

УДК 502.521:631.4

ОЦЕНКА ТЕХНОГЕННОЙ ТРАНСФОРМАЦИИ ПОЧВЕННОГО ПОКРОВА С ПРИМЕНЕНИЕМ АНАЛИЗА МАГНИТНОЙ ВОСПРИИМЧИВОСТИ ПОЧВ

© 2012 Л.А. Ширкин, Т.А. Трифонова, В.А. Кошман, А.Н. Краснощёков

Владимирский государственный университет имени А.Г. и Н.Г. Столетовых

Поступила в редакцию 04.10.2012

Получены новые данные по антропогенной трансформации почвы города. Загрязнение почвы тяжёлыми металлами приводит к увеличению магнитная восприимчивость.

Ключевые слова: *магнитная восприимчивость почв, техногенная трансформация*

В последнее время интенсивно разрабатываются экспресс-методы индикации техногенных почвенно-геохимических аномалий и показателей влияния техногенной нагрузки на почвенный покров, основанные на измерении физико-химических и физических свойств почв, среди которых одним из наиболее перспективных и доступных методов признаётся диагностика магнитной восприимчивости (МВ). В многочисленных исследованиях выявлено, что магнитная восприимчивость почв определяется содержанием магнитной фракции, под которой понимается минеральная часть почвы, состоящая преимущественно из ферромагнитных минералов железа (магнетит и др.). То есть увеличение магнитного сигнала в почвах обусловлено повышенным содержанием ферромагнетиков [1-3]. В то же время, тесная связь магнитной восприимчивости с содержанием органического вещества указывает на педогенное происхождение почвенных ферромагнетиков с прямым или косвенным участием почвенных микроорганизмов [1]. Поэтому до сих пор остаётся открытым вопрос об интерпретации данных по магнитной восприимчивости техногенно изменённых почв.

Цель работы: анализ техногенной трансформации почвенного покрова с применением данных индикации магнитной восприимчивости поверхностных горизонтов, проведённый на примере г. Владимира.

Ширкин Леонид Алексеевич, кандидат химических наук, доцент кафедры экологии. E-mail: shirkin76@mail.ru

Трифопова Татьяна Анатольевна, доктор биологических наук, профессор кафедры экологии. E-mail: trifonova@vlsu.ru

Кошман Валерия Анатольевна, аспирантка

Краснощёков Алексей Николаевич, кандидат технических наук, доцент кафедры экологии. E-mail: kan_alex2000@mail.ru

Материалы и методика. Объектом исследования явился почвенный покров территории г. Владимира. Для изучения закономерностей распределения значений магнитной восприимчивости почв города в целом был использован маршрутный метод. Объёмная магнитная восприимчивость почв определялась в поверхностных горизонтах прибором каппаметр (КТ-5) с диапазоном измерений 10^{-5} -1 СИ. Замеры магнитной восприимчивости почвы проведены на 300 пробных участках, относительно равномерно распределённых на исследуемой территории и выбранных в зависимости от типа функциональной зоны города: жилая застройка, промышленная зона, природные комплексы, автотранспортные сети. На каждом пробном участке площадью 1 м² замеры проводились по методу «конверта». В результате было получено 1500 значений МВ. Замеры проведены в июне 2008 г. Одновременно осуществлялся отбор образцов почв с пробных участков для последующего количественного элементного анализа, проводимого рентгенофлуоресцентным методом на рентгенофлуоресцентном кристалл-дифракционном сканирующем спектрометре [4]. Анализ параметров распределения значений магнитной восприимчивости и концентраций микроэлементов почв на территории г. Владимира проводился с использованием методов математической статистики, теории информации и ГИС-технологий. Для оценки региональной нормы магнитной восприимчивости в почвах г. Владимира и анализа распределения техногенной нагрузки был применён центильный метод. Данный метод основан на составлении центильных шкал и применяется к анализу рядов данных и параметров, измеряемых в биологических объектах, так как наиболее эффективно позволяет учесть региональные особенности биогеохимического распределения химических элементов.

Результаты и обсуждение. Измерения магнитной восприимчивости поверхностного слоя почв, проведённые на территории г. Владимира, выявили ряд данных находящийся в диапазоне значений $MB \times 10^{-3}$ СИ от 0,05 до 2,24. Диаграмма частотного распределения значений магнитной восприимчивости удовлетворительно описывается логнормальной функцией (рис. 1, табл. 1).

Логнормальное распределение характерно также и для железа – элемента, определяющего ферромагнитные свойства почв (рис. 4). Так как магнитная восприимчивость характеризуется логнормальной функцией, то оценка центра распределения измерений как среднее арифметическое неправомерно. Наиболее точным методом оценки центра распределения значений магнитной восприимчивости, защищённым от влияния размера промахов, в данном случае является медиана [5]. Поэтому обработка данных проводилась с применением медианного метода. На основе выявленных параметров логнормального распределения значений MB была составлена центильная шкала, позволяющая оценить ферромагнитный статус почв и в дальнейшем провести ранжирование территорий по техногенной

нагрузке. В качестве нормы рассматривается интервал от 25 до 75 центиля, как соответствующий средним значениям магнитной восприимчивости в почвах (табл. 2). Картограмма распределения значений магнитной восприимчивости почв, построенная по центильной шкале представлена на рис. 2.

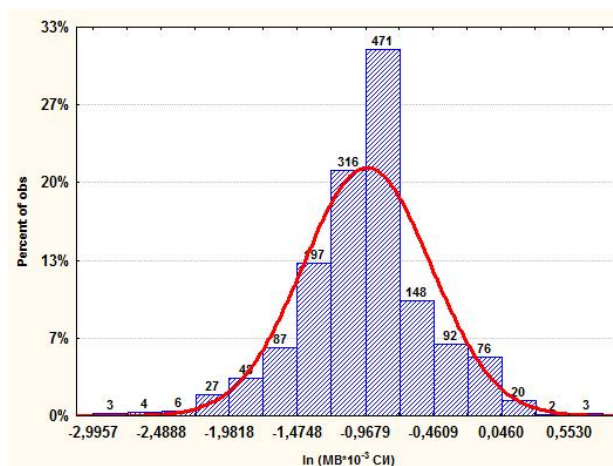


Рис. 1. Гистограмма частотного (логнормального) распределения значений магнитной восприимчивости почв на территории г. Владимира

Таблица 1. Параметры логнормального распределения значений магнитной восприимчивости почв на территории г. Владимира

Параметр	ln (MB×10 ⁻³ СИ)	MB×10 ⁻³ СИ
центр распределения	-0,9416	0,3800
среднее квадратическое отклонение	0,4758	–
границы энтропийного интервала		
min	-1,9486	0,14
max	0,0150	1,02

Таблица 2. Центильная шкала распределения значений магнитной восприимчивости почв на территории г. Владимира

Процентиль	Оценка значений коридора	Магнитная восприимчивость, MB×10 ⁻³ СИ
< 5	очень низкое	< 0,174
5-10	низкое	0,174 – 0,207
10-25	ниже среднего	0,207 – 0,276
25-75	среднее	0,276 – 0,524
75-90	выше среднего	0,524 – 0,699
90-95	высокое	0,699 – 0,831
> 95	очень высокое	> 0,831

Для территории города было выявлено, что 63% пробных участков имеют медианные значения MB , находящиеся в пределах нормы, 19% – низкие и очень низкие значения MB , а 18% – высокие и очень высокие значения MB . Группировка территорий по степени техногенной нагрузки осуществлялась из предположения, что чем выше степень отклонения медианных значений магнитной восприимчивости от нормы

в большую или меньшую сторону, тем выше степень техногенной нагрузки, поэтому центильная шкала была положена в основу группировки ареалов по степени техногенной нагрузки (табл. 3). Согласно полученной группировке значений магнитной восприимчивости почв получена оценочная карта распределения техногенной нагрузки (рис. 3.)

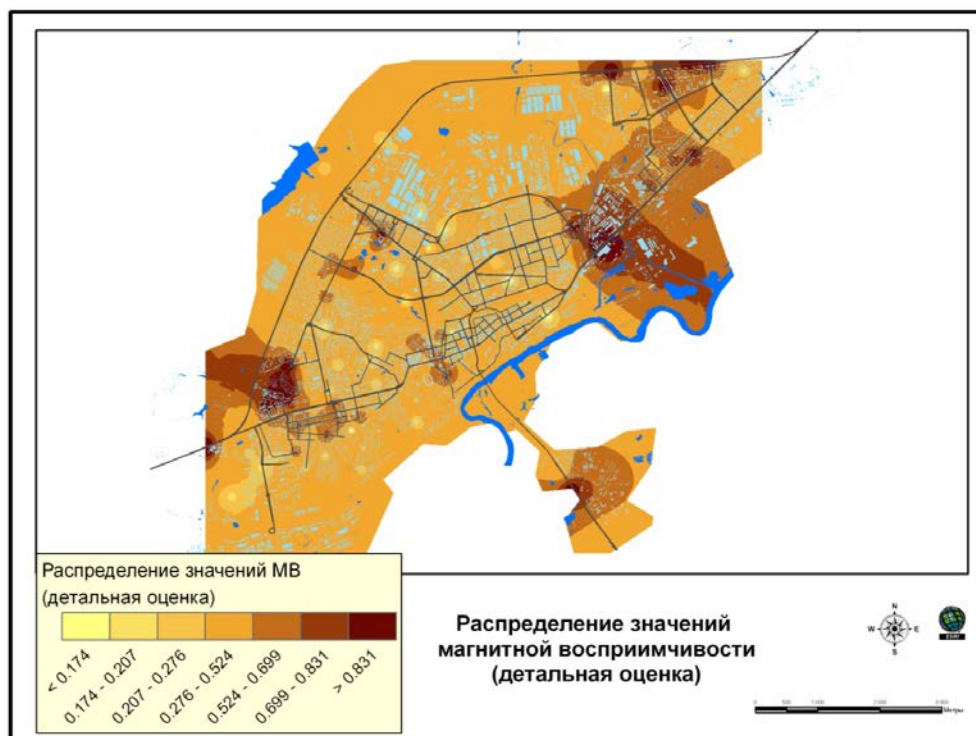


Рис. 2. Распределение значений магнитной восприимчивости почв по центильной шкале на территории г. Владимира

Таблица 3. Группировка ареалов по степени техногенной нагрузки в зависимости от магнитной восприимчивости почв г. Владимира

Процентиль	Степень техногенной нагрузки	Магнитная восприимчивость, МВ×10 ⁻³ СИ
10-25	техногенно ненагруженные	0,276-0,524
25-75	техногенно слабонагруженные	0,207-0,276 и 0,524-0,699
75-90	техногенно средненагруженные	0,174-0,207 и 0,699-0,831
90-95	техногенно сильнонагруженный	< 0,174 и > 0,831

Анализ полученной картосхемы показывает, что техногенная нагрузка почв имеет очаговый характер, а максимальные уровни диагностируются:

- в восточной части города, в районе расположения основных предприятий (ОАО «Автоприбор», ОАО «Химзавод», ТЭЦ);
- вдоль северной объездной дороги;
- в западной части города, соответствующей месторасположению большого массива гаражей, а также объездной дороги.

Также довольно сильная нагрузка наблюдается на основных автомагистральных перекрестках г. Владимира.

В целом почвенный покров на территории г. Владимира нами оценивается как техногенно слабонагруженный. Высокая техногенная нагрузка выявлена лишь на 8,7% пробных участков. Для пробных участков, характеризующихся высокими значениями магнитной восприимчивости, был проведен количественный элементный

анализ проб почв, результаты которого представлены в табл. 4.

Для сравнения результатов элементного анализа был проведен статистический анализ данных содержания валовых форм металлов (Pb, Zn, Cu, Ni, Co, Fe, Mn, Cr) в пахотном слое техногенно ненагруженных среднесуглинистых почв Владимирского региона, сформированных на лессовидных и покровных пылеватых суглинках, осуществленный по результатам скрининговых обследований почвенных разрезов (рис. 6). Все рассматриваемые металлы подчиняются логнормальному закону распределения [6, 7]. Статистические параметры логнормального закона распределения для валовых форм металлов в пахотном слое почв Владимирского региона отражены в табл. 5.

Сравнение содержаний валовых форм металлов выявило статистически значимые различия между пробными участками с высокими значениями магнитной восприимчивости и техногенно ненагруженными почвами

Владимирского региона по цинку, свинцу, железу и марганцу. Для образцов почв, отличающихся высоким уровнем магнитной восприимчивости, характерно высокое содержание свинца и цинка, на 40% превышающее верхнюю границу энтропийного интервала

(табл. 5), а также заниженные значения железа и марганца по сравнению с фоновым уровнем, причём для образцов почв, отобранных с пробных участков, отсутствует корреляция между магнитной восприимчивостью и валовым содержанием железа.

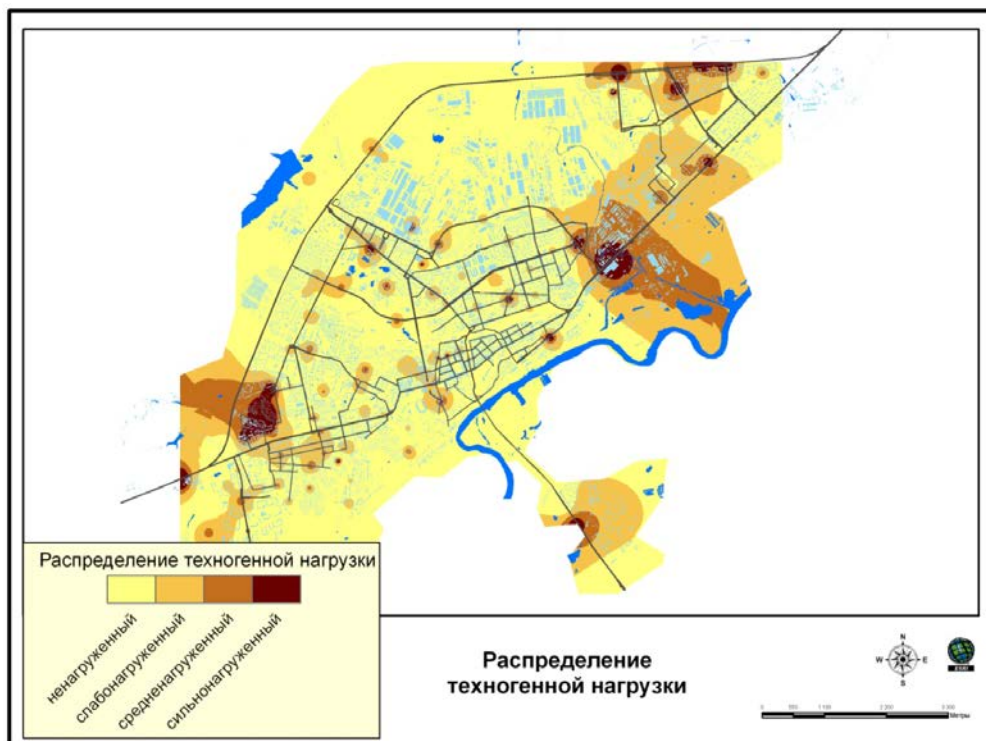


Рис. 3. Картограмма распределения техногенной нагрузки почв на территории г. Владимира

Таблица 4. Медианные значения валового содержания элементов для пробных участков, характеризующиеся высокими уровнями значений магнитной восприимчивости

Параметр	Медианное значение
магнитная восприимчивость, $MВ \times 10^{-3}$ СИ	0,90
элементный состав	
Сг, мг/кг	95,9
Pb, мг/кг	66,9
Zn, мг/кг	98,7
Cu, мг/кг	27,2
Ni, мг/кг	22,0
Co, мг/кг	4,5
Fe ₂ O ₃ , %	1,9065
MnO, мг/кг	397,4
Cr, мг/кг	62,2
V, мг/кг	35,2
TiO ₂ , %	0,2839

Загрязнение почв пробных участков свинцом и цинком, аномально низкое содержание железа и марганца, тесная связь магнитной восприимчивости с содержанием органического вещества, незначительный уровень техногенного аэриального поступления железа на территории

г.Владимира, а также отсутствие прямой корреляции между магнитной восприимчивостью, железом и другими тяжёлыми металлами указывают на биологический (педогенный) характер формирования магнитной фракции в почвах.

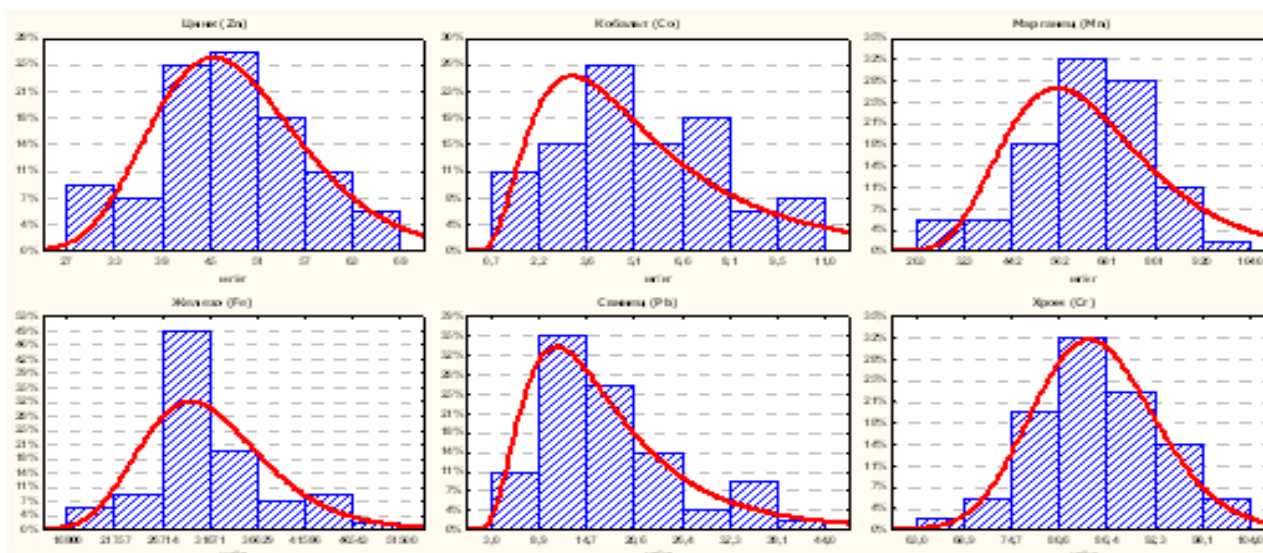


Рис. 4. Гистограммы частотного распределения содержаний валовых форм металлов в пахотном слое почв

Таблица 5. Параметры распределений валовых форм металлов в пахотном слое техногенно ненагруженных почв [7]

Элемент	Диапазон зафиксированных значений C , мг/кг		Центр распределения		СКО σ	Верхняя граница энтропийного интервала	
	C_{min}	C_{max}	$X_{Ц}$	$C_{Ц}$, мг/кг		$X_{Ц}+2,066\sigma$	$C_{max}^{прогноз}$, мг/кг
Pb	3	44	2,7003	14,9	0,5542	3,8453	46,8
Zn	27	69	3,8556	47,3	0,2032	4,2754	71,9
Cu	0	17	—	—	—	—	—
Ni	15	2650	3,5757	35,7	0,5595	4,7316	113,5
Co	0	11	1,5349	4,6	0,6188	2,8133	16,7
Fe*	16800	51500	10,3387	30905	0,2076	10,7676	47458
Mn**	203	1040	6,4119	609	0,3064	7,0449	1147
Cr	63	104	4,4403	84,8	0,0886	4,6233	101,8

Примечание: * – в пересчёте на Fe_2O_3 ; ** – в пересчёте на MnO

Выводы:

1. Получены новые данные о техногенной нагрузке на почвенный покров г. Владимира на основе индикации магнитной восприимчивости поверхностных горизонтов. Анализ логнормальной функции распределения магнитной восприимчивости с применением центильного метода позволил идентифицировать почвенный покров города как в целом техногенно слабонагруженный. Высокая техногенная нагрузка почв имеет очаговый характер, географически привязана к немногочисленным крупным объектам промышленной и автотранспортной инфраструктуры города и выявлена лишь на 8,7% пробных участков.

2. Использованный в работе метод дифференциации загрязнённых и незагрязнённых почв позволяет на основе уже имеющейся информации статистически достоверно выделять техногенные ореолы загрязнения тяжёлыми металлами. Основное достоинство информацион-

ного подхода к математическому описанию распределения тяжёлых металлов в почвах состоит в том, что размер энтропийного интервала неопределённости может быть вычислен строго математически для любого закона распределения, устраняя тем самым сложившийся произвол, неизбежный при волевом назначении различных значений доверительной вероятности.

3. Ведущим процессом, приводящим к увеличению магнитного сигнала в почвах, являются аномальные техногенные изменения микроэлементного состава почв – т.е. загрязнения тяжёлыми металлами, превышающие верхнюю границу энтропийного интервала концентраций и не характерные для почв, относящихся к рассматриваемой почвенно-геохимической ассоциации.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (Грант РФФИ 11-05-97511-р_центр_а)

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Загурский, А.М.* Специфика микростроения и генезиса магнитных соединений железа в почвах. Автореф. канд. биол. наук. – М., 2008. 25 с.
2. *Гладышева, М.А.* Магнитная восприимчивость урбанизированных почв. Автореф. канд. биол. наук. – М., 2007. 26 с.
3. Биогенный магнетит и магниторецепция. Новое о биомагнетизме: В 2-х т. Пер. с англ. / Под ред. Дж. Киривинка, Д. Джонса, Б. Мак-Фаддена. – М.: Мир, 1989. 353 с.
4. Методика выполнения измерений массовой доли металлов и оксидов металлов в порошковых пробах почв методом рентгенофлуоресцентного анализа (Свидетельство Госстандарта РФ № 2420/53-2002).
5. *Новицкий, П.В.* Оценка погрешностей результатов измерений. 2-е изд., перераб. и доп. / П.В. Новицкий, И.А. Зограф. – Л.: Энергоатомиздат, 1991, 304 с.
6. Экологический атлас Владимирской области. Под ред. Т.А. Трифоновой; Владим. гос. ун-т. – Владимир: Изд-во Владим. гос. ун-та, 2007. 92 с.
7. *Трифонова, Т.А.* Эколого-геохимический анализ загрязнения ландшафтов / Т.А. Трифонова, Л.А. Ширкин, Н.В. Селиванова. – Владимир: ООО «Владимир Полиграф», 2007. 170 с.
8. Экологическая геохимия: словарь-справочник / авт.-сост.: Т.А. Трифонова, Л.А. Ширкин; Владим. гос. ун-т. – Владимир: Ред.-издат. комплекс ВлГУ, 2005. 140 с.
9. *Трифонова, Т.А.* Исследование миграции тяжёлых металлов в системе «гальваношлам – почва» / Т.А. Трифонова, Л.А. Ширкин, Н.В. Селиванова // Безопасность жизнедеятельности. 2002. №3. С. 47-53.

ESTIMATION OF SOIL TECHNOGENIC TRANSFORMATION BY ANALYSIS OF THE MAGNETIC SUSCEPTIBILITY

© 2012 L.A. Shirkin, T.A. Trifonova, V.A. Koshman, A.N. Krasnoschekov

¹ Vladimir State University named after A.G. and N.G. Stoletov

Published new data on the anthropogenic transformation of urban soil. Soil pollution by heavy metals leads to an increase magnetic susceptibility.

Key words: *magnetic susceptibility of soils, technogenic transformation*

Leonid Shirkin, Candidate of Chemistry, Associate Professor at the Ecology Department. E-mail: shirkin76@mail.ru

Tatiana Trifonova, Doctor of Biology, Professor at the Ecology Department. E-mail: trifonova@vlsu.ru

Valeriya Koshman, Post-graduate Student

Aleksey Krasnoschekov, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor at the Ecology Department. E-mail: kan_alex2000@mail.ru