

## ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА СЕЗОННЫХ МУНИЦИПАЛЬНЫХ ОТХОДОВ НА ОСНОВЕ ОПАЛОЙ ЛИСТВЫ ЗОН ЗЕЛЕННЫХ НАСАЖДЕНИЙ ГОРОДА ДНЕПРОПЕТРОВСК

Материалы исследований относятся к вопросам экологической безопасности и утилизации отходов городских систем. В статье представлены результаты эколого-токсикологической оценки класса опасности отходов опалой листвы, основанные на атомно-адсорбционных исследованиях содержания соединений тяжелых металлов в их составе. Результаты исследований, представленные в статье, можно использовать для обоснования упрощенной схемы обращения с отходами опалой листвы при их утилизации народным хозяйством Украины.

Матеріали досліджень відносяться до питань екологічної безпеки та утилізації відходів міських систем. У статті представлено результати еколого-токсикологічної оцінки класу небезпеки відходів опалого листя, які базуються на атомно-адсорбційних дослідженнях вмісту сполук важких металів у складі цього відходу. Результати дослідження, наведені у статті, можливо використовувати для обґрунтування спрощеної схеми поводження з відходами опалого листя при їх утилізації народним господарством України.

The studies relate to environmental safety and recycling of urban systems waste. The results of environmental and toxicological assessment by hazard's class of waste based on fallen leaves of trees were presented in the article. Research have based on atomic absorption studies the content of toxic metal compounds in their composition. The results of studies can be used to justify the simplified scheme of fallen leaves waste on disposal of the national economy of Ukraine.

**Введение.** Жизнедеятельность человека в рамках городских систем неразрывно связана с образованием и накоплением отходов. При этом проблема сбора и утилизации муниципальных отходов с каждым годом становится все более актуальной. Необходимость сбора и захоронения отходов, токсическое воздействие их компонентов на все природные системы, борьба с последствиями традиционных методов утилизации – все это лишь малая часть проблем, затрагивающих состояние урбозкосистем и их экологическую безопасность. В контексте сказанного, комплексные подходы к обращению и экологической оценке технологий утилизации отходов городских систем являются наиболее актуальными в современных условиях Украины.

**Актуальность исследования и анализ публикаций.** Значительный интерес с позиции экологической безопасности, устойчивого развития и рационального природопользования представляют сезонные отходы зон зеленых насаждений города – опавшие листья. Эти отходы обладают большим, до сих пор не изученным, потенциалом использования в качестве вторичного сырья. В последние несколько лет возрос интерес государства к проблемам экологической оценки опавших листьев и технологий их вторичного использования. Ярким доказательством актуальности подобных исследований является государственный интерес к разработке рекомендаций по утилизации данного типа отходов [4]. При этом проблема утилизации опавших листьев не является новой. Успешно внедрены технологии переработки опалой листвы в органические удобрения и почвенные мелиораты [5]. Широко применяются технологии производства ис-

кусственных почв на основе биологических отходов зеленых насаждений [6]. Известны технологии получения топливных брикетов на основе опалой листвы и сопутствующих отходов [7].

Несмотря на возрастающий интерес к технологиям утилизации отходов опавшей листвы, использование отходов в качестве вторичного сырья жестко регламентируется действующим законодательством Украины [8]. Наиболее важным регламентирующим показателем является уровень токсического воздействия компонентов отходов на компоненты окружающей среды. В отечественной и зарубежной литературе [9-11] неоднократно изучались вопросы накопления токсических компонентов (химические соединения тяжелых металлов (далее ТМ) в частности) природными экосистемами и искусственными зелеными насаждениями. Некоторые исследования [12, 13] детально рассматривают эффекты накопления ТМ антропогенного происхождения в компонентах зеленых насаждений промышленных городов и города Днепропетровск в частности [14, 15]. Несмотря на большой объем накопленных знаний об антропогенном загрязнении зон зеленых насаждений города, большинство исследований посвящено эффектам миграции и перераспределения ТМ в объектах экосистем. Исследования опалой листвы с позиции оценки класса опасности отходов в современной научной литературе представлены малыми разрозненными и противоречивыми данными. Таким образом, нарастающий спрос на опавшую листву – как источник вторичного сырья, и его большой промышленный потенциал определяют актуальность и необходимость исследования данного вида отходов на предмет установления класса его эколого-токсикологической опасности.

В контексте сказанного выше **целью** представленной работы является определение класса опасности сезонных отходов зон зеленых насаждений города с высоким антропогенным загрязнением. Для реализации поставленной цели в работе выполнены следующие задачи:

- Структурирование и классификация мест образования и накопления опалой листвы по степени антропогенного загрязнения;
- Качественная и количественная оценка химических компонентов в составе отходов опалой листвы;
- Эколого-токсикологический анализ воздействия опалой листвы на урбо-экосистемы с последующим определением класса опасности отхода этого типа.

**Объект исследования.** В качестве объектов исследования выбран один из видов коммунальных отходов – опавшая листва различных зон зеленых насаждений города Днепропетровска. С учетом возможного происхождения, данные отходы классифицированы в соответствии с Б.6 ДК 005-96 как:

- отходы коммунальные смешанные (КОД 7720.3.1.01);
- отходы, полученные от чистки улиц (КОД 7720.3.1.03), с сезонным периодом образования и накопления.

В рамках работы для установления класса опасности выбраны отходы опалой листвы садово-парковых культур, характерных для зеленых насаждений города Днепропетровска. Среди объектов исследования выделены отходы опалой листвы следующих видов: Робиния псевдоакация (*Robínia pseudoacácia*),

Вяз гладкий (*Ulmus laevis*), Липа крупнолистная (*Tilia platyphyllos*), Каштан конский (*Aesculus L.*), Клен остролистный (*Acer platanoides*) и Тополь (дельтовидный, *Populus L.*).

Отбор проб отходов произведен в период с октября по ноябрь 2011 года в соответствии с требованиями ГОСТ 17.4.3.01-83. Усреднение в местах отбора проб выполнено методом «конверта» при площади квадрата от 25 м<sup>2</sup>.

Для отбора выбраны площадки зеленых насаждений трех типов: парковые зоны, придомовые зеленые зоны (зоны жилой застройки), зеленые зоны вблизи городских автодорог. Наименование и gps-координаты выбранных площадок для отбора проб отходов представлены в табл. 1. Для определения gps-координат использовался приемник Garmin eTrex марки H, отклонение результатов измерений точки в системе координат определено в пределах 20...35 м (n=3, P=0,95).

Таблица 1

Идентификационная таблица мест отбора проб отходов

КОД	Тип и название зеленой зоны	Координаты GPS
Парковые зоны		
П1	парк Студенческий городок ДНУЗТ	48°26'14.97"N 35°02'54.80"E
П2	парк им. Гагарина	48°25'57.47"N 35°02'28.19"E
П3	Севастопольский парк	48°26'47.48"N 35°03'39.17"E
П4	пл. Октябрьская	48°27'28.14"N 35°04'03.11"E
П5	парк им. Шевченко	48°27'42.30"N 35°04'14.31"E
П6	о. Комсомольский	48°28'00.46"N 35°04'26.71"E
П7	парк им. Л. Глобы	48°28'17.89"N 35°01'49.44"E
П8	парк Калинина	48°28'22.84"N 35°00'24.78"E
Зеленые зоны жилой застройки		
Ж1	ж.м. Побада-4	48°25'12.40"N 35°03'58.85"E
Ж2	ж.м. Тополь-1	48°24'41.26"N 35°01'45.96"E
Ж3	ж.м. Тополь-4	48°23'51.95"N 35°01'32.09"E
Ж4	ул. Рабочая	48°26'29.13"N 34°59'48.00"E
Ж5	пр. Гагарина	48°25'31.94"N 35°01'50.26"E
Ж6	ул. Кирова	48°27'44.99"N 35°01'35.00"E
Зеленые зоны мест с высоким транспортным напряжением		
T1	ул. Пушкина	48°27'58.21"N 35°01'30.11"E
T2	наб. им. Ленина	48°28'03.82"N 35°03'38.91"E
T3	пр. Карла Маркса	48°28'10.00"N 35°02'12.97"E
T4	пр. Карла Маркса	48°27'58.43"N 35°02'35.10"E
T5	пр. Кирова	48°26'19.74"N 35°00'53.84"E
T6	развилка ул. Титова и пр. Героев Сталинграда	48°25'47.08"N 35°01'01.78"E

**Методика проведения эксперимента.** Для эколого-токсикологической оценки уровня опасности объектов исследования использована стандартизированная методика ДСанПиН 2.2.7.029-99 [2]. Определение класса опасности отходов произведено расчетным методом по ПДК его химических компонентов в грунте. Данный выбор определяется фактом подавляющего захоронения отходов данной группы на полигонах ТБО и не противоречит п. 5.1.2 ДСанПиН 2.2.7.029-99.

Перечень ТМ, содержание которых определялось в рамках работы, составлен на основе рекомендаций отечественных и зарубежных исследований [3, 10-12] и известным данным [13-15] характерного компонентного загрязнения в рамках Приднепровской промышленной агломерации.

Содержание ТМ в пробах отходов определялось экспериментально, средствами атомно-адсорбционной спектроскопии в соответствии со стандартными методиками. Наименование методики выполнения измерений и некоторые важные показатели, детализированные по компонентам химического анализа, представлены в табл. 2.

Таблица 2

Методики выполнения измерений доли содержания тяжелых металлов  
в пробах отходов

Металл	Методика измерения	$\pm \square$ (P=0,95)	Диапазон измерения, мг/кг	Длина волны, нм	Ширина щели, нм
Mn	MBB 081/12-0181-05	26	$50 \dots 50 \cdot 10^4$	279,6	0,4
Cd	MBB 081/12-0167-05	31	$0,25 \dots 50 \cdot 10^4$	228,8	1,3
Ni	MBB 081/12-0168-05	30	$4,0 \dots 50 \cdot 10^4$	232,0	0,2
Fe	MBB 081/12-0168-05	24	$2,0 \dots 50 \cdot 10^4$	248,3	0,4
Pb	MBB 081/12-0292-06	17	$2,0 \dots 50 \cdot 10^4$	283,3	1,3
Cu	MBB 081/12-0168-05	22	$2,0 \dots 50 \cdot 10^4$	324,7	1,3
Zn	MBB 081/12-0168-05	22	$4,0 \dots 50 \cdot 10^4$	213,9	1,3

Атомизацию растворов соединений тяжелых металлов в вытяжках из проб отходов проводили в пламени ацетилен-воздушной смеси на атомизаторе спектрофотометра ААС-115 М с использованием пористого катода на соответствующий металл. Массовую долю ТМ в пробах отходов определяли расчетным методом, опираясь на результаты определения содержания металлов в рабочих растворах вытяжек. Серии экспериментов проводились в стандартных условиях микроклимата лаборатории: температура окружающей среды  $20 \pm 5$  °С, атмосферное давление 630...800 мм.рт.ст, относительная влажность воздуха не более 80 %.

Следует отметить, что содержание некоторых металлов в объектах исследования выходит за границы чувствительности методик, представленных в

табл. 2. Для данных случаев действительная подготовка проб включала этапы концентрирования пробы методами упаривания.

**Результаты атомно-адсорбционной спектроскопии проб отходов.** Класс опасности (токсичности) отхода напрямую связан токсикологическим воздействием (класс опасности) химических компонентов отхода и их миграционной способностью. Современные оценки [1, 2, 10, 11] уровней ПДК в грунтах в первую очередь различаются по лимитирующему показателю вредности соединений – способности загрязняющего вещества к миграции в условиях окружающей среды. Опавшая листва деревьев с одной стороны является компонентом экосистемы, следовательно, ее типичный качественный и количественный состав не составляет опасности, так как экосистема естественным образом способна усваивать это вид отходов. С другой стороны, антропогенное загрязнение вызывает качественное и количественное изменение химического состава опавшей листвы. В контексте сказанного можно предположить, что органические компоненты данного отхода не требуют изучения, а основную оценку экологической опасности следует производить по содержанию соединений тяжелых металлов.

В рамках работы изучалось несколько миграционных форм ТМ в пробах отходов опавшей листвы:

- валовая форма ТМ ( $W_{\text{вал.}}$ ) – кислотная вытяжка на основе смеси азотной кислоты и пероксида водорода;
- подвижная (в том числе транслокационная) форма ТМ ( $W_{\text{под.}}$ ) – кислая вытяжка на основе ацетатно-амонийного буферного раствора;
- водно-миграционная форма ТМ ( $W_{\text{вод.}}$ ) – водная вытяжка.

Результаты атомно-адсорбционной спектроскопии проб отходов представлены в табл. 3. Учитывая большой территориальный и ингредиентный охват объектов исследования, а также значительное количество однотипных проб в табл. 3 приведены усредненные результаты содержания ТМ в различных пробах, сгруппированных по местам их отбора (в соответствии с табл. 1). Для оценки вариации индивидуальных результатов этого усреднения в табл. 3 указано значение стандартного отклонения -  $S_{\text{г.с.}}$ . Оценка абсолютного отклонения результатов измерений выполнена в соответствии со стандартной ошибкой метода исследования  $\pm \square$  (табл. 1) при  $P=0,95$  и  $n=2$ .

**Обсуждение результатов экспериментов и расчет класса опасности отхода.** Исходя из результатов, представленных в табл. 3, можно сделать вывод: все пробы отходов опавших листьев содержат тяжелые металлы в различных миграционных формах. Стандартное отклонение полученных результатов, усредненных по группам мест отбора проб, колеблется в значительных пределах, но в большинстве случаев не превышает 10...20 %. Учитывая характер и метод постановки эксперимента (большое количество мест отбора проб и случайный характер их выбора), полученные усредненные показатели можно считать приемлемыми для дальнейших расчетов класса опасности отходов.

Таблица 3

Обобщенные показатели содержания тяжелых металлов в отходах опалых  
листьев, мг/кг

ТМ	W <sub>вал.</sub>	±Δ <sub>вал.</sub>	S <sub>г.с.</sub>	W <sub>под.</sub>	±Δ <sub>под.</sub>	S <sub>г.с.</sub>	W <sub>вод.</sub>	±Δ <sub>вод.</sub>	S <sub>г.с.</sub>
Место отбора проб: КОД табл. 1 – П1...П8								нг.с.=16	
Pb	12,9471	2,2010	6,2276	0,0003	0,0001	0,0002	0,0001	0,0000	0,0002
Cd	0,9853	0,3054	1,2050	0,0003	0,0001	0,0004	0,0001	0,0000	0,0002
Zn	20,9785	4,6153	2,3496	1,9775	0,4350	0,5126	0,0879	0,0193	0,0084
Cu	10,7348	2,3617	2,0074	0,3809	0,0838	0,1652	0,0288	0,0063	0,0146
Ni	14,8951	4,4685	2,9939	0,0105	0,0032	0,0030	0,0065	0,0019	0,0027
Mn	25,0383	6,5100	4,6822	5,0104	1,3027	2,4982	0,0055	0,0014	0,0055
Fe	38,9577	9,3498	14,998	21,357	5,1258	11,571	5,2681	1,2643	1,9703
Место отбора проб: КОД табл. 1 – Ж1...Ж6								нг.с.=12	
Pb	8,7895	1,4942	4,2277	0,0003	0,0001	0,0002	0,0001	0,0000	0,0001
Cd	0,5623	0,1743	0,6877	0,0001	0,0000	0,0002	0,0001	0,0000	0,0001
Zn	14,8598	3,2692	1,6643	1,5824	0,3481	0,4101	0,0801	0,0176	0,0038
Cu	8,5236	1,8752	1,5939	0,0313	0,0069	0,0136	0,0222	0,0049	0,0056
Ni	9,2514	2,7754	1,8595	0,0100	0,0030	0,0029	0,0058	0,0017	0,0012
Mn	15,0358	3,9093	2,8117	4,0910	1,0637	2,0398	0,0065	0,0017	0,0033
Fe	18,9786	4,5549	7,3067	11,853	2,8448	6,4221	4,8795	1,1711	0,9125
Место отбора проб: КОД табл. 1 – Т1...Т6								нг.с.=12	
Pb	12,9853	2,2075	11,063	0,0026	0,0004	0,0024	0,0001	0,0000	0,0000
Cd	3,5246	1,0926	4,0674	0,0190	0,0059	0,0253	0,0020	0,0006	0,0006
Zn	25,3659	5,5805	10,958	3,8524	0,8475	1,1996	1,1259	0,2477	0,1075
Cu	11,5862	2,5490	2,5837	0,5897	0,1297	0,2664	0,0205	0,0045	0,0049
Ni	16,8795	5,0639	4,8782	2,5684	0,7705	0,8553	0,8965	0,2690	0,0722
Mn	25,6853	6,6782	6,5754	6,0851	1,5821	2,8040	0,0129	0,0033	0,0080
Fe	58,9864	14,156	37,456	27,523	6,6057	20,362	8,9635	2,1512	5,7591

В табл. 4 представлены результаты расчетов класса опасности опалых листьев – как коммунальных или муниципальных отходов. Расчет выполнен в соответствии с п. 5.1.2 ДСанПіН 2.2.7.029-99. Для расчетов использованы результаты химического анализа отходов опалых листьев (табл. 3) и известные значения ПДК соответствующих металлов в почве [1, 2].

Анализ данных, представленных в табл. 4 показывает, что опалая листва относится к отходам IV класса опасности. Следует отметить, что суммарный индекс опасности отхода ( $K_{\text{сигма}}$ ) уменьшается в ряду: парковые зоны – жилые зоны – автотранспортные дороги. Поведение  $K_{\text{сигма}}$  является естественным – повышение уровня антропогенного загрязнения в районе зон зеленых насаждений увеличивает содержание тяжелых металлов. Значение  $K_{\text{сигма}}$  для проб опалых листьев, отобранных вблизи автотранспортных дорог, находится на границе III класса. Можно предположить, что с учетом абсолютной ошибки методик измерений ТМ и стандартного отклонения полученных усредненных результатов данный вид отходов следует отнести к опасным. Это исключает упрощенную схему дальнейшего использования (обращения) данных отходов в различных видах хозяйственной деятельности. Но, детальное рассмотрение данных табл. 4 показывает, что во всех случаях лимитирующими для расчета  $K_{\text{сигма}}$  яв-

ляются индексы токсичности ( $K_i$ ) химических компонентов III класса токсичности. При этом, содержание водорастворимых миграционных форм химических компонентов I и II класса токсичности на несколько порядков меньше значений соответствующих ПДК. Таким образом, можно утверждать, что опалая листва относится к отходам IV класса опасности независимо от уровня антропогенного загрязнения зон ее образования и накопления.

Таблица 4

Расчет класса опасности отходов опалых листьев

	Содержание металла, мг/кг (класс опасности)						
	Pb (I)	Cd (I)	Zn (I)	Cu (II)	Ni (II)	Mn (III)	Fe (III)
ПДК <sub>вал.</sub> , мг/кг	32,0					1500,0	1000,0
ПДК <sub>под.</sub> , мг/кг	6,0	0,5	23,0	3,0	4,0		
Отходы опалых листьев с мест отбора проб: П1...П8							
W <sub>вал.</sub> , мг/кг	12,9471	0,98532	20,9784	10,7348	14,8951	25,0382	38,9576
W <sub>под.</sub> , мг/кг	0,00032	0,00027	1,97745	0,38089	0,01053	5,01035	21,3577
W <sub>вод.</sub> , мг/кг	0,00010	0,00010	0,08791	0,02882	0,00645	0,00546	5,26810
K <sub>i</sub> (ПДК)	60000	5000	261,6	104,0	620,2	274725	189,8
K <sub>сигма</sub>	40,6						
Отходы опалых листьев с мест отбора проб: Ж1...Ж6							
W <sub>вал.</sub> , мг/кг	8,78950	0,56234	14,8597	8,52361	9,25142	15,03578	18,9785
W <sub>под.</sub> , мг/кг	0,00030	0,00012	1,58235	0,03125	0,01002	4,091035	11,8532
W <sub>вод.</sub> , мг/кг	0,00010	0,00010	0,08012	0,02215	0,00578	0,006460	4,87952
K <sub>i</sub> (ПДК)	60000	5000	287,1	135,4	692,0	232198	204,9
K <sub>сигма</sub>	69,7						
Отходы опалых листьев с мест отбора проб: Т1...Т8							
W <sub>вал.</sub> , мг/кг	12,9853	3,52458	25,3658	11,5862	16,8795	25,68531	58,9864
W <sub>под.</sub> , мг/кг	0,00256	0,01897	3,85236	0,58974	2,56842	6,085120	27,5236
W <sub>вод.</sub> , мг/кг	0,00010	0,00200	0,11258	0,02051	0,08965	0,012850	8,96351
K <sub>i</sub> (ПДК)	60000	250	204,3	146,3	44,6	116731	111,6
K <sub>сигма</sub>	33,6						

Как отмечалось выше, главная цель представленного исследования – изучить эколого-токсикологическую безопасность применения опалых листьев в качестве вторичного сырья. Результаты расчетов, представленные в табл. 4, это наглядно демонстрируют. Однако, данный анализ является неполным. Это связано с тем, что изучаемые отходы морфологически состоят из двух компонентов: листовые пластинки и пыль различной дисперсности на их поверхности. Учитывая перспективы промышленного использования данных отходов, необходимо знать уровень загрязнения непосредственно листовых пластинок – как потенциального вторичного сырья. Для реализации этой задачи был поставлен дополнительный эксперимент, в ходе которого пробы отходов опалой листвы

отмывались дистиллированной водой в два приема по 5 минут контакта пробы с растворителем при интенсивном перемешивании. Далее, полученные значения содержания тяжелых металлов (Wh) в образцах отмытых отходов сравнивались со значениями, приведенными в табл. 4 (W). Сравнение полученных результатов представлено в виде нормализованной гистограммы на рис. 1.

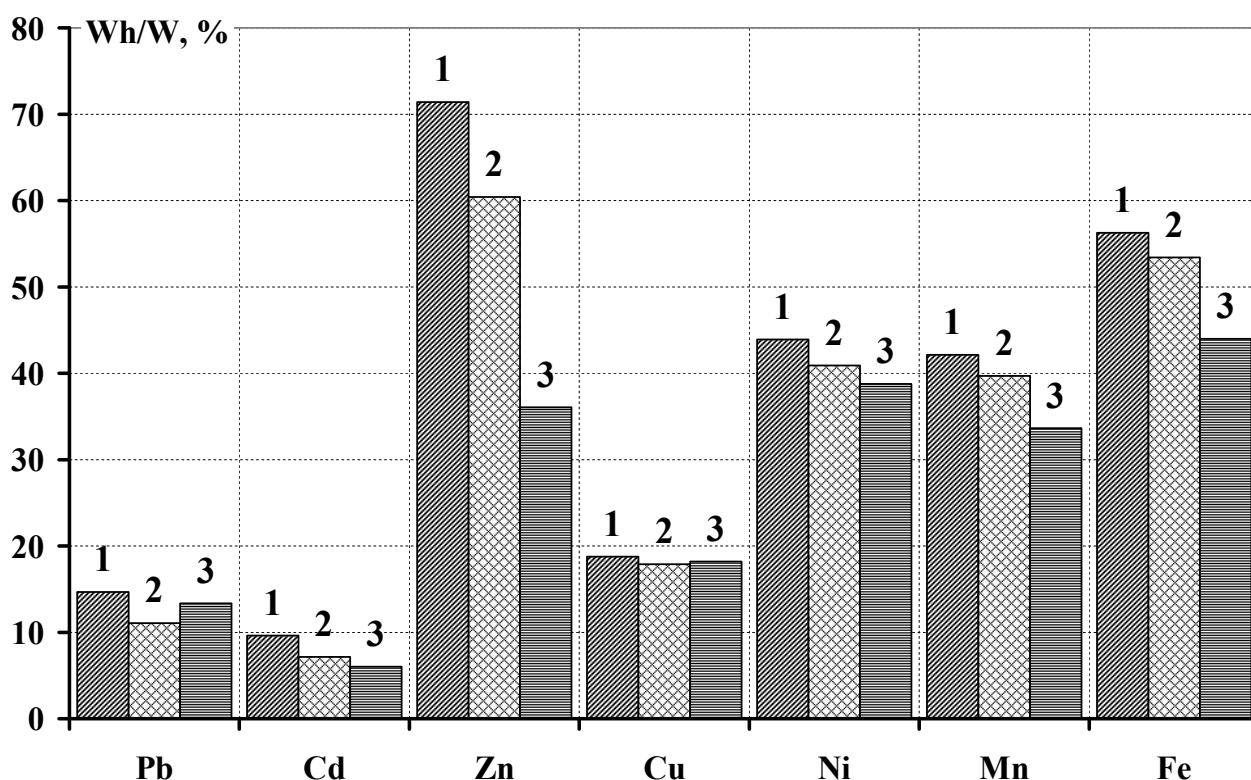


Рис. 1. Содержания тяжелых металлов (Wh, мг/кг) в пробах отмытых опавших листьев, нормализованное по исходному значению содержания тяжелых металлов (W, мг/кг): 1 – места отбора проб П1...П8, 2 – места отбора проб Ж1...Ж6, 3 – места отбора проб Т1...Т6 в соответствии с табл. 1.

Графические зависимости на рис. 1 показывают, что остаточное содержание ТМ в пробах отходов опавшей листвы после отмывки в среднем составляет 30...45 % от начального значения. Следовательно, естественная запыленность отходов оказывает доминирующее влияние на уровень их загрязнения тяжелыми металлами и на показатели их эколого-токсикологической безопасности. В подтверждение этой гипотезы следует отметить, что максимальное снижение содержания ТМ наблюдается для зон зеленых насаждений с наибольшим запылением (1 гистограммы на рис. 1). С учетом данных, полученных в дополнительном эксперименте, исследуемая опавшая листва относится к малоопасным отходам.

### Выводы.

1. Опавшая листва различных зон зеленых насаждений города Днепропетровска в соответствии с ДСанПіН 2.2.7.029-99 относится к отходам четвертого класса опасности.

2. Уровень антропогенного загрязнения в районе образования или накопления опавшей листвы оказывает влияние на количественные показатели за-



грязнения данных отходов тяжелыми металлами, но не влияет на общую эколого-токсикологическую оценку данного отхода.

3. Естественная запыленность опавшей листвы является лимитирующим фактором в оценке класса опасности данного отхода.

4. С эколого-токсикологической точки зрения опалую листву можно рекомендовать для использования в качестве вторичного сырья для нужд различных отраслей народного хозяйства.

5. Учитывая низкую экологическую опасность опалой листвы и ее высокий коммерческий потенциал, необходима разработка упрощенных схем обращения с отходами данного типа. По нашему мнению, это увеличит инвестиционную привлекательность утилизации данных отходов и уменьшит антропогенную нагрузку на городские системы.

#### Список литературы

1. Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в почве [Текст]: ГН 2.1.7.2041-06, утв. Пост. Глав. гос. сан. врача РФ № 1 от 23 января 2006 г, зарегистрировано в Минюсте РФ 7 февраля 2006 г. N 7470.

2. Гігієнічні вимоги щодо поводження з промисловими відходами та визначення їх класу небезпеки для здоров'я населення [Текст]: ДСанПіН 2.2.7.029-99, затв. Пост. Гол. держ. сан. Лікаря України № 29 від 01.07.1999.

3. Межгосударственный стандарт Почвы: Классификация химических веществ для контроля загрязнения [Текст]: ГОСТ 17.4.1.02-83, введен в действие 01.01.1985, редакция от 19.07.2010.

4. В Донецке готовят уникальный проект по утилизации опавших листьев [Текст]: Информационное сообщение от 23 Ноября 2011 / информационный сайт «Весь Донецк» - РИА «СССР», 2011 г., режим доступа <http://alldonetsk.com/news/514-v-donecke-gotovyat-unikalnyy-proekt-po-utilizacii-opavshih-listev.html>.

5. Патент № 27855 UA, МПК C05F 11/00 (2006). Спосіб отримання бактеріального добрива [Текст] / Кочка К.О. (UA) – заявник та патентовласник / Кочка К.О. (UA) - № u 200710769, заявл. 01.10.2007, опубл. 12.11.2007, бюл. № 18 – 4 с.

6. US Patent 5524423 US, Int.Cl. (2006) B65B 11/00, D65D 65/46, B65D 63/10, E04H 15/62. Composting and leaf collection kit and method [Text] / Inv. Reginald J. Haley (USA) – appl. No.:273851, filed Jul. 12, 1994; date of patent Jun. 11, 1996 – 5 p.

7. Leaf Log[Video]: BBC Breakfast News, 06:53, Sept. 15, 2011 / YouTube Inc. – URL: [http://www.youtube.com/watch?v=ekUPIocrWEM&feature=player\\_embedded#!](http://www.youtube.com/watch?v=ekUPIocrWEM&feature=player_embedded#!).

8. Про відходи [Текст]: Закон України від 05.03.1998 № 187/98-ВР [станом від 01.08.2012 – Закон України від 06.07.2012 № 5179-VI] // Відомості Верховної Ради України – 1998. - N 36-37. - ст.242.

9. Гуцуляк В. М. Ландшафтна екологія [Текст]: Геохімічний аспект [навч. пос.] / В. М. Гуцуляк – Чернівці: Рута, 2002. – 272 с. – ISBN 966-568-582-1.

10. Стеценко Д. О., Балансовий розподіл важких металів у компонентах лісової екосистемі [Текст] / Д. О. Стеценко, В. М. Смирнов., В. В. Долін // Збірник наукових праць Інституту геохімії навколишнього середовища. – 2007. – Вип. 15. – С. 109-114.

11. Мазуряк О. Т., Важкі метали у системі «грунтр-рослина» [Текст] / О. Т. Мазуряк, О. А. Мицук, С. В. Мідяний // Науковий вісник ЛНАВМ ім. С.З. Гжицького – 2007. – Том. 9, №2 (33), Ч. 3. – С.210-215.

12. Корнелю Н. М., Особливості біологічної акумуляції важких металів деревною рослинністю в умовах антропогенного тиску [Текст] / Н. М. Корнелю // Вісник Черкаського університету: Науковий журнал. – Черкаси. – Вип. 156. – Серія: Біологічні науки. – С. 31-37.

13. Бессонова В. П., Вміст важких металів у листі дерев і чагарників в умовах техногенного забруднення різного походження[Текст] / В. П. Бессонова, І. А. Зайцева // Питання біоіндикації та екології. – Запоріжжя: ЗНУ, 2008. – Вип. 13, № 2. – С. 62–77.

14. Якуба М. С. Вміст важких металів у компонентах поркових деревних угруповань м. Дніпропетровськ[Текст] / М. С. Якуба // Питанні степового лісознавства та рекультивації земель. – Дн-ськ: ДНУ. – 2011. – Вип. 40. - С.76-81.

15. Якуба М. С., Топологічні особливості накопичення важких металів у підстилки та опаді штучних насаджень Присамар'я Дніпровського[Текст] / М. С. Якуба // Екологія та ноосферологія. – 2008. – Т. 19. № 3-4. – С. 67-76.

*Рекомендовано до публікації д.т.н. Колесником В.Є.  
Надійшла до редакції 01.10.2012*

УДК 519.6

© Н.Н. Беляев, А.В. Берлов, А.И. Губин

## **МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОГРЕВА КОРПУСА ПЕРВОЙ СТУПЕНИ РАКЕТЫ РС-22 ПРИ ИНИЦИИРОВАННОМ ВОЗДЕЙСТВИИ**

Построена математическая модель прогрева корпуса первой ступени межконтинентальной стратегической ракеты РС-22. Расчет основан на применении структурного метода для решения задачи теплопроводности в составных конструкциях. Определено время прогрева корпуса ракеты до воспламенения твердого топлива.

Побудована математична модель прогріву корпусу першої ступені міжконтинентальної стратегічної ракети РС-22. Розрахунок ґрунтується на використанні структурного методу для розв'язання задачі теплопровідності в складених конструкціях. Визначений час прогріву корпусу ракети до запалювання твердого палива.

The mathematical model of warming up of corps the first stage of the intercontinental strategic rocket RS-22 is built. A calculation is based on application of structural method for the decision of task of heat conductivity in component constructions. Time of warming up of corps rocket to the self-ignition of hard fuel is found.

На Павлоградском химическом заводе (ПХЗ) хранится твердое топливо межконтинентальной баллистической ракеты РС-22 (рис.1).

Данная ракета являлась трехступенчатой и старт ее осуществлялся с железнодорожной платформы (рис.2). Наличие твердого ракетного топлива (ТРТ) на территории ПХЗ создает угрозу интенсивного загрязнения окружающей среды в случае аварийной ситуации на объекте [1,2]. Возгорание топлива, находящегося на хранении, возможно в случае внешнего воздействия (теракт, авария). Представляет большой практический интерес прогноз возможного загрязнения атмосферы и масштаба поражения при горении данного топлива [1-3].

**Цель и задачи исследований.** В настоящей работе рассматривается первый этап решения этой сложной задачи – расчет времени возгорания твердого ракетного топлива (ТРТ) при инициированном воздействии на корпус ракеты (рис.1).