УДК 621.785 EDN: WIAENT

[1,*]Зубов А. Р., [2]Ладыш И. А., [2]Павлова Н. В.
[1]Луганский государственный университет им. В. Даля,
[2]Луганский государственный аграрный университет им. К. Е. Ворошилова
**E-mail: zuboval195@gmail.com*

ВРЕДНОЕ ВОЗДЕЙСТВИЕ ПОРОДНЫХ ОТВАЛОВ ЛНР НА ОКРУЖАЮЩУЮ ПРИРОДНУЮ СРЕДУ, ЕГО ВИДЫ, МАСШТАБЫ, СПОСОБЫ УМЕНЬШЕНИЯ

В статье рассмотрены физические процессы, происходящие на породных отвалах угольных шахт, и их последствия для окружающей среды, в частности, загрязнение почв тяжелыми металлами. Описан механизм миграции загрязняющих веществ с отвалов на прилегающую территорию, предложен алгоритм определения площади загрязнения. Установлена суммарная площадь загрязнения в луганской части Центрального Донбасса. Показано, что зону воздействия каждого отвала можно разделить на четыре зоны, различающиеся степенью опасности.

Ключевые слова: *террикон, водная и ветровая эрозия, миграция загрязняющих веществ.*

Проблема и её связь с научными и практическими задачами. Важным фактором экономического развития многих стран являются запасы угля. На его долю приходится почти 40 % производимой в мире электроэнергии [1]. Однако угледобыча порождает серьезные экологические проблемы как в России [2], так и в Украине [3], Китае [4], Индии [5], США [6], Англии [7], Германии и Австралии [8] и др., связанные со свойствами шахтопластов угля [9] и накоплением отвалов пустой породы.

Вредное влияние отвалов действующих и закрытых угольных шахт на окружающую среду обусловлено горением породы [10], её выщелачиванием [11], водной эрозией и дефляцией (ветровой эрозией) поверхности отвала [12], радиоактивностью [13]. Следствием являются загрязнение воздуха газами и пылью [14], кислотные дожди [15], загрязнение почв [16], поверхностных и подземных вод [17].

Негативный эффект имеет взаимодействие отвальной породы, содержащей минерал пирит (Fe_2S), с воздухом и водой, приводящее к образованию кислотного шахтного стока (AMD) [18], способствующее растворению и выщелачиванию свинца и других тяжелых металлов (ТМ) из отвальной породы. Вследствие AMD формируются гидрохимические потоки, приводящие к миграции ТМ на большие расстояния [12] и к загрязнению почв [16]. В загрязненных почвах отмечается превышение содержания Fe, Mn, Zn, Pb, Cu, Ni, Cd, Cr и других ТМ над их критической концентрацией [5, 12, 19].

Следствием загрязнения почв является их деградация и снижение качества [5, 20], для сельского хозяйства в целом — снижение продуктивности угодий [21]. Вследствие поглощения и накопления ТМ растениями происходит их загрязнение и возникает риск для здоровья человека [22] и продовольственной безопасности стран [23].

Постановка задачи. В связи с вышеизложенным очевидна актуальность разработки мероприятий по защите природной среды от воздействия отвалов на основе лучшего понимания механизма процесса загрязнения и его масштабов.

Целью исследований является разработка методологии оценки площади потенциально загрязненных земель, их дифференциации по степени риска загрязнения, поиск путей снижения вредного влияния отвалов на прилегающую территорию.

Объект исследования **—** породные отвалы угольных шахт.

Предмет исследования **—** процессы, приводящие к загрязнению территории с отвалами.

Задачи исследования:

1) описать механизм загрязнения земель при водной и ветровой эрозии поверхности отвалов;

2) определить площади загрязнения земель и выполнить их зонирование по его видам и степени.

Объектами исследований были отвалы угольных шахт ЛНР. Для лучшего представления об их месте в Донбассе напомним, что весь современный Донбасс, называемый *Большим*, занимающий площадь около 60000 км^2, и простирающийся по широте на 650 км при максимальной ширине около 200 км [24], делится на Западный, Центральный и Восточный. Западный находится на востоке Днепропетровской области Украины, Центральный (ЦД) — в ДНР и ЛНР. Восточный Донбасс расположен в западной части Ростовской области РФ.

В Западном Донбассе имеется 9 отвалов общим объемом 100 млн тонн, занимающих площадь 200 га [3]. Гораздо больше отвалов в ЦД. Так, в его луганской части, согласно нашим подсчетам [24], их 694, в донецкой части, по официальным данным, 596. Таким образом, в ЦД в сумме 1290 отвалов. Около 74 % шахтных отвалов ЦД были сформированы путем отсыпки породы в форме конуса высотой до 50–100 м и более. В дальнейшем многие конусные отвалы подверглись срезанию верхушки и приобрели форму усеченного конуса. Меньшая часть отвалов была сформирована путем отсыпки породы из самосвалов, такие отвалы называют плоскими [11].

Методика исследования. Основным методом исследований был анализ космических снимков с использованием сервиса *Google Earth*. Количество отвалов установлено путем их поиска на снимках и пересчета. Используя инструменты сервиса, определяли площадь основания каждого отвала $F_{ос}$ и его плоской верхушки (плато) $F_{пл}$, площадь проекции поверхности, покрытой лесными насаждениями, $F'_{л}$.

По разности средних отметок плато и подножия отвалов определялась высота плоских отвалов $h_{ср}$. Высота конических определялась как произведение средней длины проекции откосов l' на тангенс угла откоса α, принятого равным 35º. По разности площади основания отвала и его плоской верхушки определяли площадь проекции откосов $F'_{от}$. По ней, путем деления на косинус α, определяли истинную площадь откосов $F_{от}$ (боковой поверхности отвалов). Аналогично определяли истинную площадь леса на откосах. Облесенность откосов и плато определяли как отношение площади леса на этих элементах к их площади. Объем отвалов определяли по формулам объемов конуса и усеченного конуса, исходя из площади их основания и высоты.

Вынос породы вследствие ветровой эрозии (дефляции) определяли с помощью математической модели, описанной в [12] и основанной на уравнении зависимости интенсивности дефляции породы от скорости ветра, полученном в результате опытов с лабораторной аэродинамической установкой [12, 24]. Исходными данными расчета являются высота отвала, площадь основания, ветровой режим, фракционный состав породы. Результатом расчета стали графики и уравнения массы частиц породы, отлагающейся на единице площади (плотности отложения d, т/га·год$^{-1}$) на различном расстоянии от центра отвала.

Изложение материала. В результате исследований предложено трактование процесса распространения загрязнителей с отвалов на прилегающую территорию и алгоритм определения площади загрязнения вследствие: а) дефляции плато и откосов; б) эрозии откосов отвала. Дефляционное загрязнение территории происходит с самого начала отсыпки терриокна и характеризуется тремя составляющими (рис. 1): 1) боковое перемещение ветром породы, отсыпаемой из вагонеток на верхушку растущего терриокна; 2) дефляция поверхности растущего отвала; 3) дефляция поверхности сформированного отвала.

Как показано в монографии проф. Зубовой Л. Г. и соавт. [12], масса породы, отно-

симой ветром при отсыпке, за время формирования отвала достигает 12 % всей её массы. Плотность загрязнения при отсыпке отвала за время формирования на порядок выше ветроэрозионного загрязнения за тот же период.

Последующее годовое загрязнение в результате дефляции (составляющая 3) в 15–20 раз ниже составляющей 2, однако это не означает безопасности процесса, поскольку последствия накапливаются, и даже за один год в интервале от подножия отвала до 220 м отложение породы превышает 1 т/га.

За период отсыпки отвала на расстоянии до 500 м формируется зона с плотностью загрязнения более 10 т/га. В непосредственной близости к отвалам она превышает 10000 т/га. По данным Луганскгипрошахт на 01.01.1996, в зоне радиусом до 500 м только в Луганской области проживали 2429 семей, или 7946 чел. Здесь же находятся пахотные земли, приусадебные участки и огороды, с которых местное население получает загрязненную продукцию для личного потребления. Поэтому экологическую ситуацию вблизи отвалов можно назвать катастрофической.

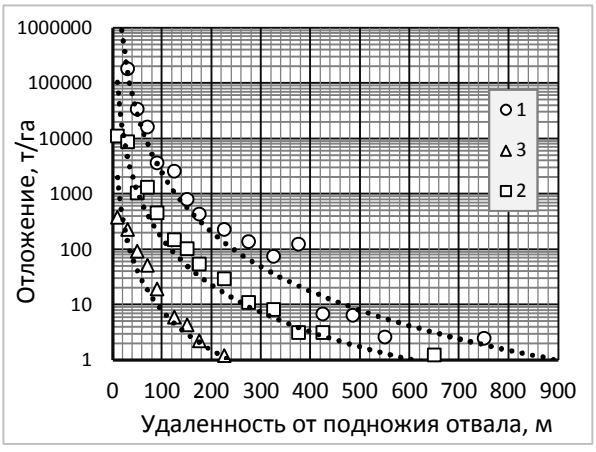
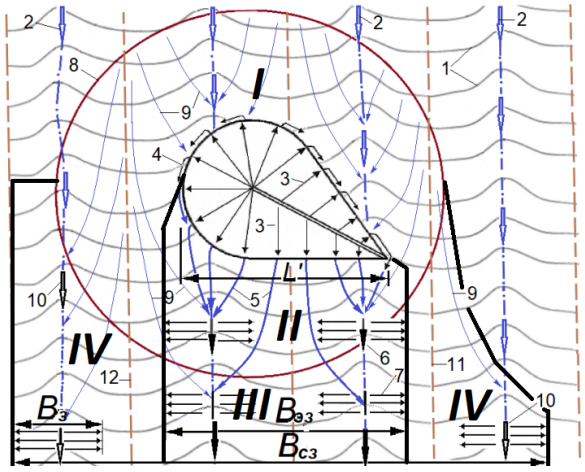


Рисунок 1 — Изменение плотности загрязнения земель по расстоянию от подножия отвала: 1 — за период отсыпки; 2 — в результате дефляции при отсыпке; 3 — ежегодная дефляция после отсыпки



1 — горизонтали; 2 — сток талых и ливневых вод с вышерасположенной части склона вдоль тальвегов ложбин; 3 — сток загрязненной воды (ЗВ) с отвала; 4 и 5 — потоки ЗВ вдоль подножия террикона и их продолжение на поле; 6 — потоки ЗВ вдоль тальвегов ложбин; 7 — распространение ЗВ со дна ложбин в стороны при обработке поля; 8 — граница зоны дефляционного загрязнения (*ДЗ*); 9 и 10 — сток ЗВ из зоны *ДЗ* и её потоки вдоль тальвегов ложбин; 11 — водоразделы между ложбинами; *I* и *II*, *III*, *IV* — зоны дефляционного (*ДЗ*) и эрозионного загрязнения $ЭЗ^{I}$, $ЭЗ^{II}$ и $\Delta ЭЗ^{II}$

Рисунок 2 — Схема миграции наносов и растворенных веществ с террикона при водной эрозии его поверхности в ландшафте

При ливнях и таянии снега на поверхности отвала возникают потоки не впитавшейся в породу дождевой и талой воды — поверхностный сток (рис. 2). При стоке происходит эрозия породы и вынос к подножию отвалов ее твердых частиц (наносов) и растворенных веществ (ионный сток).

Преобладающая часть наносов (80–90 %), состоящая из крупных фракций, откладывается у подножия отвала или вблизи него. Большую роль в задержании наносов играет растительность, механические препятствия в виде неровностей почвы. Однако мелкие частицы породы размером ≤0,25 мм ими не задерживаются и без помех мигрируют с водными потоками, вынося с собой ежегодно, по оценке Воробьева С. Г. в [12], более 120 кг ТМ с 1 га поверхности отвала. Поскольку отвальная порода зачастую имеет pH ниже 4 и оценивается как сильнокислая,

она содержит многие металлы в водорастворимой форме, усвояемой растениями.

Модель эрозионного загрязнения в идеальном случае можно представить в виде продольной зоны (условно *ЭЗ*). Она неоднородна и состоит из нескольких полос шириной $B_З$ до 50 м, приуроченных к ложбинам. Как видно на рисунке 3, загрязнение распространяется на большое расстояние.

Теоретически длина зоны *ЭЗ* равна расстоянию до ближайшей балки или реки. А её ширину можно определить по формуле

$$B_{ЭЗ}=(n_л-1)B_Л+B_З, \qquad (1)$$

где $B_Л$ — среднее расстояние между тальвегами ложбин в пределах полосы загрязнения; $n_л$ — количество тальвегов, к которым поступает сток.

Среднее количество ложбин $n_л$ в пределах полосы загрязнения зависит от коэффициента $K_л$, равного отношению параметра L' к $B_л$ (рис. 4).

Параметр L' равен длине проекции оси основания отвала на поперечное к направлению ложбин направление (см. рис. 2). Для группы терриконов среднее значение L' можно оценить как полусумму длины оси и ширины их основания L и B.

Как установлено, для типового отвала (высотой 50 м) L и B равны соответственно 210 и 130 м, а $L'=170$ м.



Рисунок 3 — Примеры миграции загрязняющих веществ с отвала ш. «Юбилейная» (г. Луганск) вдоль ложбин

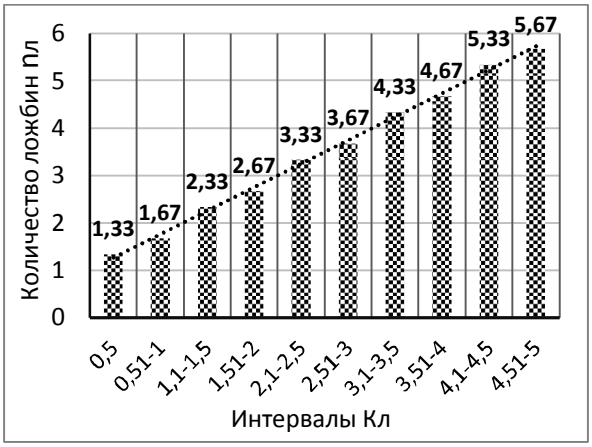


Рисунок 4 — Количество ложбин $n_л$ в зоне загрязнения в зависимости от $K_л$

Среднее расстояние $B_Л$, согласно [25], приняли равным 180 м. Тогда $K_л=0{,}94$, а $n_л=1{,}67$. Ширина зоны загрязнения $B_{ЭЗ}$ по формуле (1) в среднем равна 171 м. Среднюю длину зоны загрязнения $L_з$ можно определить как половину длины склона, на котором расположен отвал. По нашим расчетам эта половина равна 375 м.

Площадь эрозионного загрязнения можно получить по формуле $F_{ЭЗ}=L_p\cdot B_p-0{,}5F_{ос}$, где $F_{ос}$ — площадь основания отвала. Она может быть выражена через высоту H по формуле $F_{ос}=3{,}99R^2=7{,}03H^2$ м^2. В нашем случае $H=50$ м, поэтому $F_{ос}=17575$ м^2, а площадь зоны $F_{ЭЗ}=55338$ м$^2=5{,}53$ га.

При дефляции поверхности отвалов вынос породы в течение года происходит во все стороны, поэтому около него формируется круговая зона дефляционного загрязнения (см. рис. 2), условно зона *ДЗ*. В результате наших экспериментов с лабораторной аэродинамической установкой ранее было установлено, что потенциальный среднемноголетний вынос породы с поверхности типичного конического отвала вследствие дефляции составляет почти 150 т/га за год. Плотность отложения выносимой породы d у подножия отвала достигает десятков т/га, но при удалении от него она резко снижается.

Ниже приведен пример реализации алгоритма определения площади зоны *ДЗ* для

терриконика высотой 50 м. С помощью математической модели для окружностей с уровнем загрязнения $d_з = 1$ и 10 т/га·год$^{-1}$ определены их радиусы от центра отвалов: $R_{ДЗ1} = 225$ м, $R_{ДЗ10} = 112$ м.

Площадь зоны *ДЗ*, исключая площадь основания отвала $F_{ос}$, может быть выражена как $F_{ДЗ} = \pi \cdot R_{ДЗi}^2 - F_{ос}$. Приняв критический уровень $d_{ДЗ}$ равным 1т/га, подсчитали, что $F_{ДЗ} = 14{,}2$ га. Таким образом, площадь загрязнения с $d_з$ более 1 т/га в год превышает площадь основания типового отвала в 8 раз.

Суммарная площадь зоны загрязнения от дефляции и водной эрозии (условно ДЭЗ) $F_{ДЭЗ} = F_{ДЗ} + F_{ЭЗ}^{II}$, где $F_{ЭЗ}^{II}$ — площадь части зоны эрозионного загрязнения *ЭЗ*, выходящей за пределы зоны *ДЗ* (см. рис. 2). Назовем её $ЭЗ^{II}$. Расчет её площади аналогичен расчету $F_{ЭЗ}$, однако из $L_З$ следует вычесть радиус зоны *ДЗ* $R_{ДЗ1} = 225$ м. Таким образом, $F_{ЭЗ}^{II} = B_{ЭЗ}(L_З - R_{ДЗ1}) = 25650$ м^2, а $F_{ДЭЗ} = F_{ДЗ} + F_{ЭЗ}^{II} = 167119$ м^2 = 16,71 га.

Часть зоны *ЭЗ*, находящаяся в пределах зоны *ДЗ* ($ЭЗ^{I}$), подвергается обоим видам загрязнения и поэтому экологически наиболее опасна. Площадь этой части:

$$F_{ЭЗ}^{I} = F_{ЭЗ} - F_{ЭЗ}^{II} = 55338 \text{ м}^2 - 25650 \text{ м}^2 = 29688 \text{ м}^2 = 2{,}97 \text{ га}.$$

Под действием стока из почвы, загрязненной в результате дефляции поверхности отвала, происходит дополнительный вынос ТМ в ложбины. Важно отметить, что он происходит и в ложбинах, которые не имеют гидрологической связи с отвалом (рис. 2). Поэтому ширина полосы миграции загрязнителей, выносимых с отвала вследствие эрозии, увеличивается с $B_{ЭЗ}$ до $B_{СЗ}$ (рис. 2). С учетом площади косвенного эрозионного загрязнения (условно $\Delta ЭЗ^{II}$), площадь зоны $ЭЗ^{II}$ увеличивается на $F_{\Delta ЭЗ}^{II}$. Приращение $F_{\Delta ЭЗ}^{II} = (B_{СЗ} - B_{ЭЗ})(L_З - R_{ДЗ1})$. Зона $\Delta ЭЗ^{II}$ характеризуется значительно меньшим приносом ТМ по сравнению с $ЭЗ^{II}$, однако ею не стоит пренебрегать.

Для определения $B_{СЗ}$ вместо L' следует использовать параметр L'' — удвоенную дальность отложения породы от центра отвала $R_{ДЗi}$ с заданной плотностью отложения d_i, равной, например, 10 т/га. Как показал расчет, при $L''_{10} = 2R_{ДЗ10} = 224$ м, $K_Л = \leq L' \leq 1{,}5B_Л$, а $n_Л = 2{,}33$. Ширина зоны загрязнения $B_{СЗ10}$ равна 289 м. Приращение $\Delta F_{ЭЗ}^{II} = 17700$ м^2 для типичного терриконика, а общая площадь загрязнения $F_{ДЭЗ}$ возрастает с 16,71 до 18,48 га.

Для расчета загрязнения от совокупности отвалов необходимо знать число различных отвалов, их распределение по высоте, площади основания и плато.

Подсчитанные для выборки из 234 отвалов средние значения этих параметров представлены в таблице 1.

Исходя из доли отвалов каждого типа выборки в генеральной совокупности и данных таблицы 1, можно заключить, что площадь под всеми отвалами в ЛНР и их объем равны соответственно 3115 га и 832,8 млн м^3. В сумме с данными для ДНР [24] площадь под отвалами во всем ЦД и их объем составляют 6028 га и 1,878 млрд м^3. Количество отвалов в Центральном Донбассе — 1290.

Таблица 1

Осредненные характеристики отвалов ЛНР

Тип отвала	Число		H, м	$F_{ос}$, га	Площадь поверхности, га			Объем V, млн м^3
	шт	%			$F_{ПЛ}$	$F_{ОТ}$	F_{Σ}	
I	76	32,3	47,4	2,87	–	3,50	3,50	0,55
II	87	37,1	30,5	3,07	0,74	2,85	3,59	0,61
III	72	30,6	35,5	8,60	2,99	6,92	9,91	2,89
Всего	234	100		1104,5	280	1012	1292	302,5

Примечания: $F_{ПЛ}$ — площадь плато; $F_{ОТ}$ — площадь откосов отвала.

Дан ответ и на вопрос о точном количестве отвалов в Восточном Донбассе: их 299, в том числе 98 конусных, 107 усеченных, 91 плоский и 3 хребтовых.

В сумме с Западной и Восточной частями в Большом Донбассе 1598 отвалов.

Облесенность отвалов выборки варьирует от 18,8 % (плоские) до 23,6 % (конические). Вершина усеченных и плоских отвалов залесена на 19,1 и 14,7 %.

Установлено распределение числа отвалов по интервалам высоты (рис. 5).

Для каждого интервала высоты всех типов отвалов ЛНР найдены средние значения площади F_{oc}, длины оси L_{oc} и ширины основания отвалов.



Рисунок 5 — Распределение отвалов по высоте

Установлено, что F_{oc} хорошо коррелирует с L, а еще лучше с параметром LB:

$$F_{oc\text{I}} = 0,755 \cdot LB;\ F_{oc\text{II}} = 0,724 \cdot LB;\ F_{oc\text{III}} = 0,719 \cdot LB. \quad (2)$$

Коэффициенты детерминации R^2 равны соответственно 0,97, 0,93, 0,81.

Связь ширины B с длиной оси отвалов L_{oc} выражается уравнениями:

$$B_{\text{I}} = 0,74L_{oc},\ B_{\text{II}} = 0,73L_{oc},\ B_{\text{III}} = 0,66\text{L}_{\text{oc}} \quad (3)$$

$(R^2 = 0,85;\ 0,72$ и $0,82)$.

Исходя из (2, 3) получены эмпирические формулы параметра L', по которым нашли его значение для каждого типа отвалов и каждого интервала их высоты:

$$L_I' = 1,164 \cdot F_{oc}^{\ 0,5},\ L_{II}' = 1,19 \cdot F_{oc}^{\ 0,5},\ L_{III}' = 1,193 \cdot F_f^{\ 0,5}. \quad (4)$$

С помощью математической модели для отвалов всех типов высотой Н от 10 до 110 м построены графики зависимости плотности годового дефляционного загрязнения в зависимости от удаленности от центра отвалов $R_{ДЗi}$. С них были сняты расстояния до точек с плотностью загрязнения 1, 5, 10, 30, 50 т/га. По этим данным построены графики (рис. 6) и получены уравнения зависимости $R_{ДЗi}$ от Н и плотности загрязнения d т/га ($R^2 \geq 0,98$).

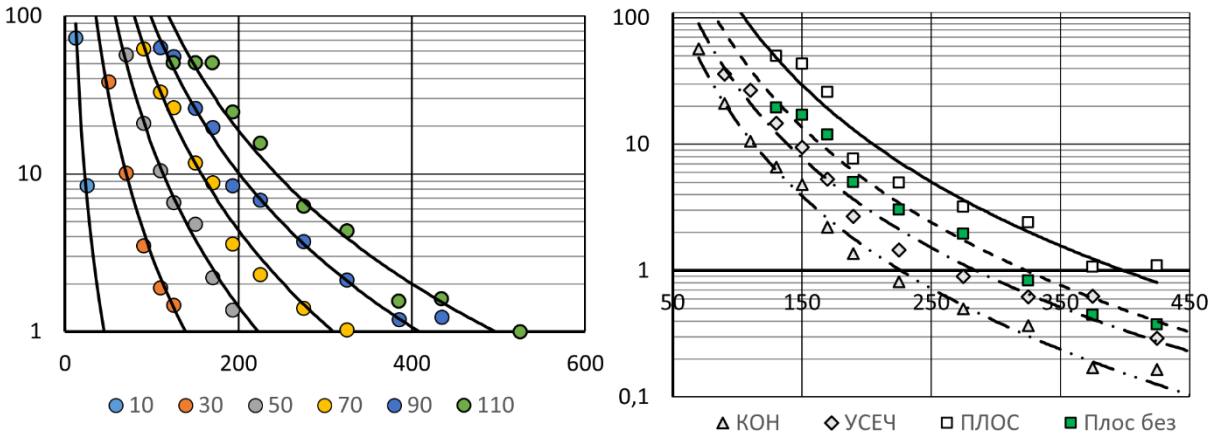


Рисунок 6 — Зависимость плотности дефляционного загрязнения территории от удаленности от центра: конусных отвалов различной высоты (слева) и отвалов различных типов со средней высотой 50 м (конические), 34 м (усеченные), 36 м (плоские и они же без учета площади плато)

Тип I: $R_{ДЗ} = 4{,}49d^{-0{,}302}H$;

тип II: $R_{ДЗ} = 5{,}27d^{-0{,}334}H + 84{,}5d^{-0{,}227}$;

тип III: $R_{ДЗ} = 6{,}62d^{-0{,}273}H + 156{,}6d^{-0{,}213}$.

Используя полученные уравнения, при уровнях загрязнения 1, 5 и 10 т/га нашли значения $R_{ДЗ1}$, $R_{ДЗ5}$ и $R_{ДЗ10}$ для отвалов различных типов и высоты.

Зная число отвалов n_{ij} каждого типа (i) в каждом интервале их высоты (j), средние значения $F_{осij}$, L'_{ij}, $R_{ДЗij}$ и описанные выше алгоритмы, подсчитали для каждого типа отвалов ЛНР суммарные значения:

1) $B_{ЭЗ}$ и $F_{ЭЗ}$ — ширины и площади зон *ЭЗ*;

2) $B_{СЗ}$ и $F_{\Delta ЭЗ}^{II}$ — то же для зоны $\Delta ЭЗ^{II}$;

3) $F_{ДЗ}$, $F_{ЭЗ}^{II}$, $F_{ЭЗ}^{I}$ и $F_{ДЭЗ}$ — площади зон *ДЗ*, $ЭЗ^{II}$, $ЭЗ^{I}$; *ДЭЗ*;

4) $F_{ДЭЗ}'$ — полную площадь загрязнения с учетом всех его зон (табл. 2).

Таблица 2

Площади земель, загрязняемых вследствие дефляции и эрозии поверхности отвалов в ЛНР (га)

Тип отвала	Площади зон с различным механизмом загрязнения, га							
	I *ДЗ′*	***II*** $ЭЗ^{I}$	***III*** $ЭЗ^{II}$	***IV*** $\Delta ЭЗ^{II}$	*ДЗ*	*ЭЗ*	*ДЭЗ*	*ДЭЗ′*
I	2097	896	763	172	2293	1660	3756	3928
II	3626	1456	934	324	5082	2389	6015	6340
III	7524	1559	246	100	9083	1804	9328	9429
Всего	13247	3911	1943	596	17158	5853	19099	19697
Доля, %	**66,8**	**20,7**	**10,0**	**2,5**				**100**

Расчеты показали, что суммарная площадь загрязнения земель в ЛНР, равная 19697 га, превышает занимаемую отвалами площадь (3115 га) в 6,3 раза. В среднем каждый отвал загрязняет территорию площадью 27 га. Ей соответствует круг с радиусом 1055 м, что согласуется с данными по Восточному Донбассу [2], согласно с которыми воздушная и водная миграция материала с отвалов меняет свойства степных почв в радиусе до 1 км.

Площадь загрязнения от каждого отвала можно разделить на четыре характерные зоны, различающиеся формой, механизмом загрязнения и его интенсивностью (рис. 2, табл. 2). Наиболее опасной и второй по доле от общей площади загрязнения является зона $ЭЗ^{I}$, расположенная ниже отвала по склону, подверженная как эрозионному, так и дефляционному загрязнению. Меньшей по площади и интенсивности загрязнения является зона чисто эрозионного загрязнения $ЭЗ^{II}$, расположенная ниже $ЭЗ^{I}$. Наибольшей по площади является зона чисто дефляционного загрязнения *ДЗ*, имеющая форму круга без участка, соответствующего зоне $ЭЗ^{I}$. Наименьшей по площади и опасности является зона $\Delta ЭЗ^{II}$, загрязняемая эрозионным выносом загрязненной почвы с водосбора ложбин, не имеющих с отвалом гидрологической связи.

Об опасности зон $ЭЗ^{I}$ и $ЭЗ^{II}$ свидетельствует то, что, как отмечалось выше, с поверхностным стоком с каждого га поверхности отвалов в окружающую среду ежегодно поступает более 120 кг тяжелых металлов в подвижной форме. Поскольку площадь поверхности отвалов, подвергающаяся водной эрозии, равна в ЛНР 3645 га, на территорию эрозионного загрязнения площадью 5853 га ежегодно поступает до 440 т тяжелых металлов или 75 кг/га.

Как показано в таблицах 1 и 2, хотя доля плоских отвалов по количеству чуть выше 30 %, доля их в дефляционном загрязнении земель достигает 53 %. Доля площади плато этих отвалов чуть выше 30 % площади их поверхности (табл. 1), однако, как следует из рисунка 5, при её исключении из расчета, что возможно при облесении, плотность загрязнения у подножия отвала высотой 36 м уменьшается с 50 до 20 т/га, радиус зоны с загрязнением выше 1 т/га уменьшается с 395 до 328 м. Это говорит о важности залесения отвалов и особенно их плато. Однако залесены они в среднем

только на 14,7 %. Как показали наши исследования [24], облесение не только защищает поверхность отвалов от дефляции, оно останавливает водно-эрозионные процессы и загрязнение территории.

Поскольку основным путем миграции ТМ в ландшафте являются временные потоки воды в первичной гидрографической сети, остановить перемещение с ними загрязняющих веществ можно путем создания простых гидротехнических сооружений — распылителей стока на дне ложбин. А предотвращение поперечного выноса загрязненной почвы со дна ложбин при обработке поля возможно путем их залужения. Это и способ защиты почв от эрозии.

Выводы и направление дальнейших исследований. Разработанный методический подход позволил установить, что общая площадь потенциально загрязняемых земель в результате дефляционного и эрозионного выноса и отложения частиц в ЛНР достигает почти 20000 га. Разработанная методика позволяет дифференцировать территорию вблизи каждого отвала на участки как с различной сложившейся загрязненностью, так и современным ежегодным загрязнением. Это важно учитывать при планировании землепользования и для разработки мероприятий по оптимизации экологической ситуации в Республике. Поскольку, как установлено, в среднем около 50 % отвалов различных типов облесены менее чем на 10 %, защитная роль естественной и искусственно созданной древесной растительности на них явно недостаточна. Поэтому биологическая рекультивация отвалов является наиболее эффективным путем существенного снижения опасности породных отвалов.

Дальнейшие наши исследования будут направлены на разработку дополнительных мероприятий по снижению вредного влияния отвалов на окружающую природную среду и более глубокое изучение трансформации почвенного покрова под их воздействием.

Список источников

1. The Coal Resource: A Comprehensive Overview of Coal. London : World Coal Institute, 2005. 44 p.

2. Environmental impact of the disposal of coal mining waste in soils and plants in the Rostov Oblast / V. A. Alekseenko [et al.] // Russia Journal of Geochemical Exploration. 2018. Vol. 184. Part B. P. 261–270. DOI: 10.1016/j.gexplo.2017.06.003 EDN YRYOBI

3. Petlovanyi M. V., Sai K. S., Stoliarska O. V. Problems of waste rock formation during mining of Western Donbass coal reserves: state-of-the-art and solutions // Збірник наукових праць Національного гірничого університету. Dnipro : Dnipro University of Technology, 2023. P. 79–90. DOI: doi.org/10.33271/crpnmu/71.0795 EDN ZUKANI

4. A review of soil heavy metal pollution from mines in China: Pollution and health risk assessment / Z. Li [et al.] // Science of The Total Environment. 2014. Vol. 468–469. P. 843–853. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2013.08.090

5. Pandey B., Agrawal M., Singh S. Effects of Coal Mining Activities on Soil Properties with Special Reference to Heavy Metals // Geostatistical and Geospatial Approaches for the Characterization of Natural Resources in the Environment / N. Raju (eds). Cham : Springer, 2014. P. 369–372. DOI: 10.1007/978-3-319-18663-4_56

6. Chugh Y. P., Behum, PT. Coal waste management practices in the USA: an overview // International Journal of Coal Science & Technology. 2014. Vol. 1. Iss. 2. P. 163–176. DOI: 10.1007/s40789-014-0023-4 EDN OTJOKH

7. Younger P. L. Abandoned coal mines: From environmental liabilities to low-carbon energy assets // International Journal of Coal Geology. 2016. Vol. 164. P. 1–2. DOI: 10.1016/j.coal.2016.08.006

8. Zillig L. J. K., Keenan N., Roberts T. Mining Rehabilitation in New South Wales (Australia) and Germany // Journal of Earth Science and Engineering. 2015. Vol. 5. P. 499–511. DOI: 10.17265/2159-581X/2015.08.005

9. Микропоры ископаемых углей и опасные свойства шахтопластов при ведении горных работ / Э. Филатьева [и др.] // Вестник Луганского государственного университета имени Владимира Даля. Серия Технические науки. 2025. № 1 (2). С. 105–111. EDN VXWYJH

10. Панов Б. С., Проскурня Ю. А. Модель самовозгорания породных отвалов угольных шахт Донбасса // Геология угольных месторождений : межвузовский научный тематический сборник. Екатеринбург, 2002. Вып. 12. С. 274–281.

11. Ribeiro J., D. Flores. Occurrence, leaching, and mobility of major and trace elements in a coal mining waste dump: The case of Douro Coalfield, Portugal // Energy Geoscience. 2021. Vol. 2. Iss. 2. P. 121–128. DOI: 10.1016/j.engeos.2020.09.005 EDN QWZDNA

12. Терриконы : монография / Л. Г. Зубова [и др.]. Луганск : Ноулидж, 2015. 712 с. URL: http://www.geokniga.org/books/16806.

13. Зубова Л. Г., Зубов А. Р. Оценка радиоактивности породных отвалов угольных шахт ПАО «Лисичанскуголь» // Уголь Украины. 2016. № 4-5 (712–713). С. 59–65.

14. Dust fall and elemental flux in a coal mining area / T. K. Rout [et al.] // Journal of Geochemical Exploration. Vol. 144. Part C. 2014. P. 443–455. DOI: 10.1016/j.gexplo.2014.04.003

15. Копец Ю. В., Копец К. К., Чурикова В. И. Экологическая безопасность промышленных предприятий: современные вызовы и стратегии минимизации рисков // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2026. Вып. 1 (102). С. 280–287. DOI: 10.35211/18154360_2026_1_280 EDN CEZBMD

16. Manna A., Maiti R. Geochemical contamination in the mine affected soil of Raniganj Coalfield — A river basin scale assessment // Geoscience Frontiers. 2018. Vol. 9. Iss. 5. P. 1577–1590. DOI: 10.1016/j.gsf.2017.10.011

17. Влияние угледобычи в Донбассе на подземные и поверхностные воды / Г. Ю. Скляренко [и др.] // Известия вузов. Северо-Кавказский регион. Естественные науки. 2017. № 3-1. С. 100–107. DOI: 10.23683/0321-3005-2017-3-1-100-107 EDN ZOKXMZ

18. Banerjee D. Acid drainage potential from coal mine wastes: environmental assessment through static and kinetic tests // International Journal of Environmental Science and Technology. 2014. Vol. 11. Iss. 5. P. 1365–1378. DOI: 10.1007/s13762-013-0292-2 EDN LWNQTK

19. Wuana R. A., Okieimen F. E. Heavy Metals in Contaminated Soils: A Review of Sources, Chemistry, Risks and Best Available Strategies for Remediation // International Scholarly Research Notices. Ecology. 2011. Art. 402647. 20 p. DOI: 10.5402/2011/402647

20. Impacts of Coal Mining on the Aboveground Vegetation and Soil Quality: A Case Study of Qinxin Coal Mine in Shanxi Province, China / Guo D. [et al.] // Clean — Soil, Air, Water. 2011. Vol. 39. Iss. 3. P. 219–225. DOI: 10.1002/clen.201000236

21. Mishra P. P., Pujari A. K. Impact of Mining on Agricultural Productivity (October 15, 2005). DOI: 10.2139/ssrn.827945

22. The uptake and bioaccumulation of heavy metals by food plants, their effects on plants nutrients, and associated health risk: A Review / A. Khan [et al.] // Environmental Science and Pollution Research. 2015. Vol. 22. Iss. 18. P. 13772–13799. EDN VGGGWD

23. Ocansey I. T. Mining impacts on agricultural lands and food security — Case study of towns in and around Kyebi in the Eastern Region of Ghana : Bachelor's thesis. Turku University of applied sciences, 2013. 46 p.

24. Зубова Л. Г., Зубов А. Р., Зубов А. А. Терриконы и их лесная рекультивация : монография / под ред. акад. РАН К. Н. Кулика. Волгоград : ФНЦ агроэкологии РАН, 2022. 372 с. URL: https://www.geokniga.org/books/29469. EDN RNGUZV

25. Зубов А. Р., Зыков И. Г., Тарарико А. Г. Формирование эрозионно-устойчивых агроландшафтов в бассейне Северского Донца : монография. Волгоград : ГНУ ВНИАЛМИ, 2009. 240 с. EDN QLBBGT

© Зубов А.Р., 2026
© Ладыш И. А., Павлова Н. В., 2026

Рекомендована к печати к.т.н. руководителем МНИЛ ГПХ ДонГТУ Долгих В. П., д.т.н., проф., зав. каф. информационных технологий, математики и физики ЛГАУ им. К. Е. Ворошилова Ильиным В. Ю.

Статья поступила в редакцию 29.07.2026.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Зубов Алексей Рэмович, *д-р с.-х. наук, профессор, профессор каф. техносферной безопасности*
Луганский государственный университет им. В. Даля,
г. Луганск, Россия, e-mail: zubovak195@gmail.com

Ладыш Ирина Алексеевна, *д-р с.-х. наук, профессор, зав. каф. экологии и природопользования*
Луганский государственный аграрный университет им. К. Е. Ворошилова,
г. Луганск, Россия

Павлова Наталья Владимировна, *ассистент каф. экологии и природопользования*
Луганский государственный аграрный университет им. К. Е. Ворошилова,
г. Луганск, Россия

Zubov A. R. *(Lugansk State University named after V. Dahl, Lugansk, Russia, e-mail: zubovak195@gmail.com)***, Ladush I. A., Pavlova N. V.** *(Lugansk State Agrarian University named after K. E. Voroshilov, Lugansk, Russia)*

HARMFUL IMPACT OF LPR ROCK DUMPS ON THE NATURAL ENVIRONMENT, ITS TYPES, SCALES, METHODS OF REDUCTION

The article examines the physical processes occurring on coal mine waste dumps and their impact on the environment, in particular, soil contamination with heavy metals. The mechanism of pollutant migration from dumps to the adjacent territory is described, an algorithm for determining the area of contamination is proposed. The total area of contamination in the Lugansk part of the Central Donbas region has been established. It has been shown that the impact zone of each dump can be divided into four zones, differing in the degree of danger.

Key words: *spoil tip, water and wind erosion, migration of pollutants.*

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Zubov Aleksey Removich, *Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Professor of the Department of Technosphere Safety*
Lugansk State University named after V. Dahl,
Lugansk, Russia, e-mail: zubovak195@gmail.com

Ladush Irina Alekseevna**,** *Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Head of the Department of Ecology and Environmental Management*
Lugansk State Agrarian University named after K. E. Voroshilov,
Lugansk, Russia

Pavlova Natalia Vladimirovna, *Assistant Lecturer of the Department of Ecology and Environmental Management*
Lugansk State Agrarian University named after K. E. Voroshilov,
Lugansk, Russia