

ТЕХНОГЕННАЯ ТРАНСФОРМАЦИЯ ПОЧВ В ЗОНЕ ВЛИЯНИЯ НЛМК В Г. ЛИПЕЦКЕ

И. В. Лебедев¹, И. З. Каманина²

¹ Старший инженер, Объединенный институт ядерных исследований (ОИЯИ),
Московская обл. г. Дубна, Российская Федерация, Lebedev.ru.com@yandex.ru

² Доцент кафедры экологии и наук о Земле «университета «Дубна», Государственный университет «Дубна», Московская обл. г. Дубна, Российская Федерация, kamanina@uni-dubna.ru

Аннотация

В настоящей работе представлен анализ распределения тяжелых металлов в почвах города Липецка. Представлен пространственный анализ загрязнения почв в зависимости от направления ветра и расстояния от основного источника загрязнения атмосферного воздуха – Новолипецкого металлургического комбината. Дан анализ профильного распределения содержания тяжелых металлов в почвах. Показано, что почвы с превышением ОДК как на поверхности, так и на глубине в основном приурочены к зоне влияния металлургического комбината. По суммарному уровню загрязнения тяжелыми металлами выявлена зона с категорией загрязнения «чрезвычайно опасная».

Ключевые слова: загрязнение, тяжелые металлы, почвы, г. Липецк.

TECHNOGENIC TRANSFORMATION OF SOILS IN THE ZONE OF NLMK INFLUENCE IN LIPETSK

I. V. Lebedev¹, I. Z. Kamanina²

Abstract

This paper presents an analysis of the distribution of heavy metals in the soils of the Lipetsk city. A spatial analysis of soil pollution is presented, depending on the wind direction and distance from the main source of atmospheric air pollution – the Novolipetsk Metallurgical Combine. The profile distribution of heavy metals content in soils is analyzed. It is shown that soils with an excess of approximate permissible concentration both on the surface and at depth are mainly confined to the zone of influence of the metallurgical combine. According to the total level of heavy metal pollution, a zone with the category of pollution "extremely dangerous" was identified.

Keywords: pollution, heavy metals, soil, Lipetsk

Введение. Город Липецк находится в зоне центрального Черноземья. 6310 га (17,1 % от общей площади) отведено в черте города. для садоводства и сельскохозяйственного использования. При этом город является крупным металлургическим центром, самое крупное предприятие – Новолипецкий металлур-

гический комбинат (НЛМК). Состоянию почв в г. Липецке уделяется особое внимание. Согласно решению Липецкого городского совета депутатов № 154 от 1 ноября 2005 г. [10], а именно пункту 3.2, «почвы городских поселений должны соответствовать категории «чистая» или «допустимая». «Чистыми» или «допустимыми» считаются почвы с содержанием загрязняющих веществ, не превышающих их предельно допустимых концентраций». На НЛМК приходится 98 % выбросов в атмосферный воздух от всех стационарных источников города [4]. По этой причине Липецк занимает 3 место в перечне городов с наибольшими показателями выбросов в атмосферный воздух от стационарных источников в России [3]. Изучение трансформации почв в зоне влияния такого объекта как НЛМК является важной задачей и было представлено в исследованиях [1, 6, 12]. Целью работы является оценка техногенной нагрузки на почвенный покров в зоне влияния выбросов от металлургических объектов в городе Липецке. В соответствии с целью были определены задачи работы: отбор проб почв в городе Липецке, лабораторный анализ проб, статистическая обработка полученных результатов, составление карта-схем и расчет эколого-геохимических показателей.

Материалы и методы. Так как основным стационарным источником выбросов в атмосферный воздух является НЛМК [5, 13, 11], то большинство площадок пробоотбора было расположено в зоне влияния комбината (рис. 1).

Отбор проб почв производился в мае–июне 2021 г. Вокруг комбината пробы отбирались по 8 направлениям на расстояниях 100, 300, 500, и 1000 метров от границы предприятия (№№ 1–8 на Юг, №№ 9–16 на ЮЗ, №№ 17–24 на З, №№ 25–32 на ЮВ, №№ 33–40 на СВ, №№ 41–48 на С, №№ 49–56 на СЗ, №№ 57–64 на В). Для анализа профильного распределения загрязняющих веществ и возможного накопления тяжелых металлов в более глубоких горизонтах образцы отбирали с поверхности на глубину 0–0,2 м и 0,2–0,5 м. Все нечетные пробы, перечисленные в интервале 1–64, относятся к поверхностным, четные к отобраным на глубине. Кроме того, в некоторых районах города с учетом функционального районирования были отобраны смешанные образцы с глубины 0–0,2 м методом конверта (№№ 65–89). Таким образом, всего было обследовано 57 пробных площадок (рис.1) и проанализировано 89 почвенных образцов. В соответствии с Национальным атласом почв [8] на изучаемой территории почвы представлены черноземами выщелоченными, дерново-подзолистыми иллювиально-железистыми, а также пойменными слабокислыми и нейтральными почвами. Отбор проб почв проводили с учетом неоднородности почвенного покрова, функционального зонирования города и поступления загрязняющих веществ. На рисунке 1 нанесены точки отбора проб почв с учетом типов почв.

После отбора все пробы доставлялись в лабораторию кафедры экологии и наук о Земле университета «Дубна» для дальнейшего исследования. Для определения физико-химических свойств почвенных образцов была выполнена стандартная пробоподготовка, высушивание и измельчение до 1 мм. Количественный химический анализ (КХА) проводили по следующим показателям: водородный показатель рН, содержание тяжелых металлов 1 и 2 классов опас-

ности (Pb, Cd, Zn и Cu, Ni), валовые формы. Для валового анализа тяжелых металлов воздушно-сухие пробы почв растирали до состояния пудры. Разложение проб проводили в микроволновой системе пробоподготовки МС-6. Пробу разлагали в смеси кислот: плавиковой (HF), азотной (HNO₃) и соляной (HCl).

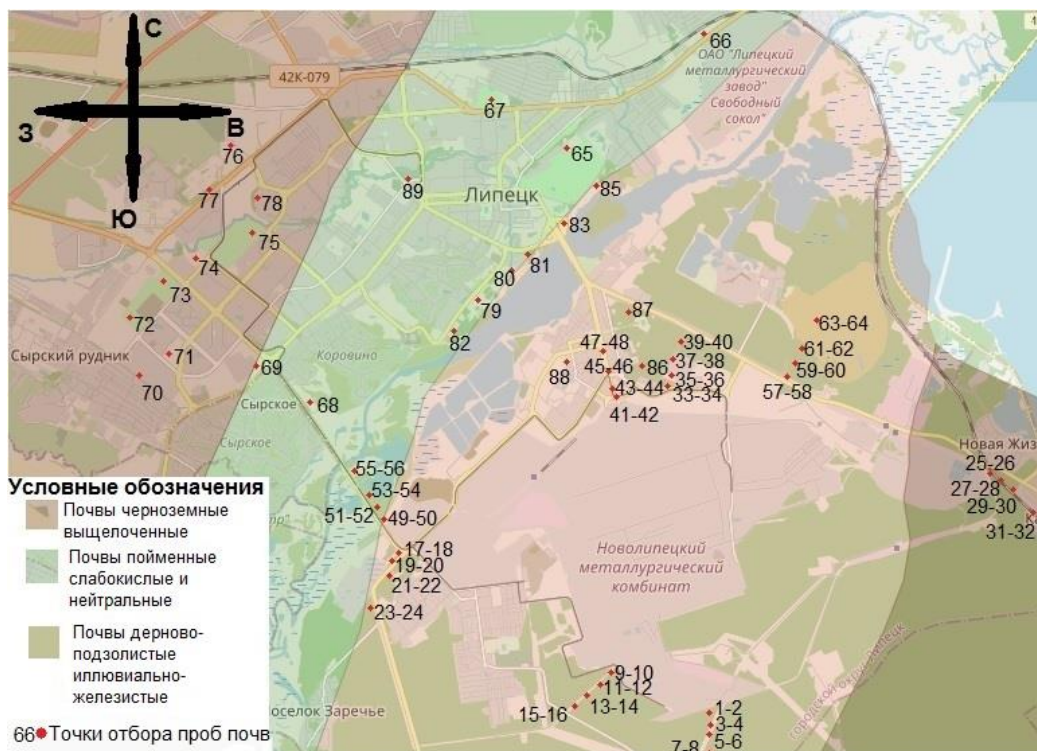


Рисунок 1 – Карта-схема с расположением отобранных проб почв в г. Липецке с учетом типов почв

Анализ содержания тяжелых металлов в ранее разложенных почвенных пробах проводился методом атомной абсорбции на спектрофотометре «КВАНТ-2А» компании ООО «Кортек» с использованием атомизации подготовленной пробы в пламени.

Результаты и обсуждение. По величине рН почвы города характеризуются от слабокислых до сильнощелочных (рН 6,41–9,04). Преобладающие почвы слабощелочные и щелочные, по гранулометрическому составу встречаются супесчаные, песчаные и суглинистые почвы. На рисунке 2 представлена карта-схема распределения рН почв. Вокруг объектов металлургии величина водородного показателя выше, чем в других частях города. Максимальные значения рН приурочены к ЛТК «Сводный сокол» и НЛМК. При этом в центральной части города по величине водородного показателя почвы ближе к нейтральным.

Содержание валовых форм исследованных тяжелых металлов в почвах г. Липецка крайне неравномерно. Результаты статистической обработки данных количественного химического анализа представлены в таблице 1.

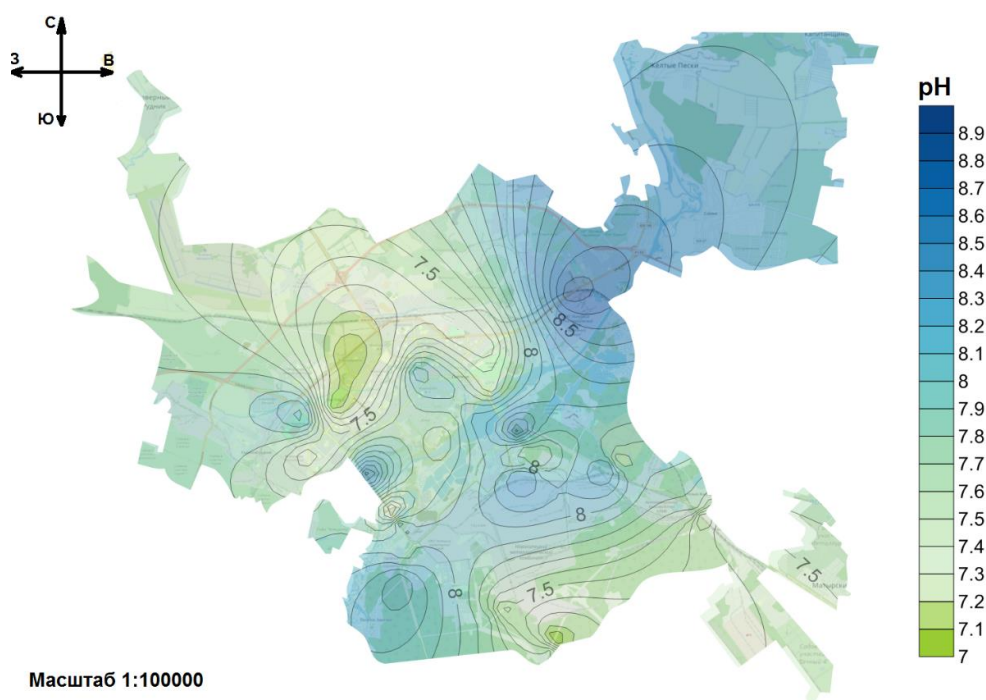


Рисунок 2 – Карта-схема распределения pH почв г. Липецка

Таблица 1 – Статистические показатели содержания валовых форм тяжелых металлов в поверхностных почвах г. Липецка, мг/кг

Элемент	Мин.	Макс.	Среднее	Медиана	Стандартное отклонение	Ошибка сред. арифмет.
Поверхностные почвы, n= 57 P=0,95						
Zn	4,61	239,94	52,66	42,22	39,87	5,28
Pb	1,64	241,33	18,35	9,80	32,35	4,28
Cd	0,01	1,02	0,25	0,20	0,24	0,03
Ni	1,52	45,27	14,88	11,64	11,93	1,58
Cu	0,69	44,39	10,94	7,12	9,55	1,26

Среднее содержание валовых форм тяжелых металлов в различных типах почв отличается незначительно, в то время как максимальное содержание Pb, Zn, Cd отмечается в дерново-подзолистых иллювиально-железистых почвах легкого гранулометрического состава с низкой буферной способностью, что создает опасность загрязнения сопредельных сред. В других типах почв, выделяемых на территории г. Липецка, максимальное содержание Zn составляет 114,17 – 101,97 мг/кг, Cd – 0,70 – 0,45 мг/кг, Pb 46,32 – 30,73 мг/кг. Максимальное содержание Ni (45,27±4,18 мг/кг) отмечается в черноземах выщелоченных, а Cu (44,39±2,29 мг/кг) в пойменных почвах. Содержание тяжелых металлов в урбаноземах находится на том же уровне, что и в естественных почвах. Особо следует отметить, что максимальное содержание валовых форм свинца выявлено в рекреационной зоне – в сквере им. Крупской (площадка проботора П-88). Вокруг НЛМК были отобраны поверхностные и глубинные пробы на основе КХА, статические показатели содержания тяжелых металлов предоставлены в таблице 2.

Таблица 2 – Статистические показатели содержания валовых форм тяжелых металлов в поверхностных и глубинных почвах вокруг НЛМК г. Липецка, мг/кг

Элемент	Мин.	Макс.	Среднее	Медиана	Стандартное отклонение	Ошибка сред. арифмет.
Поверхностные почвы, n= 32 P=0,95						
Zn	4,61	239,94	53,79	37,06	48,23	8,53
Pb	1,64	59,11	15,01	8,16	15,24	2,69
Cd	0,04	1,02	0,31	0,22	0,26	0,05
Ni	1,52	31,75	10,31	9,21	7,38	1,30
Cu	1,09	44,39	10,63	6,36	10,82	1,91
Глубинные почвы, n= 32 P=0,95						
Zn	3,54	138,82	33,02	26,57	27,27	4,82
Pb	0,65	32,43	9,44	6,86	8,27	1,46
Cd	0,05	0,86	0,29	0,23	0,22	0,04
Ni	0,38	38,11	11,25	8,67	8,24	1,46
Cu	0,75	23,02	7,76	7,50	5,41	0,96

Анализ профильного распределения тяжелых металлов показал, что в подавляющем большинстве обследованных почв в поверхностном горизонте почвенного профиля содержание металлов превышает содержание на глубине (0,2–0,5 м), что может свидетельствовать о эротехногенном поступлении тяжелых металлов в почвы города. Только по Ni средняя концентрация на глубине выше, чем на поверхности. Являясь депонирующей средой, почвы выполняют барьерную роль на пути миграции тяжелых металлов, аккумулируя их в поверхностных горизонтах защищают от загрязнения поверхностные и грунтовые воды. При этом более глубокие горизонты так же сильно подвержены загрязнению, в 30% проб выявлено превышение ОДК. Только в черноземных почвах концентрация ТМ резко снижается с глубиной, что может быть связано с карбонатным барьером. Среднее содержание Cd в исследуемых почвах как в поверхностных горизонтах, так и на глубине остается на таком же уровне и составляет в среднем 0,3 мг/кг. Высокое содержание кадмия является геохимической особенностью изучаемой территории и было зафиксировано в почвах на значительном удалении от города Липецка [14, 1] и в донных отложениях [7].

По величине суммарного показателя загрязнения относительно регионального фона [9] с учетом токсичности металлов [2] только 38% обследованных почв соответствует допустимому уровню загрязнения. Наиболее подвержен загрязнению Левобережный округ города и микрорайон Новолипецкий, где выявлен максимальный Zср1 – 175, соответствующий категории загрязнения «чрезвычайно опасная». Обнаружены превышения ОДК ТМ валовых форм по свинцу до 7,5 раз, по цинку до 4,4 раз, по кадмию до 2 раз, по никелю по 2,2, по меди до 1,4. Опасность загрязнения усугубляется тем, что в этом районе преобладают дерново-подзолистые иллювиально-железистые почвы легкого гранулометрического состава, обладающие невысокой буферностью, что обуславливает опасность загрязнения сопредельных сред. На рисунке 3 представлена карта-схема уровня загрязнения по модифицированному суммарному показателю

загрязнения $Z_{ср1}$ с учетом региональных фоновых значений и коэффициента токсичности элементов.

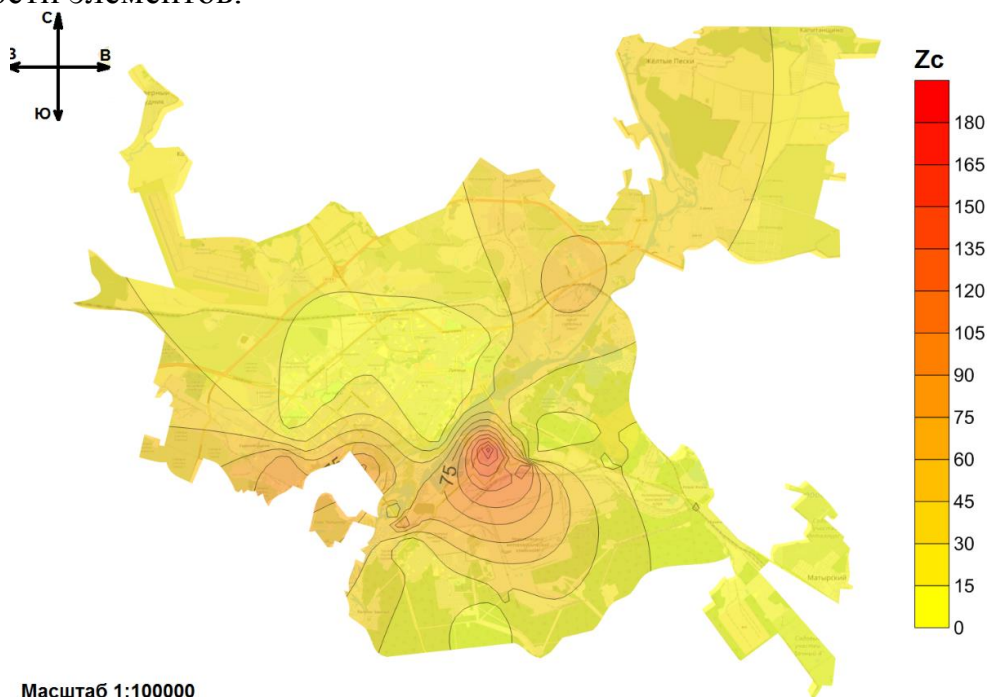


Рисунок 3 – Карта-схема с уровнем загрязнения по суммарному показателю загрязнения $Z_{ср1}$ почв в г. Липецке

Заключение.

1. В почвах г. Липецка выявлено превышение ОДК ТМ валовых форм по свинцу до 7,5 раз, по цинку до 4,4 раз, по кадмию до 2 раз, по никелю по 2,2, по меди до 1,4. Основным источником загрязнения тяжелыми металлами почв г. Липецка является аэротехногенное поступление от металлургических предприятий. Превышение ОДК тяжелых металлов выявлены, главным образом, в северном, северо-западном и северо-восточном направлениях от НЛМК на расстоянии от 100– 2000 м.

2. Максимальные концентрации тяжелых металлов, превышающие ОДК, отмечаются в дерново-подзолистых иллювиально-железистых почвах легкого гранулометрического состава, что представляет опасность загрязнения сопредельных сред.

3. Наиболее подвержен загрязнению Левобережный округ города и микрорайон Новолипецкий, где выявлен максимальный $Z_{ср1}$ – 175, соответствующий категории загрязнения «чрезвычайно опасная», округ расположен в зоне влияния НЛМК.

Список цитированных источников

1. Вершинин, В. В., Галаганова, Л. А. Краткий анализ динамики содержания микроэлементов и тяжелых металлов в почвах Липецкой области // Международный сельскохозяйственный журнал. Серия: научное обеспечение и управление агропромышленным комплексом, Т.1. – 2020. – С. 55–58.

2. Водяницкий, Ю. Н. Тяжелые металлы и металлоиды в почвах. – М. : ГНУ Почвенный институт им. В. В. Докучаева РАСХН. – 2008. – С. 85.
3. Государственный доклад министерства природных ресурсов и экологии Российской Федерации «О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации 2020 года» URL: https://www.mnr.gov.ru/docs/gosudarstvennye_doklady/.
4. Доклад Управления экологии и природных ресурсов Липецкой области «Состояние и охрана окружающей среды Липецкой области» – 2019 года URL: <http://ekolip.ru/folder1/>.
5. Доклад Управления экологии и природных ресурсов Липецкой области «Состояние и охрана окружающей среды Липецкой области» – 2021 года URL: <http://ekolip.ru/folder1/>.
6. Курбаков, Д. Н., Кузнецов, В. К., Анисимов, В. С. Петров, К. В. Особенности распределения тяжелых металлов в почвах сельскохозяйственных угодий в зоне воздействия Липецкой промышленной агломерации // Агрехимический вестник, серия Агрэкология. –2017. – № 6. – С. 10–13.
7. Лебедев, И. В., Каманина, И. З., Каплина, С. П. Содержание тяжелых металлов в водотоках города Липецка // Вестник Воронежского государственного университета. Серия: География. Геоэкология. – 2022. – № 1. – С. 74–82.
8. Национальный атлас почв Российской Федерации под общей редакцией члена-корреспондента РАН С.А. Шобы URL: <https://soil-db.ru/soilatlas/avtory>.
9. Перечень фоновых показателей почв г. Липецк // распоряжение главы города Липецк N 1183-р от 29 мая 2007 года, URL: <https://docs.cntd.ru/document/440579213>.
10. Правила охраны почв на территории города Липецка // решение липецкого городского совета депутатов № 154 от 01.11.2005, URL: <https://docs.cntd.ru/document/440579627>.
11. Прохорова, Т. В., Кузнецов, В. К., Санжаров, А.И. Мониторинг загрязнения агроэкосистем в зоне воздействия Липецкой промышленной агломерации // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. – 2015. – №10-1. – С. 41–44.
12. Седых, В. А. Содержание тяжелых металлов в почвенном покрове города Липецка // Вестник Воронежского государственного университета. Серия: География. Геоэкология. – 2022. – № 4. – С. 126–130. DOI: <https://doi.org/10.17308/geo/1609-0683/2022/4/126-130>.
13. Седых, В. А., Беляева, Л. Н., Климов, Д. С. Состояние атмосферного воздуха города Липецка // Проблемы региональной экологии. – 2019. – № 3. – С. 77–80.
14. Сискевич, Ю. И., Никоноренков, В. А., Долгих, О. В., Ахтырцев, А. Б., Сушков, В. Д. Почвы Липецкой области : монография. – Липецк, 2018. – С. 34–44.