

**УДК 504.064.4:658.567.1****А.М. КАСИМОВ**, докт. техн. наук, профессор, главный научный сотрудник

Государственное предприятие «Украинский научно-технический центр металлургической промышленности «Энергосталь» (ГП «УкрНТЦ «Энергосталь»), г. Харьков

**И.В. ГУРЕНКО**, канд. техн. наук, доцент

НТУ «Харьковский политехнический институт» (НТУ «ХПИ»), г. Харьков

**И.Н. МАЦЕВИТАЯ**, научный сотрудник

Харьковский национальный университет им. В.Н. Каразина (ХНУ им. В.Н. Каразина), г. Харьков

## ВЛИЯНИЕ ОТВАЛОВ ТВЕРДОТОПЛИВНЫХ ТЭС И УГЛЕДОБЫВАЮЩИХ ПРЕДПРИЯТИЙ ВОСТОЧНОЙ УКРАИНЫ НА СОСТОЯНИЕ ОКРУЖАЮЩЕЙ ПРИРОДНОЙ СРЕДЫ

Рассмотрены факторы влияния отвалов твердотопливных ТЭС и угледобывающих предприятий Восточной Украины на окружающую природную среду. Приведены результаты замеров содержания токсичных соединений в поверхностных слоях ряда терриконов и отвалов, исследованы их основные физико-химические свойства.

**Ключевые слова:** твердотопливные ТЭС, угледобывающие предприятия, окружающая природная среда, терриконы, отвалы, химический состав, экологические последствия, токсичные отходы.

На территории Восточной Украины, характеризующейся высоким уровнем техногенной нагрузки, особого внимания требуют твердотопливные ТЭС и предприятия угледобывающего комплекса, генерирующие крупнотоннажные промышленные отходы (ПО) в виде золошлакоотвалов (ЗШО) и терриконов пустой породы. Опасное воздействие на окружающую природную среду (ОПС) оказывают фильтрационные потери в почву и грунтовые воды, вторичное пыление и испарение газообразных веществ с поверхностей отвалов и терриконов, особенно при возгораниях, загрязнения почвы и поверхностных вод, отчуждение и загрязнение земельных участков, трансформации природных ландшафтов (рис. 1–4).

Одной из важных задач исследования ЗШО ТЭС и угледобывающих отвалов является изучение их состава, а также путей миграции в почве микропримесей, представляющих собой растворимые соединения тяжелых и редких металлов (ТРМ). Например, Зуевская ТЭС складировывает более 800 тыс. т ЗШО в год. Особенность этих отвалов в том, что они расположены на поверхности, породная масса в них дезинтегрирована и содержит значительное количество минералов – более 30 тыс. (в то время как в обычных месторождениях их на порядок меньше). Среди множества минеральных форм загрязнителей особое внимание привлекают соединения ТРМ – Co, Cd, Zn, Sc, V, Ni и другие.

ЗШО интенсивно окисляются, выщелачиваются и разрушаются, что приводит к изменению их минералогического и элементного состава и образованию ореолов рассеяния вокруг отвалов. В их приповерхностной зоне под действием кислорода, осадков, фильтрационных полей и других факторов происходят интенсивное растворение и миграция ионов ТРМ, образуются обедненные и обогащенные металлами участки с восстановленными и окисленными формами таких ионов. Ниже представлены обобщенные результаты изучения основных физико-химических свойств и оценки опасности некоторых терриконов и отвалов твердотопливных ТЭС и угледобывающих предприятий Луганской, Донецкой и Харьковской областей.

Оценка экологического качества территории возле Змиевской ТЭС на основе анализа уровня загрязненности грунтов как индикатора состояния экосистем приведена в табл. 1 и на рис. 5 [1–4].

Изучение основных физико-химических свойств ЗШО позволяет определить технологические пути их переработки и утилизации, мероприятия по экологически безопасному складированию.

Элементный химический состав ЗШО Змиевской ТЭС приведен в табл. 2. Петрографическим анализом с использованием метода иммерсионных препаратов установлено наличие в ЗШО слабо оплавленных зерен

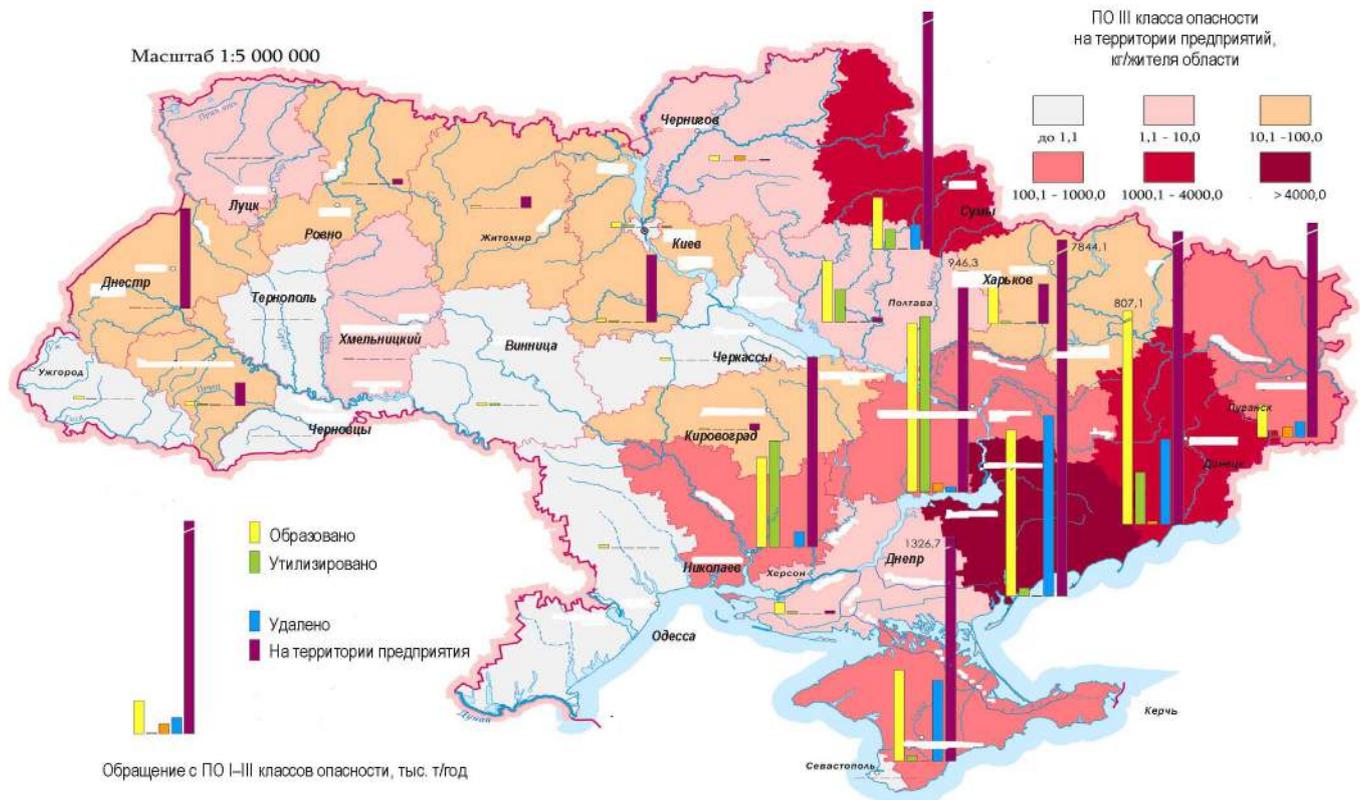


Рисунок 1 – Общая ситуация в системе обращения с ПО на территории Украины

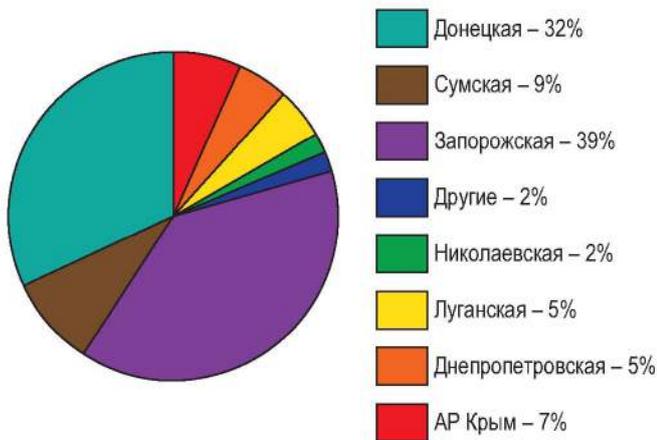


Рисунок 2 – Региональная структура накопления опасных отходов (ПО) I – III классов опасности на территории Украины (отчетность по форме № 1 – опасные отходы)

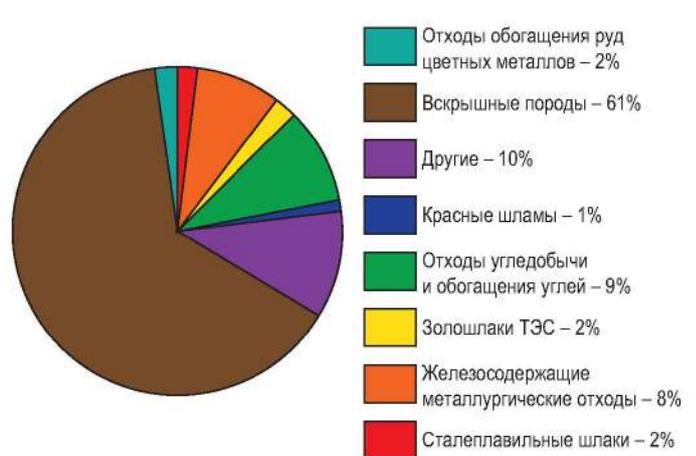


Рисунок 3 – Структура образования ПО на территории Украины (отчетность по форме № 14-мпт)

Таблица 1 – Оценка уровня опасности для природных систем в районе Змиевской ТЭС

Ингредиент	MI-числа			S (1000)	S (298)	Risk
	абиота	вода	воздух			
Ca(OH) <sub>2</sub>	2,46	11,7	0,09	395,719	291,915	0,356
SO <sub>2</sub>	0,25	4,1	0,7	305,54	248,098	0,232
CdSO <sub>4</sub>	5,48	39,3	2,19	203,62	184,0	0,1067
H <sub>2</sub> O	0,08	2,2	0,008	127,272	69,95	0,819
ZnO	21,76	305,1	8,28	265,739	223,654	0,188
CuS	179,07	236,39	1,16	291,787	244,786	0,192
PbSO <sub>4</sub>	15,6	–	–	143,474	112,1	0,280
Cr <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub>	12,3	515	2,8	325,3	287,9	0,130
CaSO <sub>4</sub>	0,25	4,1	0,7	265,274	107,0	0,356



**Рисунок 4 – Общий вид ЗШО Старобешевской ТЭС (аэрофотоснимок)**

кварца с характерными показателями преломления: на периферии – изотропно с  $N = 1,470-1,490$ , а в центральной части – аналогично кварцу с  $N_e = 1,554$ ,  $N_o = 1,543$ . Встречаются непрозрачные бурые зерна гидроксидов железа с полуметаллическим блеском, прозрачные

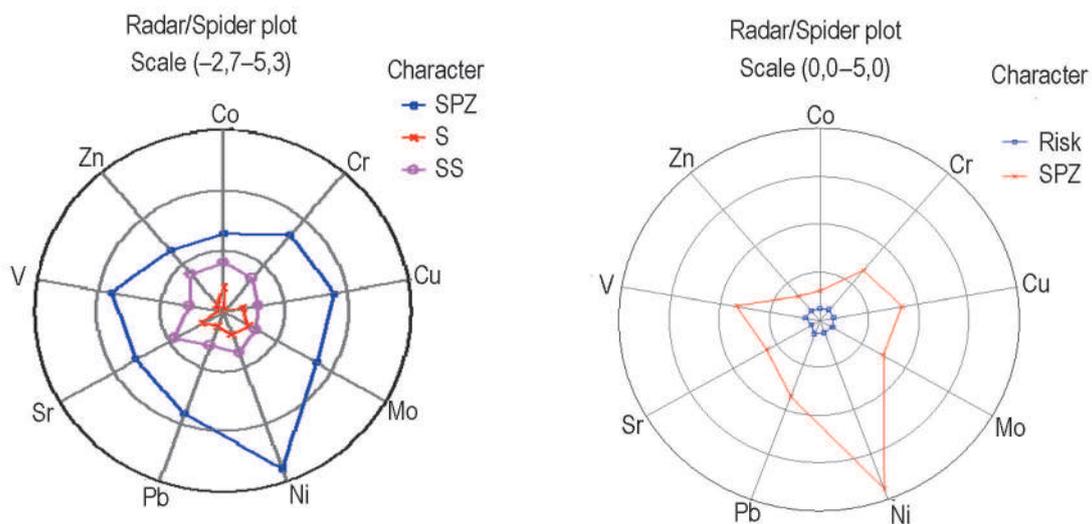
слабоволокнистые белые зерна волластонита  $CaSiO_3$  с  $N_a = 1,632$ ,  $N_p = 1,619$ . Отмечены желтовато-бурые зерна с  $N_m = 1,645$ , представленные, вероятно, соединениями алюмосиликатов железа. Стекло также имеет преимущественно железоалюмосиликатный состав с  $N = 1,625-1,638$ . Рентгенограмма ЗШО Змиевской ТЭС приведена на рис. 6.

Содержание полезных элементов в золе углей Восточной Украины, которое превышает кондиционное, представлено в табл. 3. Петрографический и минералогический состав ЗШО приведен в табл. 4, 5 [1, 2].

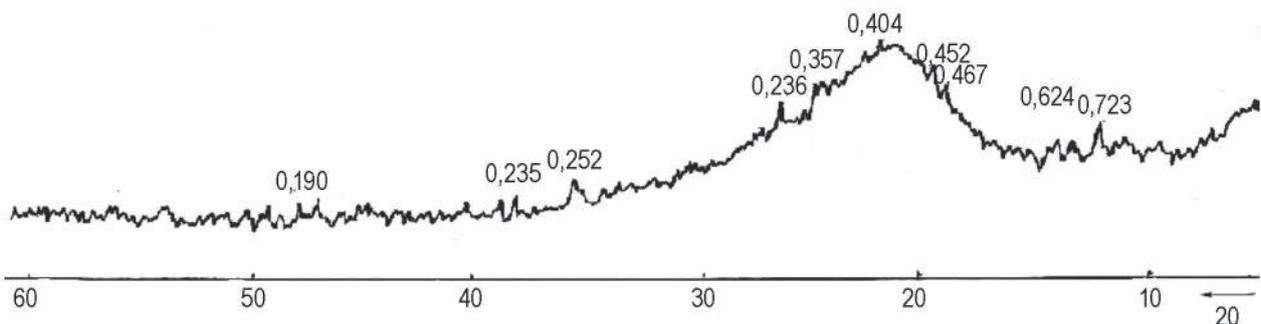
Для исследований применяли электронный микроскоп ЭМВ-100Б при общем увеличении  $\times(15-20) \cdot 10^3$ . Приготовление препаратов для микроскопа осуществ-

**Таблица 2 – Элементный химический состав золошлаков Змиевской ТЭС, мг/кг**

№ пробы	Fe	V	Cu	Ti	Mn	Cr	P	As	Cd	Ni
1	2000	490	100	105	60	15	3	27	1,8	195
2	1930	373	94	104	65	13	8	26	1,3	169
3	2011	481	85	117	78	18	5	39	1,7	156



**Рисунок 5 – Интерпретация энтропийных изменений состояния основных загрязнителей в грунтах в районе Змиевской ТЭС: Sp (S) – энтропийное напряжение при отклонении от минимально фиксируемой нагрузки; SS – энтропийная оценка отклонения от нормативной нагрузки; SPZ – индекс загрязнения; Risk – энтропийная риск-оценка**



**Рисунок 6 – Рентгенограмма ЗШО ТЭС**

**Таблица 3 – Содержание полезных элементов в золе углей Восточной Украины**

Элемент	Минимальное промышленное содержание, г/т	Среднее содержание, г/т	Прогнозный запас, т
V	500	531–887	51845
Cu	500	553–602	59121
Zn	2000	4355,6	34844
Co	100	104–222	43842
Mo	30	40–74	34549
Ti	7500	7750–10000	1384321
Li	175	215–735	383417
Be	20	25,7–72,3	8124
Y	75	123,6–251,4	13449
Yb	7,5	9,8–30,9	13744
Zn	600	637–786	13871
Sc	50	74,2–90,4	18726
Ga	100	111,8–200,6	23180

**Таблица 4 – Фазово-минералогический состав золы донецкого угля, сжигаемого на ряде ТЭС**

ТЭС	Состав угольной золы
Ладыженская	Стеклофаза, кварц, кальцит, ангидрит, оксиды Fe, силикаты Ca
Мироновская	Стеклофаза, кварц, магнетит, гематит, силикаты Ca
Молдавская	Стеклофаза, кварц, оксиды Fe, обожженное глинистое вещество
Новочеркасская	Стеклофаза, кварц, магнетит, гематит, силикаты Ca

**Таблица 5 – Фазово-минералогический состав золы донецких углей**

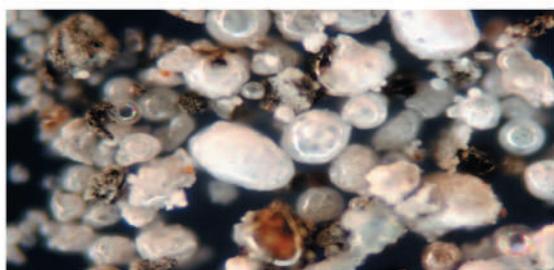
Фаза, минерал	Содержание, % мас.	Размеры, мкм	Форма и другие особенности
Полюе гранулы	3	18–60	Прозрачные, близкие по составу к натроизвестковым кремнеземистым стеклам
Угольная часть	3	50–120	—
Плавленный гранулят	15	12–240	Гранулы неправильной формы кремнеземистого состава
Кварц	4	6–30	Обломки неправильной формы
Кремнистые породы	10	40–60	Обломки и агрегаты неправильной формы, полуоплавленные
Плагиоклазы	10	30–60	Слабооплавленные обломки
Полевые шпаты	8	10–20	Слабооплавленные обломки
Гипс и его полугидраты	1,5	15–20	Обломки неправильной формы
Глинистые минералы	1	6–30	Слабооплавленные обломки
Плавленный гранулят	2	6–100	Прозрачные бесцветные стекла состава $K_2O \cdot Na_2O \cdot Al_2O_3 \cdot SiO_2$
Карбонаты	0,5	60	Кальцит, доломит, магнезит
Рудные минералы	2	30–80	Полностью измененные и оплавленные
Черный магнитный плавленный гранулят	22	6–30	Оплавленные непрозрачные обломки
Кристаллит и тридимит	15	120	Оплавленные зерна
Кварцевополевошпатные сростки с примесью руд	3	60–80	Оплавленные зерна, стекла железистые типа шпинелей

вляли по методике, описанной в [1, 4–6]. Электронные микрофотографии частиц летучей золы, образовавшихся при сжигании углей Донбасса на ТЭС, приведены на рис. 7–10.

На рис. 11 представлена схема размещения четырех углепородных отвалов в г. Ровеньки Луганской обл. Содержание основных токсичных элементов в них, а также в сырье и отходах ПАО «Центральная обогатительная фабрика «Узловская» приведено в табл. 6 и 7.

**Таблица 6 – Содержание элементов в отвальных породах (данные по четырем отвалам), мг/кг**

Элемент	Содержание	Кларк в осадочных породах
Hg	0,28–1,32	0,04
Pb	38,8–497,5	20
As	12,8–57,2	6,6
V	133–241,7	130
Mn	371–987	650
Li	53,9–109,4	6,0
Cd	1,55–2,3	0,3
Zn	100–121,7	80
C	3,2–7,6 % мас.	—



а

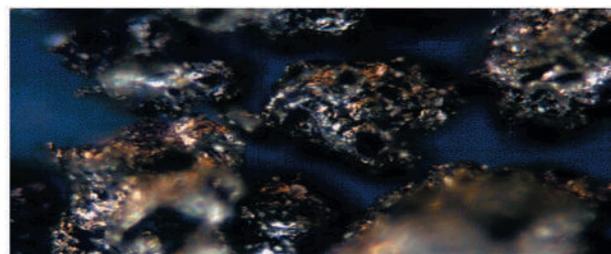


б

Рисунок 7 – Крупная (а) и тонкая (б) фракции частиц золы уноса

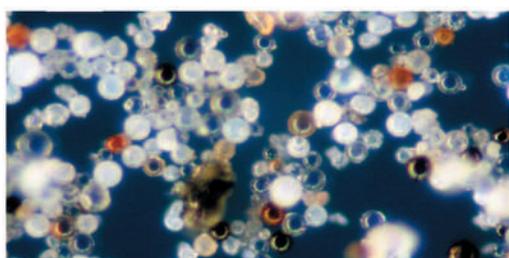


а

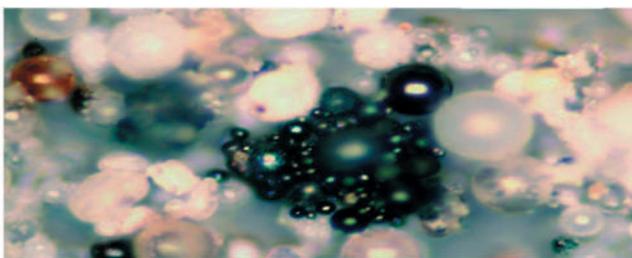


б

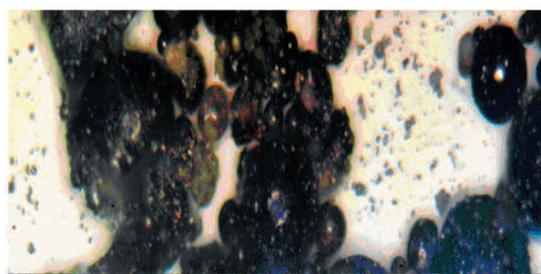
Рисунок 8 – Несгоревшие частицы угля (а) и кокса (б) в золе уноса



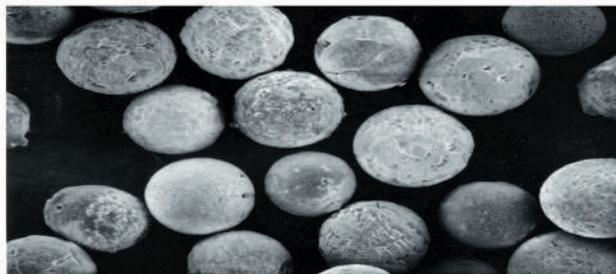
а



б

Рисунок 9 – Микросферы стекловидной фазы (а) с размером частиц  $\leq 25$  мкм и агрегат микросфер (б) с высоким содержанием ванадиевой шпинели

а



б

Рисунок 10 – Магнитная фракция (а) и отдельные частицы магнетита диаметром  $\leq 100$  мкм (б) в золе уноса

Таблица 7 – Содержание токсичных элементов в сырье и отходах углеобогащения ЦОФ «Узловская», г/кг

Элемент	Порода	Флотоотходы
Ртуть	–	0,4
Свинец	1,2	28
Бериллий	0,25	2,4
Ванадий	1,8	95
Кобальт	0,65	19
Хром	2,2	96
Никель	2,1	49
Барий	19,3	1305
Медь	3,5	26
Цинк	6,2	97,5
Олово	0,31	6,0
Марганец	38	693
Мышьяк	22	65,6
Титан	92	3060

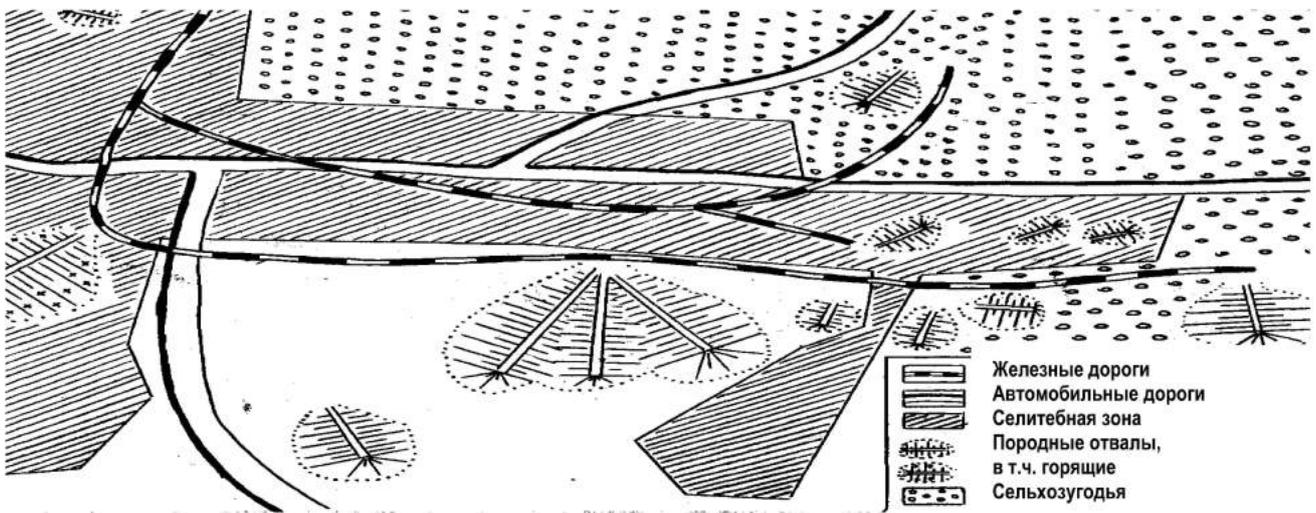


Рисунок 11 – Схема расположения отвалов в г. Ровеньки Луганской области

### ВЫВОДЫ

Полученные данные о химическом и петрографическом составех, геохимических особенностях ЗШО и породных отвалов (повышено содержание широкого спектра элементов, включая Ge, Ni, V, Zn, Nb и др.) позволяют рассматривать их в качестве сырья для производства концентратов ТРМ, ферросплавов, лигатур, материалов для дорожного строительства, а также другой продукции.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Касимов А.М.** Управление опасными промышленными отходами. Современные проблемы и решения: монография / А.М. Касимов, Л.Л. Тобажнянский, В.И. Тошинский, Д.В. Сталинский ; под ред. А.М. Касимова. – Х. : НТУ «ХПИ», 2009. – 500 с.
2. Методи і модель системи комплексного оцінювання екологічного стану природно-техногенних територій / О.М. Касімов, Т.В. Козуля, В.В. Гагарін, Д.І. Емельянова // *Экология и промышленность*. – 2013. – № 1. – С. 21-26.
3. **Галецький Л.С.** Новий потужний потенціал мінеральної сировини України / Л.С. Галецький, А.Д. Пилипчук // *Економіка природокористування і охорони довкілля* : зб. – К. : РВПС НАН України, 2000. – С. 85–87.
4. **Семиноженко В.П.** Промышленные отходы: проблемы и решения : монография / В.П. Семиноженко, Д.В. Сталинский, А.М. Касимов. – Х. : Изд-во «Индустрия», 2011. – 544 с.
5. **Кратенко І.С.** Санітарно-гігієнічна характеристика стану оточуючого середовища в зоні впливу Зміївської ТЕС / І.С. Кратенко, Л.М. Мовчан, Т.Ф. Сотнікова // *Епідеміологія, екологія, гігієна* : зб. мат. IV ітогової регіонал. науч.-практ. конф. / Харківська ОблСЭС. – Х., 2003. – С. 90–91.
6. **Прусаков В.М.** Анализ динамики риска заболеваний от воздействия факторов окружающей среды / В.М. Прусаков, М.В. Прусакова // *Гигиена и санитария*. – 2006. – № 1. – С. 45–49.

Поступила в редакцию 23.07.2013

Розглянуто фактори впливу відвалів твердопаливних ТЕС і вугледобувних підприємств Східної України на навколишнє природне середовище. Надано результати замірів вмісту токсичних сполук у поверхневих шарах ряду териконів і відвалів, досліджено їх основні фізико-хімічні властивості.

Influence of solid-fuel thermal power station and coal mining companies dumps in eastern Ukraine on environment is considered. Results of measurements of toxic compounds in surface layers of some heaps and dumps are given; their basic physical and chemical properties are examined.