

УДК 504.75

DOI: <https://doi.org/10.26456/2226-7719-2026-1-24-33>

Анализ техногенного загрязнения тяжёлыми металлами почвенного покрова г. Дубны

О.Ю. Сурсимова., Л.В. Муравьева

ФГБОУ ВО «Тверской государственный университет», г.Тверь

Изучен уровень загрязнения почвенного покрова г. Дубны тяжёлыми металлами и мышьяком при помощи АЭС-ИЭС анализа. Выявленные поллютанты, относящиеся к 1 и 2 классам опасности и превышающие ПДК, составили следующий ряд техногенного накопления: As>Zn>Cd>Co>Cu>Cr. На основании расчета суммарного показателя загрязнения почв установлены зоны города с опасным уровнем и умеренно-опасным уровнями загрязнения ($Z_c=37$).

Ключевые слова: Тяжелые металлы, техногенное загрязнение, почвы, АЭС-ИЭС анализ, промышленные предприятия, суммарный показатель загрязнения.

Введение. За последние годы проблема техногенной нагрузки на окружающую среду стала особенно острой. Основными источниками негативного воздействия являются транспортные средства, теплоэлектростанции и производственные комплексы, включая предприятия оборонной промышленности. Интенсивная хозяйственная деятельность и накопление промышленных отходов приводят к значительному загрязнению почвы тяжёлыми металлами, представляющими серьёзную опасность для местной экосистемы и здоровья жителей.

На территории г. Дубны выделяется несколько крупных промышленных зон. На западе в левобережной части города сосредоточены градообразующие предприятия машиностроительного комплекса, такие как – АО «ГосМКБ «Радуга» им. А. Я. Березняка», ОАО «Дубненский машиностроительный завод» и другие. В правобережной части – промзона «Александровка», где расположен ряд предприятий различного профиля: ОАО «Волжский электромеханический завод», ОАО «Автобаза №5», «Инпрус», МП «Дорожное ремонтно-строительное управление», АО «Строймаш». На юге города и на востоке 2 промышленные площадки объединённого института ядерных исследований (ОИЯИ).

© Сурсимова О.Ю.,
Муравьева Л.В., 2026

Цель работы – изучить уровень содержания тяжелых металлов и мышьяка в поверхностном слое почв в различных районах г. Дубна и оценить уровень техногенного загрязнения.

Методика исследования. Изучение состояния почв в г. Дубна проводилось в осенний период 2024 г. Образцы почв (ТО 1–12) отобрали по стандартной методике [1;3]. В качестве фоновых значений используется региональный средний показатель [4, 5]. Оценку уровня техногенного загрязнения в почве производили на основании нормативных документов [3].

На основе данных о хозяйственной инфраструктуре города [2], определили 12 точек отбора (ТО) проб почв (см. рис. 1), где расположены крупные промышленные предприятия, объекты транспортной инфраструктуры. Основным генетическим типом почв города являются дерново-подзолистые почвы, имеющие невысокое плодородие, для них характерно низкое содержание гумуса, валовых форм элементов питания, а также наличие высокой кислотности [1, 8]. Отбор проб проводился на глубину 5–10 см, что позволяет проанализировать аэрогенные переносы загрязняющих веществ. Всего было отобрано 180 проб, для исследования количественного содержания 23 элементов, в том числе таких, как цинк, медь, свинец, хром, кадмий, кобальт и мышьяк (Ш). Выбор этих элементов обусловлен Санитарно-эпидемиологическими требованиями к качеству почвы [7], где указан стандартный перечень исследуемых загрязнителей, кроме того данные элементы относятся к 1 и 2 классам опасности. Определялись их валовые концентрации на атомно-абсорбционном спектрометре «КВАНТ–2АТ» [6]. Валовое содержание металлов в почве — это общее количество элементов в твёрдой фазе почвы, измеренное в мг/кг сухой массы. Этот показатель характеризует общую загрязнённость почвы, но не отражает степень доступности элементов для растений [9].

С целью оценки уровня загрязнения почвы города рассчитывался коэффициент концентрации и индекс техногенного загрязнения (Z_c) территории по формулам:

$$K_{ci} = C_i / C_{пдki}; K_{ci} = C_i / C_{ифон}$$

$$Z_c = \sum K_{ci} - (n - 1), \text{ где}$$

K_{ci} – коэффициент концентрации i -го элемента;

$\sum K_{ci}$ - сумма коэффициентов содержания элементов, величина которых превышает значение 1,5;

n - число элементов с $K_{ci} > 1,5$;

C_i – фактическое содержание i -го элемента в почве;

$C_{ифон}$ – фоновое содержание i -го элемента в почве.

Таблица 1

Результаты анализа содержания валовых форм исследуемых элементов в дерново-подзолистых почвах г. Дубна, мг/кг.

№ участка	Pb	Zn	Cu	As	Cd	Cr	Co	Al	B	Ba	Ca	Fe	K	Li	Mg	Mn	Mo	Na	Ni	Sn	Sr	Ti	V
лб 1	4,26	10,46	3,94	0	0,12	9,36	1,06	1750	9,12	8,4	1031,4	2474	275,6	0,96	562,4	123,2	0,14	6,9	2,08	6,14	3,76	27,8	51,2
лб 2	10	18,62	6,56	13,9	0,16	9,66	1,16	1466	12,16	10,26	1598,6	2770	207,6	0,98	446,6	75,96	0,16	10,18	3,28	7,4	6,86	29,3	51,3
лб 3	9,92	15,7	6,26	7,34	0,18	13,52	0,88	2526	11,1	11,68	609	2896	215,2	1,06	355,4	54,58	0,26	24,14	5,38	7,8	3,36	41,6	56,6
бв 1	14,42	107,78	11,24	15,3	0,56	17,26	3,18	4396	11,42	35,4	26020	8202	837,2	6,18	3004	212,4	0,42	70,8	7,16	76,02	30,24	164	0
бв 2	5,66	26,5	4,42	9,76	0,3	14,7	2,54	3338	7,9	22,96	14986	5994	819,6	4,32	2922	276	0,22	72,18	4,64	23,5	14,9	140	7,48
бв 3	5,06	34,04	4,9	0	0,24	15,06	1,92	2484	6,76	19,76	16108	5162	779,6	4,92	2546	174,8	0,24	94,06	5,36	20,1	19,6	140	6,82
ич 1	25,58	186,7	15,94	29,4	0,68	31,82	5,88	10242	19,62	58,86	18300	12504	1980	12,64	3322	323,4	0,88	611,6	11,86	127,5	32,3	398	7,5
ич 2	12,68	84,1	8,06	23,3	0,68	37,4	6,26	14586	20,58	68,32	5954	13124	2406	14,74	2626	569,4	0,78	166,3	11	131,8	27,58	404	12,1
ич 3	22,9	143,76	18	36,1	0,94	39,34	7,64	14810	25,86	83,48	7916	14350	2568	15,74	2896	849	0,82	111,7	14,48	145,9	26,22	447	12,4
чр 1	13,54	107,3	14,56	16,3	0,44	15,24	2,88	4494	9,56	40,04	11962	6872	844,8	5,58	2332	220,2	0,4	77,5	7,8	64,38	22,04	147	0
чр 2	8,36	33,04	5,36	2,58	0,24	10,94	2,18	2546	6,66	16,98	15024	5276	498,8	3,56	2580	214,6	0,2	67,24	5,4	47,38	18,06	152	0
чр 3	9,92	120,22	16,22	15,6	0,52	19,3	4,16	6018	13,7	37,1	27960	10052	1757	10,4	3274	215,8	0,72	179,4	10,42	100	32,42	294	0
фон	16	137,5	16	6	0,8	20	5,5	30000	17,5	300	2750	650	12500	27,5	5500	250	3	2750	8,5	40	175	3000	150

Результаты исследования. Анализ содержания металлов проводился по 23 элементам (см. табл.1). В ходе работы были выбраны наиболее токсичные химические элементы, относящихся к 1 и 2 классам опасности и превышающие показатели ПДК, и фоновые значения. Таким характеристикам соответствуют следующие элементы свинец, цинк, медь, мышьяк, кадмий, хром, кобальт.

Свинец. Содержание свинца в почвах на исследуемой территории варьируется в пределах от 4,26 до 25,58 мг/кг. Среднее содержание свинца можно оценить, как умеренное, учитывая, что большинство значений находятся в диапазоне 10–20 мг/кг. Превышение предельно допустимой концентрации (ПДК) = 25,7 мг/кг, не фиксируется ни в одном из исследуемых районов города Дубна. Фоновое значение концентрации свинца в дерново-подзолистых почвах Подмосковья равно 16 мг/кг, следовательно, точки отбора проб «Ич.1» – 25,58 мг/кг и «Ич.3» – 22,9 мг/кг превышает региональный фон.

Цинк. Содержание цинка в почвах г. Дубна лежит в диапазоне от 10,46 до 186,7 мг/кг почвы, в среднем 98,58 мг/кг, что превышает ПДК/ОДК=50, а также фоновые значения в 2 раза. Наиболее высокие показатели отмечены в районах правобережной части города, таких как «Большая Волга», «Институтская Часть», «Черная Речка». В районе «Большая Волга», максимальная концентрация установлена в точке «Бв.1» – 107,78 мг/кг, что превышает ПДК/ОДК более чем в 2 раза, что вероятно также связано с расположенной вблизи железнодорожной станции «Большая Волга» г. Дубна или с находящимся рядом АЗС «Лукойл» и «Роснефть», вокруг которых формируются интрузёмы, пропитанные масляно-бензиновыми жидкостями. В районе «Институтская часть» результаты исследования демонстрируют критические показатели содержания цинка в почве, такие как в точке «Ич.1» – 186,7 мг/кг; в точке «Ич.2» – 84,1 мг/кг; в точке «Ич.3» – 143,76 мг/кг. Значение в точке «Ич.1», вероятно связано с влиянием промышленных отходов, поступающих от завода «Руспромтехнология», занимающегося металлургией и металлообработкой, а также с влиянием ОИЯИ (Объединенного института ядерных исследований). Высокие показатели в точке «Ич.3» вероятно связано с влиянием NICA (сверхпроводящим коллайдером протонов и тяжелых ионов). К объектам загрязнения почвы, в данном районе, можно отнести железнодорожную станцию «Дубна», расположенную недалеко от точки проб «Ич.2». В центре города, районе «Черная Речка», показатели ниже чем в «Институтской части», но весьма внушительные, они варьируются от 33,04 до 120,22 мг/кг, что также сильно превышает ПДК/ОДК в точках «Чр.1» и «Чр.3». Причиной данного загрязнения могут являться бытовые и строительные отходы, выбросы автотранспорта. Точка «Чр.2»

расположена в парковой зоне, ее значение не превышает предельно допустимую концентрацию цинка.

Медь. Содержание меди в почвах г. Дубна изменяется от 3,94 до 18 мг/кг, составляя в среднем 10,97 мг/кг, что не превышает ПДК/ОДК=27 мг/кг. Распределение меди в точках отбора схоже с показателями свинца, максимальные концентрации наблюдаются в районах «Институтская Часть» и «Черная Речка» (18 мг/кг и 16,22 мг/кг), и незначительно превышают региональный фон равный 16 мг/кг.

Мышьяк. Данный элемент относится к наиболее токсичным загрязнителям, превышение его значения фиксируется практически во всех точках отбора, за исключением точек «ЛБ.1», «Бв.3» равных 0, и точке «Чр.2» = 2,58 мг/кг. Наибольшие концентрации мышьяка отмечены в 3-х точках района «Институтская Часть» и составляют 29,38; 23,34; 36,06 мг/кг. Данные значения критично превышают ПДК/ОДК=3 мг/кг, возможно причиной тому являются промышленная деятельность города, а также ОИЯИ (Объединенный институт ядерных исследований) и НИСА (сверхпроводящий коллайдер протонов и тяжелых ионов), в работе которых образуются радиоактивные отходы, имеющие негативное воздействие на окружающую среду. В точках «Левобережного района», высокие концентрации мышьяка, вероятно связаны с воздействием предприятия по производству высокотехнологичных беспилотных авиационных комплексов, системы навигации и наземного управления АО «Кронштадт», находящийся рядом с точкой «ЛБ.2». В точке «ЛБ.3», концентрация мышьяка несколько меньше (7,6 мг/кг), но в два раза превышает ПДК. Причиной загрязнения, в данном месте отбора проб, может являться деятельность промышленных предприятий, таких как АО «ГосМКБ «Радуга» им. А. Я. Березняка», ОАО «Дубненский машиностроительный завод». В районе «Черная Речка», наблюдаются превышения ПДК/ОДК в точках «Чр.1» и «Чр.3». Источником в первой точке отбора, может являться испытательный полигон АО «НПК Дедал», а источников в точке «Чр.3» – строительные и демонтажные работы в этой черте города, или использование пестицидов и гербицидов для газонов и клумб, для борьбы с вредителями или сорняками. В районе «Большая Волга», максимальное значение, превышающее ПДК/ОДК, отмечается в точке «Бв1» -15,26 мг/кг, в точке «Бв.2» концентрация ниже – 9,76 мг/кг. Это может быть связано с выхлопными газами большого потока автомобилей, в данной части города.

Фоновое значение концентрации мышьяка в почвах Подмосковья, выше ПДК/ОДК, его значение равно 6 мг/кг, но практически во всех точках отбора проб наблюдается превышение фона в 3–5 раз.

Кадмий. Содержание кадмия в почвах города Дубна, изменяется от 0,12 до 0,94 мг/кг, что в среднем составляет 0,53 мг/кг, превышая тем самым ПДК/ОДК=0,3 мг/кг. Указанные значения зафиксированы в таких

точках отбора проб, как: «Бв.1», «Ич.1», «Ич.2», «Ич.3», «Чр.1», «Чр.3», концентрация кадмия в точке «Бв.2» равна ПДК/ОДК.

В районе «Большая Волга» превышение ПДК/ОДК отмечается только в точке «Бв.1» – 0,56 мг/кг, расположенной вблизи железнодорожной станции «Большая Волга» г. Дубна. Использование данного элемента в электрифицированных железнодорожных системах, в контактных поводах и рельсах, покрытиях и сплавах, приводит к загрязнению почвы. В следующих точках данного района показатели стремительно уменьшаются, и не превышают санитарно-гигиенические нормативы содержания кадмия. Самые высокие концентрации вновь замечены в районе «Институтская часть», где все 3 точки превышают ПДК/ОДК, значения находятся в диапазоне от 0,68 до 0,94 мг/кг. Источниками загрязнения в данном районе, являются выше перечисленные ОИЯИ (Объединенный институт ядерных исследований), выбросы которого, возможны при работе ускорителей и других установок, NICA (сверхпроводящий коллайдер протонов и тяжелых ионов), а также железнодорожная станция «Дубна», расположенная недалеко от точки проб «Ич.2». В районе «Черная Речка», наблюдаются высокие показатели кадмия в точках «Чр.1» = 0,44 мг/кг и «Чр.3» = 0,52 мг/кг. В первом случае, источником загрязнения, вероятно является предприятие по производству электронных печатных плат ООО «Ядро ФАБ Дубна». Во втором – неправильная утилизация строительных или бытовых отходов, автотранспорт в черте города, или удобрения и пестициды, содержащие кадмий, используемые для городских насаждений и клумб.

Фоновое значение концентрации кадмия в дерново-подзолистых почвах Подмосковья примерно равно 0,8 мг/кг, превышение этого значения зафиксировано в «Ич.3» – 0,94 мг/кг.

Хром. Содержание хрома в почвах города Дубна не превышает ПДК/ОДК=46 мг/кг, но фоновое значение концентрации = 20 мг/кг превышает в точках отбора проб во всех трех точках района «Институтская часть».

Кобальт. Уровень концентрации кобальта в городе Дубна можно оценить, как умеренный, среднее значение элемента на исследуемой территории, равно 4,26 мг/кг, что соответствует ПДК/ОДК = 7,2 мг/кг. Единственная точка отбора проб, где выявлено превышение значения - «Ич.3» = 7,64 мг/кг. Загрязнение окружающей среды в данной точке, вероятно связано с лабораторными и промышленными выбросами предприятий района «Институтская часть». Фоновое значение концентрации кобальта в дерново-подзолистых почвах = 5,5 мг/кг превышают уже все три точки этого района.

Таблица 2

Результаты расчета уровней суммарных показателей загрязнения для каждой точки отбора проб тяжелых металлов в почве г. Дубна

№ участка	Суммарный показатель загрязнения	Уровни суммарных показателей загрязнения
Лб 1	0	допустимый
Лб 2	2,32	допустимый
Лб 3	0	допустимый
Бв 1	26,52	умеренно опасный
Бв 2	15,02	допустимый
Бв 3	0	допустимый
Ич 1	35,57	Опасный
Ич 2	31,52	умеренно опасный
Ич 3	37,11	Опасный
Чр 1	19,26	умеренно опасный
Чр 2	0	допустимый
Чр 3	2,6	допустимый

Таким образом, полученные данные свидетельствуют наличии достаточно высоких показателей содержания тяжелых металлов в почве г. Дубна. Для выявления зон экологического риска были рассчитаны суммарные показатели загрязнения почв (табл.2).

1. «Допустимый уровень загрязнения» был выявлен в следующих точках: «Лб 1», «Лб 2», «Лб 3», «Бв 2», «Бв 3», «Чр 2», «Чр 3». В этих точках значения СПЗ не превышают 16, что свидетельствует об отсутствии значительного загрязнения тяжелыми металлами.

2. «Умеренно опасный уровень загрязнения» обнаружен в точках: «Бв 1» (СПЗ = 26.52); «Ич 2» (СПЗ = 31.52); «Чр 1» (СПЗ =19.25). В этих пробах превышены ПДК и фоновые концентрации таких элементов, как: As, Ca, Fe, Sn, Cr и Mn, что требует внимания и возможного мониторинга.

3. «Опасный уровень загрязнения» зафиксирован в точках: «Ич 1» (СПЗ =35.57) и «Ич 3» (СПЗ=37.11). Здесь значительно превышены концентрации As, Fe, Sn, Cr и Mn, что указывает на серьезное загрязнение и необходимость принятия мер по снижению негативного воздействия на окружающую среду и здоровье людей.

Выводы. В результате проведенного анализа были выявлены «критически загрязненные зоны почвенного покрова города»: район "Институтская часть", «Берег Волги» и «Черная речка». На данных участках расположены такие промышленные предприятия как, «ОИЯИ», ООО «Ядро ФАБ Дубна», железнодорожная станция «Дубна». Здесь наблюдается значительное превышение регионального фона и

нормативов ПДК/ОДК, для мышьяка (As) - 12 ПДК, кадмия (Cd) - 3 ПДК и цинка (Zn) – 3 ПДК. Наибольшие значения зафиксированы в точках отбора проб района «Институтская часть». Содержание свинца (Pb), меди (Cu), хрома (Cr) и кобальта (Co) в почвах во всех районах оставалось в пределах ПДК, но превышало фоновые значения.

Допустимый уровень суммарного показателя загрязнения почв наблюдается во всех участках района «Левый берег», умеренно-опасный и опасный уровни загрязнения зафиксирован во всех точках «Институтской части», где значительно превышены концентрации As, Fe, Sn, Cr и Mn, что указывает на серьезное загрязнение и необходимость принятия мер по снижению негативного воздействия на окружающую среду и здоровье людей.

Список литературы

1. Важенин И. Г. Методические рекомендации по обследованию и картографированию почвенного покрова по уровням загрязнения промышленными выбросами. М.: Почвенный инст. им. В.В. Докучаева. 1987. 25 с.
2. Генеральный план г.о. Дубна, утвержденный решением Совета депутатов г.о. Дубна от 30.01.2025 №РС7-1(8)-2/1. [Электронный ресурс] // Режим доступа: https://naukograd-dubna.ru/activities/development?ysclid=m9pn0vbviw134414219&utm_referrer=https://yandex.ru/&tab=tab163.
3. ГОСТ 17.4.3.06-2020 — межгосударственный стандарт «Охрана природы. Почвы. Общие требования к классификации почв по влиянию на них химических загрязняющих веществ».
4. Касимов Н.С., Кошелева Н.Е., Корляков И.Д. и др. Влияние застройки на загрязнение городских почв тяжелыми металлами в восточной Москве // Доклады Рос. научно-тех. общества радиотехники, электроники и связи имени А.С. Попова. Материалы Междунар. симп. «Инженерная экология-2017» Москва, 5–7 декабря 2017 г. Сер. Инженерная экология. Вып. IX. М., 2017. С.54–71.
5. Мейсурова А.Ф. Техногенное загрязнение почв тяжелыми металлами в г. Твери // Вестник ТвГУ. Серия "Биология и экология". 2017. №2. С. 324–342.
6. Методика выполнения измерений содержания элементов в твердых объектах методами спектрометрии с индуктивно связанной плазмой Санкт-Петербург, 2005.
7. Постановление Главного государственного санитарного врача РФ от 17.04.2003 N 53 (ред. от 25.04.2007) "О введении в действие СанПиН 2.1.7.1287-03" (вместе с "СанПиН 2.1.7.1287-03. Почва, очистка населенных мест, бытовые и промышленные отходы, санитарная охрана почвы. Санитарно-эпидемиологические требования к качеству почвы. "Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы", утв. Главным государственным санитарным врачом РФ 16.04.2003) (Зарегистрировано в

Минюсте РФ 05.05.2003 N 4500) // [Электронный ресурс] // Режим доступа: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_42140/0f2c83293ee24db4945148425ff5da7fb369bdf1.

8. Степанова М. В., Остапенко В. А., Каледин А. П. Содержание тяжёлых металлов и мышьяка в почвах сельскохозяйственного назначения. ФГБОУ ВО «Ярославская» - ГСХА, ФГБОУ ВО МГАВМиБ – МВА им. К.И. Скрябина, ФГБОУ ВО РГАУ – МСХА им. К.А. Тимирязева, 2020. 16 с.
9. Чернова О. В., Безуглова О. С. Опыт использования данных фоновых концентраций тяжелых металлов при региональном мониторинге загрязнения почв // Почвоведение. 2019. № 8. С. 1015–1026.

Об авторах:

СУРСИМОВА Ольга Юрьевна – кандидат биологических наук, доцент, заведующий кафедрой физической географии и экологии. ФГБОУ ВО «Тверской государственный университет» (170021, г. Тверь, Прошина, д. 3, корп. 2, e-mail: voroni-olga@yandex.ru), ORCID: 0000-0002-0993-3144, SPIN-код: 4111-8066.

МУРАВЬЕВА Любовь Валерьевна – кандидат географических наук, доцент кафедры физической географии и экологии ФГБОУ ВО «Тверской государственный университет» (170021, г. Тверь, Прошина, д. 3, корп. 2, e-mail: lmuraviova@mail.ru), ORCID: 0000-0002-6434-2056, SPIN-код: 4091-7957.

Analysis of technogenic heavy metal pollution of Dubna soil cover

O.Yu. Sursimova, L.V. Muravyeva

Tver State University, Tver

The level of pollution of Dubna's soil cover with heavy metals has been studied using NPP-IES analysis. The identified pollutants belonging to hazard classes 1 and 2 and exceeding the maximum permissible concentration were the following series of anthropogenic accumulation: As>Zn>Cd>Co>Cu>Cr. Based on the calculation of the total indicator of soil pollution, the city's zones with dangerous levels and moderately dangerous levels of pollution ($Z_c=37$) have been established.

Keywords. Heavy metals, man-made pollution, soils, NPP-IES analysis, industrial enterprises, total pollution index.

Рукопись поступила в редакцию 9.02.2026

Рукопись принята к печати 16.02.2026