

Эколого-геохимическое состояние почв в городе Липецк

И. З. Каманина^{1,2} ✉, И. В. Лебедев^{1,2}, С. П. Каплина^{1,2}, А. И. Уколова¹, П. В. Лепешкина¹¹Государственный университет «Дубна», Российская Федерация
(141982, Московская область г. Дубна ул. Университетская, 19)²Объединенный институт ядерных исследований, Российская Федерация
(141980, Российская Федерация, Московская область, г. Дубна, ул. Жолио-Кюри, 6)

Аннотация. Целью настоящего исследования является мониторинг почв и выявление зон негативного воздействия промышленных предприятий города Липецка.

Материалы и методы. Изучено содержание валовых и подвижных форм тяжелых металлов 1 и 2 классов опасности (Zn, Pb, Cd, Ni, Cu) методом атомной абсорбции. Загрязнение почвы оценивалось относительно санитарно-гигиенических и эколого-геохимических показателей, с учетом токсичности элементов.

Результаты и обсуждение. В трети проб выявлено превышение ОДК по одному или нескольким тяжелым металлам. С использованием статистических методов обработки результатов и расчета суммарного показателя загрязнения с поправочным коэффициентом на токсичность элементов, выявлены зоны наиболее подверженные загрязнению почв в городе Липецке.

Заключение. Почвы города Липецк значительно загрязнены тяжелыми металлами. Показано влияние Новолипецкого металлургического комбината на уровень загрязнения почв. Зафиксированы уровни загрязнения до чрезвычайно опасных категорий.

Ключевые слова: загрязнение почв, город Липецк, тяжелые металлы, воздействие предприятия, Новолипецкий металлургический комбинат.

Для цитирования: Каманина И. З., Лебедев И. В., Каплина С. П., Уколова А. И., Лепешкина П. В. Эколого-геохимическое состояние почв в городе Липецк // Вестник Воронежского государственного университета. Серия: География. Геоэкология, 2024, № 4, с. 140-148. DOI: <https://doi.org/10.17308/geo/1609-0683/2024/4/140-148>

ВВЕДЕНИЕ

Город Липецк расположен в зоне центрального Черноземья, на его территории находятся несколько крупных предприятий металлургической промышленности такие как Новолипецкий Металлургический комбинат (НЛМК), Липецкий металлургический завод «Свободный сокол» в настоящее время не функционирующий и др. От стационарных источников в атмосферный воздух города Липецка ежегодно выбрасывается порядка 274,8 тыс. тонн, из них 266,9 тыс. тонн приходится на Новолипецкий металлургический комбинат, или почти 59 % от всех выбросов Липецкой области (456,5 тыс. тонн год) [15]. При этом в городе сосредоточено 80 км² земель сельхоз назначений разных категорий, а это почти 25 % от всей площади города [12]. Кроме того, в Липецке широко представлена лесопарковая зона, часть которой является территорией заказника «Липецкий».

Состоянию почв в городе Липецке уделяется особое внимание. Согласно решению Липецкого городского совета депутатов № 154 от 1 ноября 2005 года [11], 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».

Целью настоящего исследования является оценка экологического состояния почв в пределах города Липецк по содержанию тяжелых металлов.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В соответствии с Национальным атласом почв [7] на изучаемой территории почвы представлены черноземами выщелоченными, дерново-подзолистыми иллювиально-железистыми, а также пойменными слаббокислыми и нейтральными почвами. Отбор проб проводили с учетом неоднородности почвенного покрова, функционального зонирования города и поступления загрязняющих веществ.

Так как НЛМК является лидером среди стационарных источников загрязнения воздуха в городе [1, 5, 12], то большинство площадок пробоотбора было расположено в районе НЛМК (рис. 1). Вокруг комбината пробы отбирались по 8 направлениям на расстояниях 100, 300, 500, и 1000 метров от границы предприятия (на Юг №1-8, на ЮЗ № 9-16, на З № 17-24, на СЗ № 49-56, на С № 41-48, на СВ № 33-40, на В № 57-64, на ЮВ № 25-32). Для анализа профильного распределения

© Каманина И. З., Лебедев И. В., Каплина С. П., Уколова А. И., Лепешкина П. В., 2024

✉ Каманина Инна Здиславовна, e-mail: kamanina@uni-dubna.ru



Контент доступен под лицензией Creative Commons Attribution 4.0 License.

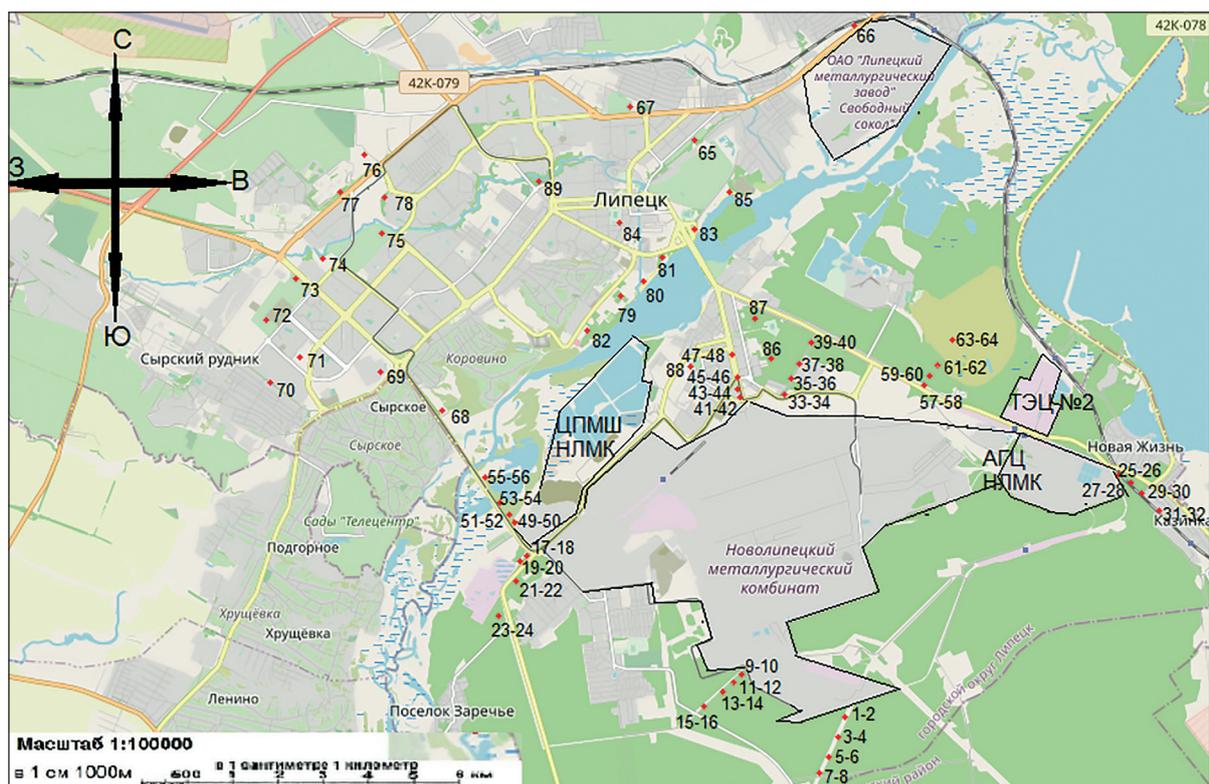


Рис. 1 Схема отбора проб почв в городе Липецке
 [Fig. 1. Scheme of soil sampling in the city of Lipetsk]

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 отобранным 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 (см. рис. 1) и проанализировано 89 почвенных образцов.

В пробах определяли содержание тяжелых металлов 1 и 2 классов опасности (Zn, Pb, Cd, Ni, Cu) методом атомной абсорбции на приборе «Квант 2А». Для определения валового содержания тяжелых металлов почвы, предварительно высушенные до воздушно-сухого состояния, растирали до состояния пудры, затем разлагали с помощью лабораторной микроволновой системы МС-6 в смеси кислот плавиковой (HF), азотной (HNO₃) и соляной (HCl). Подвижные формы извлекали ацетатно-аммонийным буфером. Исследования проводились на базе эколого-аналитической лаборатории кафедры экологии и наук о Земле государственного университета «Дубна» по стандартным методикам.

Содержание тяжелых металлов в почвах города Липецка оценивали относительно фоновых значений и санитарно-гигиенических нормативов ПДК подвижных форм и ОДК валовых форм [13]. Согласно СанПиН 1.2.3685-21, ОДК для валовых форм тяжелых металлов установлены с учетом гранулометрического состава и

водородного показателя. По величине pH почвы города характеризуется от слабокислых до сильнощелочных (pH 6,41-9,04). Преобладающие почвы слабощелочные и щелочные, по гранулометрическому составу встречаются супесчаные, песчаные и суглинистые почвы. Санитарно-гигиеническая оценка каждой пробы почв проводилась индивидуально исходя из водородного показателя и гранулометрического состава. Для оценки эколого-геохимического состояния почв были рассчитаны коэффициенты концентрации химических элементов: K_c – относительно фоновых значений, рекомендованных в СП 11-102-97 [16] с учетом типа почв и гранулометрического состава и K_{c_p} относительно фоновых концентраций по Липецкой области взятых из распоряжения главы города Липецка [9]. С учетом K_c и $K_{c_p} > 1$ были рассчитаны суммарные показатели загрязнения Z_c и Z_{c_p} . Кроме того были рассчитаны суммарные показатели загрязнения Z_c^I и $Z_{c_p}^I$ с поправкой на токсичность элементов [2, 3]. Так для элементов высокой степени опасности Cd, Pb и Zn коэффициент токсичности (K_m) равен 1,5, а для элементов умеренной степени опасности Ni и Cu – 1,0.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Содержание в почвах города Липецка как валовых, так и подвижных форм исследованных тяжелых металлов крайне неравномерно (табл. 1). Среднее содержание валовых форм тяжелых металлов в различных типах почв отличается не значительно, в то время как максимальное содержание свинца ($241,33 \pm 12,68$ мг/кг), цинка ($239,94 \pm 19,25$ мг/кг), кадмия ($1,02 \pm 0,07$ мг/кг)

отмечается в дерновоподзолистых иллювиально железистых почвах легкого гранулометрического состава с низкой буферной способностью, что создает опасность загрязнения сопредельных сред. В других типах почв, выделяемых на территории города Липецка, максимальное содержание свинца составляет 46,32-30,73 мг/кг,

цинка – 114,17-101,97 мг/кг, кадмия – 0,70-0,45 мг/кг. Максимальное содержание никеля (45,27±4,18 мг/кг) отмечается в черноземах выщелоченных, а меди (44,39±2,29 мг/кг) в пойменных почвах. Содержание тяжелых металлов в урбаноземах находится на том же уровне, что и в естественных почвах.

Таблица 1

Статистические показатели содержания тяжелых металлов в поверхностных почвах города Липецка, по типам почв, валовые формы, мг/кг

[Table 1. Statistical indicators of the content of heavy metals in the surface soils of Lipetsk, by soil types, gross forms, mg/kg]

Элемент / Element	Мин. / Minimum	Макс. / Maximum	Среднее / Average	Медиана / Median	Станд. откл. / standard deviation	Ошибка сред. арифмет. / Arithmetic mean error
Дерново-подзолистые иллювиально железистые, n= 27 P=0,95 / Sod-podzolic illuvial glandular, n= 27 P=0,95						
Zn	6,12	239,94	52,94	36,76	49,54	9,53
Pb	1,64	241,33	21,46	7,85	45,30	8,72
Cd	0,05	1,02	0,33	0,22	0,25	0,05
Ni	1,52	31,75	10,48	7,56	7,90	1,52
Cu	1,97	39,04	9,78	6,18	9,31	1,79
Черноземы выщелоченные, n= 10 P=0,95 / Leached chernozems, n= 10 P=0,95						
Zn	4,61	102,25	54,14	56,60	29,89	9,45
Pb	2,19	46,32	15,32	14,38	11,50	3,64
Cd	0,01*	0,45	0,12	0,04	0,16	0,05
Ni	1,58	45,27	22,52	22,77	14,20	4,49
Cu	1,09	20,90	13,32	17,71	7,76	2,45
Пойменные нейтральные, n= 14 P=0,95 / Floodplain neutral, n= 14 P=0,95						
Zn	11,09	114,17	51,55	47,54	27,16	7,26
Pb	3,83	43,86	16,78	13,69	11,54	3,08
Cd	0,11*	0,70	0,19	0,17	0,18	0,05
Ni	5,16	38,48	15,99	14,34	12,09	3,23
Cu	0,69	44,39	12,46	9,12	11,37	3,04
Урбаноземы, n= 6 P=0,95 / Urbanozems, n= 6 P=0,95						
Zn	11,60	101,97	51,50	53,65	28,96	11,82
Pb	2,43	30,73	13,12	11,71	9,17	3,74
Cd	0,06*	0,66	0,21	0,12	0,24	0,10
Ni	1,94	44,36	19,31	16,61	13,64	5,57
Cu	0,84	21,44	8,66	5,53	6,96	2,84

* – минимальное значение без учета результатов ниже чувствительности методики определения

[* – the minimum value without taking into account the results below the sensitivity of the determination method]

В поверхностном горизонте всего было выявлено 16 проб с превышением ОДК по одному или нескольким тяжелым металлам. Превышение ОДК по свинцу от 1,2 до 7,5 раз отмечается в почвах 6 обследованных участков, максимальное в точке П-88 в Левобережном округе, по цинку – в почвах 12 участков, максимальное превышение составило 4,4 ОДК в Левобережном округе (П-33). Превышение ОДК по кадмию выявлено в 12 % обследованных участков, максимальное превышение также отмечается в Левобережном округе

(П-45) и составляет 2 ОДК. Превышение ОДК никеля от 1,1 до 2,2 ОДК выявлено в 16 % случаев. Незначительное превышение валовых форм меди (до 1,4 ОДК) выявлено на 2 участках Левобережного округа.

Содержание подвижных форм цинка, никеля и меди в почвах города Липецка не превышает установленных санитарно-гигиенических нормативов. Превышения ПДК подвижных форм свинца выявлено только в одной точке (П-88) и составляет 4,8 ПДК (28,85±1,79 мг/кг). Ранее было показано [14], что содержание подвижных

форм свинца и цинка в верхних горизонтах почв города Липецка не превышает 0,5–0,6 ПДК. Доля подвижных форм от валовых составляет в среднем для свинца 8 %, цинка – 7 %, меди – 4 %, никеля – 2 %. Для подвижных форм кадмия отсутствуют утвержденные ПДК. Обращает внимание, что на долю подвижных форм кадмия приходится в среднем 27 % от валовых, при этом в 16 % проб содержание кадмия ниже предела обнаружения.

Анализ профильного распределения ТМ 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 аэротехногенном поступлении тяжелых металлов в почвы города. Являясь депонирующей средой, почвы выполняют барьерную функцию на пути миграции тяжелых металлов, аккумулируя их в поверхностных горизонтах защищают от загрязне-

ния 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, которое было зафиксировано в почвах на значительном удалении от города Липецк [1, 8] и в донных отложениях [6].

Фоновые значения Zn, Pb, Ni и Cu предлагаемые в СП 11-102-97 значительно больше, чем региональные фоновые концентрации [9], в связи с этим коэффициент концентрации относительно регионального фона в среднем выше для Zn в 2,7 раза, для Pb в 2,2 Ni в 5,5 и Cu в

Таблица 2

Минимальные, максимальные и средние значения коэффициента концентрации тяжелых металлов в почвах города Липецка

[Table 2. Minimum, maximum and average values of the concentration coefficient of heavy metals in the soils of Lipetsk]

Элемент / Element	K_c (фон из СП 11-102-97)	K_c^1 (фон из СП 11-102-97 с учетом K_m)	K_{c_p} (региональный фон)	$K_{c_p}^1$ (региональный фон, учетом K_m)
Zn	<u>0,07-8,57</u> 1,52	<u>0,10-12,85</u> 2,14	<u>0,33-23,3</u> 4,17	<u>0,49-34,94</u> 6,26
Pb	<u>0,11-40,22</u> 2,28	<u>0,16-60,33</u> 3,34	<u>0,24-87,12</u> 4,91	<u>0,35-130,68</u> 7,37
Cd	<u>0,01-20,39</u> 5,22	<u>0,01-30,58</u> 7,66	<u>0,01-7,84</u> 2,04	<u>0,01-11,76</u> 3,02
Ni	<u>0,04-7,39</u> 1,83	<u>0,04-7,39</u> 1,83	<u>0,15-43,49</u> 10,08	<u>0,15-43,49</u> 10,08
Cu	<u>0,04-5,55</u> 1,09	<u>0,04-5,55</u> 1,09	<u>0,19-55,48</u> 10,15	<u>0,19-55,48</u> 10,15

10 раз (табл. 2). Как уже отмечалось, региональный фон Cd повышен [10] и соответственно K_{c_p} для Cd в 2,6 раза ниже, чем коэффициент концентрации, рассчитанный относительно фоновых значений из СП 11-102-97.

Суммарный показатель загрязнения, рассчитанный с учетом регионального фона в среднем более чем в два раза выше, чем с фоновыми значениями, рекомендованными СП 11-102-97. Большой разброс в суммарном пока-

Таблица 3

Распределение почв по категориям загрязнения
[Table 3. Distribution of soils by pollution categories]

Категория загрязнения / Pollution category	Количество проб, отнесённых к категории по Z_c / The number of samples categorized by Z_c .	Количество проб, отнесённых к категории по Z_c^1 / Number of samples classified according to Z_c^1	Количество проб, отнесённых к категории по Z_{c_p} / Number of samples categorized by Z_{c_p}	Количество проб, отнесённых к категории по $Z_{c_p}^1$ / Number of samples classified according to $Z_{c_p}^1$
Допустимая	76	67	40	34
Умеренно опасная	11	15	27	24
Опасная	2	7	22	30
Чрезвычайно опасная	–	–	–	1

зателе загрязнения обусловлен как разным уровнем техногенной нагрузки, так и высокой неоднородностью почвенного покрова. С учетом коэффициента токсичности и регионального фона Zc_p^1 для почв города варьируется от 1 до 175, при среднем значении 33, что соответствует категории загрязнения «опасная». Использование разных подходов для расчётов интегрального показателя загрязнения Zc приводит к значительным изменениям в распределении проб по категориям загрязнения (табл. 3). Так с учетом регионального фона и токсичности элементов половина проб почв перешли в более опасную категорию загрязнения. Появилась 1 проба «чрезвычайно опасного» уровня, а также значительно увеличилось число проб с «опасной» категорией загрязнения.

Так как использование региональных фоновых значений с учетом токсичности определяемых элементов позволяет более строго оценить уровень загрязнения, то для дальнейшего анализа категории загрязнения территории использовали величину Zc_p^1 .

Анализ загрязнения почв города Липецка по округам (единица административного деления) показал, что Левобережный округ является самым загрязнённым, суммарный показатель загрязнения характеризуется от 1 до 175, в среднем более 50, на этот округ приходится левобережная территория города, с промышленной зоной НЛМК и Новолипецким микрорайоном. В округе 10 проб относятся к категории загрязнения «допустимая», 9 – к «умеренно опасной», 11 – к «опасной», 1 – к «чрезвычайно опасной» категории. Октябрьский округ распо-

ложен на обоих берегах реки Воронеж, на правом берегу центральная часть города, на левом – Тракторный микрорайон города. Значение коэффициента Zc_p^1 составляет от 6 до 96, «опасный» уровень загрязнения в этом округе выявлен в 3 точках, часть из которых относятся к зоне влияния цеха переработки металлургических шлаков ЦПМШ НЛМК. Советский округ находится севернее Октябрьского на правом берегу реки Воронеж, и характеризуется Zc_p^1 от 3 до 84, максимальные значения зафиксированы в пробах жилых недавно возведенных микрорайонов 28, 29 и Европейский. Правобережный округ города находится севернее Октябрьского и Советского округов, Zc^1 от 11 до 53, «опасные» категории выявлены в зоне воздействия бывшего металлургического завода «Свободный сокол», что свидетельствует о накопленных ранее загрязнениях.

Особенность Новолипецкого металлургического комбината состоит в том, что для объектов первой категории опасности, к которому относится комбинат, санитарно-защитная зона (СЗЗ) должна составлять 1000 м, но на деле СЗЗ сужена местами до 100 м и менее, так как застройка территории вокруг завода велась давно [4], а комбинат функционирует более 80 лет. Поэтому пробы почв, отобранные на расстоянии 100-1000 м от границы комбината, попадают не только в СЗЗ комбината, но и в селитебную зону. На рисунке 2 представлен график загрязнения по Zc_p^1 на равных удалениях от границ НЛМК по 8 направлениям ветров. Самые большие уровни Zc_p^1 зафиксированы в север-

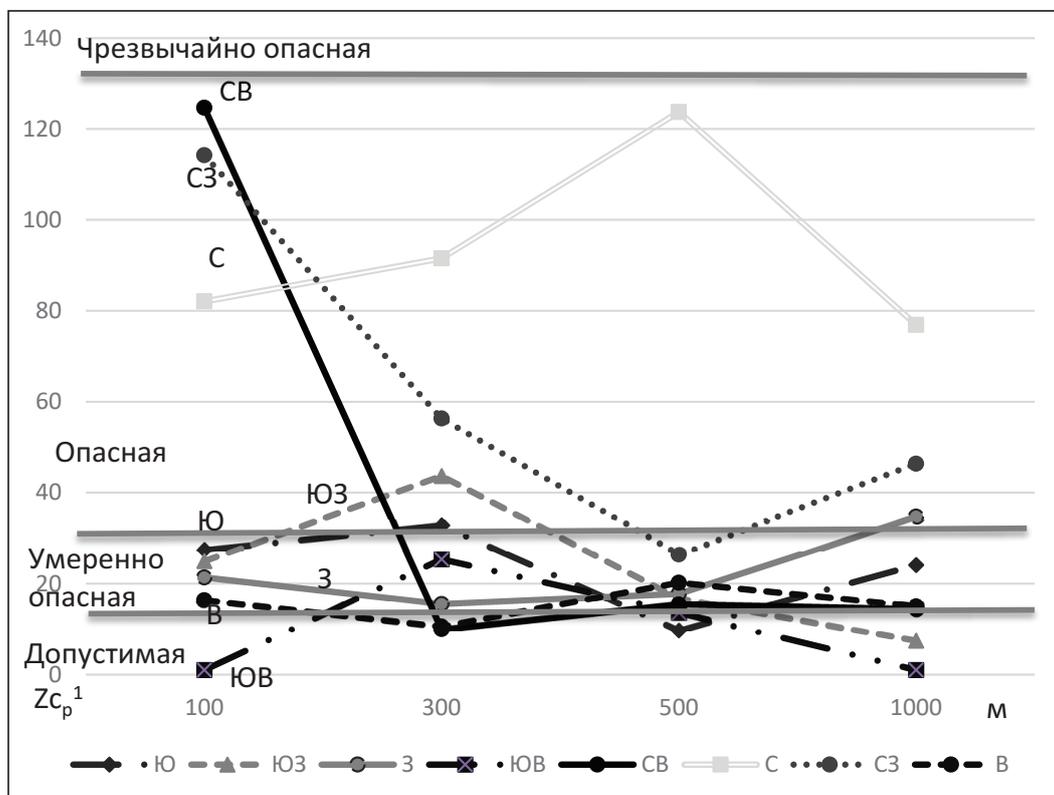


Рис. 2. Загрязнения почв по Zc_p^1 на равных удалениях от НЛМК по направлениям ветров [Fig. 2. Soil contamination according to Zc_p^1 at equal distances from NLMK in wind directions]

Zc_p¹ почв в зоне влияния НЛМК по направлениям ветров
 [Table 4. Zc_p¹ of soils in the zone of influence of NMLC in the directions of winds]

Глубина, м / Depth, m	Направление от НЛМК / Direction from NMLC							
	C / N	CB / NE	B / E	ЮВ / SE	Ю / S	ЮЗ / SW	З / W	СЗ / NW
0-0,2	93	43	10	37	18	17	16	60
0,2-0,5	67	8	9	13	19	35	22	31

ном, северо-западном и северо-восточном направлении на удалении 100 метров от комбината, помимо того на удалении в 500 м по северному направлению выявляется еще один пик загрязнения. В целом на направлениях: северном, северо-восточном, северо-западном, западном, южном даже на удалении 1000 метров выявлены почвы с категорией загрязнения «умеренно опасная». Все эти направления кроме южного попадают в зону жилой застройки, а в северном направлении находится большой жилой микрорайон Новолипецкий и в этом же направлении находится центр города. Неблагоприятным факторам является преобладание ветров в направлениях С и СВ, в сторону жилой застройки, находящейся севернее от НЛМК.

В пробах, отобранных на глубине 0,2-0,5 м северного и северо-западного направлениях так же отмечается высокий уровень загрязнения (табл. 4), а концентрации близки к поверхностным, что связано с низкой буферной способностью почв легкого гранулометрического состава и длительным периодом поступления загрязняющих веществ.

В северном, северо-западном, северо-восточном и юго-восточном направлениях суммарный показатель загрязнения поверхностных проб выше, чем на глубине. Следует отметить, что в северном и юго-западном направлениях высокий уровень загрязнения почв, соответствующий опасной категории загрязнения, отмечается на глубине до 0,5 м. Высокий коэффициент корреляции выявлен для пары Zn – Pb как в поверхностных пробах ($r = 0,92$ при $P = 0,95$), так и на глубине ($r = 0,81$ при $P = 0,95$). Такая же закономерность прослеживается между элементами Ni – Cu $r = 0,77$, $r = 0,78$ (при $P = 0,95$) для поверхностных и глубинных проб соответственно. В поверхностных горизонтах выявлена также сильная зависимость для Cu – Zn $r = 0,76$, Cu – Pb $r = 0,84$, Cu – Cd $r = 0,74$, Pb – Ni $r = 0,74$ (при $P = 0,95$), для всех остальных элементов выявлена средняя степень корреляции (Zn – Cu, Zn – Cd, Pb – Cd, Ni – Cd). При этом корреляция между одним и тем же элементом на поверхности и на глубине не высока, только для Cd $r = 0,51$ (при $P = 0,95$) и Ni $r = 0,65$ (при $P = 0,95$) выявлена средняя степень корреляции, для остальных элементов зависимость слабая. Средняя степень зависимости в глубинных пробах выявлена между Zn – Ni $r = 0,56$ Zn – Cu $r = 0,64$ (при $P = 0,95$), для всех остальных элементов корреляция слабая.

Анализ уровня загрязнения почв с учетом функционального зонирования показал, что наиболее подвер-

жены загрязнению почвы зоны многоэтажной жилой застройки, особенно в Новолипецком микрорайоне, который вплотную подходит к НЛМК. Так из 7 пробных площадок 6 относятся к категории «опасная» и только одна – к «допустимому» уровню загрязнения. Максимальные концентрации зафиксированы в санитарно-защитной зоне НЛМК, но при этом средние уровни чуть ниже, чем в зоне многоэтажной жилой застройки. В половине проб обнаружены «опасные» категории загрязнения, при этом 10 пробных площадок из 12 попадают одновременно в зону СЗЗ и зону заказника «Липецкий», который практически со всех сторон опоясывает комбинат. Почвы рекреационных зон города также испытывают значительную нагрузку, так в парках, лесопарках и зонах отдыха обнаружено по 3 точки «опасной» и «умеренно опасной» категории загрязнения, а также одна «чрезвычайно опасная» – в сквере им. Крупской в Левобережной части города. К «допустимому» уровню загрязнения относятся 9 площадок отбора, не смотря на высокую концентрацию тяжелых металлов, что связано с суглинистым гранулометрическим составом обследованных почв. Зона заказника «Липецкий» выделена в отдельную категорию, так как уровень загрязнения значительно меньше, чем в зоне рекреации, всего 2 зоны с «опасной» категорией загрязнения и 5 с «умеренно опасной», они расположены вблизи ЦПМШ НЛМК, 4 зоны отнесены к категории «допустимая». В зоне индивидуальной жилой застройки и деловой зоне, половина пробных площадок отнесена к «допустимой» категории, другая половина – к «умеренно опасной», только одна проба из деловой зоны относится к «опасной» категории загрязнения.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. В почвах города Липецка содержание валовых и подвижных форм Zn, Pb, Cd, Ni и Cu крайне неравномерно. Обнаружены превышения ОДК 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. Доля подвижных форм от валовых составляет в среднем для кадмия – 27 %, свинца – 8 %, цинка – 7 %, меди – 4 %, никеля – 2 %. Превышения ПДК содержания металлов подвижных форм не выявлено, за исключением свинца в пробе, отобранной в сквере им. Крупской – 4,8 ПДК.

2. По величине суммарного показателя загрязнения относительно регионального фона с учетом токсичности металлов только 38 % обследованных почв соответствует допустимому уровню загрязнения. Наиболее подвержен загрязнению Левобережный округ города и микрорайон

Новолипецкий, где выявлен максимальный $Zc_p^1 - 175$, соответствующий категории загрязнения «чрезвычайно опасная». 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.

3. Северное, северо-западное и северо-восточное направления от НЛМК наиболее загрязнены. Эти направления попадают в обширную зону жилой застройки, т.к. основная часть города расположена к северу от комбината, а Новолипецкий микрорайон вплотную подходит к границам НЛМК. Севернее жилой застройки расположены сельскохозяйственные угодья разного назначения, которые также попадают в зону влияния НЛМК. В связи с этим необходим комплекс мер направленный на ремедиацию почвенного покрова в первую очередь в районах жилой застройки.

4. Основным источником поступления тяжелых металлов в почвы города Липецк является аэротехногенный, что подтверждается профилем распределением металлов. В почвах северного и северо-западного направлений на глубине 0,2-0,5 м выявлены превышения ОДК, что связано с низкой буферной способностью почв легкого гранулометрического состава и длительным периодом поступления загрязняющих веществ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

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*, 2020, № 1, с. 55-58.

2. Водяницкий Ю.Н. Тяжелые металлы и металлоиды в почвах. Москва: ГНУ Почвенный институт им. В.В. Докучаева РАСХН, 2008. с. 85.

3. Водяницкий Ю.Н., Ладонин Д.В., Савичев А.Т. Загрязнение почв тяжелыми металлами: учебное пособие. Москва, 2012. 304 с.

4. Карташова Н.П., Свиридова Ю.С. Санитарно-защитные зоны промышленных предприятий (на примере Новолипецкого металлургического комбината) // *Материалы международной научно-практической конференции МЦНС «Наука и просвещение»*, 2021, с. 50-54.

5. Клепиков О.В., Куролап С.А., Седых В.А. Мониторинг и оценка канцерогенных рисков для здоровья населения города Липецка, обусловленных загрязнением атмосфер-

ного воздуха // *Региональные геосистемы*, № 45 (2), 2021, с. 236-245.

6. Лебедев И.В., Каманина И.З., Каплина С.П. Содержание тяжелых металлов в водотоках города Липецк // *Вестник Воронежского государственного университета. Серия: География. Геоэкология*, 2022, № 1, с. 74-82.

7. Национальный атлас почв Российской Федерации под общей редакцией члена-корреспондента РАН С.А. Шобы. – URL: <https://soil-db.ru/soilatlas/avtory> (дата обращения: 10.01.2023). – Текст: электронный.

8. Особенности распределения тяжелых металлов в почвах сельскохозяйственных угодий в зоне воздействия Липецкой промышленной агломерации / Д.Н. Курбаков, В.К. Кузнецов, В.С. Анисимов, К.В. Петров // *Агробиологический вестник. Серия Агробиология*, 2017, № 6, с. 10-13.

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> (дата обращения: 1.03.2023). – Текст: электронный.

10. Почвы Липецкой области: монография / Ю.И. Сискевич, В.А. Никоноренков, О.В. Долгих и др. Липецк, 2018. 209 с.

11. Правила охраны почв на территории города Липецка // *Решение липецкого городского совета депутатов № 154 от 01.11.2005*. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/440579627> (дата обращения: 1.03.2023). – Текст: электронный.

12. 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.

13. СанПиН 1.2.3685-21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания» от 28.01.2021. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/573500115?marker=6560IO> (дата обращения: 1.03.2023). – Текст: электронный.

14. Седых В.А. Содержание тяжелых металлов в почвенном покрове города Липецка // *Вестник Воронежского государственного университета. Серия: География. Геоэкология*, 2022, № 4, с. 126-130.

15. Состояние и охрана окружающей среды Липецкой области в 2019 году // *Доклад Управления экологии и природных ресурсов Липецкой области*, 2020, с. 15-18.

16. СП 11-102-97 Инженерно-экологические изыскания для строительства от 15.08.1997. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/871001220> (дата обращения: 1.03.2023). – Текст: электронный.

Конфликт интересов: Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

Поступила в редакцию: 25.01.2024

Принята к публикации: 02.12.2024

Ecological and Geochemical Condition of Soils in the City of Lipetsk

I. Z. Kamanina^{1,2}✉, I. V. Lebedev^{1,2}, S. P. Kaplina^{1,2}, A. I. Ukolova¹, P. V. Lepeskina

¹Dubna State University, Russian Federation

(19, Universitetskaya str., Dubna, Moscow region, 141982)

²Joint Institute for Nuclear Research, Russian Federation

(6, Joliot-Curie str., Dubna, Moscow Region, 141980)

Abstract. The purpose of this study is to monitor soils and identify areas of negative impact of industrial enterprises of the city of Lipetsk.

Materials and methods. The content of gross and mobile forms of heavy metals of hazard classes 1 and 2 (Zn, Pb, Cd, Ni, Cu) was studied by atomic absorption method. Soil contamination was evaluated in relation to sanitary-hygienic and ecological-geochemical indicators, taking into account toxicity of elements.

Results and discussion. One third of samples exceeded the UEC for one or more heavy metals. Using statistical methods of results processing and calculation of the total pollution index with a correction factor for toxicity of elements, the zones most exposed to soil pollution in the city of Lipetsk were identified.

Conclusions: The soils of Lipetsk are significantly polluted with heavy metals. The influence of Novolipetsk Metallurgical Plant on the level of soil pollution is shown. Pollution levels up to extremely dangerous categories have been recorded.

Key words: soil pollution, Lipetsk city, heavy metals, impact of the enterprise, Novolipetsk Metallurgical Plant.

For citation: Kamanina I. Z., Lebedev I. V., Kaplina S. P., Ukolova A. I., Lepeskina P. V. Ecological and Geochemical Condition of Soils in the City of Lipetsk. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Geografija. Geoekologija*, 2024, no. 4, pp. 140-148 (In Russ.) DOI: <https://doi.org/10.17308/geo/1609-0683/2024/4/140-148>

REFERENCES

1. Vershinin V. V., Galaganova L. A. Kratkij analiz dinamiki sodержaniya mikroelementov i tjazhelyh metallov v pochvah Lipeckoj oblasti [A brief analysis of the dynamics of the content of trace elements and heavy metals in the soils of the Lipetsk region]. *Mezhdunarodnyj sel'skohozjajstvennyj zhurnal. Seriya: nauchnoe obespechenie i upravlenie agropromyshlennym kompleksom*, 2020, no. 1, pp. 55-58. (In Russ.)
2. Vodjanickij Ju. N. *Tjazhelye metally i metalloidy v pochvah* [Heavy metals and metalloids in soils]. Moscow: GNU Pochvennyj institut im. V. V. Dokuchaeva RASHN, 2008. s. 85. (In Russ.)
3. Vodjanickij Ju. N., Ladonin D. V., Savichev A. T., Zagrzaznenie pochv tjazhelymi metallami: uchebnoe posobie [Soil pollution by heavy metals: a textbook]. Moscow, 2012. 304 p. (In Russ.)
4. Kartashova N. P., Sviridova Ju. S. Sanitarno-zashhitnye zony promyshlennyh predpriyatij (na primere Novolipeckogo metallurgicheskogo kombinata) [Sanitary protection zones of industrial enterprises (on the example of the Novolipetsk Metallurgical Plant)]. *Materialy mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoj konferencii MCNS «Nauka i prosveshhenie»*, 2021, pp. 50-54. (In Russ.)
5. Klepikov O. V., Kurolap S. A., Sedyh V. A. Monitoring i ocenka kancerogennyh riskov dlja zdorov'ja naselenija goroda Lipecka, obuslovlennyh zagrzazneniem atmosfernogo vozduha [Monitoring and assessment of carcinogenic risks to the health of the Lipetsk city population caused by atmospheric air pollution]. *Regional'nye geosistemy*, no. 45 (2), 2021, pp. 236-245. (In Russ.)
6. Lebedev I. V., Kamanina I. Z., Kaplina S. P. Soderzhanie tjazhelyh metallov v vodotokah goroda Lipeck [The content of

heavy metals in the watercourses of the city of Lipetsk]. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Geografija. Geoekologija*, 2022, no. 1, pp. 74-82. (In Russ.)

7. Nacional'nyj atlas pochv Rossijskoj Federacii pod obshhej redakciej chlena-korrespondenta RAN S. A. Shoby. – URL: <https://soil-db.ru/soilatlas/avtory> (accessed 10.01.2023). – Text: electronic. (In Russ.)

8. Osobennosti raspredelenija tjazhelyh metallov v pochvah sel'skohozjajstvennyh ugodij v zone vozdejstvija Lipeckoj promyshlennoj aglomeracii [Features of the distribution of heavy metals in the soils of agricultural lands in the zone of influence of the Lipetsk industrial agglomeration] / D. N. Kurbakov, V. K. Kuznecov, V. S. Anisimov, K. V. Petrov. *Agrohimicheskij vestnik. Seriya Agroekologija*, 2017, no. 6, pp. 10-13. (In Russ.)

9. List of background soil indicators of Lipetsk // Order of the head of the city of Lipetsk No. 1183-r dated May 29, 2007. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/440579213> (accessed 1.03.2023). – Text: electronic. (In Russ.)

10. *Pochvy Lipeckoj oblasti: monografija* [Soils of the Lipetsk region: monograph] / Ju. I. Siskevich, V. A. Nikonorenkov, O. V. Dolgih i dr. Lipeck, 2018. 209 p. (In Russ.)

11. Rules for soil protection in the city of Lipetsk // Decision of the Lipetsk City Council of Deputies No. 154 dated 11/01/2005. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/440579627> (accessed 1.03.2023). – Text: electronic. (In Russ.)

12. Prohorova T. V., Kuznecov V. K., Sanzharov A. I. Monitoring zagrzaznenija agroekosistem v zone vozdejstvija Lipeckoj promyshlennoj aglomeracii [Monitoring of pollution of agroeco-



systems in the impact zone of the Lipetsk industrial agglomeration]. *Aktual'nye problemy gumanitarnyh i estestvennyh nauk*, 2015, no. 10-1, pp. 41-44. (In Russ.)

13. SanPiN 1.2.3685-21 «Hygienic standards and requirements for ensuring the safety and (or) harmlessness of environmental factors for humans» dated 01/28/2021. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/573500115?marker=6560IO> (accessed 1.03.2023). – Text: electronic. (In Russ.)

14. Sedyh V.A. Soderzhanie tjazhelyh metallov v pochvennom pokrove goroda Lipecka [The content of heavy metals in the soil cover of the city of Lipetsk]. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta. Seria: Geografija. Geojekologija*, 2022, no. 4, pp. 126-130. (In Russ.)

Каманина Инна Здиславовна

Кандидат биологических наук, доцент кафедры экологии и наук о Земле факультета естественных и инженерных наук государственного университета «Дубна», г. Дубна, Российская Федерация, ORCID: 0000-0001-9186-8689, e-mail: kamanina@uni-dubna.ru

Лебедев Иван Владимирович

Аспирант государственного университета «Дубна» по направлению геоэкология, г. Дубна, Российская федерация. ORCID: 0000-0002-5510-3459, e-mail: Lebedev.ru.com@yandex.ru

Каплина Светлана Петровна

Доцент кафедры экологии и наук о Земле факультета естественных и инженерных наук государственного университета «Дубна», г. Дубна, Российская федерация, ORCID: 0000-0003-1323-6349, e-mail: sv_kap@mail.ru

Уколова Алена Игоревна

Магистр государственного университета «Дубна» по направлению экология и природопользование, г. Дубна, Российская федерация, ORCID: 0009-0003-8826-507X, e-mail: Alka2417@mail.ru

Лепешкина Полина Владимировна

Магистр государственного университета «Дубна» по направлению экология и природопользование, г. Дубна, Российская федерация, ORCID: 0009-0001-0488-1875, e-mail: lpv.18@uni-dubna.ru

15. Sostojanie i ohrana okruzhajushhej sredy Lipeckoj oblasti v 2019 godu [The state and environmental protection of the Lipetsk region in 2019]. *Doklad Upravljenija jekologii i prirodnyh resursov Lipeckoj oblasti*, 2020, pp. 15-18. (In Russ.)

16. SP 11-102-97 Engineering and environmental surveys for construction dated 08/15/1997. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/871001220> (accessed 1.03.2023). – Text: electronic. (In Russ.)

Conflict of interests: The authors declare no information of obvious and potential conflicts of interest related to the publication of this article.

Received: 25.01.2024

Accepted: 02.12.2024

Inna Z. Kamanina

Cand. Sci. (Biol.), Assoc. Prof. at the Department of Ecology and Earth Sciences, Faculty of Natural and Engineering Sciences, Dubna State University, Dubna, Russian Federation, ORCID: 0000-0001-9186-8689, e-mail: kamanina@uni-dubna.ru

Ivan V. Lebedev

Postgraduate student at the Dubna State University in the field of geocology, Dubna, Russian Federation, ORCID: 0000-0002-5510-3459, e-mail: Lebedev.ru.com@yandex.ru

Svetlana P. Kaplina

Cand. Sci. (Biol.), Assoc. Prof. at the Department of Ecology and Earth Sciences, Faculty of Natural and Engineering Sciences, Dubna State University, Dubna, Russian Federation, ORCID: 0000-0003-1323-6349, e-mail: sv_kap@mail.ru

Alena I. Ukolova

Master's student at Dubna State University in the field of ecology and nature management, Dubna State University, Dubna, Russian Federation, ORCID: 0009-0003-8826-507X, e-mail: Alka2417@mail.ru

Polina V. Lepeshkina

Master's student at Dubna State University in the field of ecology and nature management, Dubna State University, Dubna, Russian Federation, ORCID: 0009-0001-0488-1875, e-mail: lpv.18@uni-dubna.ru