4).

Таблица 4. Коэффициенты аккумуляции-рассеивания химических элементов (КК) и коэффициент загрязнения (CF) агрозёма глееватого тяжелосуглинистого по данным атомно-абсорбционной спектрометрии

№ п/п	Параметр	Горизонт, глубина, см	
		PY, 0-29	C_{Ca}, 90-100
1.	$KK_{BEDROCK}$	$\frac{Ni}{2,3} > \frac{Mn}{2,3} > \frac{Cu}{1,5} > \frac{Co}{1,4} > \frac{Zn}{1,3}$	-
2.	$KK_{LITHOSPHERE}$	$\frac{Ni}{1,9} > \frac{Cu}{1,4} \geq \frac{Mn}{1,4} > \frac{Co}{1,2} > \frac{Zn}{0,6}$	$\frac{Cu}{1,0} > \frac{Co}{0,9} > \frac{Ni}{0,8} > \frac{Mn}{0,6} > \frac{Zn}{0,5}$
3.	Kc	$\frac{Ni}{1,4} > \frac{Mn}{0,9} > \frac{Cu}{0,5} > \frac{Zn}{0,2}$	$\frac{Ni}{0,6} > \frac{Mn}{0,4} > \frac{Cu}{0,4} > \frac{Zn}{0,2}$
4.	CF	$\frac{Ni}{3,1} > \frac{Mn}{1,5} > \frac{Cu}{1,3} \geq \frac{Co}{1,3} > \frac{Zn}{0,7}$	$\frac{Ni}{1,3} > \frac{Cu}{0,9} > \frac{Co}{0,9} > \frac{Mn}{0,7} > \frac{Zn}{0,6}$
5.	$KK_{AEKSEENKO}$	$\frac{Ni}{3,3} > \frac{Mn}{1,9} > \frac{Cu}{1,7} > \frac{Co}{1,5} > \frac{Zn}{0,3}$	$\frac{Ni}{1,4} > \frac{Cu}{1,2} > \frac{Co}{1,1} > \frac{Mn}{0,8} > \frac{Zn}{0,2}$
6.	$KK_{VINOGRADOV}$	$\frac{Cu}{3,4} > \frac{Ni}{2,7} \geq \frac{Co}{2,7} > \frac{Mn}{1,6} > \frac{Zn}{1,0}$	$\frac{Cu}{2,3} > \frac{Co}{1,9} > \frac{Ni}{1,2} > \frac{Zn}{0,8} > \frac{Mn}{0,7}$

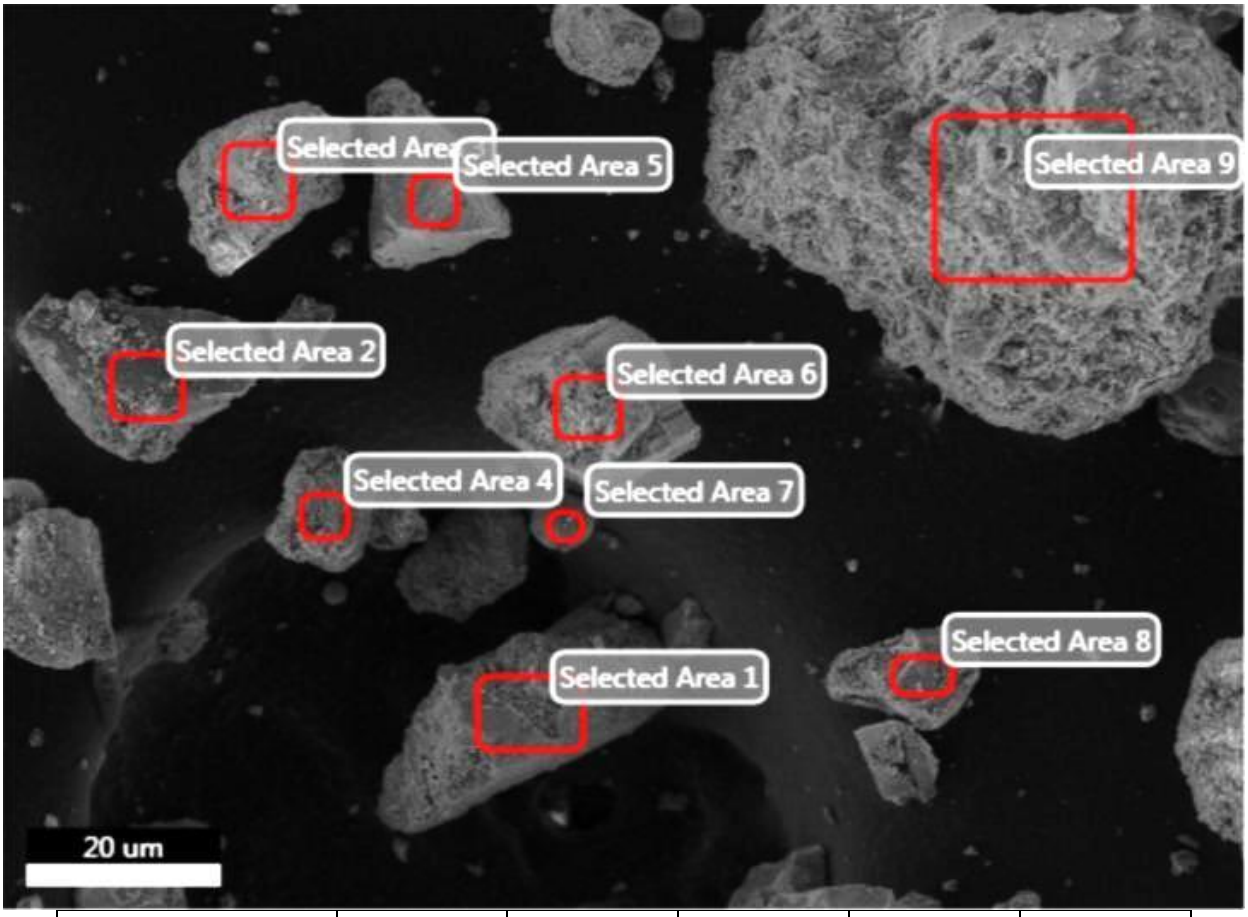
На микроснимке в отраженных электронах частицы магнитной фазы, выделенной из агротемногумусового горизонта и почвообразующей породы, имеют светло-серый цвет, неправильную форму и неровную поверхность (рисунки 3А, 3В). Расшифровка энергодисперсионных спектров (n = 9) показала, что в горизонте PY содержание железа в магнитных частицах варьировало от 4,2-21,7%, хрома – 0,5-32,3%. Концентрация железа в магнитных частицах (n = 33) почвообразующей породы составляет 4,3-65,3%. Максимальное содержание ТМ в магнитной фазе составило Ti 13,9%, Mn 2,9%, Cr 22,6%; Zn 0,6%, Ni 1,3%, Cu 0,6% (рис. 2А, 2В).

Таким образом, локальная концентрация ТМ в магнитных частицах многократно превышает геохимические константы. Вместе с тем, под действием процесса оглеения ТМ

магнитной фазы пахотного горизонта способны мигрировать в почвенный раствор, затем осаждаться органическим веществом, глинистыми минералами и(или) поглощаться микроорганизмами. Установлено, что в формировании Fe-Mn конкреций участвуют железоредуцирующие бактериии *[19]*.

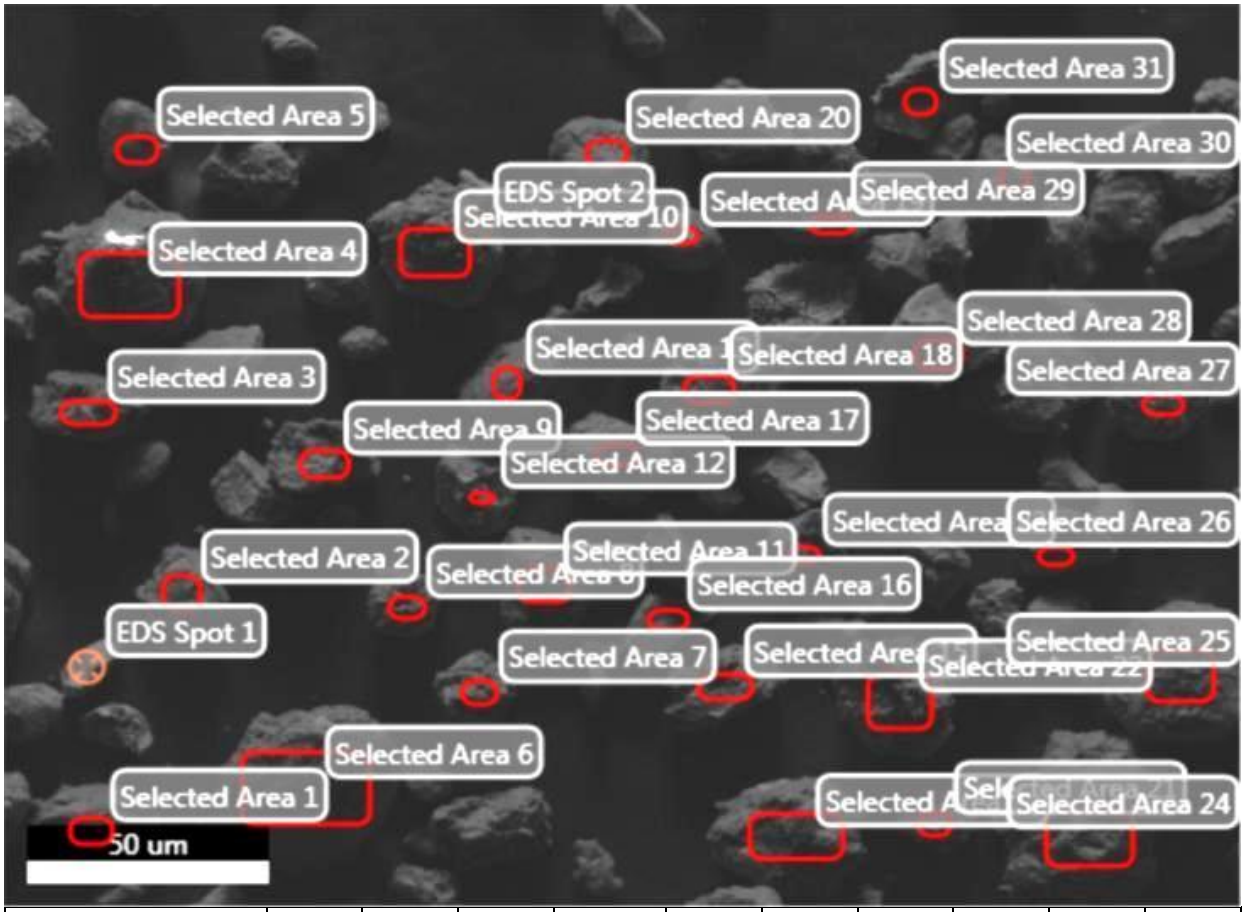
Содержание конкреций в агротемногумусовом горизонте составило 3,8% от массы горизонта. Конкреции представлены ржаво-бурыми плотными ортштейнами правильной сферической формы диаметром 1-5 мм.

Светло-серый цвет на отдельных участках микрозондового снимка поперечного среза конкреции обусловлен преобладанием в этих областях новообразования атомов железа, марганца, титана и тяжелых металлов с массой около 50 и более единиц (рис. 3А). Пространственное распределение химических элементов внутри тела ортштейна неоднородное. Конкреция характеризуется концентрическим строением – выделяется ядро и внешняя оболочка. Ядро новообразования имеет шероховатую поверхность с углублениями (d >100 мкм); внешняя оболочка ортштейна характеризуется выровненной поверхностью, вероятно, более плотная, чем ядро. Валовой химический состав конкреции отличается следующим соотношением железа и марганца: Mn = 23-29% и Fe = 71-77%. Марганец сконцентрирован в центральной части ортштейна, а железо – в оболочке; Ti, Cr, V, Ni, Cu равномерно распределены в теле ортштейна, содержание кобальта увеличивается от ядра к внешней оболочке. Кобальт, вероятно, ассоциирован с железом. Отмечены единичные пики цинка с размахом в диапазоне от 60 до 100 абс. ед. Относительно высокая интенсивность пиков цинка проявляется, как в ядре, так и во внешней оболочке конкреции (рис. 3В 3С, 3D).



Статистические параметры	O	Si	Al	Fe	Cr
	%				
$\bar{x}$±m (n = 9)	58,7±4,7	11,0±5,5	6,0±3,0	10,1±5,6	9,7±11,5
Min	50,1	3,0	1,1	4,2	0,5
Max	64,2	20,9	12,1	21,7	32,3

Рис. 2А



Статистические параметры	O	Si	Al	Fe	Ti	Mn	Cr	Zn	Ni	Cu
	%									
$\bar{x}$ ±m (n = 33)	44,5 ±9,8	15,4 ±7,6	7,6 ±3,0	22,0 ±18,0	2,3 ±2,9	0,5 ±0,7	1,2 ±4,0	0,1 ±0,1	0,1 ±0,2	0,1 ±0,1
Min	24,0	1,1	1,9	4,3	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Max	60,5	27,5	11,8	65,2	13,9	2,9	22,6	0,6	1,3	0,6

Рис. 2В

Рис. 2. Электронно-микрозондовые снимки магнитной фазы и статистические параметры валового содержания химических элементов в составе частиц магнитной фазы агрозёма глееватого тяжелосуглинистого

Примечание: А – агротемногумусовый горизонт, 0-25 см; В – почвообразующая порода, 90-100 см.

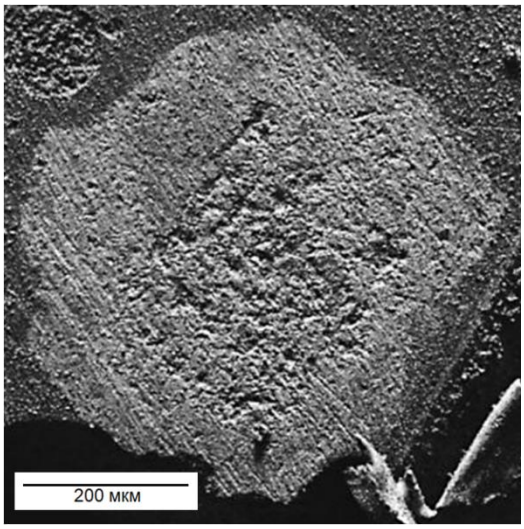


Рис. 3А

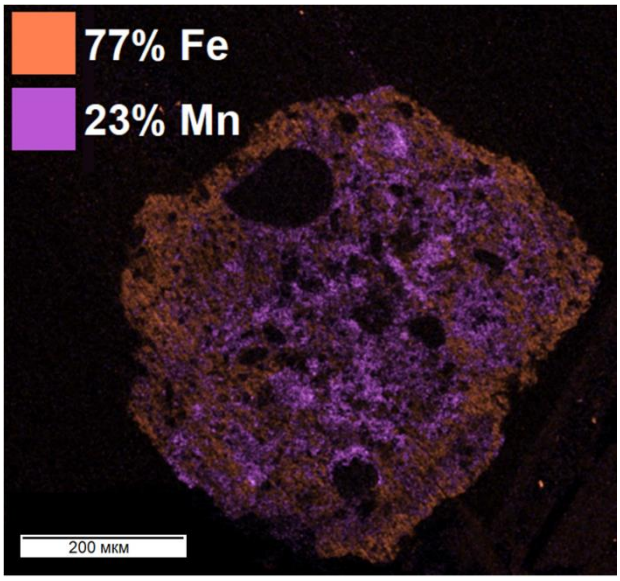


Рис. 3В

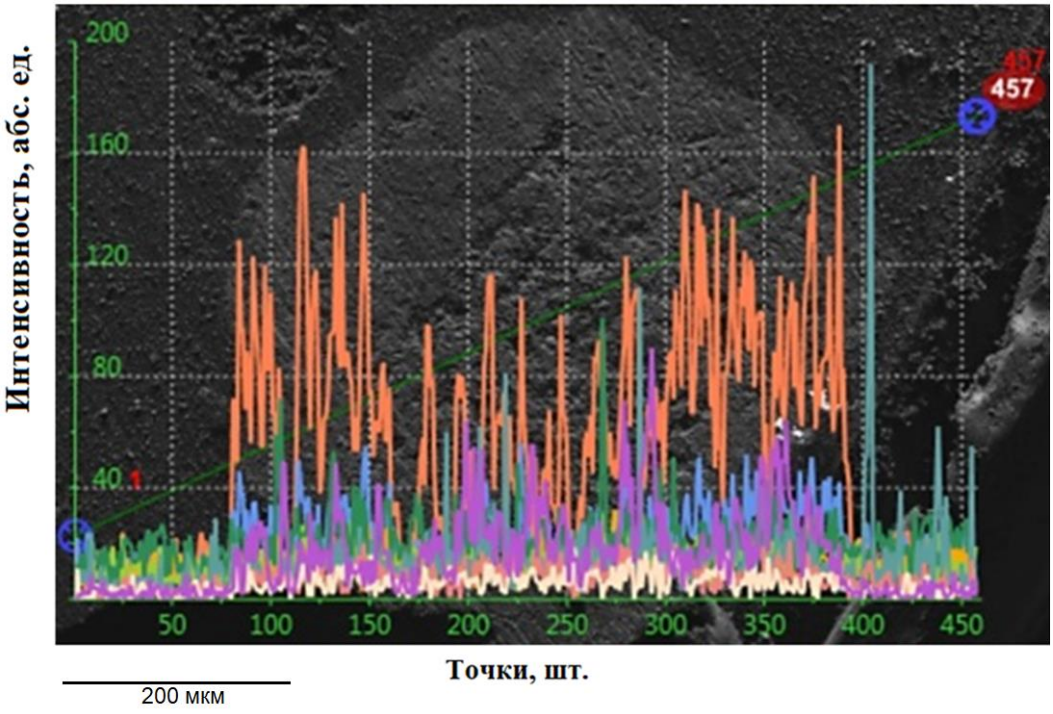


Рис. 3С

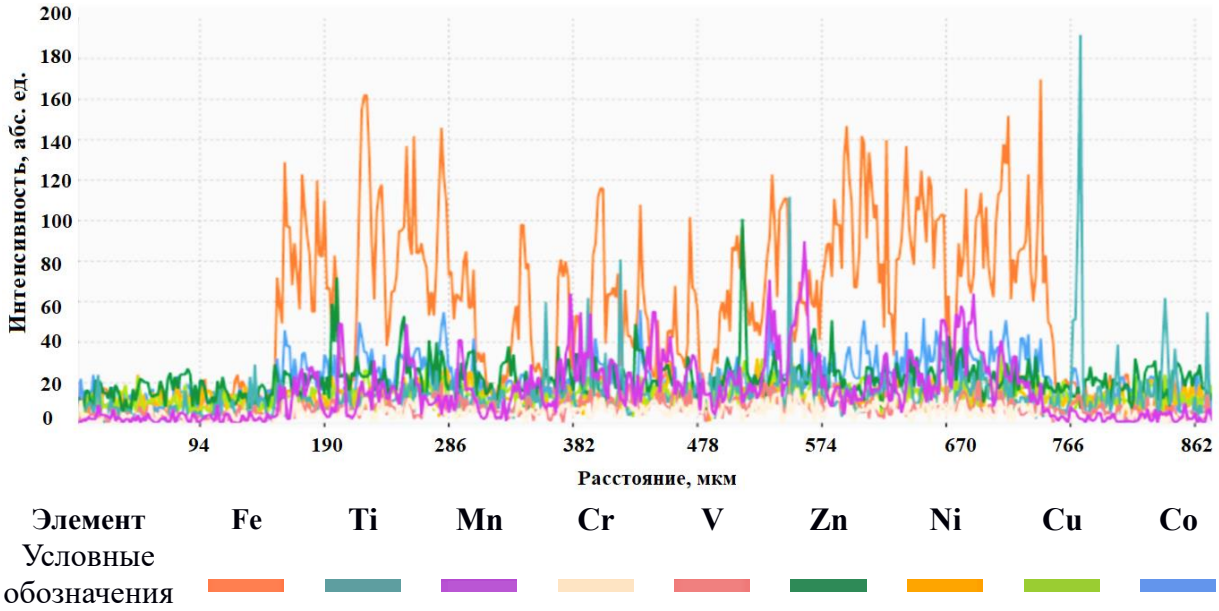


Рис. 3D

Рис. 3. Результаты СЭМ/ЭДС-анализа шлифа поперечного среза ортштейна:
Примечание: А – микроснимок в отраженных электронах; В – карта пространственного распределения железа и марганца; С, D – графики пространственного распределения химических элементов

Строение и химический состав ортштейна позволяют описать возможный механизм его формирования. Марганцеобогащенное ядро ортштейна является центром конкрециеобразования. Колонии железоредуцирующих бактерий сформировались изначально на поверхности частицы магнетита, маггемита, гематита или иных минералов железа. Тело ортштейна постепенно «разрасталось» за счет ожелезнения алюмосиликатной глинистой матрицы почвы, окружающей центр конкрециеобразования, нарастание происходит за счёт аккреции почвенной массы из вмещающей матрицы.

Выводы

Методами атомно-абсорбционной спектрометрии и электронно-микрозондового анализа установлено, что магнитная фаза породы в большей степени, чем пахотный слой, обогащена тяжелыми металлами в составе магнитных частиц. Под влиянием оглеения в составе магнитных частиц пахотного слоя концентрация тяжелых металлов снизилась. Поверхностные горизонты агроземов аккумулируют Mn, Zn, Ni, Cu, Co из антропогенных источников в зоне влияния Осенцовского промышленного узла г. Перми. Железо-марганцевые ортштейны в агроземе глееватом выполняют роль локальных микробарьеров

для тяжелых металлов.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 19-34-90070 «Оценка и меры по снижению экологических рисков загрязнения почв тяжелыми металлами в составе магнитных частиц при ведении агрохозяйства на территориях с высоким уровнем антропогенной нагрузки на окружающую среду и почвенный покров».

Список использованных источников

1. Еремченко О.З., Москвина Н.В. Свойства почв и техногенных поверхностных образований в районах многоэтажной застройки г. Пермь // Почвоведение. – 2005. – № 7. – С. 782-789.

2. Васильев А.А., Чащин А.Н. Тяжелые металлы в почвах города Чусового: оценка и диагностика загрязнения. – Пермь: ФГБОУ ВПО Пермская ГСХА, 2011. – 197 с.

3. Васильев А.А., Лобанова Е.С. Магнитная и геохимическая оценка почвенного покрова урбанизированных территорий Предуралья на примере города Перми. – Пермь: ФГБОУ ВПО Пермская ГСХА, 2015. – 243 с.

4. Сысо А.И. Закономерности распределения химических элементов в почвообразующих породах и почвах Западной Сибири. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2007. – 274 с.

5. Водяницкий Ю.Н., Ладонин Д.В., Савичев А.Т. Загрязнение почв тяжелыми металлами. – М.: Типография Россельхозакадемии, 2012. – 304 с.

6. Ладонин Д.В. Формы соединений тяжелых металлов в техногенно-загрязненных почвах. – М.: МГУ имени М.В. Ломоносова, 2016. – 383 с.

7. Vasiliev A., Gorokhova S., Razinsky M. Technogenic Magnetic Particles in Soils and Ecological-Geochemical Assessment of the Soil Cover of an Industrial City in the Ural, Russia // Geosciences. – 2020. – Vol. 10. – № 11. – P. 1-35. doi.org/10.3390/geosciences10110443

8. Зайдельман Ф.Р., Никифорова А.С. Генезис и диагностическое значение новообразований почв лесной и лесостепной зон. – М.: МГУ имени М.В. Ломоносова, 2001. – 216 с.

9. Полевой определитель почв России. – М.: Почвенный ин-т им. В.В. Докучаева, 2008. – 182 с.

10. Горохова С., Разинский М., Васильев А. Минералогические и химические особенности магнитной фазы почв южной тайги Пермского края // Пермский аграрный вестник. – 2017. – № 4 (20). – С. 6-14.

11. Горохова С.М., Васильев А.А. Эколого-геохимическая оценка содержания

химических элементов и особенности их пространственного распределение в железистых конкрециях почв Среднего Предуралья [Электрон. ресурс] // АгроЭкоИнфо: Электронный научно-производственный журнал. – 2022. – №1. – Режим доступа: http://agroecoinfo.ru/STATYI/2022/1/st_114.pdf. DOI: https://doi.org/10.51419/202121114.

12. Санитарные правила и нормы: СанПиН 1.2.3685-21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания», утв. Главным государственным санитарным врачом РФ 28.01.2021 г. [Электронный ресурс]. – URL: http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001202102030022

13. Виноградов А.П. Среднее содержание химических элементов в горных породах // Геохимия. – 1962. – № 7. – С. 555-571.

14. Hakanson L. An ecological risk index for aquatic pollution control. A sedimentological approach // Water research. – 1980. – Vol. 14. – № 8. – P. 975-1001. doi.org/10.1016/0043-1354(80)90143-8

15. Копылов И.С. Геоэкология, гидрогеология и инженерная геология Пермского края. – Пермь: ПГНИУ, 2021. – 501 с.

16. Алексеенко В.А., Алексеенко А.В. Химические элементы в геохимических системах. Кларки почв селитебных ландшафтов. – Ростов-на-Дону: Изд-во ЮФУ, 2013. – 380 с.

17. Виноградов А.П. Геохимия редких и рассеянных химических элементов в почвах. – М.: Из-во Академии Наук СССР, 1957. – 239 с.

18. Дмитриев Е.А. Математическая статистика в почвоведении. – М.: URSS, 2008. – 326 с.

19. Лысак Л.В. [и др.] Численность, жизнеспособность и таксономический состав наноформ бактерий в железо-марганцевых конкрециях // Почвоведение. – 2013. – № 6. – С. 707-714.

Цитирование:

Горохова С.М., Васильев А.А., Щуренко Н.М. Оценка загрязнения агроземов тяжелыми металлами в составе магнитной фазы и конкреций [Электрон. ресурс] // АгроЭкоИнфо: Электронный научно-производственный журнал. – 2022. – № 3. – Режим доступа: http://agroecoinfo.ru/STATYI/2022/3/st_322.pdf.
DOI: https://doi.org/10.51419/202123322.