

УДК 504.05

д.т.н. Дрозд Г. Я.

(ИСА и ЖКХ ЛНУ им. В. Даля, г. Луганск, ЛНР, drozd.g@mail.ru)

## ПОТЕНЦИАЛ РАЗВИТИЯ СЕКТОРА ОБРАЩЕНИЯ С ОТХОДАМИ НА ЛУГАНЩИНЕ

Рассмотрена проблема утилизации твёрдых бытовых и промышленных отходов в промышленном регионе Донбасса. В результате обобщения зарубежного опыта в сфере обращения с отходами и сопоставления с существующими региональными условиями обоснована необходимость и возможность создания специальной отрасли — сектора обращения с отходами. Показана потенциальная его эффективность как в экологическом, так и в экономическом аспектах: в сфере бытовых отходов только 30 % их объёма подлежит захоронению, а оставшаяся часть перерабатывается или в виде вторичных ресурсов стоимостью до 1 млрд рублей возвращается в хозяйственный оборот. В сфере промышленных отходов показана возможность создания шлакощелочной строительной индустрии, основанной исключительно на местных промышленных отходах для производства строительной продукции стоимостью десятки миллиардов рублей.

**Ключевые слова:** твёрдые бытовые и промышленные отходы, утилизация, экологическая безопасность, вторичное сырьё.

Одной из острейших проблем современности являются отходы. Сегодня она как никогда актуальна для возрождающихся в условиях войны самопровозглашённых республик Донбасса — ЛНР и ДНР. На данный момент на территории ЛНР площадью 8350 км<sup>2</sup> находится более 1,5 млрд т промышленных отходов, миллионы тонн привнесённых войной разрушений с ежегодным пополнением сотен тысяч тонн твёрдых бытовых отходов от 1,5-миллионного населения. Нагрузка по отходам достигает 110 тыс. т/км<sup>2</sup> (рис. 1).

Твёрдые бытовые отходы (ТБО) размещены в республике на 10 свалках, относящихся к районным центрам и городам, а также на более чем 60 свалках в сёлах и занимают общую площадь более 150 га. Самая большая свалка Луганщины — Луганский полигон ТБО — занимает особое место в теме экологии региона, т. к. эксплуатируется более 40 лет, что вдвое превышает нормативные сроки. Перед самой войной полигон был рекультивирован, оборудован системой сбора и утилизации свалочного газа, но... В результате боевых действий 2014–2015 гг. был разрушен и сейчас по необходимости вынужден принимать на захоронение образующиеся ТБО в виду отсутст-

вия иных мест захоронения. Сложившаяся в регионе экологическая ситуация обусловила незамедлительный поиск цивилизованного и эффективного решения проблемы отходов.

Цель работы — на основе анализа накопленного международного опыта в сфере обращения с отходами обосновать необходимость и эффективность создания специальной отрасли — сектора управления и обращения с отходами, — призванной повысить экологические, экономические и социальные аспекты региона.

**Обзор и обсуждение зарубежного опыта обращения с отходами.** Европейская система обращения с отходами прошла долгий путь. Её развитие можно представить в виде пяти этапов вертикального движения по лестнице Лансинка (рис. 2, а) от самого примитивного — захоронения отходов — до наиболее приоритетного — предотвращения их образования [10].

Промежуточные этапы характеризуются совершенствованием экологически безопасной системы обращения с отходами наряду с усложнением технологий и совершенствованием нормативно-правовой базы, а также с увязкой их эффективности и экономичности. К 2010 году уровень перера-

ботки отходов в странах ЕС заметно различался от незначительного до почти 100 % переработки (рис. 2, б), что связано как с различными стартовыми условиями и уровнем развития этих стран, так и с национальными требованиями к организации системы обращения с отходами.

Для достижения высокого, в сравнении с Украиной, уровня развития системы обращения с отходами Европе понадобилось около 40 лет. Эволюционный путь развития системы управления отходами на примере передовых стран Европы обобщён в таблице 1.

Как следует из таблицы, каждый этап обращения с отходами занимает примерно 5–7 лет. При этом в общем потоке отходов доля их захоронения сокращается, а доля переработки во вторичное сырьё или полезный продукт возрастает.

Примеряя на себя опыт стран с различным стажем в ЕС, можно утверждать, что на эво-

люционном пути возможно за довольно короткий срок совершить скачок в уровне развития системы обращения с отходами.

Для этого необходимо в первую очередь создать сектор обращения с отходами, координирующий организации, осуществляющие сбор и вывоз мусора, с организациями по его переработке и рынок отходов с присущим ему финансово-экономическим, организационно-административным и информационно-культурным обеспечением эффективного управления обращения ТБО [9].

Образование в регионе сектора обращения с отходами позволит решить ряд важнейших задач: улучшить экологическую ситуацию (что следует из снижения объёмов отходов), создать целую отрасль с предприятиями и новыми рабочими местами и дать толчок развитию экономики региона. Подтверждением таких ожиданий служит опыт других стран.

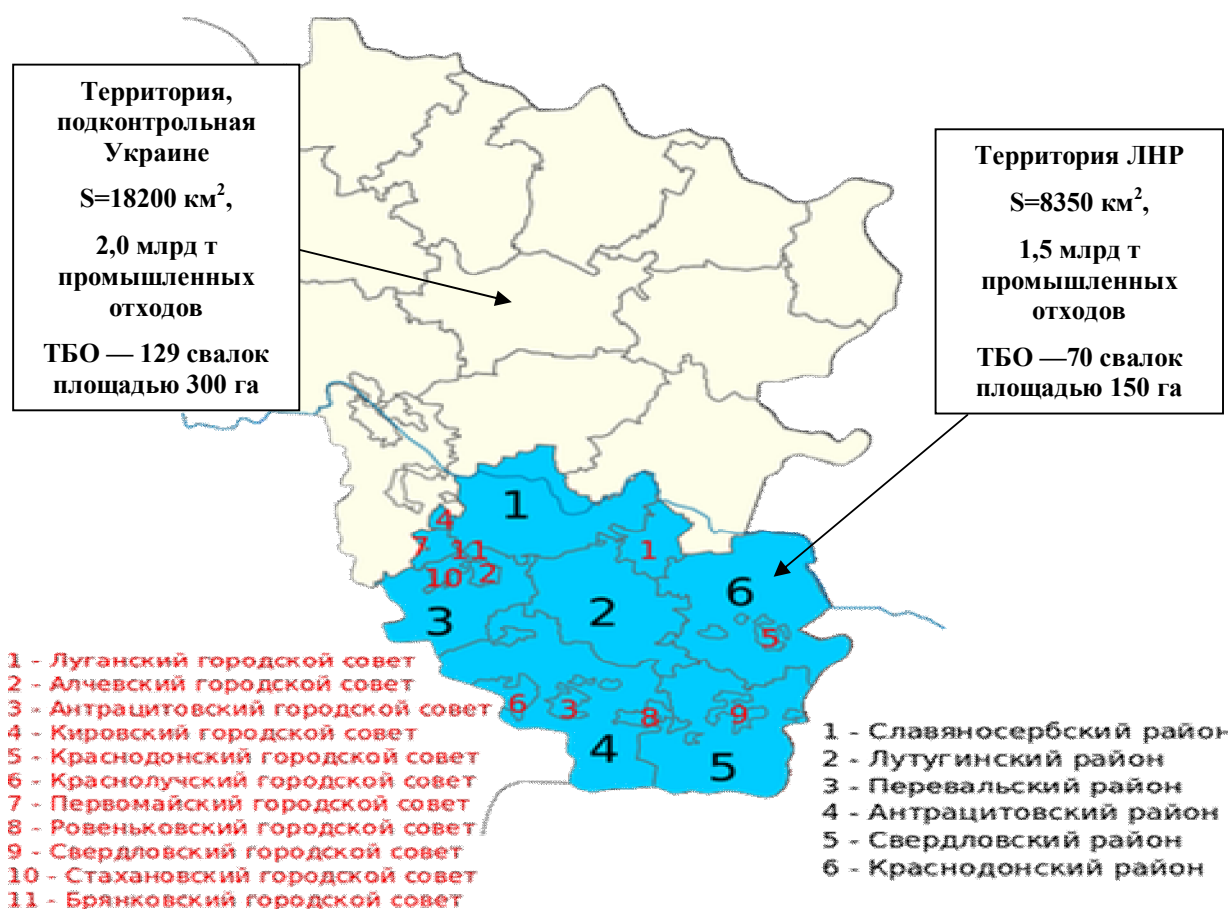


Рисунок 1 Карта-схема ЛНР

## СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА

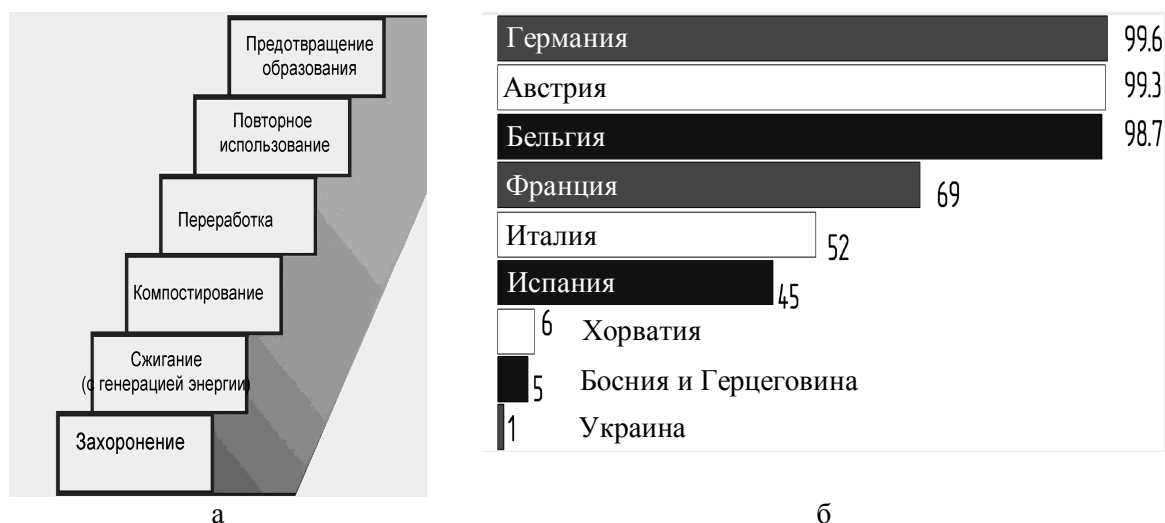


Рисунок 2 Основные этапы по обращению с ТБО (а) и уровень переработки отходов (%) в странах Европы (б)

Таблица 1

Эволюция системы управления и обращения с ТБО в Европе

Настоящее время	
Отказ от захоронения неинертных фракций	
Развитие программ предотвращения и минимизации отходов	
	2003 г.
Системы сбора свалочного газа	
Мусоросжигание с утилизацией энергии	
Раздельный сбор и глубокая переработка упаковки, электробытовых приборов, ламп, бытовых опасных отходов	
	1997 г.
Переработка отходов в энергию	
Раздельный сбор и масштабная глубокая переработка отходов упаковки	
	1990 г.
Региональные системы санитарных полигонов	
Мусоросжигание	
Пилотные проекты по сбору и переработке упаковки	
	1985 г.
Неконтролируемое захоронение на свалках	

Так, в г. Каире (Египет, население 8,1 млн человек, площадь 520 км<sup>2</sup>) люди, входящие в неформальный сектор, собирают третью часть отходов города (около 1 млн т/год). Только в одном районе города, Москаталия, расположено около 700 предприятий по сбору отходов. В этом процессе участвуют 80 посредников и 228 перерабатывающих производств [8].

В г. Мумбаи (бывший Бомбей, Индия, население 12,2 млн чел., площадь 620 км<sup>2</sup>)

горожане основали соседские ассоциации, которые собирают отдельно отходы — биоразлагающиеся и неразлагающиеся для компостирования и переработки. В ассоциации используется практика вермикомпостирования органических отходов и сотрудничество со старьевщиками для переработки других отходов. В настоящее время насчитывается около 650 таких ассоциаций, объединяющих 30000 чел.

Данная информация интересна тем, что 2,5 % населения города без господомощи поддерживает экономику и экологическую безопасность крупнейшего города.

Именно экономические стимулы позволяют гражданам отдельных стран поддерживать экологическую ситуацию крупнейших городов в надлежащем состоянии и иметь доход, позволяющий создать свой бизнес, содержать семью и налогами поддерживать государство.

Сравнивая подход к обращению с отходами передовых европейских и менее развитых стран, можно отметить их основное отличие: у первых присутствует системный *инновационный подход* с постоянным совершенствованием системы управления и технологий переработки, у вторых — чисто *инерционный экстенсивный* подход, но в обоих случаях определяющая роль принадлежит рынку отходов. Эффективность это-

го рынка тесно связана с отраслью (сектором экономики) обращения с отходами.

Экономическая эффективность утилизации ТБО является основой для разработки стратегии создания сектора обращения с отходами. Представляют интерес данные по эффективности различных способов утилизации ТБО, приведённые харьковскими специалистами (рис. 3) [2]. Эти данные свидетельствуют, что применяемый ныне метод полигонного захоронения ТБО является неприбыльным. Сжигание ТБО на заводах характеризуется незначительной прибылью (ввиду малой эффективности использования тепловой энергии и высокой стоимости необходимых очистных установок). Третий вариант обращения с ТБО, основанный на сортировке и отборе полезной части отходов и вводе их в хозяйственный оборот в качестве вторичного сырья, является наиболее оптимальным в экономическом плане.

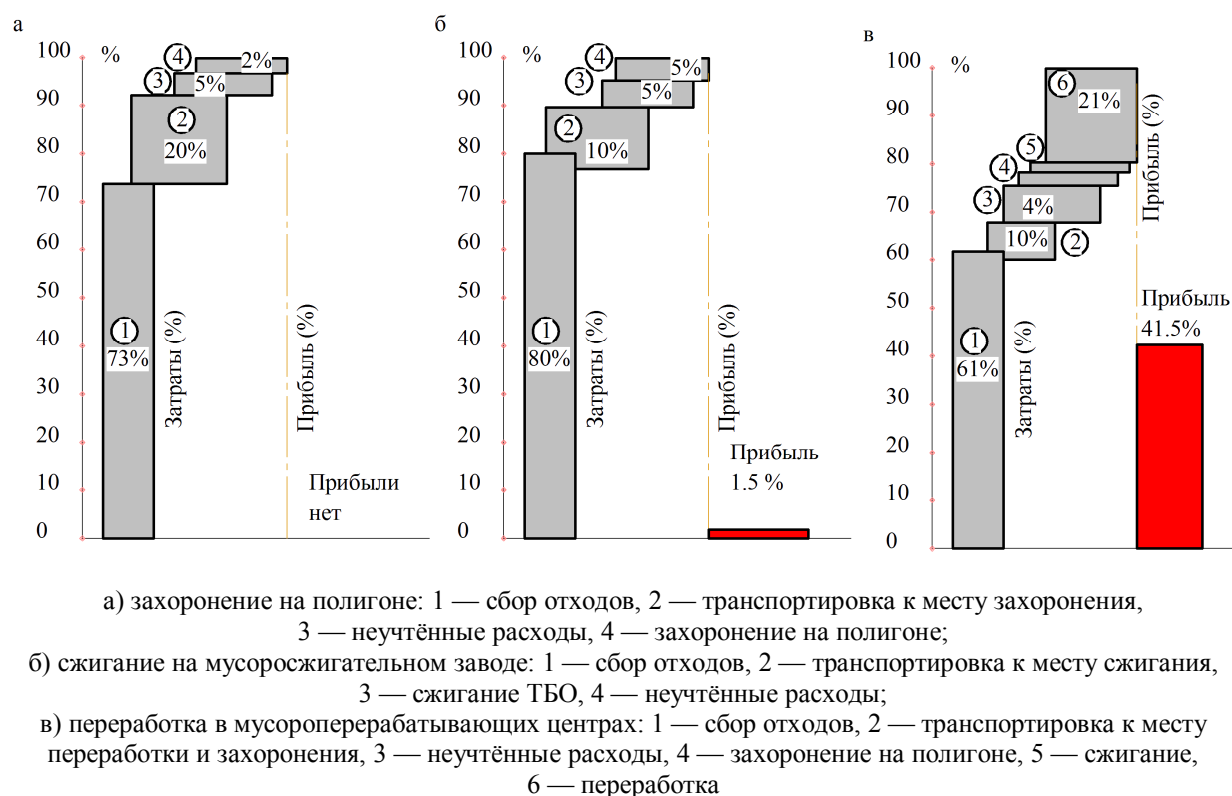


Рисунок 3 Экономическая эффективность различных способов утилизации ТБО

## СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА

Таким образом, аналогично зарубежному опыту, в регионе возможно и необходимо создание в сравнительно короткие сроки специализированной отрасли — сектора по управлению и обращению с отходами: координационного центра, системы сбора, транспортировки, заготовки, переработки и утилизации отходов с соответствующим законодательным сопровождением и финансовыми обязательствами, подчинёнными принципам экологической безопасности и экономической эффективности. Первейшей задачей для этого является информация о физическом объёме отходов.

**Инвентаризация отходов ТБО и потенциальные выгоды от их утилизации.** Согласно СНиП 2.07.01.89 (приложение 11) норма накопления ТБО на 1 жителя составляет 190–225 кг/год или 0,9–1,0 м<sup>3</sup>/год [12]. В соответствии с приведёнными нормами

проведена оценка образования ТБО в республике в целом (рис. 1).

Ежегодный прирост ТБО по городам и территориям ЛНР приведён в таблице 2. Таким образом, годовой прирост ТБО в ЛНР составляет более 1,5 млн м<sup>3</sup> по объёму, или более 300 тыс. т по массе. Что же делать с этим «богатством»? На рисунке 4 приведён морфологический состав отходов (ТБО) 10-летней давности в Донбассе.

Ориентируясь на усреднённый морфологический состав ТБО в крупных городах Донбасса, приведём количественно-видовой состав твёрдых бытовых отходов (табл. 3). Необходимо отметить, что приведённые данные приблизительны, т. к. не учтена сезонность и местные особенности образования отходов и их влажность. Тем не менее порядок величин даёт возможность осуществлять оценочные действия.

Таблица 2

## Образование ТБО объектами ЛНР

Объект		Наличное население, чел.	Масса отходов, т	Объём отходов, м <sup>3</sup>
1	Луганск	440 982	88 200	440 982
2	Красный Луч	120 135	24 020	120 135
3	Алчевск	107 984	21 600	107 984
4	Свердловск	96 074	19 200	96 074
5	Краснодон	101 076	20 200	101 076
6	Стаханов	89 117	17 820	89 117
7	Ровеньки	81 792	16 360	81 792
8	Антрацит	75 895	15 180	75 900
9	Брянка	51 813	10 360	51 813
10	Первомайск	37 706	7 540	37 706
11	Кировск	32 725	6 550	32 725
12	Перевальский р-н	69 116	13 830	69 116
13	Лутугинский р-н	65 470	13 100	65 470
14	Славиносербский р-н	53 465	10 700	53 465
15	Антрацитовский р-н	29 825	5 960	29 825
16	Краснодонский р-н	28 797	5 760	28 797
17	Свердловский р-н	11 610	2 300	11 610
18	Попаснянский р-н	5 927	1 190	5 930
19	Станично-Луганский р-н	2 734	500	2 730
20	<b>Всего по ЛНР</b>	<b>1502143</b>	<b>300270</b>	<b>1503000</b>

## СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА

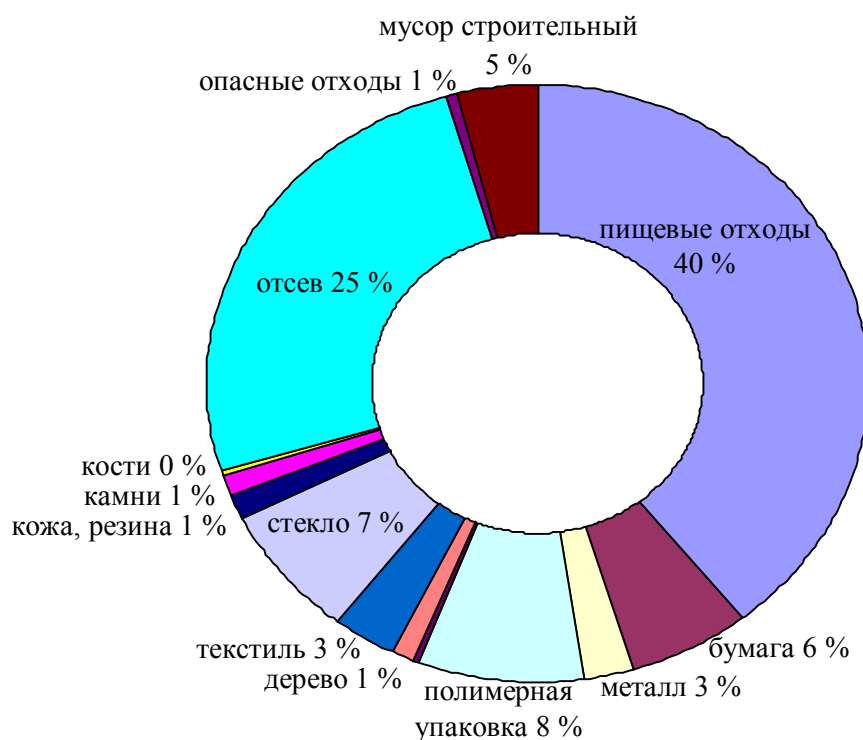


Рисунок 4 Усреднённый морфологический состав ТБО в крупных городах Донецкой области (2007 г.)

Таблица 3

Усреднённый годовой количественно-видовой состав твёрдых бытовых отходов в ЛНР

Фракция	Содержание, %	Масса, т
Пищевые отходы	40	120 000
Бумага	6	18 000
Металл	3	9 000
Полимерная упаковка, тара	8	24 000
Текстиль	3	9 000
Дерево	1	3 000
Резина, кожа	1	3 000
Строительный мусор	5	15 000
Опасные отходы	1	3 000
Стекло	7	21 000
Сор (смёт)	25	75 000

Весь объём отходов условно разделим на 3 потока, ориентируясь на способ их утилизации:

- 1) относительно инертный мусор — сорт + строительный мусор (суммарно 30 %);
- 2) органические биоразлагаемые отходы — пищевые (40 %);
- 3) вторичные отходы — металл, бумага и т. п. (30 %).

Инертный мусор на данном этапе можно отправлять на захоронение.

Для пищевых отходов существует классический опыт утилизации — компостирование с последующим использованием компоста в аграрном секторе. В приведённой выше таблице отсутствуют данные о коммунальных отходах — осадках сточных вод (ОСВ), образующихся на очистных соору-



## СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА

жениях канализации при очистке канализационных стоков. Только в Луганске ежегодно на иловых площадках образуется более 10 тыс. т таких осадков, а суммарно по республике — более 30 тыс. т. Повышенное содержание в осадках солей тяжёлых металлов ограничивает применение их в качестве

удобрений при использовании в сельском хозяйстве. Однако совместное их вермикомпостирование с пищевыми отходами позволяет получать почвогрунты, пригодные для использования в садовом хозяйстве и полеводстве, со свойствами, аналогичными компостным смесям (рис. 5; табл. 4, 5) [6, 7].



Рисунок 5 Компостирование отходов, вермикультура, вермикомпостирование, биогумус

Таблица 4

Стоимость компоста, почвогрунта (опт) [3]

№ п/п	Наименование	Цена за 1 м <sup>3</sup> , руб. (самовывоз)	Цена за 1 м <sup>3</sup> , руб. (доставка от 100 м <sup>3</sup> )	Цена с доставкой за машину 20 м <sup>3</sup> , руб.
1	Почвогрунт (чернозём + компост)	400	990	20000–22000
2	Почвогрунт «садовый» (чернозём + компост + песок)	400	1100	20000–22000
3	Чернозём (100 %)	500	1400	25000–28000
4	Компост (перегной)	400	980	20000–22000

## СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА

Таблица 5

Фасованная продукция [3]

№ п/п	Наименование	Цена за 5 кг (самовывоз с площадки), руб.	Цена за 1 мешок — 30 кг (самовывоз), руб.
1	Биогумус (вермикомпост)	70	250
2	Почвогрунт «садовый» (чернозём + компост +песок)	80	250

Эффект снижения опасности от действия тяжёлых металлов достигается за счёт эффекта *разбавления* (30 тыс. т ОСВ смешивается с 120 тыс. т пищевых отходов и *вермикомпостируется*). Вермикультура на 55 % снижает негативное действие токсиантов. При этом получают почвогрунт с насыпной плотностью 0,6–0,8 т/м<sup>3</sup> общей массой 150 тыс. т объёмом примерно 200 тыс. м<sup>3</sup>. Предприятие или ряд предприятий по производству компоста или почвогрунта желательно располагать на предприятиях водоканала (по опыту КП «Лугансквода»). Для вычленения пищевых отходов из общей массы ТБО необходимо проводить их ручную или механизированную сортировку.

Таким образом, реализация на рынке продукта переработки пищевых отходов в виде компоста, биогумуса или почвогрунта по самым скромным подсчётам составит более 100 млн рублей.

Большинство представленных в таблице 3 фракций (бумага, металл, стекло, резина, кожа, пластиковые материалы, некоторые опасные отходы) являются классическим вторичным сырьём. Оно может ис-

пользоваться на специализированных предприятиях по прямому назначению как сырьё, а при отсутствии таких предприятий — реализовываться через посредников (такими являются приёмные пункты вторсырья). Потребность во вторсырьё сформировала и цены на сырьё и определённые требования к его качеству, строго регламентируемые рынком вторичного сырья.

**Бумага.** Макулатура — очень популярный вид вторсырья. Цены на макулатуру в Украине очень разные и отличаются для каждого города. В основном за 1 кг макулатуры приёмные пункты предлагают от 40 коп. Цена зависит и от сорта бумаги, которых существует довольно много. В мелких розничных пунктах приёма обычно не особо уделяют внимание качеству материала и принимают обычно либо бумагу, либо картон. А вот если сдать макулатуру в Украине оптом, то тут цена зависит как от её сорта, так и от пункта приёма непосредственно (табл. 6).

Реализация на рынке вторичного сырья макулатуры по средней цене 1120 грн.×2=2240 руб. за тонну позволит получить 2240×18000=40,4 млн руб.

Таблица 6

Стоимость макулатуры в Украине [3]

Сорт макулатуры	За 1 кг, грн.	За 1 т, грн.
МС-1А	0,4–1,4	1100–2600
МС-2А	0,4–1,4	1000–2400
МС-3А	0,4–1,4	900–1400
МС-4Б	0,4–1,4	900–1500
МС-5Б	0,4–1,4	1100–1600
МС-6В	0,4–1,4	400–800



## СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА

**Металл.** Цена на металлолом в Украине зависит от качества материала, содержания в нём других веществ, а также от его объёма. Цены на лом различаются и зависят как от самого материала, так и от конкретного города и ценовой политики конкретного пункта. Приём металлолома оптом в Украине обходится дороже и является выгодной сделкой для обеих сторон (табл. 7, 8).

Реализация на рынке вторичного сырья чёрных металлов по средней цене  $2500 \text{ грн.} \times 2 = 5000 \text{ руб.} \times 4500 = 22,5 \text{ млн руб.}$  и

цветного лома металлов по средней цене  $25000 \text{ грн.} \times 2 = 50000 \text{ руб.} \times 4500 = 225 \text{ млн руб.}$  позволит получить  $22,5 + 225 = 247,5 \text{ млн руб.}$

**Стеклолота.** Цены на стеклотару в Украине различаются. Каждый приёмный пункт устанавливает свою ценовую политику. Обычно приёмные пункты стеклотары принимают пивные бутылки, бутылки из-под водки и шампанского. Также идут в ход и жестяные банки, однако цена на них обычно меньше. Некоторые пункты принимают и банки объёмом 0,5 л, 1 л и 3 л (табл. 9). Стеклобой принимают по цене 500 грн./т.

Таблица 7

Цена чёрного лома в Украине, грн./т

Марка лома	Розница	Опт
3А	2000–2700	2200–2900
5А	2000–2700	2200–2900
12А1	2000–2700	2200–2900
17А	2000–2700	2200–2900
Оцинкованная сталь	750–950	800–1000

Таблица 8

Цена цветного лома в Украине, грн./кг

Марка лома	Розница	Опт
Медь	60–64	64–66
Бронза	36–40	40–43
Алюминий (микс)	10–14	14–16
Свинец	10–14	14–16
Магний	5–8	8–10
Титан	23–26	26–28
Латунь	36–40	40–43
Нерж. сталь от 8 %	10–14	14–16

Таблица 9

Приёмочная стоимость стеклянной тары

Вид тары	Цены за 1 ед., грн.
бутылки из-под пива	0,15–0,30
бутылки из-под шампанского	0,10–0,15
бутылки из-под водки	0,10–0,25
банка 0,5 л	0,12–0,15
банка 1 л	0,25–0,35
банка 3 л	1,25–1,70
жестяная банка	0,05–0,10

## СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА

Реализация на рынке стеклотары и стеклобоя отходов стекла по цене 500 грн. позволит получить порядка  $500 \text{ грн.} \times 2 = 1000 \text{ руб.} \times 21000 = 21 \text{ млн руб.}$

**Изделия из пластмасс. Полимерная упаковка.** Пластиковые изделия (канистры, флаконы, садовая мебель, ПЭТ бутылки различного цвета, плёнка высокого давления, плёнка прозрачная термоусадочная, стретч-плёнка, полимерные пакеты, упаковочная тара) по своему составу весьма разнообразны: полистирол, поливинилхлорид, пропилен, полиэтилен высокого, среднего и низкого давлений и прочее. В зависимости от многих параметров (вида материала, цвета, степени загрязнения и

прочего) стоимость вторсырья колеблется в пределах 6–8 тыс. гривен за тонну.

Реализация на рынке вторичных ресурсов полимерных отходов по цене 7000 грн. позволит получить  $7000 \text{ грн.} \times 2 = 14000 \text{ руб.} \times 24000 = 336 \text{ млн руб.}$

**Аккумуляторы, батарейки.** Из всего объёма мирового производства батареек и аккумуляторов перерабатывается только 3 %. На мировом рынке переработка батареек и аккумуляторов — довольно ограниченный, сложный и трудоёмкий, но одновременно довольно выгодный процесс (табл. 10), поэтому и реальная стоимость аккумуляторных отходов составляет от 250 \$ за тонну.

Таблица 10

Стоимость материала на тонну аккумуляторов и батарей

Состав аккумулятора	Стоимость материала (за тонну)
Литий-кобальт-оксидный	25000 \$
Литий-железо-фосфатный	400 \$
Свинцово-кислотный	1500 \$

Реализация на рынке вторичных ресурсов аккумуляторных отходов по цене 250 \$ позволит получить  $250 \$ \times 60 = 15000 \text{ руб.} \times 3000 = 45 \text{ млн руб.}$

Завершая экономическую оценку бытового мусорного богатства Луганщины, можно констатировать, что при соответствующей организации компостирования биоразлагаемой части отходов может принести более 100 млн руб., а реализация некоторой части отходов как вторичных ресурсов дополнительно принесёт ещё 690 млн руб. Глубокая переработка отходов и их тщательная сортировка могут дополнительно повысить качество и цену сырья, что делает реальным достижение суммарной цифры до 1 млрд рублей в сфере обращения ТБО.

**Промышленные отходы, как основа для развития шлакощелочной строительной индустрии.** Из 1,5 млрд т промышленных отходов Луганщины особый интерес представляют шлаковые отходы металлургической промышленности (рис. 6).

Крупнейшим производителем шлаков на Луганщине является Алчевский меткомбинат. Химический состав образующихся на комбинате отходов в сравнении со строительными цементами приведён в таблице 11.

Химический состав шлаков не используется при их вовлечении в хозяйственный оборот, поэтому их утилизация сводится только к применению при отсыпке дорог либо при производстве шлаковых блоков и плит в строительной сфере с использованием цемента. Производство портландцемента, который является основным гидравлическим вяжущим в строительстве, в ЛНР отсутствует (крупнейшее предприятие по производству цемента мощностью 2 млн т/год расположено в ДНР). Имеющиеся в республике колоссальные запасы шлакового сырья и щелочных отходов химических производств позволяют создать собственную, альтернативную цементной промышленности, бесцементную шлакощелочную строительную индустрию, основанную исключительно

## СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА

но на местных промышленных отходах. Соответствующее эколого-химическое и технологическое обоснование утилизации доменных шлаков в производстве вяжущих строительных материалов приведено в работах [4, 5, 11, 14, 15].

Применение промышленных отходов позволяет на 10...30 % снизить затраты на изготовление строительных материалов по сравнению с производством их из природного сырья, экономия капитальных вложений достигает 35..50 %.

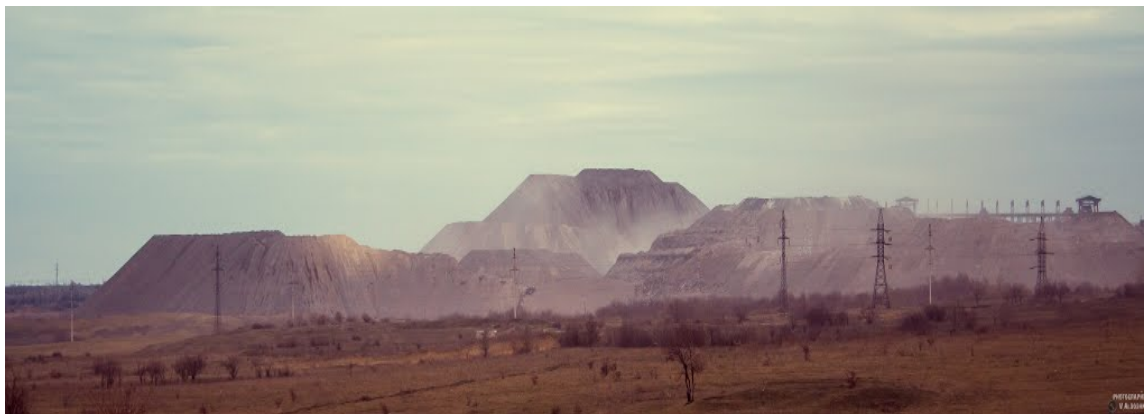


Рисунок 6 Восточная шлаковая гора Алчевского металлургического комбината

Таблица 11

Химический состав отходов АМК

Материал	Химический состав, %						
	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	GaO	MgO	S	FeO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
Доменный шлак	38	6,7	48,3	3,7	1,55	0,4	
Мартеновский шлак	23,4	4,1	38,5	10,2	0,47	14,3	3,2
Конвертерный шлак	14,5	2,1	24,1	2	0,25	31,6	14,4
Портландцемент	22,5	6,5	62	1	—		
Глинозёмистый цемент	7,5	45	40	0,5	—		
Известь гашёная	1,3	0,3	70,7	1,1	0,02		

**Шлакощелочные вяжущие** на основе отходов — это гидравлические вяжущие вещества, получаемые измельчением гранулированных шлаков совместно со щелочными компонентами или затворением молотых шлаков растворами соединений щелочных металлов (натрия или калия), дающих щелочную реакцию.

Шлакощелочные вяжущие предложены и исследованы под руководством В. Д. Глуховского в Киевском национальном университете строительства и архитектуры.

Для получения шлакощелочных вяжущих применяют гранулированные шлаки — доменные, электротермофосфорные, цветной металлургии. Необходимое усло-

вие активности шлаков — это наличие стекловидной фазы, способной взаимодействовать со щелочами. Тонкость помола должна соответствовать удельной поверхности не менее 3000 см<sup>2</sup>/г.

В качестве щелочного компонента применяют каустическую и кальцинированную соду, поташ, растворимый силикат натрия и др. Обычно используют также попутные продукты промышленности: плав щелочей (содовое производство); содощелочной плав (производство капролактама); содопоташную смесь (производство глинозёма) и т. п. Использование щелочесодержащих отходов позволяет получать значительные объёмы шлакощелочных

вяжущих. Оптимальное содержание щелочных соединений в вяжущем в пересчёте на  $\text{Na}_2\text{O}$  составляет 2–5 % массы шлака.

Для шлаков с модулем основности ( $M_0$ ) больше единицы могут применяться все щелочные соединения или их смеси, дающие в воде щелочную реакцию, для шлаков с  $M_0 < 1$  только едкие щёлочи и щелочные силикаты с модулем 0,5–2, несиликатные соли слабых кислот и их смеси могут быть использованы только в условиях тепловлажностной обработки.

По пределу прочности при сжатии через 28 суток шлакощелочные вяжущие подразделяют на марки от М300 до М1200. Для ускорения набора прочности и уменьшения деформативности в вяжущее вводят добавку цементного клинкера (2–6 %, масс). Предел прочности при сжатии быстротвердеющего шлакощелочного вяжущего в возрасте 3 суток для марок М400 и М500 составляет не менее 50 % марочной прочности, а для марок М600–М1200 — не менее 30 МПа.

Шлакощелочные вяжущие восприимчивы к действию тепловлажностной обработки. При температуре пропаривания 80–90 °С цикл обработки может быть сокращён до 6–7 ч, активная часть режима составляет 3–4 ч. Можно значительно снизить и максимальную температуру пропаривания, а также использовать ступенчатые и пиковые режимы обработки.

Шлакощелочные вяжущие обладают высокой коррозионной стойкостью и биостойкостью. Щелочные компоненты выполняют роль противоморозных добавок, поэтому вяжущие интенсивно твердеют при отрицательных температурах.

Исследованиями В. Д. Глуховского, П. В. Кривенко, Е. К. Пушкаревой, Р. Ф. Руновой и др. разработан ряд специальных шлакощелочных вяжущих: высокопрочных, быстротвердеющих, безусадочных, коррозионностойких, жаростойких, тампонажных.

Экономическая эффективность их высока. Удельные капиталовложения на производство этих вяжущих в 2–3 раза мень-

ше, чем при производстве портландцемента, так как отсутствуют фондо-, капиталоемкие технологические операции: не нужны разработка месторождений, подготовка сырья, дробление, обжиг и др. Сравнение затрат на производство шлакощелочных вяжущих марок М600–М1200 и портландцемента марки М600 показывает, что их себестоимость ниже в 1,7–2,9 раза, удельный расход условного топлива — в 3–5, электроэнергии — в 2, приведённые затраты в 2–2,5 раза меньше, чем при производстве портландцемента.

Процесс изготовления вяжущего включает операцию сушки шлака до остаточной влажности 0–1 % и совместный помол компонентов (рис. 7).

Для изготовления шлакощелочного вяжущего шлак и активная минеральная добавка со склада 1 поступают в сушильный барабан 2. Добавка после сушки измельчается на вальцах 3. Подсушенные силикатные компоненты загружают в расходные бункеры 4, 5.

Щёлочь является гигроскопичным материалом, поэтому её вводят в бетонную смесь с водой затворения. Если в качестве активатора используется кальцинированная сода или содосодержащие отходы производства, то целесообразно их измельчить совместно со шлаком. В этом случае активатор со склада 10 поступает в сушильный барабан 9 и измельчается на вальцах 8, после чего загружается в бункер 6. Из расходных бункеров отдозированные компоненты через дозаторы 7 загружают в мельницу 11, где их измельчают до удельной поверхности 3000...3500  $\text{см}^2/\text{г}$ . Изготовленное вяжущее поступает на склад 12. При использовании гигроскопичного щелочного компонента, растворимого стекла они вводятся с водой затворения непосредственно в бетономешалку при приготовлении бетонной смеси. Плотность раствора в зависимости от вида щелочного компонента находится в пределах 1,15...1,3  $\text{г}/\text{см}^3$ . В данном случае помолу подвергается только шлак или шлак с алюмосиликатными добавками.

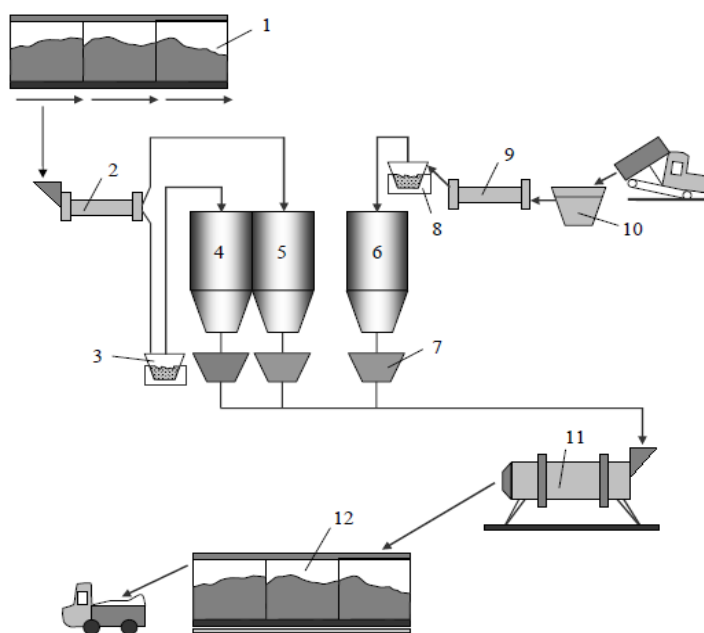


Рисунок 7 Технологическая схема получения шлакощелочного вяжущего

Технология изготовления конструкций из шлакощелочных бетонов состоит из таких операций, как приготовление бетонной смеси, подготовка формы (чистка, смазка, армирование), формование изделия и тепловлажностная обработка. При использовании готового шлакощелочного цемента возможны два варианта приготовления бетонной смеси:

1) одноступенчатый, при котором все компоненты смеси загружают и перемешивают в смесителе;

2) двухступенчатый, при котором для улучшения условий растворения щелочного компонента шлакощелочной цемент предварительно затворяют в специальном смесителе горячей водой, перемешивают в течение 5 минут, затем подают в бетономешалку принудительного действия, где он перемешивается с заполнителем. При помоле шлака без щелочного компонента приготовление бетонной смеси также осуществляется двухступенчатым способом: щелочной компонент в специальном смесителе затворяют водой и перемешивают до полного растворения, затем раствор подают в бетономешалку и перемешивают с заполнителями.

Процессы подготовки опалубки и оснащение её арматурой не отличаются от аналогичных операций при производстве армированных изделий на других вяжущих (рис. 8).

Бетонную смесь приготавливают в смесительных агрегатах 4, куда со склада 1 через расходные бункеры 2 и 3 подают сырьевые компоненты. Увлажнённую и перемешанную смесь выгружают в бетоноукладчик 5, с помощью которого транспортируют к месту укладки.

При использовании дисперсных заполнителей для приготовления шлакощелочных бетонов перемешивание необходимо производить в бетоносмесителях, обеспечивающих высокую гомогенизацию бетонной смеси. В этих случаях целесообразно применять двухстадийное перемешивание и последовательное введение компонентов в смесь. На первой стадии готовится вяжущее тесто: в воду затворения с растворённым в ней активатором твердения вводится последовательно вяжущее, а затем дисперсный наполнитель. Для повышения производительности на этом этапе вяжущее и наполнитель могут вводиться совместно в виде заранее приготовленной смеси. Однако целесообразность такой про-

цедуры перемешивания должна быть предварительно проверена с точки зрения возможного снижения прочностных характеристик бетона. На второй стадии полученное вяжущее тесто перемешивается с мелким и крупным заполнителем.

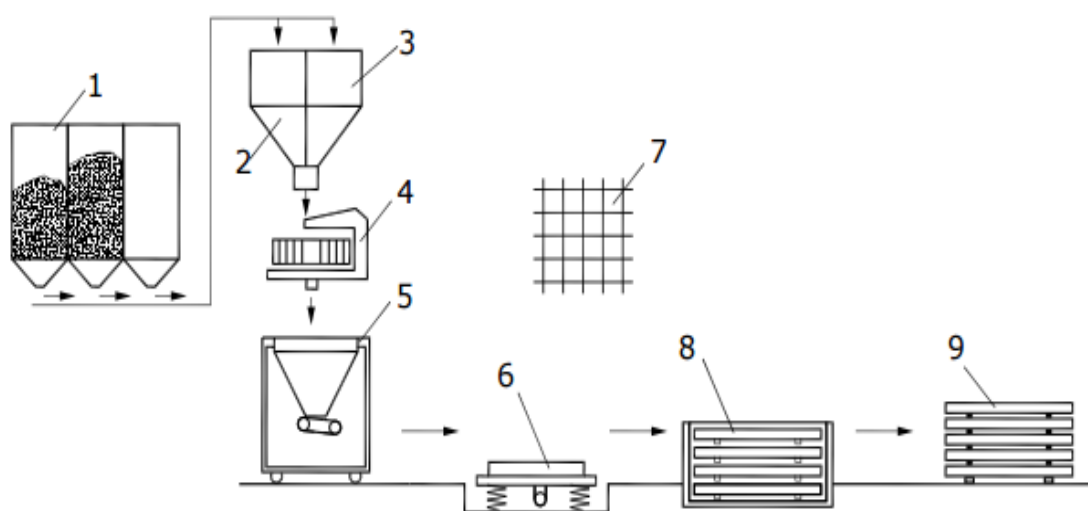
Бетонные смеси с высоким содержанием дисперсного наполнителя или минеральной добавки характеризуются низкой пластичностью. Такие смеси могут формироваться при интенсивном вибрационном уплотнении, а также виброуплотнении с пригрузом, а особо жёсткие смеси — при вибропрессовании или прессовании.

В целом технология шлакощелочных бетонов сходна с традиционными технологиями цементного бетона. Это позволяет без значительных затрат на техническое перевооружение перевести производство железобетонных конструкций и бетонных изделий на основе портландцемента на аналогичные изделия из шлакощелочного бетона или бетона на основе других видов вяжущих щелочной активации, а именно минерально-щелочных, геошлаковых, геосинтетических, геополимерных и др.

Расчеты Л. И. Дворкина затрат на производство шлакощелочных вяжущих марок 600...1200 и портландцемента марки 600 показывают, что у шлакощелочных вяжущих по сравнению с портландцементом ниже: себестоимость — в 1,7...1,9 раза, удельный расход топлива — в 3...5 раз, электроэнергии — в 2 раза, приведённые затраты — до 2...2,5 раз.

При производстве бетонов на основе шлакощелочных вяжущих используют и заполнители различных видов из шлакового сырья: шлаковый щебень отвалных металлургических шлаков или литой шлаковый щебень, пористые шлаки, шлаковый наполнитель, лёгкие шлаковые заполнители, гранулированный шлак, шлаковую пемзу.

В довоенное время годовая потребность в цементе на Луганщине превышала 100 тыс. т. Перевод строительной отрасли на шлакощелочные строительные материалы и бетоны позволит, с одной стороны, уменьшить количество промышленных отходов на эту величину, а с другой стороны, произведённая из этих отходов продукция в денежном выражении превысит 20 млрд рублей.



1 — склад заполнителя и шлакощелочного вяжущего; 2, 3 — расходные бункеры; 4 — бетоносмеситель; 5 — бетоноукладчик; 6 — виброустановка; 7 — арматурный цех; 8 — термообработка; 9 — склад изделий и конструкций

Рисунок 8 Технологическая схема производства изделий и конструкций из шлакощелочных бетонов



**Выводы:**

1. Годовое образование твёрдых бытовых отходов в ЛНР объёмом 300000 т при создании специальной отрасли управления и обращения с отходами и соответствующей организации её деятельности может быть вовлечено в хозяйственный оборот с экономическим эффектом до 1 млрд рублей.

2. Для Луганщины с её высокой техногенной нагрузкой представляется уникальная возможность создания строительной индустрии, основанной на использовании

в качестве сырья шлаков металлургических предприятий и щелочных отходов химических производств, являющейся альтернативой цементной промышленности.

3. Осуществление этого проекта позволит улучшить экологическую ситуацию в регионе за счёт вовлечения в хозяйственный оборот отходов промышленности, создать новые уникальные предприятия и новые рабочие места, насытить рынок востребованной продукцией и существенно укрепить экономику.

**Библиографический список**

1. Артамонова, А. В. Шлакощелочные вяжущие на основе доменных гранулированных шлаков центробежно-ударного измельчения [Текст] / А. В. Артамонова, К. М. Воронин // Цемент и его применение. — 2011. — С. 108–113.
2. Гриценко, А. В. Технологические основы промышленной переработки отходов мегаполиса [Текст] / А. В. Гриценко, И. В. Коринько, А. Н. Туренко. — Харьков : ХНАДУ, 2007. — 340 с.
3. Вторичные ресурсы [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://vitorresurs.com.ua> (20.03.2017).
4. Дворкин, Л. И. Строительные материалы из отходов промышленности [Текст] / Л. И. Дворкин, И. А. Паиков. — К. : Вища школа, 1989. — 340 с.
5. Дворкин, Л. И. Строительные материалы из отходов промышленности [Текст] / Л. И. Дворкин, О. Л. Дворкин. — К. : Вища школа, 2007. — 189 с.
6. Дрозд, Г. Я. Развитие сектора обращения с твёрдыми бытовыми отходами на Луганщине — настоятельная необходимость [Текст] / Г. Я. Дрозд // Сборник научных трудов Донбасского государственного технического университета. — Алчевск : ДонГТУ, 2017. — С. 16–28.
7. Дрозд, Г. Я. Биотехнологические вопросы утилизации осадков сточных вод [Текст] / Г. Я. Дрозд, Е. Н. Папутина, С. И. Давыдов // Вода и экология. Проблемы и решения. — Санкт-Петербург, 2014. — С. 66–78.
8. Задорский, В. М. Поэма о мусоре [Текст] / В. М. Задорский // Сб. научных статей «Экология и здоровье человека. Охрана воздушного и водного бассейнов. Утилизация отходов». — Харьков : ХИСИ, 2007. — С. 306–318.
9. ТБО в Украине : потенциал развития. Сценарии развития сектора с твёрдыми бытовыми отходами : отчёт IFG в Украине. — Киев : IFG, 2014. — 100 с.
10. Eurowaste. Types of waste [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://www.eurowaste.be/types-of-waste.html> (20.03.2017).
11. Микульский, В. Г. Строительные материалы. Материаловедение и технология [Текст] / В. Г. Микульский, Г. И. Горчаков, В. В. Козлов. — М. : Зодчий, 2002. — 150 с.
12. СНиП 2.07.01-89\*. Планировка городских и сельских населённых мест [Текст]. — Введ. 1990.13.07. — М. : Изд-во стандартов, 1990.
13. Свалки в Украине по площади достигли территории Черногории [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://gigamir.net/news/economy/pub210690> (16/09/2012).
14. Черепанов, К. А. Утилизация вторичных материальных ресурсов в металлургии [Текст] / К. А. Черепанов и др. — М. : Металлургия, 1994. — 219 с.
15. Хоботова, Э. Б. Эколого-химическое обоснование утилизации отвальных доменных шлаков в производстве вяжущих материалов [Текст] / Э. Б. Хоботова, Ю. С. Калмыкова // Экологическая химия. — 2012. — № 21 (1). — С. 27–37.

*Рекомендована к печати директором Института строительства, архитектуры и ЖКХ ЛНУ им. В. Даля, д.т.н., проф. Андрійчуком Н. Д., к.т.н., доц., и. о. зав. каф. СК ДонГТУ Псюком В. В.*

*Статья поступила в редакцию 08.06.18.*

**д.т.н. Дрозд Г. Я.** (ІБАіЖКГ ЛНУ ім. В. Даля, м. Луганськ, ЛНР, drozd.g@mail.ru)

#### **ПОТЕНЦІАЛ РОЗВИТКУ СЕКТОРА ПОВОДЖЕННЯ З ВІДХОДАМИ НА ЛУГАНЩИНІ**

*Розглянуто проблему утилізації твердих побутових і промислових відходів в промисловому регіоні Донбасу. В результаті узагальнення зарубіжного досвіду в сфері поводження з відходами та зіставлення з існуючими регіональними умовами обґрунтовано необхідність і можливість створення спеціальної галузі — сектора поводження з відходами. Показано потенційну його ефективність як в екологічному, так і в економічному аспектах: у сфері побутових відходів тільки 30 % їх обсягу підлягає схороненню, а частина, що залишилася, переробляється або у вигляді вторинних ресурсів вартістю до 1 млрд рублів повертається до господарського обігу. У сфері промислових відходів показано можливість створення шлаколужної будівельної індустрії, заснованої виключно на місцевих промислових відходах для виробництва будівельної продукції вартістю десятки мільярдів рублів.*

**Ключові слова:** *тверді побутові та промислові відходи, утилізація, екологічна безпека, вторинна сировина.*

**Doctor of Tech. Sc. Drozd G. Ya.** (IBA and HCS LNU after V. Dahl, Lugansk, LPR, drozd.g@mail.ru)

#### **DEVELOPMENT POTENTIAL OF THE MUNICIPAL WASTE SECTOR IN LUGANSCHINA**

*There has been studied the problem of solid waste and industrial waste utilization in the industrial Donbass region. The generalization of foreign practice in waste management sector and comparing to the existing regional conditions there has been proved the necessity and possibility to develop the special branch — waste management sector. There has been given its potential efficiency both in economic and ecological aspects: for household waste only 30 % of its volume is buried, the rest is recycled or in the form of secondary raw materials with 1 billion rubles cost is back into economic circulation. In the industrial waste sector there has been given the possibility to form the slag-alkali construction industry, purely based on the local industrial wastes for producing building materials with tens of billions rubles benefit.*

**Key words:** *solid household and industrial waste, utilization, environmental safety, secondary raw materials.*