

**Л.Г. Зубова, А.Р. Зубов, С.Г. Воробьев,  
С.И. Сиволап, А.В. Харламова, А.А. Зубов**

**90-летию ВНУ им. В.Даля  
посвящается**

# **ОПТИМИЗАЦИЯ ТЕРРИКОНОВЫХ ЛАНДШАФТОВ**

**Монография**

Луганск 2010

УДК 504.06:622.33

Рекомендовано Ученым советом  
Восточноукраинского национального университета имени Владимира Даля  
(Протокол № 4, 25.12.2009)

**Р е ц е н з е н т ы:**

*Голубничий П. И.*, доктор физико-математических наук, профессор  
ВНУ им. В.Даля  
*Торба А. И.*, доктор сельскохозяйственных наук, профессор Луганского  
национального аграрного университета

**Зубова Л.Г.**

**Оптимизация терриконовых ландшафтов:** монография /

Л. Г. Зубова, А. Р. Зубов, С. Г. Воробьев, С. И. Сиволап, А. В. Харламова,  
А. А. Зубов - Луганск: изд-во ВНУ им. В. Даля, 2010. - 208 с., табл. 90; рис.  
99; библиогр. 112 назв.

**ISBN 978-966-590-803-6**

В монографии рассмотрены вопросы оптимизации терриконовых ландшафтов. Даны анализ вредного воздействия отвалов угольных шахт на окружающую среду и классификация отвалов угольных шахт по уровню экологической опасности. Рассмотрены последствия геохимической трансформации естественных кальциевых ландшафтов Донбасса в терриконовые серноокислые. Особое внимание уделено оптимизации поверхности отвалов путем рекультивации.

Для научных сотрудников, специалистов, сфера деятельности которых связана с экологией угледобывающей промышленности, преподавателей, аспирантов и студентов.

У монографії розглянуто питання оптимізації терриконових ландшафтів. Подано аналіз шкідливого впливу відвалів вугільних шахт на навколишнє середовище та класифікація відвалів вугільних шахт за рівнем екологічної небезпеки. Розглянуто наслідки геохімічної трансформації природних кальцієвих ландшафтів Донбасу в терриконові сірчаноокислі. Особливу увагу приділено оптимізації поверхні відвалів шляхом рекультивациі.

Для наукових співробітників, фахівців, сфера діяльності яких зв'язана з екологією вугледобувної промисловості, викладачів, аспірантів та студентів.

**УДК 504.06:622.33**

**ISBN 978-966-590-803-6**

© Л.Г. Зубова, А.Р. Зубов, С.Г. Воробьев,  
С.И. Сиволап, А.В. Харламова, А.А. Зубов, 2010  
© Восточноукраинский национальный университет  
имени Владимира Даля, 2010

## СОДЕРЖАНИЕ

<b>Предисловие</b> .....	5
<b>1. Вредное воздействие отвалов угольных шахт на окружающую среду</b>	6
1.1. Подбор объектов для проведения исследований.....	6
1.2. Радиоактивность терриконов.....	10
1.3. Горение отвалов.....	19
1.4. Водная эрозия на терриконах.....	22
1.4.1. Оценка эрозионных процессов на поверхности отвалов при отсутствии растительного покрова.....	22
1.4.2. Оценка эрозионных процессов на поверхности отвалов при наличии травяного покрова и микротеррас с однолетними саженцами	26
1.4.3. Оценка эрозионных процессов на поверхности отвалов при наличии травяного покрова и сформировавшегося древесного фитоценоза.....	27
1.5. Моделирование последствий ветровой эрозии на терриконах	34
<b>2. Классификация отвалов угольных шахт по уровню экологической опасности</b> .....	46
2.1. Разработка методологии оценки экологической опасности терриконовых ландшафтов на основании картографических материалов и данных космической съемки.....	46
2.1.1. Оценка экологической опасности шахтных отвалов для различных элементов ландшафтов.....	46
2.1.2. Оценка экологической опасности по степени защищенности терриконовых ландшафтов лесонасаждениями.....	53
2.2. Дистанционные исследования терриконовых ландшафтов с использованием космических снимков.....	55
2.2.1. Исследование изменения химического состояния отвальной породы по фототонам шкалы RGB.....	56
2.2.2. Оценка изменения химического состояния отвальной породы....	60
2.2.3. Оценка рассеяния вредных веществ с отвалов в ландшафтно- геохимических аренах.....	64
2.2.4. Изучение последствий эрозионных процессов на терриконах по данным космических снимков.....	69
2.3. Оценка возможности использования программного комплекса Google Earth для оценки экологической опасности шахтных отвалов.....	75
<b>3. Последствия геохимической трансформации естественных кальциевых ландшафтов Донбасса в терриконовые сернокислые</b> .....	78
3.1. Причины, обусловившие геохимическую трансформацию	

ландшафтов.....	80
3.2. Виды физико-химических барьеров, формирующихся на поверхности терриконов и прилегающей к ним территории.....	80
3.2.1. Кислородные барьеры.....	81
3.2.2. Сульфидные барьеры.....	82
3.2.3. Испарительные барьеры.....	85
3.2.4. Термодинамические барьеры.....	86
3.2.5. Сорбционные барьеры.....	88
3.2.6. Кислые и щелочные барьеры.....	89
3.3. Щелочные барьеры, формирующиеся на прилегающих к отвалам сельскохозяйственных землях.....	92
3.4. Формирование искусственных щелочных барьеров с целью предотвращения загрязнения прилегающей к отвалам территории.....	102
<b>4. Оптимизация поверхности отвалов путем рекультивации.....</b>	<b>111</b>
4.1. Общие представления о проведении работ по рекультивации породных отвалов.....	109
4.2. Усовершенствование способов микротеррасирования поверхности терриконов.....	115
4.3. Формирование, динамика развития и современное состояние фитоценозов терриконов.....	127
4.3.1. Лесонасаждения террикона №11 ПО «Донецкуголь».....	127
4.3.2. Лесонасаждения конического отвала № 1 шахты им. 60-летия Советской Украины (г.Лисичанск Луганская область).....	131
4.3.3. Характеристика фитоценоза террикона шахты им. М.Л. Рухимовича (г. Лисичанск, Луганская область).....	138
4.3.4. Характеристика фитоценоза отвала шахты 19-го партсъезда (поселок Сутоган, Лутугинский район, Луганская область).....	143
4.4. Оценка возможности использования отвалов угольных шахт Донбасса в качестве объектов Национальной экологической сети.....	157
4.5. Вторичное использование лесонасаждений рекультивированных терриконов.....	165
<b>Литература.....</b>	<b>170</b>

## ПРЕДИСЛОВИЕ

Характерной чертой Донбасса, его визитной карточкой являются терриконы – породные отвалы угольных шахт. За 200 лет добычи угля в регионе их накопилось более 1500. Высота терриконов достигает 100 м, углы откосов 40°, занимаемая площадь – десятки гектаров. Внешне они похожи на пирамиды. Но если последние пришли к нам как памятники древней старины, то терриконы - объекты техногенной опасности. Они пылят, горят, подвергаются размыву тальми и ливневыми водами, являются источниками радиоактивности, под их отсыпку отводятся плодородные земли.

С геохимической точки зрения ландшафты, на которых располагаются терриконы, являются аazonальными, так как они в отличие от степных кальциевых ландшафтов являются сернокислыми, что в природных условиях характерно только для вулканических районов. С этим связано образование щелочных геохимических барьеров, загрязнение значительных территорий, прилегающих к отвалам, кадмием, цинком, медью, кобальтом, радием, ураном, свинцом и т.д.

В основу монографии положены результаты многолетнего изучения терриконовых ландшафтов Донбасса, дистанционные исследования с использованием космических снимков, моделирование ветроэрозионных процессов в лабораторных условиях.

В результате исследований всесторонне изучено вредное воздействие отвалов угольных шахт на окружающую среду и последствия геохимической трансформации естественных кальциевых ландшафтов Донбасса в терриконовые сернокислые. Разработана классификация отвалов угольных шахт по уровню экологической опасности.

Выполненные исследования показали, что наиболее эффективным направлением оптимизации терриконовых ландшафтов является лесная рекультивация, которая практически прекращает смыл, выдувание породы и делает возможным, как показано авторами, использования отвалов угольных шахт Донбасса в качестве объектов Национальной экологической сети. Поэтому в монографии значительное внимание отводится характеристике динамики развития фитоценозов на терриконах, усовершенствованию известных и разработке новых способов создания древесных насаждений на них.

Авторы: Л. Г. Зубова, доктор технических наук, профессор [общее руководство исследованиями и редактирование монографии, разд. 1.4.2, разд. 3 (все, кроме 3.4), разд. 4 (все, кроме 4.3.4, 4.4, 4.5)]; А. Р. Зубов, доктор сельскохозяйственных наук, профессор [общее руководство исследованиями и редактирование монографии, разд. 1.4.2, разд. 3 (все, кроме 3.4), разд. 4 (все, кроме 4.3.4, 4.4, 4.5)]; С. Г. Воробьев, соискатель кафедры гидрометеорологии (разд. 1.4.1, разд. 2, разд. 3.4); С. И. Сиволап, аспирант кафедры гидрометеорологии (разд. 3.3); А. В. Харламова, аспирант кафедры гидрометеорологии (разд. 4.3.4; 4.5); А. А. Зубов, аспирант кафедры системной инженерии [разд. 1(все, кроме 1.4.1 и 1.4.2), разд. 4.3.3 и 4.4].

# РАЗДЕЛ 1

## ВРЕДНОЕ ВОЗДЕЙСТВИЕ ОТВАЛОВ УГОЛЬНЫХ ШАХТ НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ

### 1.1. Подбор объектов для проведения исследований

В качестве объектов исследований вредного воздействия терриконов на окружающую среду нами использовано угольное предприятие ОАО «Лисичанскуголь», имеющее на своем балансе 24 породных отвала (рис.1.1).



Рис.1.1. Типичный террикон Донбасса

Выбранные для исследований терриконы представляют выборочную, а все отвалы Донбасса – генеральную совокупность. Известно, что выводы, построенные на основании выборочной совокупности, правомерны в том случае, если данные выборочной совокупности являются однородными и достоверными. Соответственно первой задачей наших исследований в разрезе поставленного вопроса была проверка отвалов ОАО «Лисичанскуголь» на однородность и достоверность. В табл. 1.1 представлены результаты проверки однородности объектов исследований.

Таблица 1.1

Проверка однородности параметров отвалов ОАО «Лисичанскуголь»

Параметры отвалов	Значение экстремальных показателей		Принадлежность сомнительной варианты к данной совокупности	
	$X_{1T} = X_2 - X_1 / X_{n-1} - X_1$	$X_{nT} = X_n - X_{n-1} / X_n - X_2$	$X_{1T}$	$X_{nT}$
<i>Высота (H), м</i>	0,01	0,012	+	+
<i>Площадь (S), га</i>	0,013	0,12	+	+
<i>Объем (V), м<sup>3</sup></i>	0,00008	0,22	+	+
<i>Масса (M), тыс. т</i>	0,0001	0,189	+	+

Исходя из данных табл. 1.1, составные части объекта исследований (отвалы с их параметрами) однородны.

Используя метод моментов (табл. 1.2), выдвинута гипотеза о достоверности данных ( $A < 3\delta_a$ ,  $E < 3\delta_e$ ).

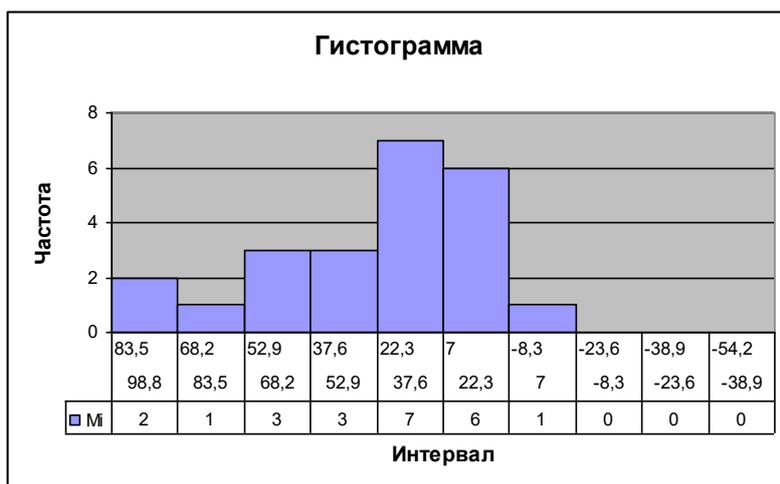
Таблица 1.2

Статистические показатели по параметрам отвалов, рассчитанные методом моментов

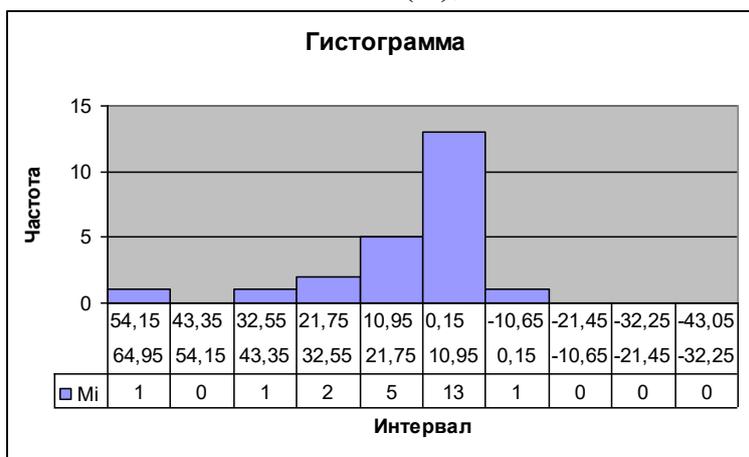
Статистические показатели	Параметры отвалов			
	площадь (S), га	высота (H), м	объем (V), м <sup>3</sup>	масса (M), тыс. т
N <sub>1</sub>	12,51	36,35	1163,48	2098,18
N <sub>2</sub>	342,71	1961,61	3226730,71	12503930,1
N <sub>3</sub>	13741,21	129243,8	1,5063E+10	1,1797E+11
N <sub>4</sub>	671118,13	9581981,03	8,1904E+13	1,2603E+15
M <sub>2</sub>	181,49	596,89	1815106,63	7939848,53
M <sub>3</sub>	3745,65	3843,69	6909814552	5,1772E+10
M <sub>4</sub>	194452,82	842894,13	3,1889E+13	4,8285E+14
S <sup>2</sup>	304,23	777,01	4679277,23	17384518,6
S	17,44	27,87	2163,16	4169,47
Г <sub>3</sub>	0,70	0,18	0,68	0,71
Г <sub>4</sub>	2,10	1,40	1,46	1,60
E	-0,89	-1,60	-1,54	-1,40
3δ <sub>a</sub>	1,50	1,50	1,50	1,50
3δ <sub>e</sub>	3,00	3,00	3,00	3,00
A < 3δ <sub>a</sub>	ИСТИНА	ИСТИНА	ИСТИНА	ИСТИНА
E < 3δ <sub>e</sub>	ИСТИНА	ИСТИНА	ИСТИНА	ИСТИНА

Исходя из данных табл. 1.2 все параметры отвалов имеют значения асимметрии и эксцесса в допустимых пределах, то есть  $A < 3\delta_a$  и  $E < 3\delta_e$ . При таких значениях этих показателей выдвигается гипотеза о соответствии данных нормальному закону распределения. На рис. 1.2 приведены гистограммы параметров отвалов ОАО «Лисичанскуголь», на оси ординат которых представлены эмпирические частоты параметров отвалов. В табл. 1.3 представлен расчет теоретических частот.

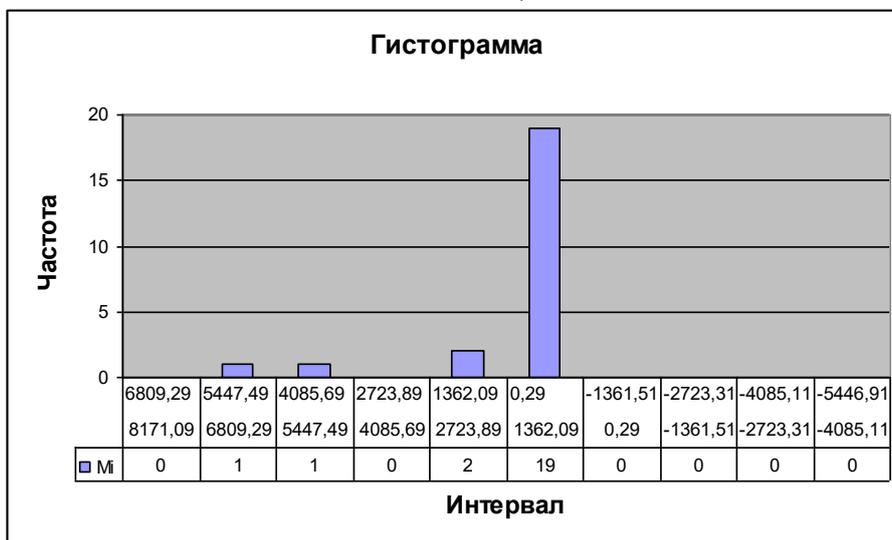
В табл.1.4 представлены фактические значения критерия  $\chi^2$  Пирсона.



Высота (H), м



Площадь (S), га



Объем (V), м<sup>3</sup>

Рис.1.2. Гистограммы параметров отвалов ОАО «Лисичанскуголь»

Таблица 1.3

Расчет теоретических частот нормального распределения  
с помощью плотности вероятности

Исходные границы интервалов		Эмпирические частоты, $m_i$	Новые границы		Среднее значение $t_i$	Плотность вероятности, $f(t_i)$	Теоретические частоты, $m_i^*$
$X_{i-1}$	$X_{i+1}$		$t_{i-1}$	$t_{i+1}$			
Высота (H), м							
98,0	83,5	2	2,02	1,49	1,76	0,085	2,65
83,5	68,2	1	1,49	0,95	1,22	0,189	5,89
68,2	52,9	3	0,95	0,40	0,68	0,317	9,88
52,9	37,6	3	0,40	-0,15	0,13	0,396	12,35
37,6	22,3	7	-0,15	-0,70	-0,43	0,364	11,35
22,3	7	6	-0,70	-1,25	-0,98	0,247	7,7
7,0	-8,3	1	-1,25	-1,79	-1,52	0,126	3,93
-8,3	-23,6	0	-1,79	-2,35	-2,07	0,047	1,47
-23,6	-38,9	0	-2,35	-2,90	-2,63	0,013	0,41
-38,9	-54,2	0	-2,90	-3,44	-3,17	0	0
Площадь (S), га							
65,0	54,2	1	2,89	2,27	2,58	0,014	0,21
54,2	43,4	0	2,27	1,65	1,96	0,058	0,86
43,4	32,6	1	1,65	1,03	1,34	0,163	2,43
32,6	21,8	2	1,03	0,41	0,71	0,310	4,62
21,8	11,0	5	0,41	-0,21	0,10	0,397	5,92
11,0	0,2	13	-0,21	-0,83	-0,52	0,349	5,20
0,2	-10,7	1	-0,83	-1,45	-1,14	0,208	3,10
-10,7	-21,5	0	-1,45	-2,07	-1,76	0,085	1,27
-21,5	-32,3	0	-2,07	-2,69	-2,38	0,024	0,36
-32,3	-43,1	0	-2,69	-3,31	-3,00	0,004	0,06
Объем (V), м <sup>3</sup>							
8171,1	6809,3	0	3,23	2,60	2,92	0,006	0,91
6809,3	5447,5	1	2,60	1,97	2,29	0,029	0,44
5447,5	4085,7	1	1,97	1,34	1,66	0,101	1,53
4085,7	2723,9	0	1,34	0,71	1,03	0,235	3,55
2723,9	1362,1	2	0,71	0,08	0,39	0,369	5,56
1362,1	0,3	19	0,08	-0,55	-0,24	0,388	5,86
0,3	-1361,5	0	-0,55	-1,18	-0,87	0,273	4,12
-1361,5	-2723,3	0	-1,18	-1,81	-1,49	0,132	1,99
-2723,3	-4085,1	0	-1,81	-2,44	-2,13	0,041	0,62
-4085,1	-5446,9	0	-2,44	-3,07	-2,76	0,009	0,14
Масса (M), тыс.т							
14735,3	12279,5	0	2,97	2,38	2,68	0,011	0,16
12279,5	9823,7	2	2,38	1,79	2,09	0,045	0,64
9823,7	7367,9	0	1,79	1,20	1,49	0,132	1,87
7367,9	4912,1	0	1,20	0,61	0,91	0,264	3,73
4912,1	2456,3	2	0,61	0,02	0,32	0,370	5,23
2456,3	0,5	18	0,02	-0,57	-0,28	0,384	5,43
0,5	-2455,3	1	-0,57	-1,17	-0,87	0,273	3,86
-2455,3	-4911,1	0	-1,17	-1,75	-1,46	0,137	1,94
-4911,1	-7366,9	0	-1,75	-2,33	-2,04	0,049	0,69
-7366,9	-9822,7	0	-2,33	-2,92	-2,63	0,013	0,18

Таблица 1.4

Фактические значения критерия  $\chi^2$  Пирсона

Параметры отвалов	$\chi^2$ Пирсона факт. = $\sum (m_i - \tilde{m}_i)^2 / \tilde{m}_i$
Высота Н, м	19,43
Площадь S, га	3,42
Объем V, м <sup>3</sup>	0,12
Масса М, тыс.т	0,2

Исходя из данных табл. 1.4 параметры отвалов объекта исследований необходимо аппроксимировать близкими к нормальному законами распределения.

Дополнительно нами проанализирована взаимная зависимость параметров отвалов ОАО «Лисичанскуголь» (табл. 1.5).

Таблица 1.5

## Взаимная зависимость параметров отвалов ОАО «Лисичанскуголь»

Параметры отвалов	Коэффициент корреляции, R	Ошибка коэфф. корреляции, $m_r$	Уравнение регрессии
H→S	0.51	0.1	$y=22/52+2.34x-0.03x^2$
H→V	0.94	0.01	$y=17.67+1.03x^{0.5}$
H→M	0.94	0.01	$y=16.97+0.73x^{0.5}$
S→V	0.45	0.1	$y=0.72+2.84\log x$
S→M	0.5	0.1	$y=7.21+0.01x-0.0000006x^2$
V→M	0.98	0.003	$y=40.22+0.42x+0.000007x^2$

Исходя из данных табл. 1.5 наблюдается тесная зависимость между высотой (H) и объемом (V) отвалов с коэффициентом корреляции R=0,94 и между высотой (H) и массой (M) отвалов с таким же коэффициентом корреляции. Ещё теснее связь между объемом и массой отвалов (R=0,98).

## 1.2. Радиоактивность терриконов

Одним из вредных воздействий отвалов угольных шахт Донбасса является их радиоактивность. По данным Л. Г. Зубовой, В. А. Гречки, Ю. В. Матюшенко [1] экспозиционная доза гамма-излучения породы отвалов ПО «Луганскуголь» колеблется в пределах 17 - 33 мкР/ч, плотность потока бета-частиц в пределах 334 - 501 (с\*м<sup>2</sup>)<sup>-1</sup>, удельная активность  $A \cdot 10^8$  от 7 до 10 Ки/кг.

Исследованиями С. Г. Воробьева и В. Г. Кудленко [2] установлено, что альфа-активность пород и почв, прилегающих к терриконам, находится на одном уровне с фоном, а удельная гамма-активность превышает фоновое значение. Превышение над гамма-фоном, по их мнению, обусловлено

содержанием в исследуемых образцах  $\text{Th}^{232}$  других тяжелых элементов и продуктов их распада. Однако они указывают, что удельная гамма-активность не превышает предельно допустимого значения для стройматериалов, которое составляет 370 Бк/кг.

По результатам измерения удельной гамма-активности М. И. Уханева и Е. Б. Хоботова [3], также, относят отвальную породу к 1 классу радиационной опасности и предлагают использовать ее в строительстве без ограничений. Однако они указывают, что сохраняется определенная опасность радоновыделений, так как существует прямая корреляция между удельной активностью радия и объемной концентрацией радона в воздухе помещений, повышение которой является причиной увеличения легочной дозы облучения человека.

Целью данного подраздела является оценка радиоактивности отвалов угольных шахт ОАО «Лисичанскуголь».

Для достижения поставленной цели нами были решены следующие задачи: 1) произведены замеры радиоактивности отвалов; 2) проанализированы и оценены результаты замеров бета- и гамма-излучений.

Методы измерений.

Радиационные измерения проводились нами с помощью радиометра бета-гамма-излучения РКС-20-03 «Припять». В инструкции к работе прибора отмечено, что в качестве детекторов бета- и гамма-излучения в радиометре используются встроенные счетчики типа СБМ-20. При появлении ионизирующих частиц или гамма-квантов в газовом объеме счетчиков развивается электрический разряд, формирующий на выходе электрической схемы импульсы напряжения, которые с помощью электронного пересчетного устройства преобразуются в цифровую информацию и отображаются на четырехразрядном жидкокристаллическом индикаторе. Диапазон измерений мощности экспозиционной дозы гамма-излучения от 0,01 до 20,00 мР/ч и мощности эквивалентной дозы гамма-излучения от 0,1 до 200 мкЗв/ч. Диапазон измерений плотности потока бета-излучения от 10 до 20,00  $\times 10^2$  част/мин  $\text{см}^2$ . Диапазон измерений удельной активности от  $1 \times 10^{-7}$  до  $2 \times 10^{-5}$  Ки/кг. При измерении радиоактивного загрязнения бета-частицами производят сначала замер с закрытой крышкой-фильтром на расстоянии 1 - 2 см от контролируемой поверхности, а затем замер со снятой крышкой на том же расстоянии. Разность между показаниями радиометра со снятой крышкой-фильтром и с закрытой дает величину радиоактивного загрязнения поверхности. Газоразрядные счетчики, используемые в радиометре, фиксируют гамма- и бета-излучение. При измерении со снятой крышкой фиксируются оба вида излучения.

В качестве объектов исследования использованы три породных отвала ОАО «Лисичанскуголь»: естественно заросший, переформированный из конического в плоский отвал бывшей шахты им. П. Л. Войкова (рис.1); переформированный из конического в плоский и озелененный в 1989-1991 гг. отвал бывшей шахты им. М. Л. Рухимовича; естественно заросший конический отвал шахты им. Я. Ф. Мельникова.

Для решения первой задачи нами были произведены замеры бета-гамма-излучений, для решения второй произведена проверка и получено подтверждение однородности данных (табл.1.6).

Таблица 1.6

Проверка однородности данных радиоактивности  
отвалов ОАО «Лисичанскуголь»

Место замера	Показатели радиоактивности	Значения экстремальных показателей			
		$X_1\tau = X_2 - X_1 / X_{n-1} - X_1$	$X_n\tau = X_n - X_{n-1} / X_n - X_2$	$X_1\tau$	$X_n\tau$
1.Отвал шх. им. П. Л. Войкова	$\gamma$	0,05	0,05	+	+
	$\beta + \gamma$	0,04	0,04	+	+
2.Отвал шх. им. М. Л. Рухимовича	$\gamma$	0,04	0,04	+	+
	$\beta + \gamma$	0,04	0,08	+	+
3. Отвал шх. им. Я. Ф. Мельникова	$\gamma$	0,06	0,06	+	+
	$\beta + \gamma$	0,05	0,05	+	+

На рис 1.3 представлены средние значения показателей радиоактивности ( $\beta + \gamma$  и  $\gamma$ ).

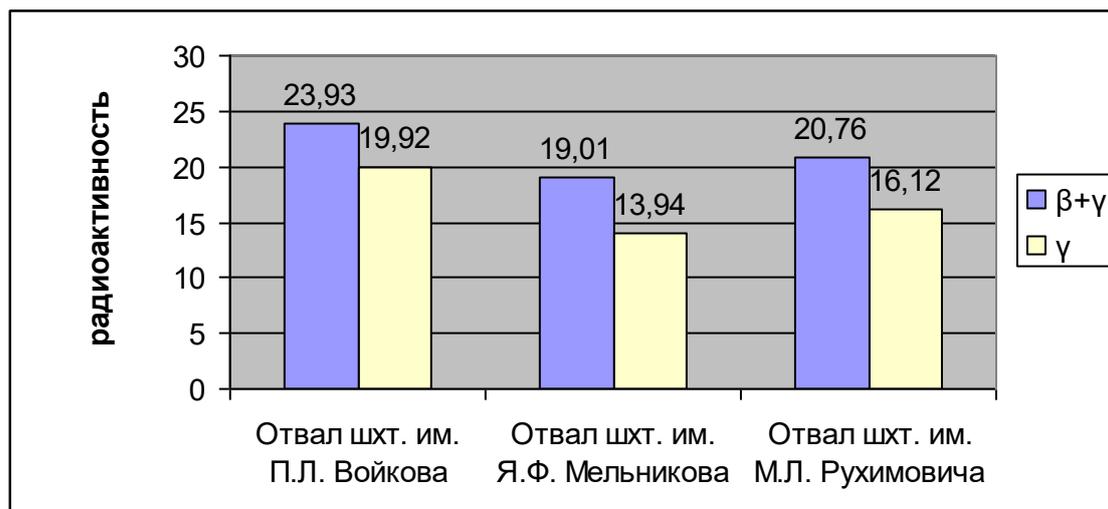


Рис. 1.3. Средние значения показателей радиоактивности

Исходя из рис.3 можно сделать вывод, что отвал шахты им. П.Л. Войкова характеризуется самыми высокими средними показателями радиоактивности ( $\gamma = 19,92$ ,  $\beta + \gamma = 23,93$  мР/ч), а отвал шахты им. Я.Ф. Мельникова — самыми низкими показателями радиоактивности ( $\gamma = 13,94$ ,  $\beta + \gamma = 19,01$  мР/ч).

С помощью метода моментов выдвинута гипотеза о достоверности данных. Исходя из данных табл. 1.7 все параметры отвалов имеют значения асимметрии и эксцесса в допустимых пределах, то есть  $A < 3\delta_a$  и  $E < 3\delta_e$ . При таких значениях этих показателей выдвигается гипотеза о соответствии данных нормальному закону распределения.

В табл. 1.8 представлены фактические значения критерия  $\chi^2$  Пирсона, рассчитанные через плотность  $f(t_i)$  и интеграл  $\Phi(t_i)$  вероятности.

На рис. 1.4 представлены гистограммы радиоактивности отвалов ОАО «Лисичанскуголь», на оси ординат которых представлены эмпирические частоты показателей радиоактивности.

Исходя из рис.1.4 и табл. 1.8 данные по радиоактивности отвалов ОАО «Лисичанскуголь» необходимо аппроксимировать близкими к нормальному законами распределения.

Таблица 1.7

Статистические показатели радиоактивности отвалов, рассчитанные методом моментов

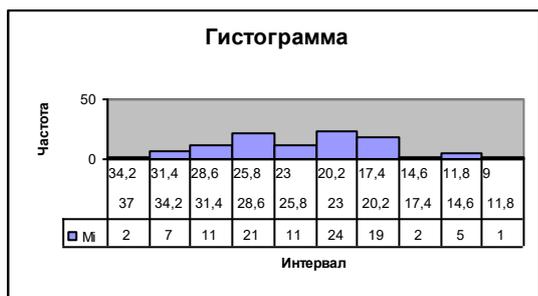
Показатели	$\beta+\gamma$			$\gamma$		
	Отвал шахты им. П.Л.Войкова	Отвал шахты им. Я.Ф. Мельникова	Отвал шахты им. М.Л.Рухимовича	Отвал шахты им. П.Л. Войкова	Отвал шахты им. Я.Ф.Мельникова	Отвал шахты им. М.Л. Рухимовича
$v_1$	10,96	18,99	16,07	9	13,54	12,23
$v_2$	2743,35	380,25	367,59	187,88	201,58	202,80
$v_3$	7167,73	7994,19	8895,22	4107,50	3228,42	3620,32
$v_4$	194242,7	175705,8	224898,20	93683,53	54963,34	68047,97
$\mu_2$	13,26	19,47	26,23	9,46	16,13	21,64
$\mu_3$	-5,44	30,78	12,18	8,92	15,13	-88,12
$\mu_4$	979,02	967,48	2170,79	483,75	566,54	1246,01
$S^2$	32,03	22,87	19,81	24,83	12,99	27,29
$S$	5,66	4,78	4,45	4,98	3,61	4,93
$\Gamma_3$	-0,03	0,28	0,14	0,07	0,32	-0,74
$\Gamma_4$	0,95	1,85	5,53	0,78	3,35	2,11
$E$	-2,05	-1,15	2,53	-2,22	0,35	-0,89
$3\delta_a$	0,49	0,87	0,64	0,49	0,78	0,68
$3\delta_a$	0,98	1,74	1,28	0,99	1,57	1,36
$A < 3\delta_a$	ИСТИНА	ИСТИНА	ИСТИНА	ИСТИНА	ИСТИНА	ИСТИНА
$E < 3\delta_a$	ИСТИНА	ИСТИНА	ИСТИНА	ИСТИНА	ИСТИНА	ИСТИНА

Таблица 1.8

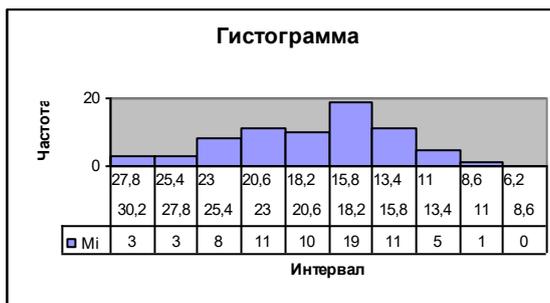
Фактические значения критерия  $\chi^2$  Пирсона

Объекты исследований и показатели радиоактивности	$\chi^2$ Пирсона факт. = $\sum (m_i - \tilde{m}_i)^2 / \tilde{m}_i$ (теоретические частоты рассчитаны через плотность вероятности $f(t_i)$ )	$\chi^2$ Пирсона факт. = $\sum (m_i - \tilde{m}_i)^2 / \tilde{m}_i$ (теоретические частоты рассчитаны через интеграл вероятности $\Phi(t_i)$ )
Отвал шх. им. П.Л.Войкова ( $\beta+\gamma$ )	160,27	-243,16
Отвал шх. им. П.Л.Войкова ( $\gamma$ )	58,38	26,51
Отвал шх. им. Я.Ф. Мельникова ( $\beta+\gamma$ )	14,21	128,38
Отвал шх. им. Я.Ф. Мельникова ( $\gamma$ )	36,63	165,38
Отвал шх. им. М.Л. Рухимовича ( $\beta+\gamma$ )	95,18	221,43
Отвал шх. им. М.Л. Рухимовича ( $\gamma$ )	44,51	163,53

### Отвал шахты им. П.Л. Войкова

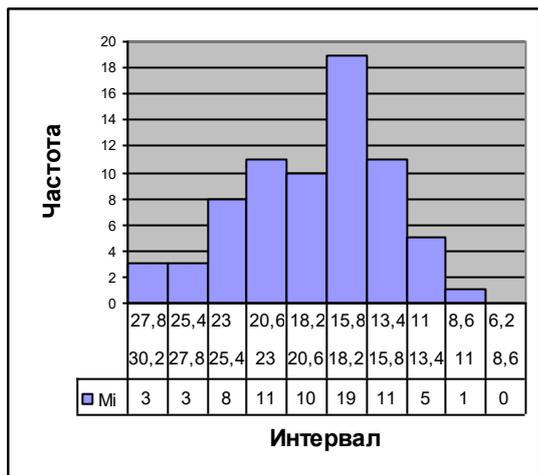


$\beta+\gamma$

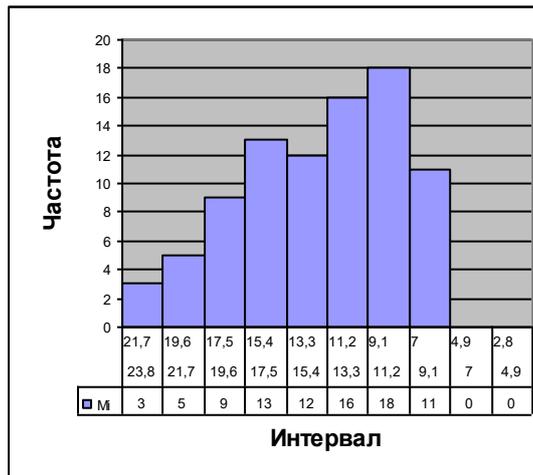


$\gamma$

### Отвал шахты им. Я.Ф. Мельникова

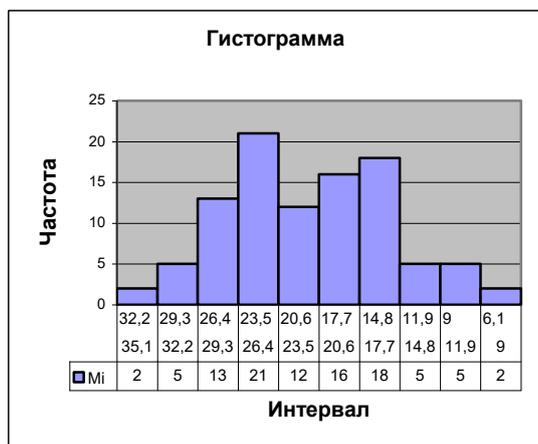


$\beta+\gamma$

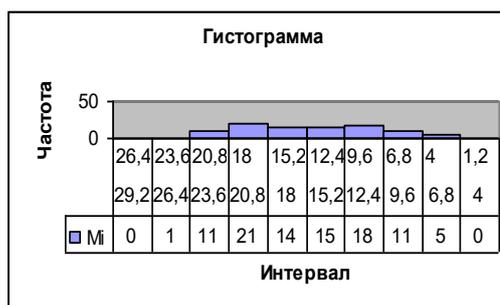


$\gamma$

### Отвал шахты им. М.Л. Рухимовича



$\beta+\gamma$



$\gamma$

Рис. 1.4. Гистограммы радиоактивности породы различных отвалов

Оценка различий между показателями радиоактивности произведена нами с помощью критериев Фишера-Снедекора и Стьюдента (табл. 1.9).

Таблица 1.9

Оценка существенности различий между показателями радиоактивности

Сравниваемые варианты	Критерий Фишера-Снедекора ( $F=S_x^2/S_y^2$ )	Критерий Стьюдента (t)	Существенность различий
$\beta+\gamma \rightarrow \gamma$ (отвал шах. им. П.Л. Войкова)	1,29 > 1 ( $H_1'$ )	7,86 > 1,96 ( $H_1''$ )	существ.
$\beta+\gamma \rightarrow \gamma$ (отвал шах. им. Я.Ф. Мельникова)	1,76 > 1,53 ( $H_1'$ )	7,68 > 1,96 ( $H_1''$ )	существ.
$\beta+\gamma \rightarrow \gamma$ (отвал шах. им. М.Л. Рухимовича)	1,23 > 1,22 ( $H_1'$ )	22,95 > 1,96 ( $H_1''$ )	существ.

На рис.1.5 представлена зависимость между значениями показаний радиоактивности с закрытой крышкой-фильтром (поток  $\gamma$ -частиц) и с открытой крышкой ( $\beta+\gamma$ ). Исходя из рисунка зависимость между показателями радиоактивности характеризуется как слабая (отвал шахты им. П.Л. Войкова) Я. Ф. Мельникова) или практически отсутствует (другие отвалы).

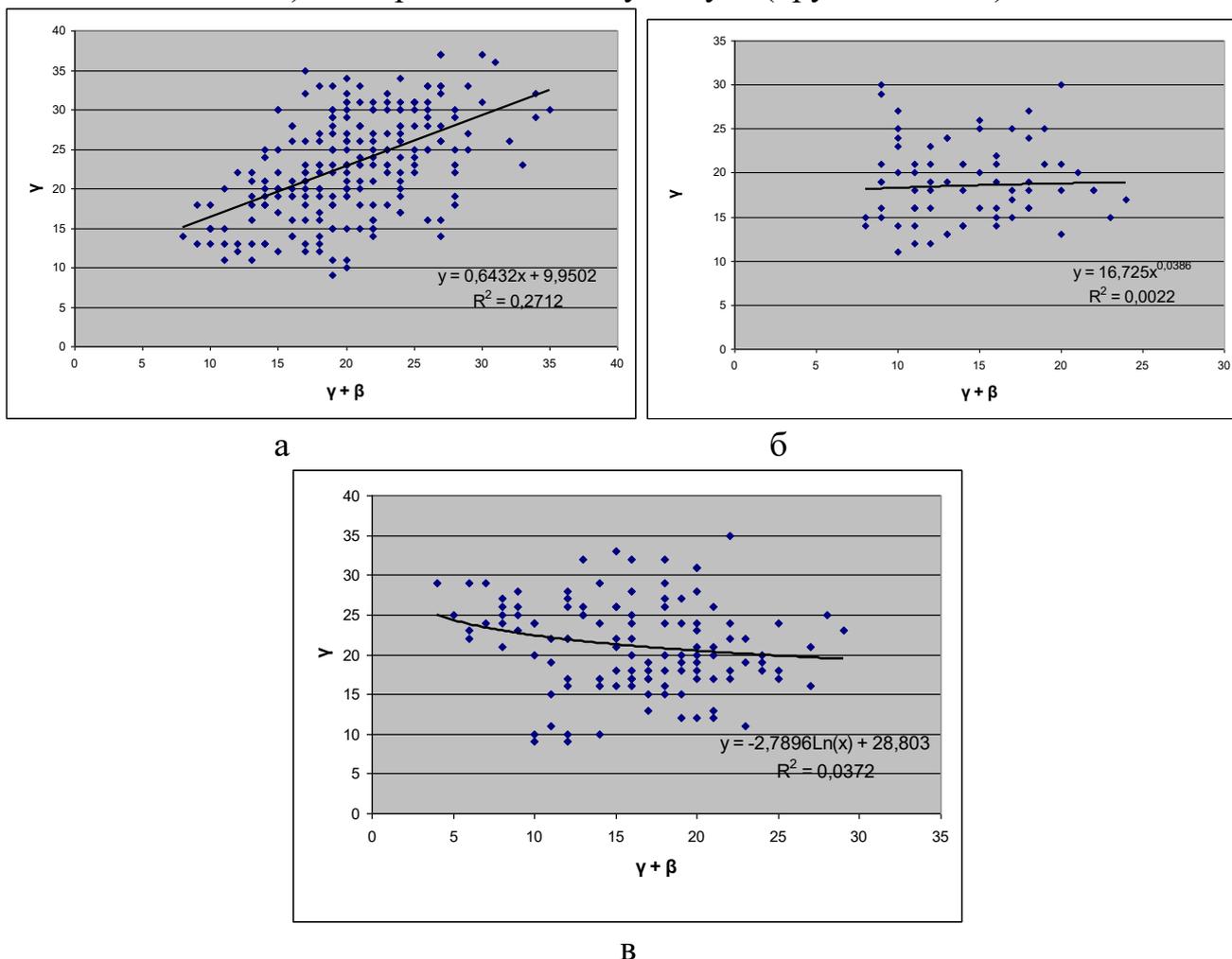


Рис. 1.5. Зависимость между значениями показаний радиоактивности с закрытой крышкой (поток  $\gamma$ -частиц) и с открытой крышкой ( $\beta+\gamma$ ) на отвалах шахт: а - им. П. Л. Войкова; б - им. Я. Ф. Мельникова; в - им. М. Л. Рухимовича

Детальному изучению радиоактивности терриконов посвящено много научных работ [4, 5, 6]. В работе [4] установлено, что угли и вмещающие их породы содержат высокие концентрации урана. И наиболее богаты им те, которые содержат сульфидную серу в виде пирита. Именно к таким относятся угли и сланцы Донбасса.

Согласно источника [5] установлено, что накопление урана, находящегося в настоящее время в отвальной породе, происходило в восстановительных условиях глубинных осадочных пород (геохимические концентрации типа В<sub>3</sub>).

Значительная часть естественной радиоактивности пород в отвалах связана с радиоизотопами (радионуклидами) тяжелых элементов с порядковыми номерами более 82, которые образуют три радиоактивных семейства – урана, актиния и тория. Эти семейства включают соответственно 17, 14 и 12 радиоактивных изотопов, распадающихся в основном с испусканием альфа-частиц (ядер гелия); некоторые из членов семейств относятся к бета- и гамма-излучателям [6].

Следующей задачей наших исследований было выявить, где и в каких условиях (склон без растительности, склон, покрытый лесом и др.) наблюдаются наибольшие показатели радиоактивности.

Для этого исследования также произведена проверка «сомнительных» вариант замеров радиоактивности на принадлежность к данной выборочной совокупности (табл.1.10).

Таблица 1.10

Проверка принадлежности сомнительных вариант к выборочной совокупности

Место замера бета-гамма-излучения	Значение показателей			
	$X_1\tau = X_2 - X_1 / X_{n-1} - X_1$	$X_2\tau = X_n - X_{n-1} / X_n - X_2$	$X_1\tau$	$X_2\tau$
<i>1. Отвал шахты им. П.Л. Войкова</i>				
1.1. Спекшаяся порода	0.06	0.06	+	+
1.2. Конус выноса породы у водоема	0.133	0.133	+	+
1.3. Контроль (почва вблизи террикона)	0.071	0.186	+	+
<i>2. Отвал шахты им. М.Л. Рухимовича</i>				
2.1. Склон, озелененный акацией белой	0.056	0.105	+	+
<i>3. Отвал шахты им. Я.Ф. Мельникова</i>				
3.1. Склон, заросший лесом	0.055	0.055	+	+
3.2. Склон, заросший травой	0.067	0.176	+	+

Согласно полученным данным все экстремальные (максимальные и минимальные) значения принадлежат к данной выборочной совокупности.

Далее нами были определены статистические характеристики количественной изменчивости замеров радиоактивности породных отвалов ОАО «Лисичанскуголь». Они представлены в табл. 1.11.

Согласно данным табл. 1.11 максимальное среднее значение ( $x_{ср.}$ ) замеров радиоактивности наблюдалось на отвале шахты им. П.Л. Войкова (спекшаяся

порода - 28,3 и конус выноса породы у водоема - 26,7), минимальное значение отмечено на контроле (почва рядом с одним из терриконов и на склоне, заросшем лесом (отвал шахты им. Я.Ф. Мельникова).

Коэффициент вариации всех измерений колеблется в пределах 14,8 - 26,0%, что свидетельствует о соответствии всех полученных значений нормальному закону распределения. Однако оценка нормальности распределения по коэффициенту варьирования является «прикидочной».

Возможность принятия гипотезы нормального распределения проверена нами с помощью показателей асимметрии и эксцесса (табл. 1.12).

Таблица 1.11

Статистические характеристики количественной изменчивости радиоактивности породных отвалов ОАО «Лисичанскуголь»

Место замера бета-гамма-излучения	Статистические показатели					
	$\bar{x}_{cp.}$	$S^2$	$Sx_{cp.}$	$Sx_{cp.} \%$	V%	$x_{cp.} \pm t Sx_{cp.}$
<i>1. Отвал шахты им. П.Л. Войкова</i>						
1.1. Спекшаяся порода	26,7	21,6	0,71	2,66	17,4	25,3-28,1
1.2. Конус выноса породы	28,3	17,6	0,72	2,55	14,8	26,8-29,7
1.3. Контроль (почва рядом с терриконом)	17,2	12,7	0,49	2,87	20,7	16,3-18,2
<i>2. Отвал шахты им. М.Л. Рухимовича</i>						
2.1. Склон, озелененный акацией белой	23,6	25,1	0,6	2,55	21,2	22,4-24,8
<i>3. Отвал шахты им. Я.Ф. Мельникова</i>						
3.1. Склон, заросший лесом	18,5	23,2	0,85	4,59	26,0	16,8-20,2
3.2. Склон, заросший травой	19,4	18,6	0,69	3,55	22,3	18,0-20,8

Таблица 1.12

Соответствие данных радиоактивности закону нормального распределения

Место замера бета-гамма-излучения	Статистические показатели				Соответствие закону нормального распределения	
	A	E	$3\sigma_a$	$3\sigma_e$	$A < 3\sigma_a$	
<i>1. Отвал шахты им. П.Л. Войкова</i>						
1.1. Спекшаяся порода	0,21	-0,62	1,12	2,24	+	+
1.2. Конус выноса породы	0,23	-0,9	1,26	2,52	+	+
1.3. Контроль (почва)	0,28	-0,03	1,02	2,04	+	+
<i>2. Отвал шахты им. М.Л. Рухимовича</i>						
2.1. Склон с акацией белой	0,2	-0,86	0,88	1,77	+	+
<i>3. Отвал шахты им. Я.Ф. Мельникова</i>						
3.1. Склон, заросший лесом	0,2	-0,28	1,3	2,6	+	+
3.2. Склон, заросший травой	0,23	-0,64	1,18	2,35	+	+

Согласно данным табл.1.12 во всех вариантах исследований соблюдены условия  $A < 3\sigma_a$ ,  $E < 3\sigma_e$ , что свидетельствует о возможности принятия гипотезы нормального распределения.

Оценка различий между замерами радиоактивности произведена нами с помощью критериев Фишера-Снедекора и Стьюдента (табл. 1.13).

Таблица 1.13

Оценка различий между показателями радиоактивности

Сравниваемые варианты замеров бета-гамма-излучений	Критерии		Существенность различий
	Фишера-Снедекора ( $F=S_x^2/S_y^2$ )	Стьюдента (t)	
1) Заросший лесом участок ↔ заросший травой участок (отвал шахты им. Я. Ф. Мельникова)	1,2 < 1,8 ( $H_0'$ )	0,8 < 2,0 ( $H_0''$ )	не существ.
2) Склон, озелененный акацией белой (отвал шахты им. М.Л. Рухимовича) ↔ склон, заросший лесом (отвал шахты им. Я.Ф. Мельникова)	1,1 < 1,7 ( $H_0'$ )	5,2 > 1,98 ( $H_1''$ )	существ.
3) Спекшаяся порода ↔ промоина, конус выноса у водоема (отвал шахты им. П. Л. Войкова)	1,2 < 1,8 ( $H_0'$ )	1,6 < 1,98 ( $H_0''$ )	не существ.
4) Промоина, конус выноса у водоема ↔ контроль - почва рядом с терриконом (отвал шахты им. П.Л. Войкова)	1,4 < 1,7 ( $H_0'$ )	12,97 > 2,0 ( $H_1''$ )	существ.

Результаты табл. 1.13 свидетельствуют об отсутствии различий в показаниях радиоактивности на заросшем лесом и заросшем травой участках старого отвала шахты им. Я. Ф. Мельникова, а также в показаниях радиоактивности спекшейся породы террикона и конуса выноса породы у водоема (отвал шахты им. П. Л. Войкова). Однако существенные различия наблюдаются между конусом выноса породы из промоины и контролем (почвой рядом с терриконом) также шахты им. П. Л. Войкова, а также склоном, искусственно озелененным акацией белой в 1989-91 годах (отвал бывшей шахты им. М. Л. Рухимовича), и склоном старого отвала шахты им. Я. Ф. Мельникова, давно естественно заросшего лесом.

### 1.3. Горение отвалов

Одним из вредных проявлений терриконов является их горение. По данным В. И. Бакланова [7] в терриконах Донецка ежегодно сгорает более 30 тыс. т серы и 150 тыс. т угля. Сущность самовозгорания углей или пород, содержащих уголь, по мнению Д. Н. Калюжного и др. [8] заключается в том, что уголь сорбирует на своей поверхности из воздуха молекулярный кислород, который образует с углеродом нестойкое пероксидное соединение. Последнее легко разлагается, выделяя при этом активный кислород, окисляющий уголь и превращающий последний в богатые кислородом стойкие соединения. Так как процесс этот экзотермический, он сопровождается повышением температуры, ускоряющим процесс окисления, что в конечном счете приводит к самовозгоранию.

М. П. Зборщик и В. В. Осокин [9, 10] в горении отвальной породы выделяют несколько стадий: самонагревание влажной горной породы вследствие биохимического и химического окислительного выщелачивания пирита, завершающееся образованием в ней химического реактора; прогревание химическим реактором поверхностного слоя горной породы и обогащение его элементарной серой; воспламенение паров серы на воздухе вблизи поверхности самонагревающейся горной породы при температуре 248...261°C; возникновение устойчивого горения десорбирующегося метана, продуктов термической деструкции и газификации горной породы.

М. И. Уханева и Е. Б. Хоботова [3] приблизительно определили температуру сгорания породы. Отсутствие метакаолинита  $Al_2O_3 \cdot 2SiO_2$  и силиманита  $Al_2O_3 \cdot SiO_2$  свидетельствует о том, что температура сгорания составляла более 600°C. Отсутствие же углистых примесей позволяет предположить, что температура сгорания достигала 900-1000°C.

Горение терриконов приводит к значительному изменению состава атмосферного воздуха и выпадению кислотных дождей, так как из одного горящего отвала за сутки в среднем выделяется в атмосферу 4-5 т оксидов углерода и от 600 до 1100 кг сернистого ангидрида, а также небольшие количества сероводорода, оксидов азота и других продуктов горения [11].

В горнодобывающей отрасли разработана инструкция, включающая правила контроля за тепловым состоянием, предупреждения самовозгорания породных отвалов, тушения горящих, разборки негорящих и потушенных отвалов [12]. В НИИГД разработана методика контроля теплового состояния породных отвалов, где для повышения точности определения формы и площади очагов тепловыделения на их поверхности используются тепловизоры, воспроизводящие инфракрасное изображение объекта на экране и термоизображения на гибком магнитном диске с дальнейшей его обработкой на ПЭВМ [13]. В зависимости от температуры породы ученые различают три зоны: от температуры пород, превышающей температуру воздуха на 30°C, и до 120°C (зона I), от 120 до 260°C (зона II) и выше 260°C (зона III). Ими также предложены расчетные значения удельных газовыделений вредных веществ в атмосферу. Эти значения представлены нами в виде графиков (рис. 1.6).

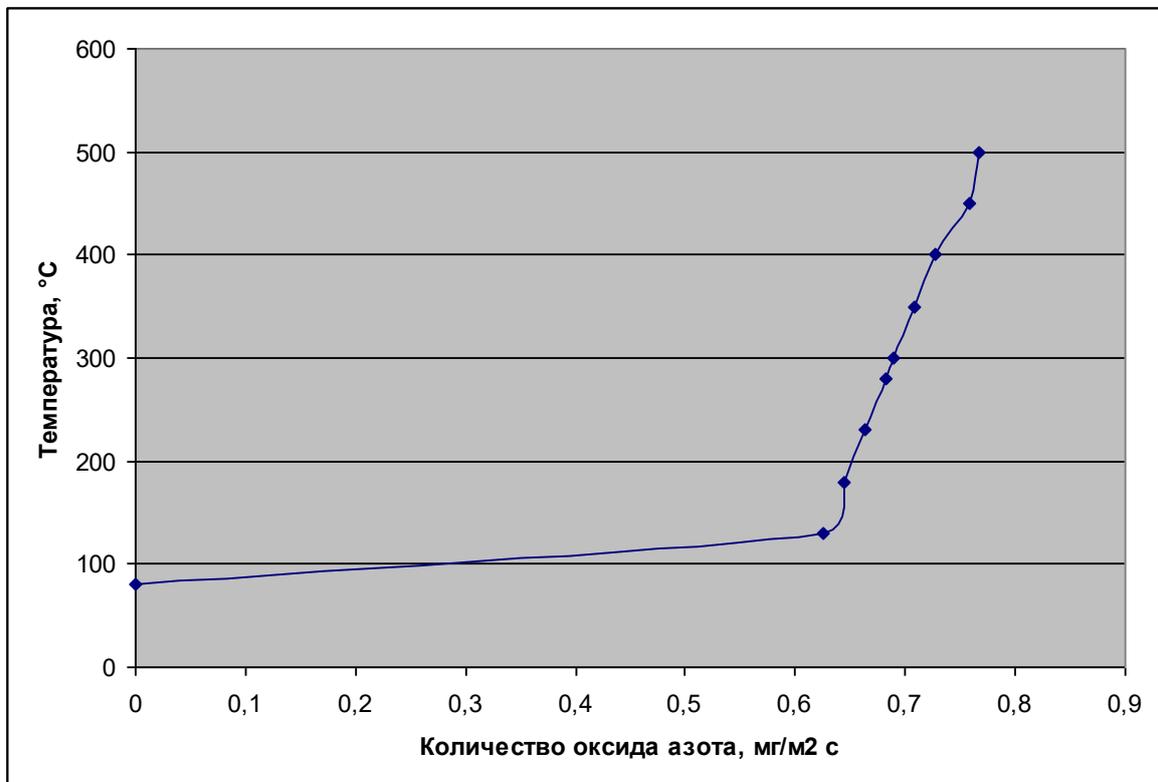
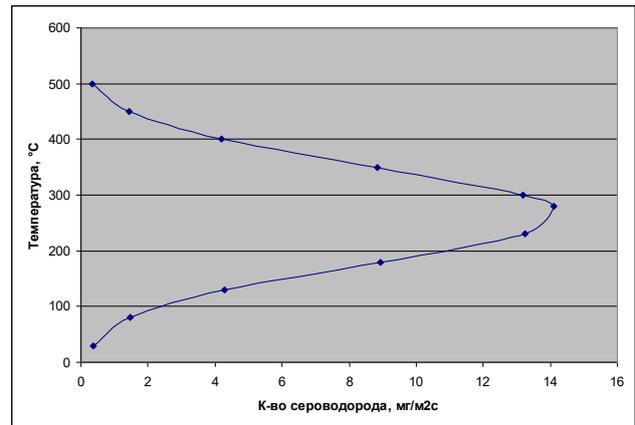
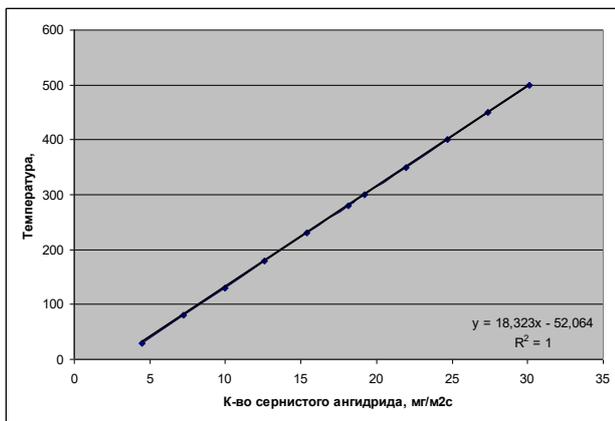
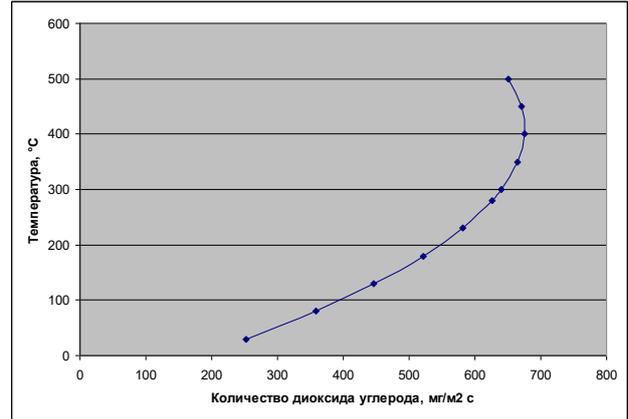
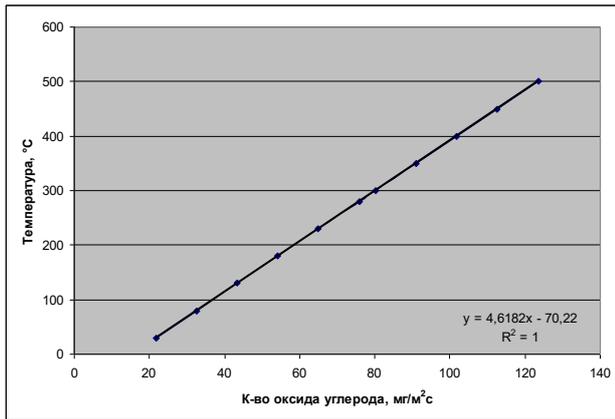


Рис. 1.6. Количество выделяющихся вредных веществ в зависимости от температуры горящих отвальных пород

Методика контроля теплового состояния породных отвалов, разработанная НИИГД, позволяет оперативно получать информацию о тепловом состоянии любого породного отвала (горит – не горит) при отсутствии явных (видимых) очагов горения и позволяет в 1,5-2 раза сократить финансовые, материальные и людские ресурсы.

Однако, по нашему мнению, фотографическая съемка каждого террикона с хвостовой, лобовой, а затем с боковых сторон; плоских отвалов – со всех четырех сторон; обработка снимков длительна и не дает информации в динамике.

Для контроля за тепловым состоянием породных отвалов угольных шахт предлагается использовать методы космического зондирования. Это позволит уменьшить трудозатраты, одновременно получать информацию о наличии всех горящих терриконов, анализировать такую информацию во времени.

Для изучения спектральной яркости терриконов необходимо использовать космические снимки, отснятые в узкой инфракрасной зоне спектров. При нанесении информации на карты необходимо использовать пакеты прикладных программ ENVI (для создания баз данных) и Fotoshop (для обработки снимков по фототону). Основным признаком, по которому можно выявлять горящие терриконы, будет тон. Темный фототон будет соответствовать негорящим участкам на поверхности терриконов, более светлые тона различной яркости – горящим участкам.

Исходя из вышеизложенного нами сделана теоретическая попытка адаптировать методы космического зондирования для контроля за тепловым состоянием отвалов угольных шахт. Однако поднятый вопрос требует дальнейшей глубокой и всесторонней практической проработки.

#### **1.4. Водная эрозия на терриконах**

Задачей этого подраздела является изучение водной эрозии на поверхности шахтных отвалов. Для ее решения нами была сделана оценка интенсивности эрозионных процессов на различных терриконах и в различных условиях.

##### ***1.4.1. Оценка эрозионных процессов на поверхности отвалов при отсутствии растительного покрова***

Объектом исследований был отвал шахты «Матросская» ОАО «Лисичанскуголь», переформированный из конического в плоский в 2006 году (рис. 1.7). В результате переформирования склоны отвала покрылись срезанной породой, а промоины, имевшиеся на них, оказались засыпанными. Поэтому появилась возможность изучения эрозионного процесса от его начала на свежесыпанном отвале.



Рис. 1.7. Переформированный отвал шахты «Матросская» с промоинами и вынос продуктов эрозии на прилегающие сельхозугодия

Для определения годового модуля смыва был применен метод С. С. Соболева [5]. При этом на площадке размером 1 x 10 м, расположенной поперек склона, был произведен замер ширины и глубины промоин (рис. 1.8, табл. 1.14), сформированных стоком талых и ливневых вод за 12, 24 и 36 месяцев, прошедших после выполненного переформирования отвала (с 01.10.06 г. по 6.10.2007 г., с 6.10.2007 г. по 5.10.2008 г. и с 5.10.2008 г. по 25.10.2009 г.).



Рис.1.8. Промоины на учетной площадке отвала шахты «Матросская»

Таблица 1.14

Динамика изменений параметров промоин за три периода эрозионных процессов

Номера промоин	Параметры сечений промоин, периоды измерений								
	Ширина b, см			Глубина h, см			Площадь сечения промоин, м <sup>2</sup>		
	I	II	III	I	II	III	I	II	III
1	8	22	23,5	10	21	29	0,0080	0,0462	0,0682
2	17	17	20	6	12	15	0,0100	0,0204	0,0300
3	10	16	15,5	5	8	12	0,0050	0,0128	0,0186
4	13	25,5	26	19	23	24	0,0250	0,0587	0,0624
5	12	23	23	10	4	10	0,0120	0,0092	0,0230
6	13	23	26,5	6	16	22	0,0080	0,0368	0,0583
7	21	23,5	28	8	27	28	0,0170	0,0635	0,0784
8	11	19	20	4	7	10	0,0040	0,0133	0,0200
9	18	27	30	16	26	30	0,0290	0,0702	0,0900
10	12	21	22	8	4	13	0,0100	0,0084	0,0286
11	18	22,5	27,5	30	22	24	0,0540	0,0495	0,0660

Динамика изменения площади сечения отдельных промоин на учетной площадке по периодам наблюдений показана на рис. 1.9.

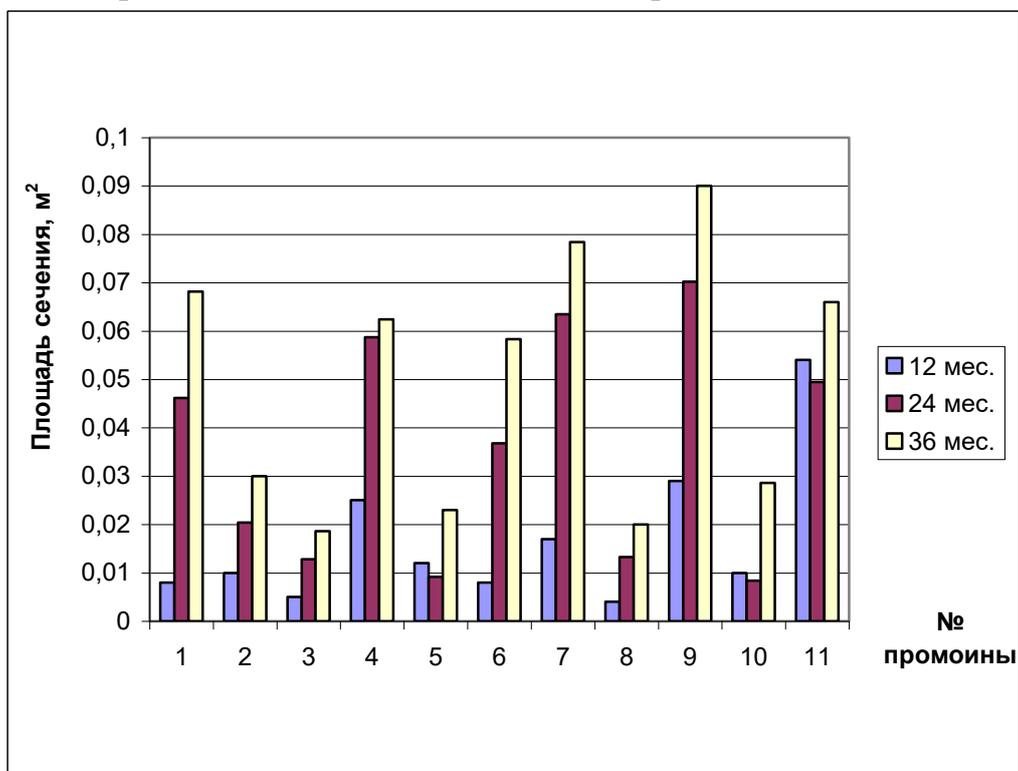


Рис. 1.9. Динамика изменения площади сечения промоин

Суммарная площадь сечения промоин рассчитана по формуле:

$$F = \Sigma(b \cdot h),$$

где  $b$  и  $h$  – соответственно средняя ширина и глубина каждой промоины.

Суммарные площади сечений растущих промоин на 6.10.2007 г, 5.10.2008 г. и 25.10.2009 г. соответственно равны:

$$F_1 = 0,181 \text{ м}^2, F_2 = 0,389 \text{ м}^2; F_3 = 0,543 \text{ м}^2.$$

Смыв породы с учетной площадки в динамике определялся по формуле:

$$V = F \cdot L_{\text{пл}},$$

где  $F$  – суммарная площадь сечений промоин;

$L_{\text{пл}}$  – ширина учетной площадки (1 м);

$$V_1 = 0,181 \text{ м}^3, V_2 = 0,389 \text{ м}^3, V_3 = 0,543 \text{ м}^3.$$

Объемный модуль смыва (смыв с единицы площади) рассчитан по формуле:

$W = V/S$ , где  $S$  – площадь учетной площадки (10 м<sup>2</sup>).

$$W_1 = 0,0181 \text{ м}^3/\text{м}^2 = 181,0 \text{ м}^3/\text{га}; W_2 = 0,0389 \text{ м}^3/\text{м}^2 = 389,0 \text{ м}^3/\text{га}.$$

$$W_3 = 0,0543 \text{ м}^3/\text{м}^2 = 543,0 \text{ м}^3/\text{га}.$$

Массовый модуль смыва с учетной площадки определялся нами по формуле:

$M = W \cdot d$ , м, где  $d = 1,29 \text{ т}/\text{м}^3$  – объемная масса породы.

На 6.10.2007 г, 5.10.2008 г. и 25.10.2009 г. модули смыва были соответственно равны:

$$M_1 = 23,4 \text{ кг}/\text{м}^2 = 234 \text{ т}/\text{га}; M_2 = 50,2 \text{ кг}/\text{м}^2 = 502 \text{ т}/\text{га}; M_3 = 70 \text{ кг}/\text{м}^2 = 700 \text{ т}/\text{га}.$$

Динамика смыва породы во времени показана на рис. 1.10.

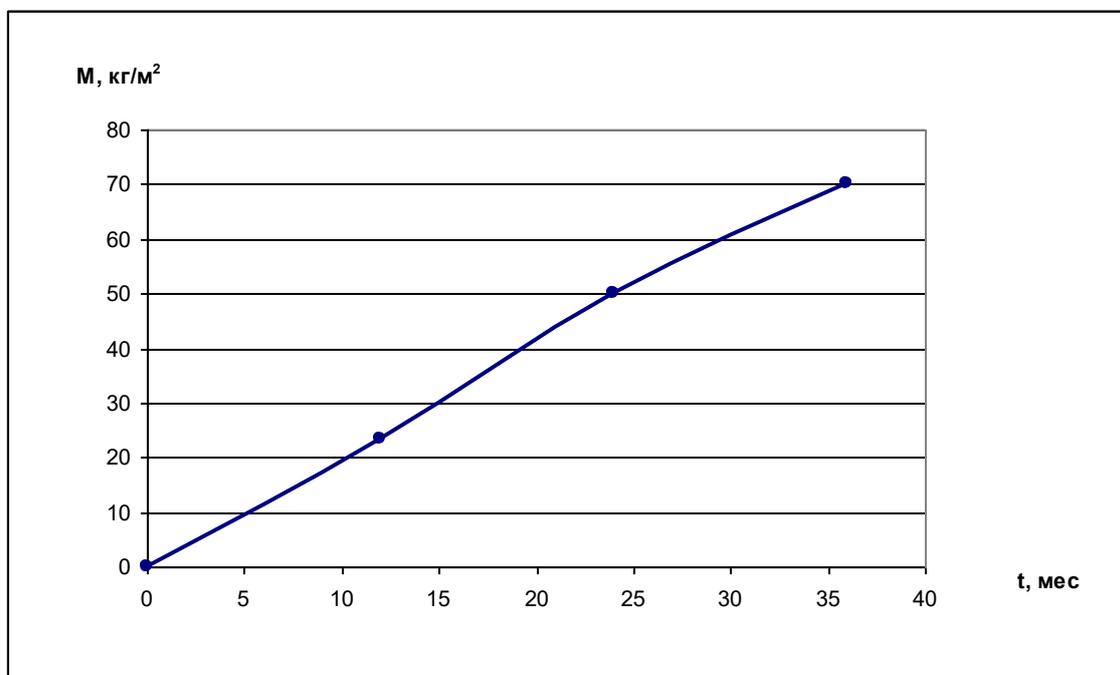


Рис. 1.10. Динамика смыва породы с учетной площадки на терриконе

На основании графика с помощью программы Excel установлено, что динамика смыва породы с учетной площадки описывается уравнением:

$$M = 1,973t + 0,38.$$

Расчеты показывают, что за первые 12 месяцев со склона отвала было смыто 234 т/га, за вторые 12 месяцев – 268 т/га, за третьи 12 месяцев – 198 т/га. В пересчете на месяц смыв за первые 12 месяцев составляет 19,5 т/га, за вторые – 22,3 т/га, а за третьи 12 месяцев – 16,5 т/га. В среднем за три года наблюдений месячный смыв породы составил 19,4 т/га.

На основании данных, полученных на терриконе шахты «Княгининская» (г. Красный Луч), было выведено уравнение изменения поперечного сечения промоин по длине склона L:  $F = 0,0483L - 0,0006L^2 - 0,0703$ .

С помощью этого уравнения был выведен коэффициент, позволяющий по результатам измерения смыва в произвольной точке склона с известным удалением от его вершины определить средние потери породы со всего склона.

Измерения производились в нижней части склона, поэтому по расчету переходный коэффициент K для условий террикона шахты «Матросская» (г. Лисичанск) равен 0,66. Соответственно, значения модуля смыва с отвала за один, два и три года в динамике следующие:

$$M_I^{cp} = 234 \text{ т/га} \cdot 0,66 = 154,4 \text{ т/га};$$

$$M_{II}^{cp} = 502 \text{ т/га} \cdot 0,66 = 331,3 \text{ т/га};$$

$$M_{III}^{cp} = 700 \text{ т/га} \cdot 0,66 = 462,3 \text{ т/га}.$$

Смыв породы со всего отвала определен по формуле:

$$m_{cm} = M_{cp} \cdot S_{б.пов},$$

где  $m_{cm}$  - масса смытой породы;  $S_{б.пов}$  - площадь боковой поверхности отвала;  $M_{cp}$  - средний модуль смыва.

В результате измерений на плане отвала было установлено следующее значение площади боковой поверхности отвала:  $S_{б.пов} = 50432 \text{ м}^2 = 5,04 \text{ га}$ .

Таким образом, к концу первого, второго и третьего года наблюдений смыв породы со всего отвала достиг таких значений:

$$m_{cm}^1 = 154,4 \text{ т/га} \cdot 5,04 \text{ га} = 778,2 \text{ т};$$

$$m_{cm}^2 = 331,3 \text{ т/га} \cdot 5,04 \text{ га} = 1670 \text{ т};$$

$$m_{cm}^3 = 462,3 \text{ т/га} \cdot 5,04 \text{ га} = 2330 \text{ т}.$$

Проанализировав метеоданные, установили, что за период с 01.10.06 г. по 6.10.2007 выпало 372 мм атмосферных осадков, за период с 6.10.2007 г. по 5.10.2008 г. - 430 мм., а за период с 5.10.2008 г. по 25.10.2009 г. - 372 мм при норме годовых осадков (473 мм), что позволяет сделать вывод о том, что эрозионные процессы на крутых склонах терриконов характеризуются не только катастрофической интенсивностью, но и тем, что, в отличие от склоновых земель агроландшафтов, происходят даже в маловодные годы, т.е. практически ежегодно.

Зная количество терриконов в Луганской области, рассчитав площадь их эродирующей поверхности, на основании полученных данных можно выполнить расчет интенсивности поступления токсичных продуктов водной эрозии со всех терриконов в окружающую среду и сделать оценку экологического ущерба в разрезе районов и в целом по области.

#### 1.4.2. Оценка эрозионных процессов на поверхности отвалов при наличии травяного покрова и микротеррас с однолетними саженцами

Нами проведены исследования влияния травяного покрова и микротеррас с однолетними саженцами на сток и смыв породы с терриконика шахты «Черноморка» ОАО «Лисичанскуголь». Эрозионные процессы изучались путем моделирования. На поверхности отвала закладывались площадки размером 20х200 см. По длинной стороне они ограничивались дюралевыми бортиками, в нижней части располагался водоприемный лоток, сверху – дозирующее устройство. В течение 30 мин на площадки подавалась вода с расходом 0,026 л/с. Опыт проводился на трех участках крутизной 37°: с травяным покровом, с микротеррасами шириной 30 см, расположенными через 2-3 м, и на контрольном.

Таблица 1.15

Условия и результаты моделирования эрозионных процессов

Участок склона	Объем стока, л	Коэффициент стока	Скорость впитывания, мм/мин	Средняя мутность, г/л	Объем твердого стока, т/га
С травяным покровом	14,0	0,277	2,85	42	14,7
С микротеррасами	24,5	0,485	2,03	43	26,3
Контрольный	28,7	0,568	1,70	137	98,3

Количество подаваемой воды составляло 50,5 л, что эквивалентно слою 126 мм и соответствует ливневым осадкам 1%-ной вероятности превышения в условиях Луганской области. Исходя из данных табл. 1.15, порода на участке с травяным покровом характеризуется наиболее высокой скоростью впитывания и эрозионной прочностью. Минимальный объем стока (14 л) наблюдался на участке с травяным покровом, а на участке с микротеррасами он был в 1,2 раза меньше, чем на контрольном, скорость же впитывания в 1,2 раза больше. Микротеррасирование уменьшило смыв породы в 3,7 раза.

В лабораторных условиях в пробах воды, отобранных на выходе со стоковых площадок при моделировании, определено количество азота, кальция, магния, органического углерода. Данные химического анализа представлены в табл. 1.16.

Таблица 1.16

Химический состав проб воды со стоковых площадок

Участок склона	Ca	Mg	NO <sub>3</sub>	C
С травяным покровом	87,17	37,09	1,7	29,02
С микротеррасами	92,18	35,87	3,2	29,02
Контрольный	214,43	74,78	5,6	31,25

Как видно из таблиц и рис. 1.11, травяной покров и микротеррасы с однолетними саженцами оказывают существенное влияние на водный режим: задерживают сток, снижают смыв породы, накапливают влагу.

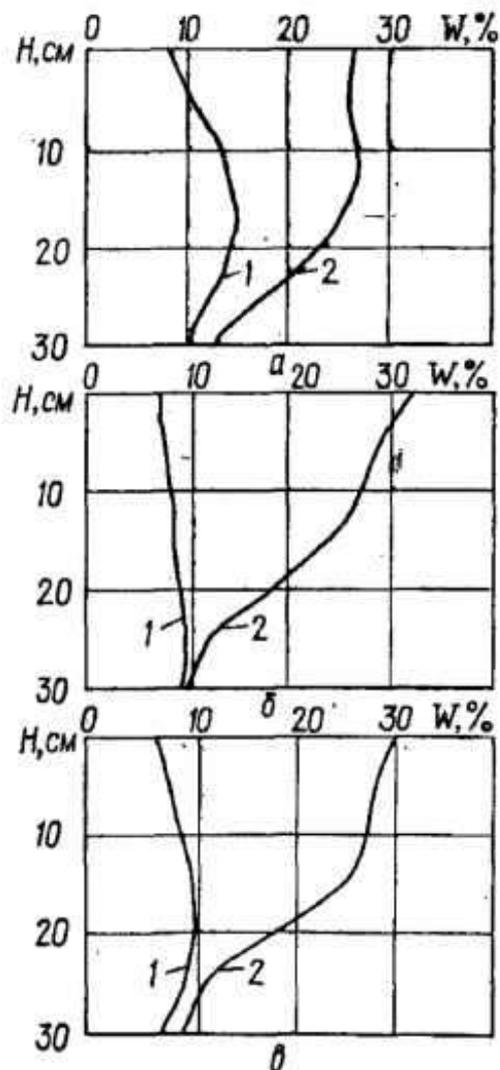


Рис.1.11. Распределение влажности  $W$  породы по горизонтам  $H$ :  
 1 – до опыта; 2 – после опыта; а – на участке без растительности (контрольный); б – с травяным покровом; в – на участке склона с террасами и однолетними саженцами

#### ***1.4.3. Оценка эрозионных процессов на поверхности отвалов при наличии травяного покрова и сформировавшегося древесного фитоценоза***

Общеизвестно, что лесные насаждения в агроландшафтах позволяют зарегулировать поверхностный сток и сократить эрозионные процессы. Происходит ли это на терриконах, имеющих на своей поверхности сформировавшийся древесный фитоценоз?

Для выяснения этого вопроса нами проведены следующие работы:

1) определен агрегатный состав отвальной породы; 2) определен объем смыва породы с поверхности отвалов вследствие водной эрозии; 3) изучено снижение смыва породы под лесными насаждениями на поверхности отвалов.

Для выполнения этих работ были использованы следующие методы: 1) содержание агрегатов породы в пределах 0,25-10 мм определялось по методу Н.И. Саввинова; 2) объем смыва породы определялся по методу С. С. Соболева; 3) водопроницаемость породы определялась методом трубок.

В качестве объектов исследования использованы три породных отвала ОАО «Лисичанскуголь»: естественно заросший конический отвал шахты им. Я. Ф. Мельникова; естественно заросший, переформированный из конического в плоский отвал бывшей шахты им. П. Л. Войкова; переформированный из конического в плоский и озелененный в 1989-91 гг. отвал бывшей шахты им. М. Л. Рухимовича.

На рис. 1.12 представлены результаты агрегатного анализа отвальной породы с естественно заросшего конического отвала шахты им. Я. Ф. Мельникова, отобранной на дне промоин и «водоразделах» между ними.

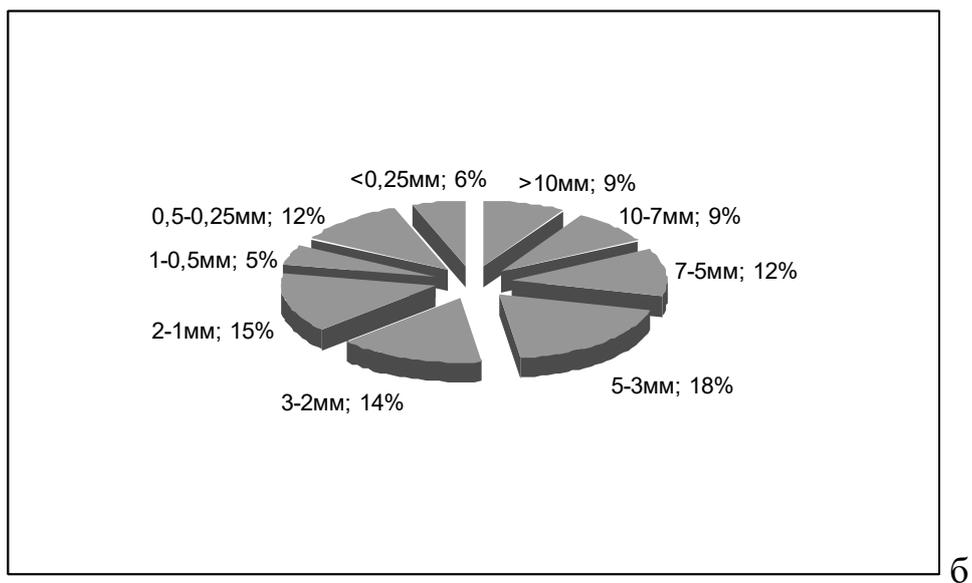
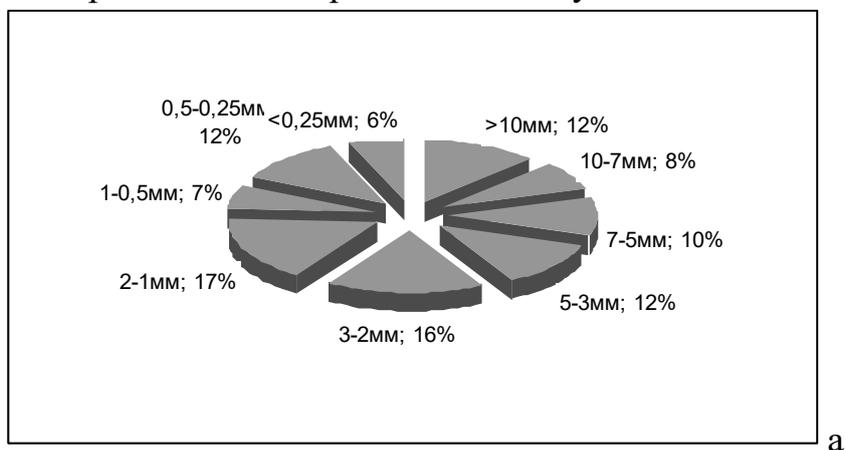


Рис. 1.12. Результаты «сухого» агрегатного анализа породы с отвала шахты им. Я. Ф. Мельникова: а – образцы с водораздела между промоинами; б – образцы со дна промоин.

Для анализа последствий водной эрозии на склонах отвалов (рис. 1.13) нами был осуществлен замер параметров сечения промоин и определен объем смыва породы с единицы площади. Данные представлены в табл. 1.17.



Рис.1.13. Последствия водной эрозии на склонах породного отвала

Таблица 1.17

Объем смыва породы со склонов отвалов

Объект исследований	Номер промоины	Средняя площадь сечения промоины, м <sup>2</sup>	Смыв с единицы площади поверхности отвала, т/га
Отвал шахты им. П.Л. Войкова	1	1,470	2570 (с момента переформирования отвала из конического в плоский)
	2	0,050	
	3	0,031	
	4	0,054	
	5	0,041	
	6	0,011	
	7	0,057	
Отвал шахты им. Я.Ф. Мельникова	1	0,190	3450 (с момента начала отсыпки)
	2	0,660	
	3	0,850	
	4	2,470	
	5	0,300	

По замерам, произведенным нами на коническом отвале шахты им. Я.Ф. Мельникова (рис. 1.14), построен профиль поверхности фрагмента отвала шириной 20 м, изборожденной промоинами (рис. 1.15).



Рис. 1.14. Замер промоин на коническом отвале шахты им. Я.Ф. Мельникова

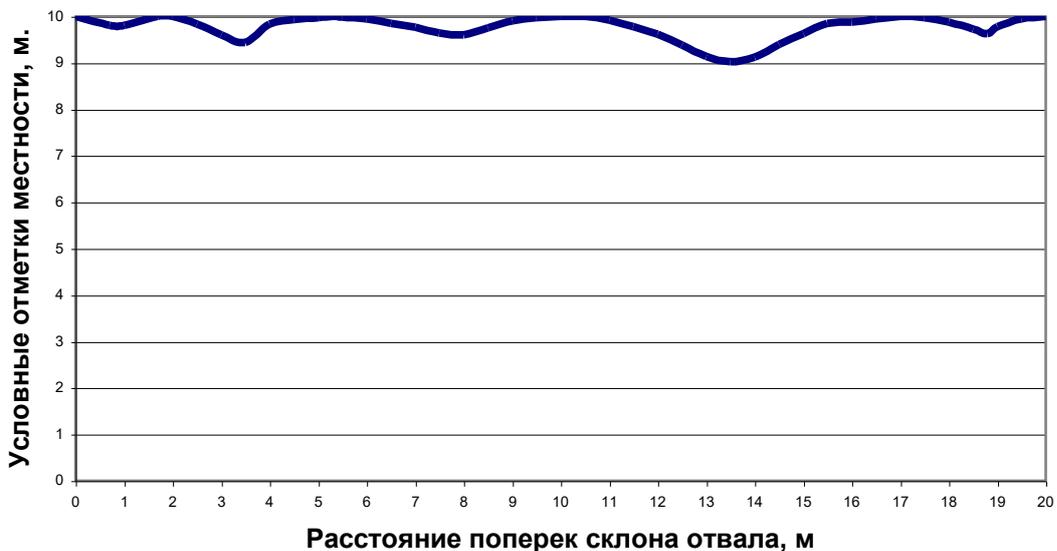


Рис. 1.15. Поперечный профиль склона террикона шахты им. Я.Ф. Мельникова

Анализ данных табл. 1.17 и рисунков позволяет сделать вывод о происшедших на склонах отвалов эрозионных процессах в катастрофических размерах.

Однако исследование дна промоин на терриконе шахты им. Я.Ф. Мельникова показало наличие в них сформировавшегося слоя лесной подстилки, что свидетельствует о том, что активный ранее эрозионный процесс на этом отвале под действием сформировавшейся древесной растительности прекратился. Каков же механизм такого выраженного позитивного влияния

растительности? Для ответа на этот вопрос были проведены дополнительные исследования.

Ниже представлено описание древесного и травянистого покрова на изучаемых объектах.

Конический отвал шахты им. Я. Ф. Мельникова характеризуется сплошным растительным покровом, в котором около 50% площади занимают естественно поселившийся клен ясенелистный, акация белая, береза. Остальная часть территории занята травянистым фитоценозом, в котором важное место занимают дикие злаковые растения.

Плоский отвал бывшей шахты им. П. Л. Войкова характеризуется обильным естественным растительным покровом. Общее покрытие травостоя – 60%. На отвале имеются единичные экземпляры деревьев. Древесные породы представлены вязом мелколистным (высота до 1,5 м), топодем (высота от 0,8 до 1,5 м), лохом узколистным (высота до 7 м).

Озелененный отвал бывшей шахты им. М. Л. Рухимовича. Проектное покрытие растительностью составляет 100%. Фитоценоз представлен лесными насаждениями из следующих древесных и кустарниковых пород: акация белая, вяз мелколистный, лох узколистный, тополь, тамариск и др. Большая часть площади поверхности отвала занята насаждениями акации белой. Древостой здесь характеризуется простой формой. Насаждения представлены одной культурой, то есть имеют состав 10 Ак, сомкнутость крон составляет 0,9. Известно, что в десятилетнем возрасте деревья имели среднюю высоту 5,5 м и характеризовались как насаждения первого бонитета.

Так как отвалы угольных шахт имеют крутые склоны, выпадающие осадки стекают с них в виде поверхностного стока, вызывая активную эрозию. Можно предположить, что при наличии травянистого или древесного покрова на поверхности отвалов часть поверхностного стока задерживается растительным покровом и переводится в подземный сток, ведь водопроницаемость почв и грунтов под фитоценозами всегда выше.

Для проверки данной гипотезы нами была исследована водопроницаемость отвальных пород всех изучаемых объектов.

Определение водопроницаемости выполнялось путем заливки воды в стальные трубки длиной 100 мм, забиваемые в породу на глубину 70 мм. По мере впитывания воды в трубки заливались новые порции воды. Опыт продолжался до стабилизации интенсивности впитывания, которая определялась по формуле:

$$i = \Delta h / \Delta t,$$

где  $\Delta h$  – слой впитавшейся воды (мм),

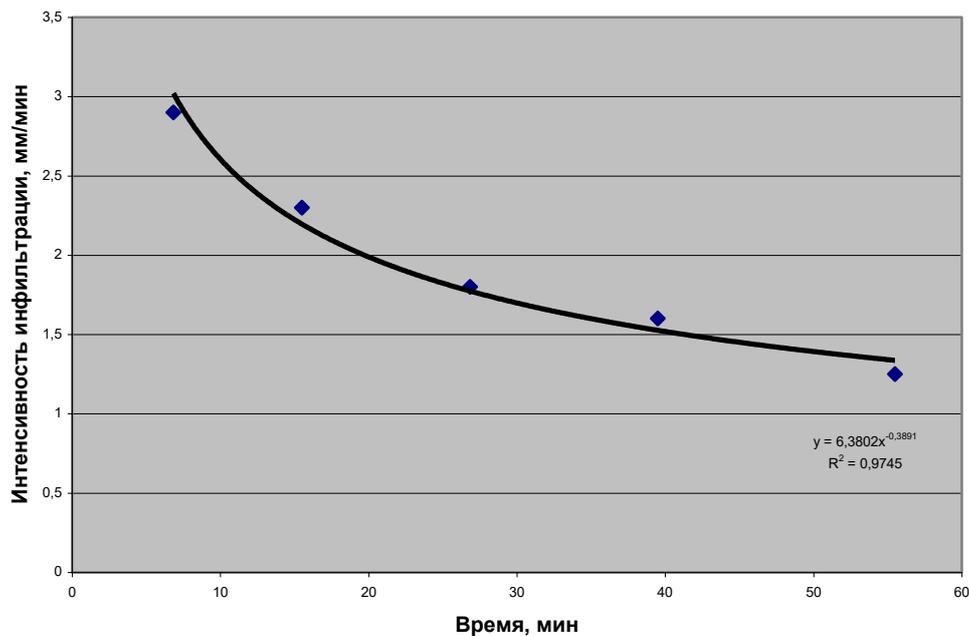
$\Delta t$  – продолжительность впитывания (мин).

Водопроницаемость определялась на породе без растительного покрова, с травяным покровом, под пологом древесной растительности.

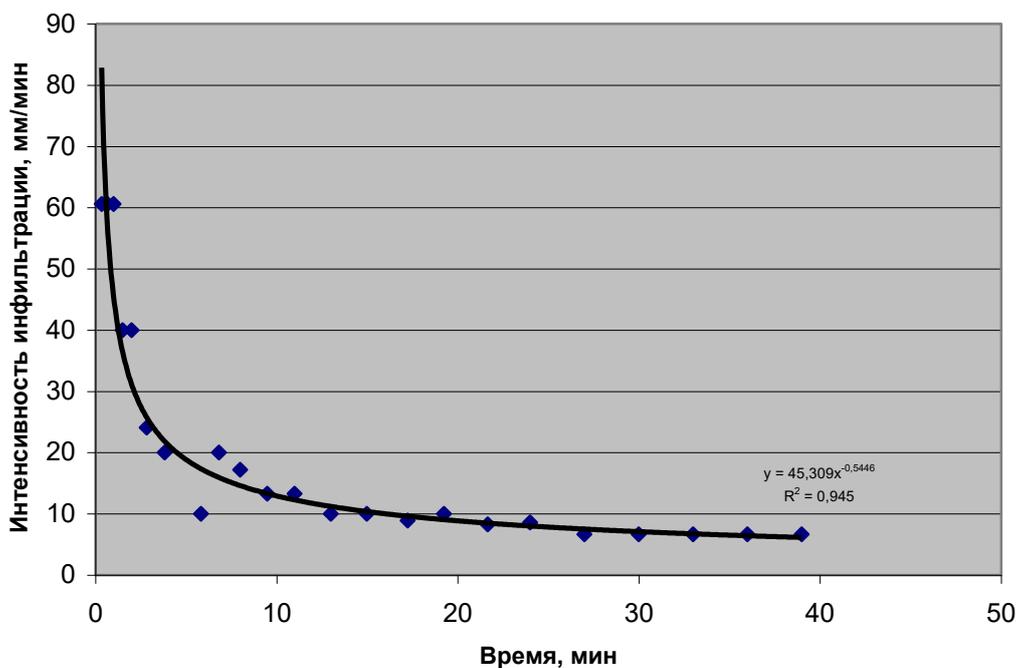
На рис.1.16 показана динамика водопроницаемости породы на отвале шахты им. Я. Ф. Мельникова в двух очень контрастных точках – в глубокой промоине с мощным слоем древесного опада, возникшего под влиянием

растущих в промоинах деревьев, и на водоразделе между промоинами (см. рис. 1.14). В табл. 1.18 приведены значения водопроницаемости в разные моменты от начала опыта – через 1, 10, 20, 30, 60 минут для всех трех изучаемых отвалов, а также приведены найденные нами уравнения, описывающие динамику впитывания.

Рис. 1.16 и табл. 1.18 свидетельствуют, что водопроницаемость характеризуется высоким значением в первые минуты поступления воды на поверхность, а далее спадом – вначале быстрым, в течение 10 – 20 минут, а затем затухающим, за которым теоретически наступает фаза стабилизации.



а



б

Рис. 1.16. Динамика впитывания воды на отвале шахты им. Я. Ф. Мельникова: а – на водоразделе между промоинами; б – в промоине с растительным опадом

Таблица 1.18

Динамика скорости впитывания воды (мм/мин) на терриконах во времени

№ пп	Шахта, условия участка	Зависимость скорости впитывания от времени	Коэфф. детер- мина- ции, R <sup>2</sup>	Время (мин), скорость впитывания						
				1	10	20	30	60	Среднее за	
									30 мин	60 мин
1	им. П. Л. Войкова, в траве	$y = 4,85x^{-0,25}$	0,893	4,9	2,7	2,3	2,1	<b>1,7</b>	<b>2,8</b>	<b>2,4</b>
2	им. П. Л. Войкова, на породе	$y = 19,15x^{-0,57}$	0,947	19,2	5,1	3,4	2,7	<b>1,8</b>	<b>6,5</b>	<b>4,4</b>
3	им. М. Л. Рухимо- вича, насаждение акации белой	$y = 27,73x^{-0,47}$	0,946	27,7	9,4	6,8	5,6	<b>4,1</b>	<b>11,0</b>	<b>7,9</b>
4	им. М. Л. Рухимо- вича, насаждение акации белой	$y = 39,23x^{-0,395}$	0,836	39,2	15,8	12	10,2	<b>7,8</b>	<b>17,1</b>	<b>13,1</b>
5	им. Я. Ф. Мельни- кова, в промоине	$y = 45,31x^{-0,55}$	0,945	45,3	12,9	8,9	7,1	<b>4,9</b>	<b>16,0</b>	<b>11,0</b>
6	им. Я. Ф. Мельни- кова, между промоинами	$y = 6,38x^{-0,39}$	0,975	6,4	2,6	2	1,7	<b>1,3</b>	<b>2,9</b>	<b>2,2</b>

При выпадении ливня на сухую почву решающую роль играет водопроницаемость в начальный период впитывания, а при предварительном увлажнении верхнего слоя породы до полного насыщения более существенной становится впитывающая способность породы в фазе стабилизации. Если интенсивность ливня превышает интенсивность впитывания, возникает сток воды и водная эрозия, если не превышает – эрозии не будет. Поэтому для оценки возможных последствий выпадения ливня были рассчитаны и приведены в таблице следующие характерные показатели: водопроницаемость средняя за 30 и 60 минут, интенсивность в фазе стабилизации (на 60-й минуте).

Как видим, наиболее высокими значениями этих показателей отличаются участки поверхности отвалов под древесной растительностью, покрытые лесной подстилкой (варианты 3-5). Наиболее различаются показатели на участках террикона шахты им. Я. И. Мельникова с оголенной породой между промоинами и породой на дне промоины, заполненной опадом (в 3,8–5,7 раза). Сам факт сохранности лесной подстилки на дне промоины свидетельствует о прекращении здесь водной эрозии (вначале очень активной, породившей глубокие промоины) вследствие полного впитывания воды осадков – не только той, которая выпадает на дно промоины, но и той, которая стекает с оголенных водоразделов между промоинами.

Таким образом, водная эрозия на терриконах характеризуется катастрофическим размером. Ее результатом на изучаемых отвалах стал вынос с каждого гектара их поверхности в окружающую среду от 2568 до 3450 тонн породы, содержащей многие опасные компоненты. Снизить активность водной эрозии на терриконах можно управляя водопроницаемостью породы по отношению к ливневым осадкам и талым водам, которая в большой степени

зависит от наличия на отвалах древесной растительности. Создавая искусственные насаждения и способствуя развитию самосеивной древесной растительности, можно полностью остановить эрозионные процессы на отвалах.

### 1.5. Моделирование последствий ветровой эрозии на терриконах

Для прогнозирования последствий ветровой эрозии на терриконах были проведены эксперименты с помощью разработанной нами установки. Ее прототипом стала установка для моделирования процесса ветровой эрозии почв, применяемая в исследованиях МГУ им. М. В. Ломоносова и состоящая из рабочей камеры закрытого типа, воздухопроводов, вентилятора мощностью 10 кВт, циклона-пылеуловителя, установленного между вентилятором и рабочей камерой. Рабочая камера имеет длину 2,25 м, в сечении имеет форму квадрата со стороной 0,25 м [14].

Недостатком данной аэродинамической установки являются большие размеры и громоздкость конструкции, обусловленная использованием циклона-пылеуловителя с воздухопроводом, что делает невозможным использование установки в экспедиционных условиях. Поэтому нами была поставлена задача усовершенствования аэродинамической установки, в частности, путем повышения её компактности.

Поставленная задача достигается тем, что вместо всасывания воздуха в рабочую камеру используется его нагнетание, регулирование скорости потока над образцом осуществляется не заслонкой на выхлопной трубе вентилятора, а изменением площади сечения рабочей камеры над исследуемым образцом, а в качестве пылеуловителя использована колонка сит различного диаметра ячейки, благодаря чему повышается информативность исследований, конструкция установки становится компактнее, появляется возможность использования менее мощного двигателя, что в совокупности дает возможность применять установку в экспедиционных условиях непосредственно на изучаемых объектах с использованием образцов ненарушенной структуры вместо привозных образцов.

Устройство предложенной установки и ее работа поясняются схематическим изображением (рис. 1.17).

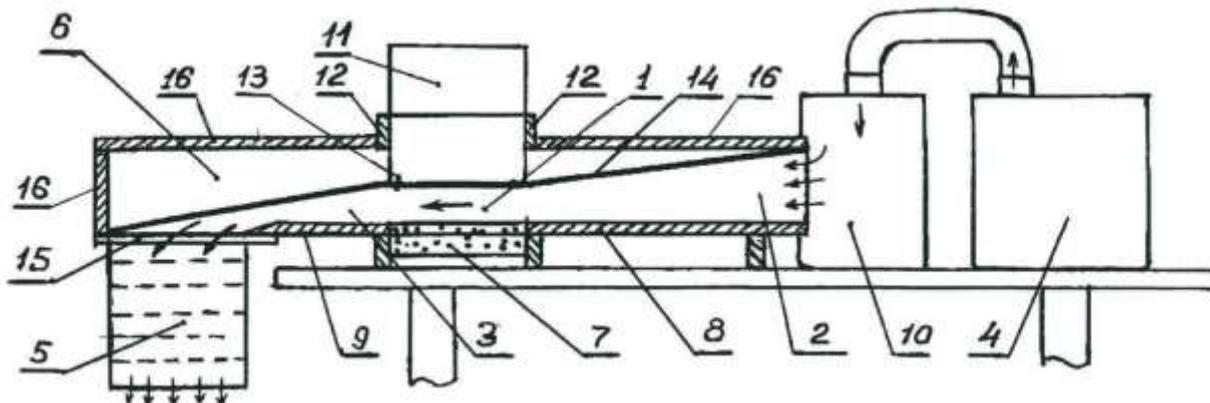


Рис.1.17. Лабораторная аэродинамическая установка

Аэродинамическая установка, созданная на кафедре гидрометеорологии ВНУ им. В.Даля, содержит рабочую камеру 1, воздуховоды 2 и 3, компрессор 4, пылеуловитель 5. Установка изготовлена из двух листов органического стекла 6, между которыми (с разрывом для размещения кюветы 7 длиной 16 см с образцом почвы или породы) сделаны две плоские вставки 8 и 9, образующие дно подводящего 2 и отводящего 3 воздуховодов. В подводящий воздуховод 2 подается воздух из распределительной камеры 10, в которую он нагнетается компрессором 4. Потолок рабочей камеры выполнен в виде прямоугольного деревянного поршня 11, перемещающегося между двумя вертикальными направляющими 12 и имеющего снизу металлическую скобу 13, удерживающую резиновую ленту 14 с возможностью ее горизонтального перемещения относительно нижней грани поршня. Концы ленты соединены с началом подводящего и концом отводящего воздуховодов, а сама лента служит потолком воздуховодов. При перемещении поршня вверх-вниз меняется высота рабочей камеры, а следовательно, площадь ее поперечного сечения. За вставкой 9 под горизонтальной крышкой 15 с прямоугольным вырезом для входа боковых стенок 6 установки прикреплен пылеуловитель 5 в виде стандартной колонки почвенных сит с размером ячеек 5, 3, 2, 1, 0,5, 0,25 мм и нижним тканевым дном. Для придания конструкции установки большей прочности между её боковыми стенками 6 с торца и сверху сделаны вставки 16.

Работает установка следующим образом. В разъем между пластинами 8 и 9 вставляется кювета 7 с образцом почвы или породы. Поршень устанавливается в самое высокое положение. Включается компрессор мощностью 0,6 кВт, нагнетающий воздух в распределительную камеру 10, из которой поступает в подводящий воздуховод 2. Скорость воздушного потока под поршнем над образцом равна  $V = Q/S$ , где  $Q$  – расход воздушного потока, а  $S$  – площадь его поперечного сечения, равная произведению ширины камеры  $B$  на ее высоту  $H$ . Задавая различные значения высоты расположения поршня, меняют скорость потока над образцом на определенный промежуток времени, после которого снимают колонку сит и взвешивают порции частиц каждого из интервалов размеров  $>5$ ,  $5-3$ ,  $3-2$ ,  $2-1$ ,  $1-0,5$ ,  $0,5-0,25$ ,  $0,25$ , менее  $0,25$ . Затем повторяют опыт с этим же образцом или меняя его на новый, но с другой скоростью потока. В результате получают зависимость интенсивности выноса частиц каждого диаметра от скорости потока - от критической до ураганной.

Возможны два варианта применения установки в экспедиционных условиях: 1) в постоянной или временной лаборатории, оснащенной источником электрического тока (рис. 1.18); 2) непосредственно на изучаемом полевым или техногенном объекте. При размещении установки в лаборатории используют кюветы, наполненные грунтом нарушенной или ненарушенной структуры, принесенные с объекта исследований. Во втором случае установку кладут непосредственно на грунт, предварительно забив в него металлическую рамку и выполнив выемку грунта под выступающие части установки. В качестве двигателя компрессора можно применить бензиновый двигатель ручной газонокосилки.



Рис. 1.18. Работа с аэродинамической установкой в лаборатории

Предложенная установка позволяет с минимальным нарушением естественного сложения грунта проводить большое количество опытов в самых разнообразных условиях, включая труднодоступные объекты, например, высокие участки склонов породных отвалов – терриконов, в любых температурных условиях и при различной влажности грунта, что позволяет резко повысить разнообразие исследований и многократно повысить информативность получаемых данных.

Поскольку скорость воздушного потока в камере регулируется путем изменения ее высоты, для тарирования установки вначале определяли расход потока  $Q$  - объемным методом - по времени наполнения полиэтиленовой оболочки с известным объемом (250 л), прикрепляемой снизу к ситам. Скорость потока в рабочей камере определяли по формулам, приведенным выше. Результаты тарирования представлены на рис. 1.19.

Для моделирования процесса ветровой эрозии на терриконах в лабораторных условиях была использована отвальная порода со склона плоского отвала бывшей шахты им. П. Л. Войкова, агрегатный состав которой представлен на рис. 1.20.

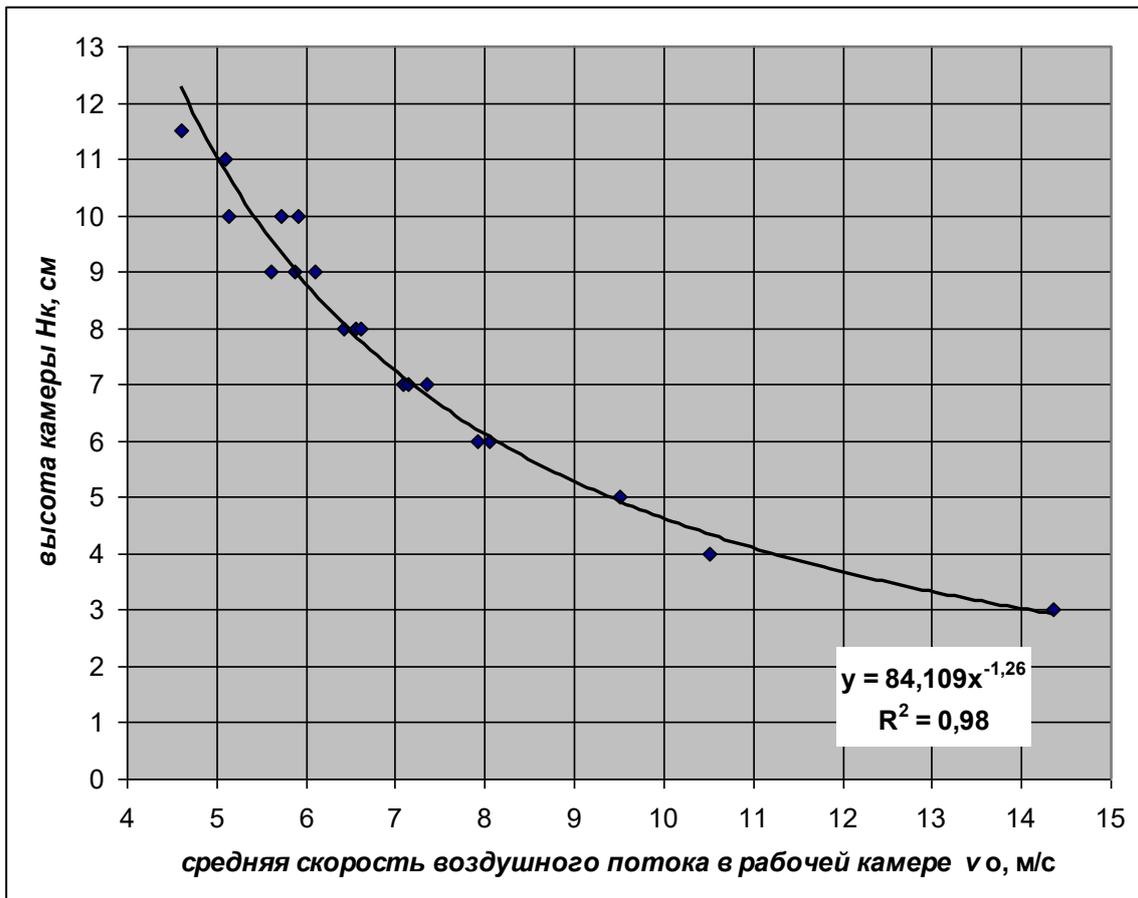


Рис. 1.19. Тарировочная кривая зависимости средней скорости воздушного потока в рабочей камере аэродинамической установки от ее высоты.

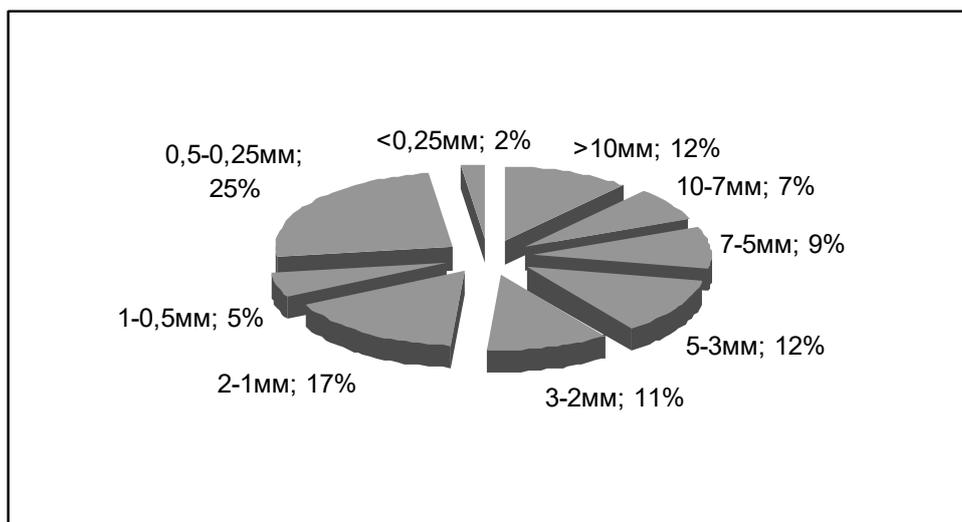


Рис.1.20. Результаты «сухого» агрегатного анализа породы со склона плоского отвала бывшей шахты им. П. Л. Войкова

Начальным этапом запланированной серии экспериментов стало изучение зависимости интенсивности дефляции (выноса частиц) терриконовой породы

различного размера с поверхности насыпного образца, находящегося в несвязном состоянии, от скорости воздушного потока (табл. 1.19).

Таблица 1.19.

Результаты опытов по моделированию ветровой эрозии породы

№ опыта	Высота камеры Н <sub>к</sub> , см	Масса образца, г		Потеря массы Δm, г	Интенсивность дефляции		Расход воздуха Q, л/с	Скорость потока, м/с	
		до опыта, m <sub>1</sub>	после опыта, m <sub>2</sub>		г/мин	т/га·ч		средняя в камере	на высоте 10 м
<i>фракция 5 - 7 мм</i>									
1	4,0	247,10	247,10	0,00	0,00	0,00	19,8	11,0	26,3
2	3,0	247,10	245,25	1,85	1,85	182,6	18,9	14,0	33,7
<i>фракция 2 - 3 мм</i>									
1	10,0	242,90	242,85	0,05	0,05	4,9	25,8	5,7	10,5
2	9,0	242,85	242,85	0,00	0,00	0,0	22,7	5,6	10,5
3	8,0	242,85	242,80	0,05	0,05	4,9	23,6	6,6	12,7
4	7,0	242,80	242,80	0,00	0,00	0,00	23,2	7,4	14,5
5	6,0	242,80	242,75	0,05	0,05	4,9	21,7	8,1	16,3
6	5,0	242,75	242,70	0,05	0,05	4,9	21,4	9,5	19,7
7	4,0	242,70	241,38	1,32	1,32	130,3	18,9	10,5	23,0
8	3,0	241,38	233,90	7,48	7,48	738,1	19,4	14,4	33,5
<i>фракция 1 - 2 мм</i>									
1	10,0	244,95	244,85	0,10	0,10	9,9	23,2	5,2	9,2
2	9,0	244,85	244,70	0,15	0,15	14,8	23,8	5,9	10,6
3	8,0	244,70	244,50	0,20	0,20	19,7	23,2	6,4	11,7
4	7,0	244,50	241,10	3,40	3,40	335,5	22,3	7,1	13,3
5	6,0	246,10	228,75	17,35	17,35	1712,1	21,4	7,9	15,2
<i>фракция 0,5 - 1 мм</i>									
2	11,0	242,20	241,95	0,25	0,25	24,7	25,3	5,1	8,5
3	10,0	241,95	241,90	0,05	0,05	4,9	23,4	5,9	10,0
4	9,0	241,90	241,20	0,70	0,70	69,1	24,8	6,1	10,5
5	8,0	241,20	239,47	1,73	1,73	170,7	23,8	6,6	11,6
6	7,0	236,20	233,90	2,30	2,30	227,0	22,5	7,2	12,8
<i>фракция 0,25 - 0,5 мм</i>									
1	11,0	254,50	254,40	0,10	0,10	9,9	16,0	3,2	5,2
2	10,0	254,27	254,15	0,12	0,12	11,9	16,1	3,6	5,9
3	9,0	254,15	253,90	0,25	0,15	14,8	15,5	3,8	6,3
4	8,0	253,90	253,72	0,18	0,18	17,8	15,0	4,2	7,1
5	7,0	253,72	253,42	0,30	0,30	29,6	13,9	4,4	7,6
6	6,0	253,42	251,15	2,27	2,27	224,0	13,5	5,1	8,1
7	5,0	251,15	246,15	5,00	5,00	493,4	13,4	5,9	10,9

Продолжительность каждого опыта равнялась 60 с. Образцы породы вначале с помощью почвенных сит разделялись на отдельные фракции. Каждая фракция насыпалась в кювету, которую затем взвешивали на весах ВЛКТ-500 с точностью до 0,01 г. После каждого опыта продолжительностью 60 с кювету повторно взвешивали и определяли потерю массы в результате дефляции.

Данные табл. 1.19. свидетельствуют, что уже при скорости потока 5 - 9 м/с, т. е. далеко не ураганной, происходит катастрофическое возрастание интенсивности ветровой эрозии. Этому факту есть свое объяснение.

При изучении ветрового режима на метеостанциях скорость ветра измеряют на т. н. «высоте флюгера» (10 м). Вследствие шероховатости подстилающей поверхности скорость ветра снижается с уменьшением высоты  $Z$  (м) по логарифмическому закону [14]:

$$V_Z = V_{10} (\ln Z/Z_0)/\ln(10/Z_0),$$

где  $Z_0$ , м - параметр шероховатости, равный для однородной поверхности, покрытой слоем частиц одинакового размера  $\delta$  при максимальной плотности их расположения,  $\delta/30$ ,  $V_{10}$  – скорость ветра по данным метеостанций.

Поэтому для правильной интерпретации результатов моделирования воздушного потока необходимо переводить скорость потока в рабочей камере к скорости на высоте 10 м. С другой стороны, для моделирования последствий ветра с заданной скоростью на стандартной высоте (10 м) в аэродинамической установке необходимо создавать воздушный поток с меньшей скоростью, определяемой выражением:

$$V_Z = K_Z V_{10},$$

где  $V_Z$  – скорость потока в камере на высоте ее оси  $Z$ ;

$K_Z = \ln(Z/Z_0)/\ln(10/Z_0)$  – переходной коэффициент.

Значение переходного коэффициента зависит от высоты рабочей камеры и размера частиц, слагающих исследуемую поверхность, поэтому нами были выполнены вспомогательные расчеты для его определения. Результаты представлены в табл. 1.20. Для облегчения практического применения результатов расчетов составлена номограмма (рис. 1.21).

Таблица 1.20

Значения переходного коэффициента от скорости воздушного потока на заданной высоте над дном камеры к скорости на высоте флюгера

Высота над дном камеры $Z$ , см	Параметр шероховатости $Z_0$ , мм /диаметр частиц $\delta$ , мм							
	<u>0,00001</u> 0,0003	<u>0,0001</u> 0,003	<u>0,001</u> 0,03	<u>0,003</u> 0,09	<u>0,01</u> 0,3	<u>0,03</u> 0,9	<u>0,06</u> 1,8	<u>0,1</u> 3
0,1	0,556	0,500	0,429	0,387	0,333	0,276	0,234	0,200
0,5	0,633	0,580	0,528	0,494	0,450	0,402	0,368	0,340
1	0,667	0,625	0,572	0,540	0,500	0,457	0,426	0,400
2	0,700	0,663	0,614	0,586	0,550	0,511	0,484	0,460
5	0,744	0,712	0,672	0,647	0,616	0,583	0,560	0,540
10	0,778	0,750	0,714	0,693	0,666	0,638	0,618	0,600

Номограмма позволяет получить значения скорости ветра в естественных условиях, соответствующие значениям скорости воздушного потока, созданного в аэродинамической установке.

Однако следует учесть то обстоятельство, что объемным методом мы определяем скорость потока в камере, осредненную по ее высоте, в то время как неравномерность распределения скоростей по высоте в ней наиболее выражена, о чем свидетельствуют значения переходного коэффициента  $K$  на рис. 1.21. Поэтому, построив предварительно на основании данных табл. 1.20 и рис. 1.21 ряд графиков распределения скорости по высоте камеры (эпюр скоростей) при различной ее высоте и различной шероховатости образца, мы рассчитали коэффициенты перехода от осредненной скорости потока в камере к скорости на высоте ее осевой линии (табл. 1.21).

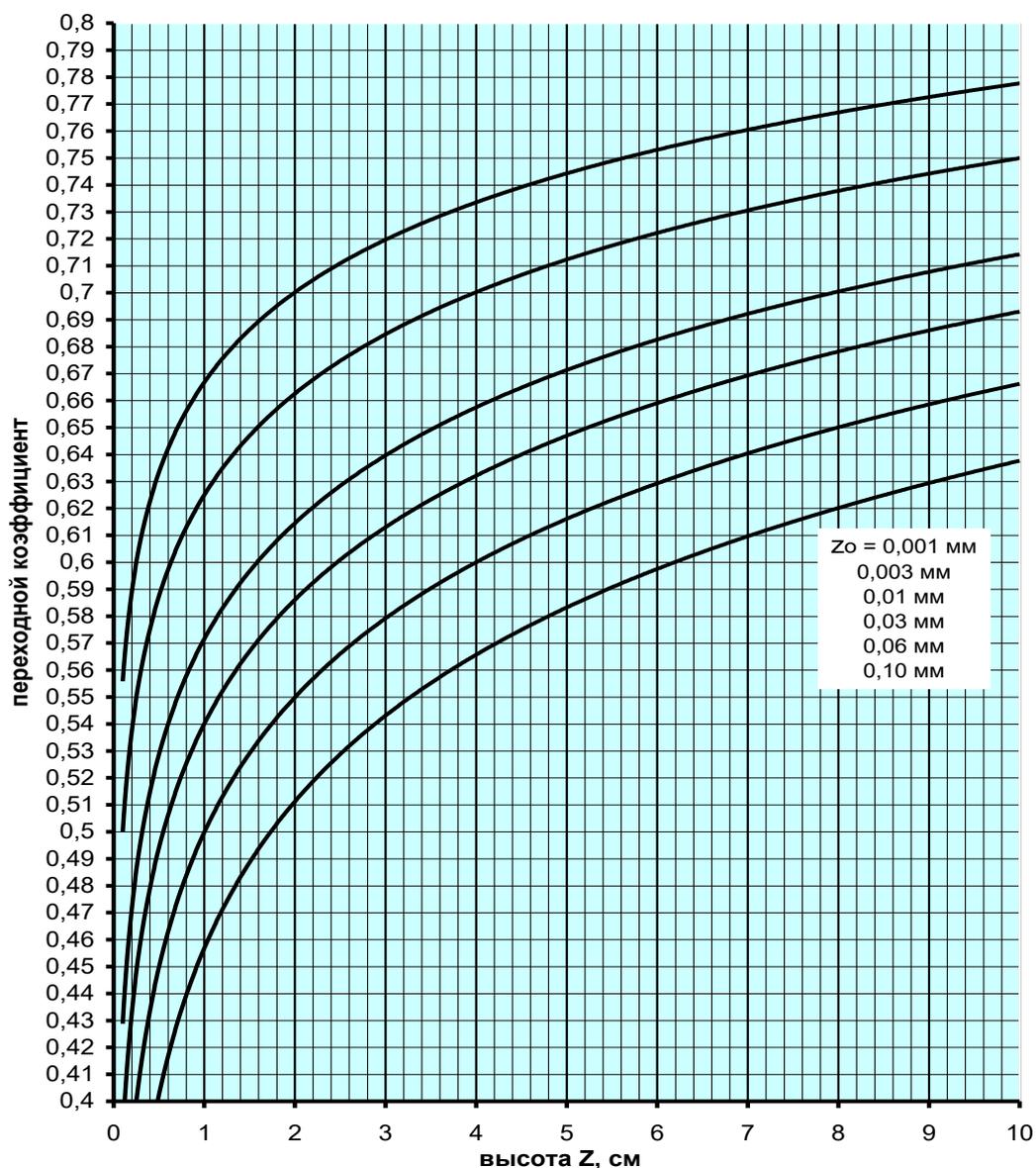


Рис. 1.21. Номограмма коэффициента перехода от скорости воздушного потока на высоте флюгера к заданной высоте над подстилающей поверхностью

Значения скоростей, приведенных в таблице, выражены в относительных единицах – их отношении к скорости ветра на высоте флюгера.

Таблица 1.21

Расчет значений коэффициента перехода от осредненной скорости воздушного потока к его скорости на высоте оси камеры

Высота камеры, см	Высота оси камеры Z, см	Показатель шероховатости Z <sub>0</sub> , мм	Скорость потока в относительных единицах		Коэффициент перехода K <sub>0,5</sub> (V <sub>0,5</sub> /V <sub>cp</sub> )	Среднее значение коэффициента K <sub>0,5</sub>
			осредненная по высоте V <sub>cp</sub>	на высоте оси камеры V <sub>0,5</sub>		
3	1,5	0,1	0,406	0,431	1,062	1,032
		0,06	0,451	0,459	1,017	
		0,03	0,478	0,487	1,018	
		0,01	0,513	0,529	1,029	
		0,003	0,548	0,566	1,033	
5	2,5	0,1	0,476	0,479	1,006	1,013
		0,06	0,492	0,501	1,017	
		0,03	0,523	0,529	1,01	
		0,01	0,559	0,564	1,009	
		0,003	0,588	0,600	1,021	
7	3,5	0,1	0,501	0,507	1,012	1,014
		0,06	0,517	0,529	1,022	
		0,03	0,550	0,533	1,006	
		0,01	0,585	0,588	1,006	
		0,003	0,608	0,621	1,023	
10	5	0,1	0,533	0,539	1,01	1,017
		0,06	0,547	0,560	1,024	
		0,03	0,566	0,582	1,03	
		0,01	0,613	0,626	1,02	
		0,003	0,635	0,646	1,018	

Данные таблицы позволили рассчитать по осредненным значениям скорости потока в ходе экспериментов значения скорости на высоте осевой линии камеры. Полученные значения с помощью номограммы (рис. 1.21) были приведены к скорости ветра на высоте 10 м (последняя колонка в табл. 1.19). На основании приведенных значений скорости построен график зависимости интенсивности выноса частиц различного размера от скорости ветра, регистрируемой на метеостанциях (рис. 1.22).

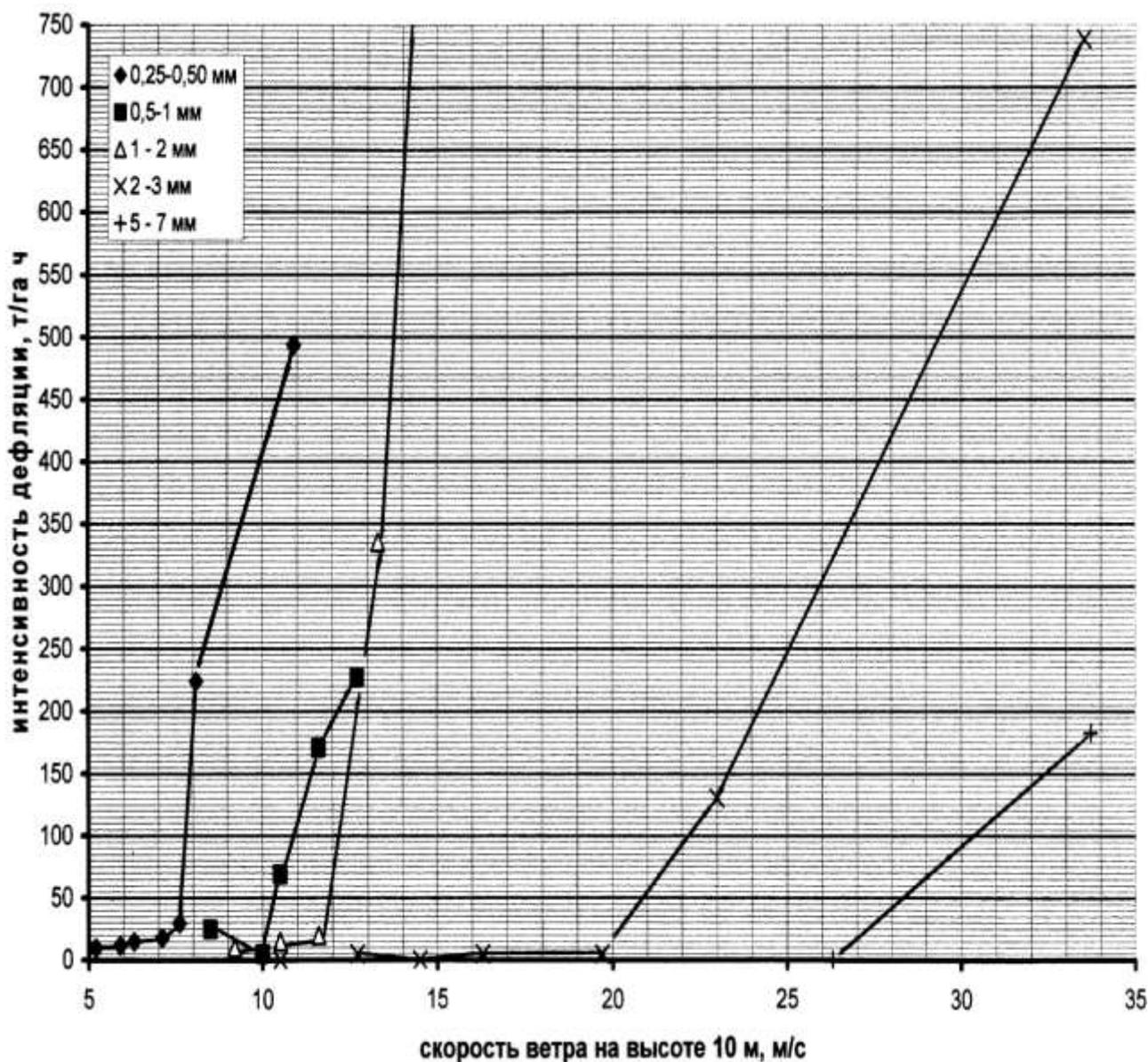


Рис. 1.22. Эмпирическая зависимость интенсивности дефляционного выноса различных фракций терриконовой породы от скорости ветра

Эксперименты показали, что вынос частиц любого размера начинается при некотором значении скорости воздушного потока, которую можно назвать первой критической ( $V_{кр1}$ ), и характеризуется вначале плавным нарастанием, а затем резким возрастанием при достижении некоторой скорости, которую назовем второй критической ( $V_{кр2}$ ). Значения обеих критических скоростей возрастают с увеличением размера частиц (табл. 1.22).

Как видим, для фракций отвальной породы размером до 2 мм первая критическая скорость находится в интервале от 5 до 9,2 м/с, а вторая от 7,6 до 11,7 м/с, т.е. скорости имеют значения с довольно высокой вероятностью превышения. Вынос породы данного фракционного состава достигает катастрофических размеров – до 1712 тонн за час с одного гектара. В действительности же, от такого катастрофического пыления терриконов окружающую среду защищает то, что легколетучие фракции довольно быстро

покидают поверхность отвала, а остаются на ней более крупные и инертные фракции. Кроме того, в естественных условиях поверхность отвалов находится в разрыхленном состоянии относительно короткое (хотя и измеряемое годами) время – в период отсыпки. Именно этот период и является наиболее опасным для окружающей среды, а в последующем поверхность самоуплотняется и «цементируется» в результате чередования периодов увлажнения и высыхания.

Таблица 1.22

Показатели дефляционной опасности различных фракций  
терриконовой породы

Показатели	Фракции породы, мм				
	0,25-0,50	0,50-1,00	1-2	2-3	5-7
$V_{кр1}$ , м/с	5,2	8,5	9,2	10,5	26,3
$d_{кр1}$ , т/га·ч	9,9	24,7	9,9	4,9	0
$V_{кр2}$ , м/с	7,6	10,5	11,7	19,7	не установлена
$d_{кр2}$ , т/га·ч	29,6	69,1	19,7	4,9	не установлена
$V_{макс}$ , м/с	10,9	12,8	15,2	33,5	33,7
$d_{макс}$ , т/га·ч	493,4	227	1712	738,1	182,6

Примечания:  $d_{кр1}$  и  $d_{кр2}$  – интенсивности дефляционного выноса фракций породы, соответствующие первой и второй критическим скоростям;

$V_{макс}$  и  $d_{макс}$  – максимальная скорость потока, достигнутая в экспериментах и соответствующая ей интенсивность выноса.

Для изучения экологических последствий ветроэрозионных процессов на отвалах угольных шахт нами был разработан способ косвенной диагностики загрязнения прилегающей к ним территории продуктами ветровой эрозии.

Он включает отбор проб породы на отвале и почвы на различных расстояниях от него, их химический анализ для оценки экологической ситуации, выполняемый только в отдельных - ключевых точках из числа необходимых, и визуальное определение содержания маркерных частиц в этих точках и всех остальных, причем содержание химических загрязнителей в пробах определяют на основании соотношения содержания маркерных частиц в этих и в ключевых точках.

Ниже описание данного способа представлено более детально.

Известен способ анализа воздействия породных отвалов угольных шахт на почвенный покров прилегающей территории, включающий отбор проб породы породного отвала и почвы на различных расстояниях от него, лабораторное определение содержания сульфат-ионов и тяжелых металлов в пробах с помощью химического и спектрального эмиссионного анализа с последующим сравнением фактических концентраций загрязняющих веществ с предельно допустимыми (см. Зубов А.Р., Зубова Л.Г., Савельева Е.А. Воздействие отвалов угольных шахт Донбасса на агроценозы/ Збірник наукових праць Луганського національного аграрного університету. За ред. В.Г. Ткаченко.- Луганськ: ЛНАУ, 2006.- № 52(75).- С. 77-82).

Недостатком известного способа является его дороговизна, обусловленная высокой стоимостью почвенных анализов, не позволяющая массово и детально изучать изменения в почвенном покрове, происходящие под влиянием переноса частиц отвальной породы вследствие ветровой эрозии.

В основу предложенного нами способа поставлена задача усовершенствования оценки воздействия породных отвалов угольных шахт на почвенный покров прилегающей территории путем того, что химический анализ выполняют только в ключевых точках (путем снижения количества проб для проведения химического анализа), что приведет к снижению затрат на осуществление способа и появлению возможности более массового его применения.

Поставленная задача достигается тем, что в известном способе оценки влияния породных отвалов на почвенный покров прилегающей территории, включающем отбор пробы породы отвала и почвы на различных расстояниях от него и их химический анализ для оценки экологической ситуации, согласно полезной модели, химический анализ выполняют только в нескольких ключевых точках зоны загрязнения продуктами ветровой эрозии, в этих же точках и ряде дополнительных производится визуальное определение содержания в почве характерных для отвальной породы включений (маркерных частиц) и сравнение его с содержанием этих включений в ключевых точках с известным химическим составом, а в качестве маркерных частиц могут быть использованы красноватые частицы перегоревшей породы, а для неперегоревшей породы - крупинки угля.

В результате этого появляется возможность массового отбора проб и анализа их загрязненности путем намного менее трудоемкого и дорогостоящего визуального определения.

Способ осуществляется следующим образом. Анализируется экологическая обстановка около плоского отвала бывшей шахты им. П. Л. Войкова ОАО «Лисичанскуголь» в г. Лисичанске Луганской области.

В ключевых точках - на самом отвале, у его подножия и на расстоянии 50, 100, 200 и 500 метров в слое 0-10 см отбираются пробы породы и почвы, в которых путем химического и спектрального эмиссионного анализа выполняется определение содержания сульфатов и тяжелых металлов. Пробы высушиваются и просеиваются через почвенные сита с размером ячейки 10, 7, 5, 3, 2, 1, 0,5, 0,25 мм. Отобранные из проб навески массой 1 г наносятся максимально тонким слоем на миллиметровую бумагу и фотографируются цифровым фотоаппаратом с расстояния 20 мм. Далее снимки воспроизводятся на мониторе компьютера и с их помощью осуществляется подсчет количества частиц угля на единице площади в каждой из фракций (рис. 1.23).



а



б

Рис. 1.23. Фотоснимки образцов почвы с углистыми включениями (а) и отвальной породы (б) при различном увеличении

Сравнение содержания частиц позволяет определять степень проникновения частиц породы вглубь почвенного профиля и переноса их по ширине при обработке сельскохозяйственными орудиями. По данным химического состава почвы и содержания маркерных частиц в ключевых точках составляется график зависимости содержания сульфатов и тяжелых металлов от содержания маркерных частиц, который позволяет косвенным путем оценивать степень химического загрязнения почвы и в других точках зоны загрязнения.

## РАЗДЕЛ 2

### КЛАССИФИКАЦИЯ ОТВАЛОВ УГОЛЬНЫХ ШАХТ ПО УРОВНЮ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ОПАСНОСТИ

#### **2.1. Разработка методологии оценки экологической опасности терриконовых ландшафтов на основании картографических материалов и данных космической съемки**

Прогнозирование и контроль состояния антропогенных и естественных ландшафтов является важнейшей составляющей частью организационной деятельности человека, направленной на использование природных ресурсов в целях обеспечения его жизнедеятельности и экологической безопасности. В области оценки природных и техногенных экологических проявлений, охватывающих обширные территории, особенно эффективным является использование материалов космической съемки [15].

Впервые теория, методология и технология аэрокосмической съемки в целях экологической безопасности нашла развитие и применения во второй половине восьмидесятых годов XX-го века в агролесомелиорации и защитном лесоразведении [16].

Космическая съемка позволяет получить непрерывное поле информации по всему охвату и все индивидуальные черты отдельного терриконового ландшафта. Нами была разработана методика оценки экологической опасности терриконовых ландшафтов, сущность которой заключается в анализе картосхемы или космического снимка объекта исследований и прилегающей к нему территории.

##### ***2.1.1. Оценка экологической опасности шахтных отвалов для различных элементов ландшафтов***

В качестве объектов исследования выступили 78 отвалов угольных шахт Луганской области с прилегающей к ним территорией, расположенные в бассейне реки Северский Донец. Для решения поставленных задач были использованы материалы космической съемки, топографические карты, данные, предоставленные шахтными управлениями, и результаты экспедиционного обследования.

В качестве проявлений экологической опасности шахтных отвалов для человека и окружающей среды нами были предложены:

- воздействие отвалов на жителей населенных пунктов;
- воздействие на пахотные земли;
- воздействие на приусадебные участки;
- воздействие на кормовые угодья;
- воздействие на речную сеть;
- воздействие на водоемы.

В качестве критериев оценки степени потенциальной опасности шахтных отвалов были предложены показатели их расположения в ландшафте.

В результате рассмотрения статистического распределения потенциальной интенсивности воздействий отвалов нами были выделены пять степеней их экологической опасности:

*I степень* - максимальная потенциальная экологическая опасность для окружающей среды (объекты находятся непосредственно у подножия террикона);

*II степень* - средняя степень потенциальной экологической опасности (объекты находятся в пределах санитарной зоны, то есть до 500 м);

*III степень* - слабая потенциальная экологическая опасность (объекты находятся на расстоянии от 500 до 1000 м);

*IV степень* - относительная потенциальная экологическая опасность (объекты находятся в пределах от 1000 до 2000 м);

*V степень* - косвенная потенциальная экологическая опасность (объекты находятся далее 2000 м) [17].

В качестве примера рассмотрим отвал шахты «Княгининская», относящейся к ГП «Донбассантрацит». Шахта является действующим предприятием и специализируется на добыче угля марки АРШ подземным (закрытым) способом, имеет две промышленные площадки, 9 породных отвалов, расположенных в черте г. Красный Луч.

Первая (основная) промплощадка шахты находится в юго-западной части г. Красный Луч. Ближайшие жилые дома расположены в северо-восточном направлении от промплощадки, на расстоянии 170 м по ул. Красногвардейская.

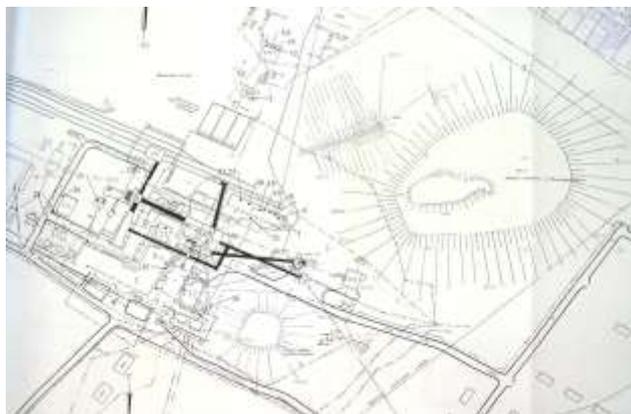


Рис. 2.1. План схема шахты  
"Княгининская"



Рис. 2.2. Космический снимок  
шахты "Княгининская"

Мы сопоставили план-схему шахты (рис. 2.1.) с космическим снимком, полученным из Интернета с помощью программного комплекса «Google Earth» (рис. 2.2).

На следующем этапе оценили экологическую опасность шахтных отвалов.

В табл. 2.1 показан набор статистических материалов, который использовался для оценки экологической опасности отвалов.

Таблица 2.1

Распределение потенциальной экологической опасности отвала шахты  
«Княгининская» по ее видам и степени воздействия

Шахто- управ- ление, № отвала	Сте- пень воз- дейст- вия	Виды экологической опасности					
		воздейст- вие на жителей населен- ных пунктов	воздействие на почвенный покров		воздейст- вие на кормовые угодия	воздейст- вие на речную сеть	воздейст- вие на водоемы
			приуса- дебных участков	пахот- ных земель			
Шахта Княги- нинская, отвал №3	I				+		+
	II	+	+				
	III			+		+	
	IV						
	V						

Таким же образом нами были проанализированы все 78 терриконов. В табл. 2.2 показано их процентное соотношение по видам и степени потенциальной экологической опасности.

Таблица 2.2

Распределение терриконов по видам и степени потенциальной  
экологической опасности

Сте- пень воз- дейст- вия	Виды экологической опасности					
	воздейст- вие на жителей населенных пунктов	воздействие на почвенный покров		воздейст- вие на кормовые угодия	воздейст- вие на речную сеть	воздейст- вие на водоемы
		приуса- дебных участков	пахот- ных земель			
I	28%	38%	18%	16%	9%	14%
II	30%	42%	38%	34%	34%	39%
III	14%	12%	5%	24%	27%	20%
IV	26%	5%	12%	23%	10%	15%
V	2%	3%	27%	3%	20%	12%

На рис. 2.3, 2.4, 2.5 представлены диаграммы степени воздействия по видам экологической опасности.

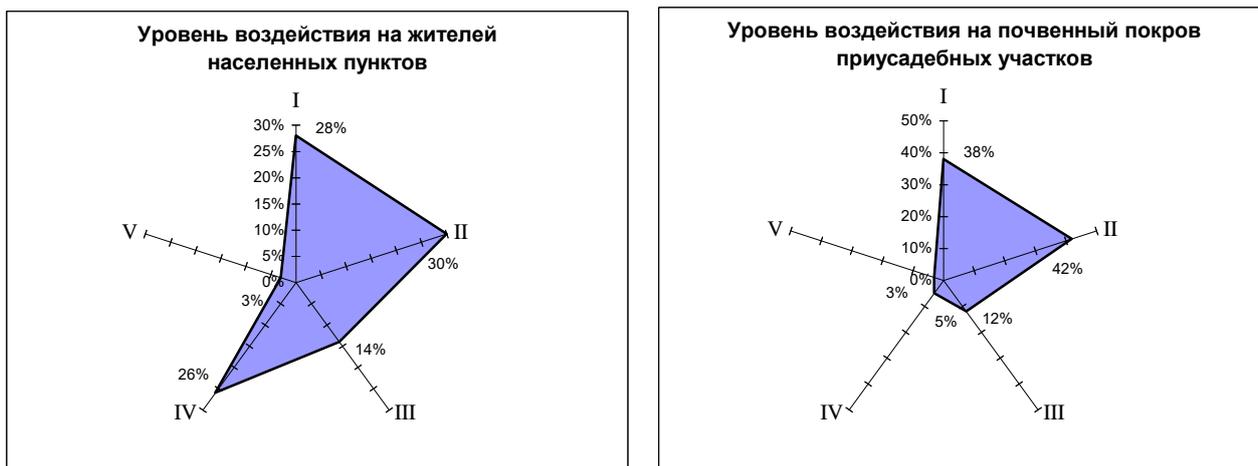


Рис. 2.3. Уровень воздействия терриконов на жителей населенных пунктов и почвенный покров приусадебных участков

На основании данных, представленных на рис. 2.3, можно сделать вывод, что в непосредственной близости с 28% исследованных терриконов находятся домостроения, а в пределах санитарной зоны (500 метров) домостроения находятся около 30% терриконов (соответственно I и II степени негативного воздействия). На прилегающей территории 80% исследованных отвалов происходит влияние на почвенный покров, которое также оценивается I и II степенью негативного воздействия.

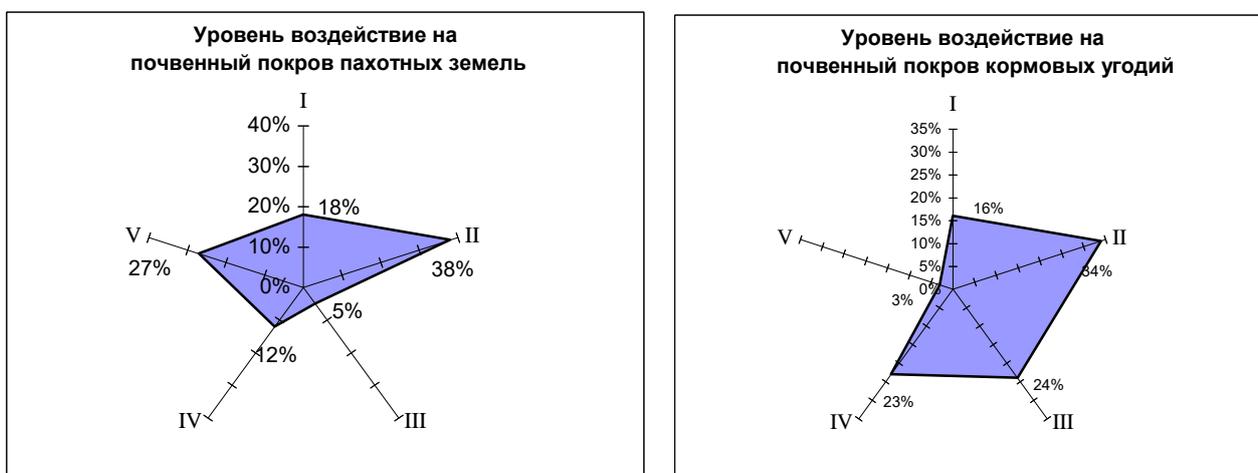


Рис. 2.4. Уровень воздействия на почвенный покров пахотных земель и кормовых угодий

На основании данных, представленных на рис. 2.4, можно сделать вывод, что почвенный покров пахотных земель в пределах санитарной зоны у 52% терриконов оценивается I - II степенью экологической опасности. Косвенной экологической опасностью характеризуются 27% исследованных терриконов, 50% исследуемых терриконов характеризуются I и II степенью вредного воздействия. Значительному негативному воздействию подвергается почвенный покров кормовых угодий, у 80% терриконов оно соответствует I-II степени.

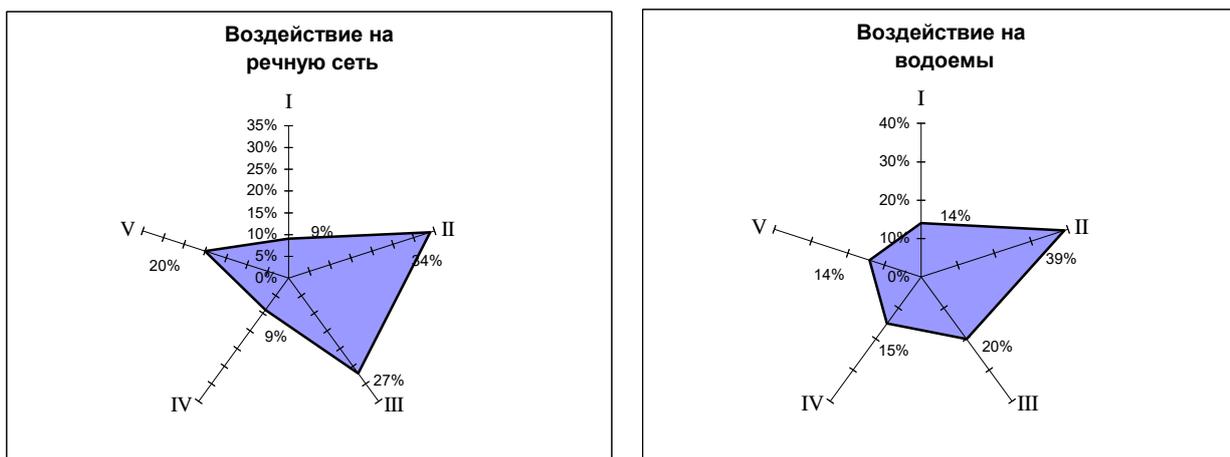


Рис. 2.5. Уровень воздействия на речную сеть и водоемы

На основании данных, представленных на рис. 2.5, можно сделать вывод, что 61% исследованных терриконов оказывают негативное воздействие на речную сеть и характеризуются II-III степенью опасности, а 9% характеризуется I степенью. Это свидетельствует о достаточно высоком уровне экологической опасности обследованных отвалов.

Неблагоприятное влияние оказывают на водоемы 52% исследованных терриконов, характеризуясь I-II степенью негативного воздействия.

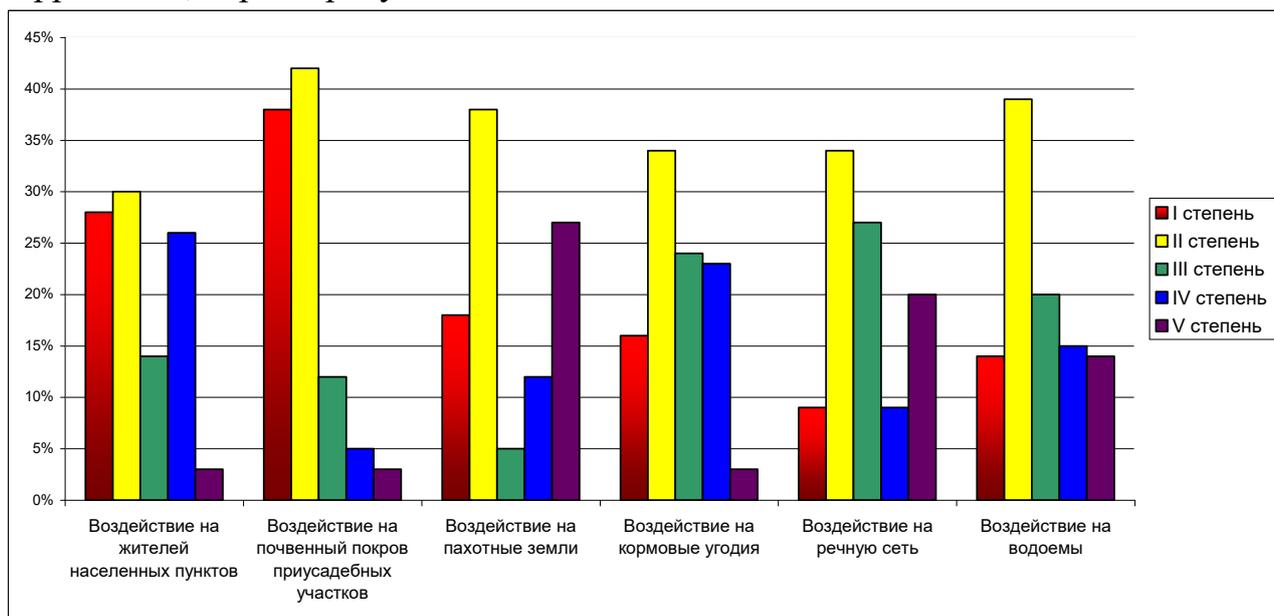


Рис. 2.6. Распределение терриконов по видам и степени потенциальной экологической опасности

На основании рис. 2.6 можно сделать вывод, что II степень воздействия по всем видам экологической опасности преобладает. Это свидетельствует о достаточно серьезной экологической опасности терриконов для гидрографической сети и других элементов ландшафтов.

Нами проведен также кластерный анализ [18].

Для построения дендрограммы степеней негативного воздействия мы использовали следующий алгоритм.

1. Разбивают терриконы на группы по степени их вредного воздействия:  
I – максимальная экологическая опасность для окружающей среды;  
II – средняя степень экологической опасности для окружающей среды;  
III – слабая экологическая опасность для окружающей среды;  
IV – относительная экологическая опасность;  
V – косвенная экологическая опасность.

2. Терриконы классифицируют исходя из:  
- воздействия на жителей населенных пунктов;  
- воздействия на почвенный покров приусадебных участков;  
- воздействия на почвенный покров пахотных земель;  
- воздействия на кормовые угодья;  
- воздействия на речную сеть;  
- воздействия на водоемы.

3. Каждая группа терриконов представлялась как отдельный кластер.

Воздействие на жителей населенных пунктов (%).

I – 28, II – 30, III – 14, IV – 26, V – 2.

Воздействие на почвенный покров приусадебных участков (%).

I – 38, II – 42, III – 12, IV – 5, V – 3.

Воздействие на почвенный покров пахотных земель (%).

I – 18, II – 38, III – 5, IV – 12, V – 27.

Воздействие на кормовые угодья (%).

I – 16, II – 34, III – 24, IV – 23, V – 3.

Воздействие на речную сеть (%).

I – 9, II – 34, III – 27, IV – 10, V – 20.

Воздействие на водоемы (%).

I – 14, II – 39, III – 20, IV – 15, V – 12.

Множество  $G$  включает 5 степеней воздействия, каждая из которых характеризуется показателями – видами экологической опасности  $F_1, F_2, F_3, F_4, F_5, F_6$ .

Вектор  $X_i$  (вектор измерений) – набор указанных характеристик по степени воздействия.

$X_1=(28,38,18,16,9,14)$  – I степень воздействия;

$X_2=(30,42,38,34,34,39)$  – II степень воздействия;

$X_3=(14,12,5,24,27,20)$  – III степень воздействия;

$X_4=(26,5,12,23,9,15)$  – IV степень воздействия;

$X_5=(2,3,27,3,20,12)$  – V степень воздействия.

Матрица наблюдений:  $X=(X_1, X_2, X_3, X_4, X_5)$ .

В качестве расстояния (табл. 2.3) было использовано евклидово расстояние, которое является самой популярной метрикой в кластерном анализе: оно отвечает интуитивным представлениям о близости и, кроме того, очень удачно вписывается своей квадратичной формой в традиционные статистические конструкции.

$$d(X_i, X_j) = \left[ \sum_{k=1}^3 (x_{ki} - x_{kj})^2 \right]^{\frac{1}{2}} - \text{евклидово расстояние.}$$

Из формулы видно, что расстояние от *i*-ого объекта до *j*-ого равно расстоянию от *j*-ого *i*-ого.

Таблица 2.3

Матрица расстояний

D	1	2	3	4	5
1	0	44,7	38,3	34,3	47,1
2	44,7	0	52,5	58,2	64,4
3	38,3	52,5	0	24,3	34,8
4	34,3	58,2	24,3	0	35,8
5	47,1	64,4	34,8	35,8	0

Для проведения кластерного анализа в данном исследовании был использован пакет программы SPSS. На основе проведенных расчетов для построения типологии степеней воздействия был применен метод средней связи. Метод средней связи заключается в выборе дистанции между кластерами, которая равняется среднему значению дистанций между всеми возможными парами наблюдений, причем одно наблюдение берется из одного кластера, а другое - из другого. Информация, необходимая для расчета дистанции, находится на основании всех теоретически возможных пар наблюдений [19].

Результатом кластерного анализа явилась дендрограмма (рис. 2.7), которая демонстрирует достаточно существенную разницу степеней воздействия по 6 видам экологической опасности. Наиболее представленными (или отдаленными от других кластеров) являются терриконовые ландшафты со II степенью негативного воздействия, образующие отдельный 1 кластер. Близкими между собой являются степени опасности V и I, образующие 2-й и 3-й кластеры. Степени воздействия III и IV по всем видам негативного воздействия очень близки и входят в 4 кластер.

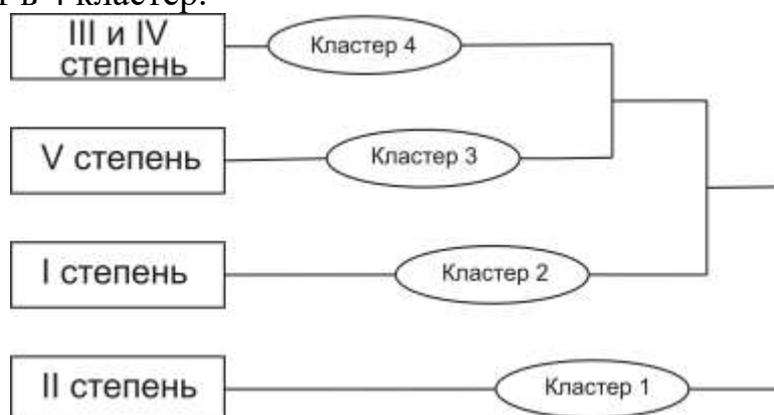


Рис. 2.7. Дендрограмма степени негативного воздействия отвалов с учетом 6 видов экологической опасности

Таким образом, можно утверждать, что в количественном отношении II степень негативного воздействия является самой представительной. В следующую группу (2 и 3 кластер) входит I и V степень вредного воздействия, находящиеся на близком уровне. Замыкает 4-й кластер с IV и III степенью негативного воздействия.

### **2.1.2. Оценка экологической опасности по степени защищенности терриконовых ландшафтов лесонасаждениями**

*Нами предложен способ оценки экологической опасности терриконов по степени защищенности лесонасаждениями. В качестве видов защитного воздействия выступают наличие лесонасаждений на самом терриконе и у его подножия. В результате статистического распределения уровней защищенности лесомелиоративными мероприятиями выделены пять ее степеней:*

#### **Степень защищенности на терриконе:**

*I степень* – (максимальная опасность) - отсутствие лесных насаждений;

*II степень* – покрытие поверхности насаждениями менее чем на 20%;

*III степень* - покрытие поверхности насаждениями на 20-50%;

*IV степень* - покрытие поверхности насаждениями на 50-85%;

*V степень* - покрытие поверхности насаждениями более чем на 85%.

#### **Степень защищенности у подножия отвала:**

*I степень* - максимальная опасность (отсутствие лесных насаждений);

*II степень* - наличие защитных насаждений менее чем на 20% от длины периметра подножия отвала;

*III степень* - наличие защитных насаждений на 20-50% периметра;

*IV степень* - наличие защитных насаждений на 50-85% периметра;

*V степень* – наличие защитных насаждений более чем на 85% периметра.

Результаты анализа защищенности терриконов представлены в табл. 2.4 и проиллюстрированы рис. 2.8.

Таблица 2.4

Распределение терриконов по степени защищенности лесомелиоративными мероприятиями

Степень защищенности	Наличие защитных насаждений, %	
	на терриконе	у подножия отвала
I степень	51	41
II степень	23	32
III степень	18	14
IV степень	4	4
V степень	4	9

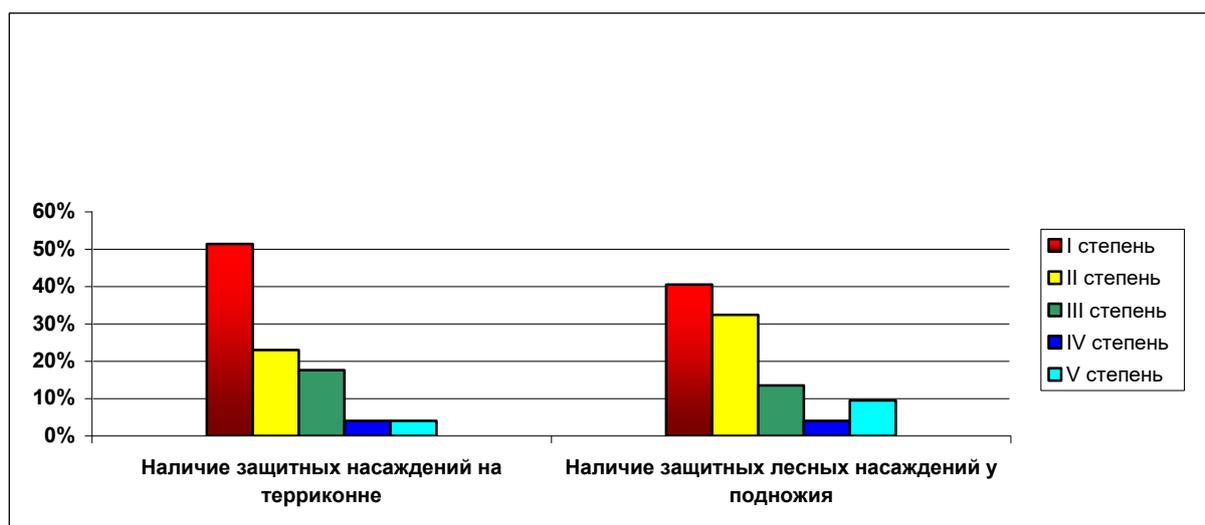


Рис. 2.8. Распределение терриконовых ландшафтов по степени их защищенности лесомелиоративными мероприятиями

На основании данных, представленных на рис. 2.8, можно сделать вывод, что 51% обследованных терриконов характеризуются I степенью защищенности, то есть на них не произведены лесомелиоративные мероприятия, и они наиболее подвержены эрозионному влиянию; 23% относятся ко II степени защищенности, т. е. до 20% поверхности данной группы терриконов покрыты лесонасаждениями, частично препятствующими водной и ветровой эрозии. К III степени защищенности поверхности терриконов относятся 18% исследуемых отвалов угольных шахт. Для данной категории объектов характерно покрытие 50% площади их поверхности защитными насаждениями, еще более активно уменьшающими интенсивность выноса токсичной породы с откосов терриконов. К IV и V степеням относятся лишь по 4% исследованных терриконов. Эти две группы являются наиболее защищенными лесомелиоративными мероприятиями. Таким образом, большая часть исследуемых терриконовых ландшафтов Луганской области не защищена лесными насаждениями и подвергает экологической опасности прилегающие территории.

На основании наличия лесонасаждений на прилегающих к терриконам территориях (рис. 2.8) можно констатировать следующее: у 41% исследуемых терриконов прилегающая территория совершенно не защищена лесонасаждениями, и это приводит к миграции на нее и за ее пределы терриконовой породы; у трети (32%) исследуемых нами объектов покрыто лесонасаждениями до 20% прилегающей территории, а 14% терриконов - до 50%; более 50% прилегающей территории покрыто лесонасаждениями только у 13% отвалов.

Используя прикладной программный продукт SPSS нами проведен кластерный анализ. Иерархическую агломеративную процедуру реализуем согласно методу средней связи. В соответствии с дендрограммой, полученной в

результате иерархического кластерного анализа степеней защищенности, формируется 4 кластера (рис 2.9).

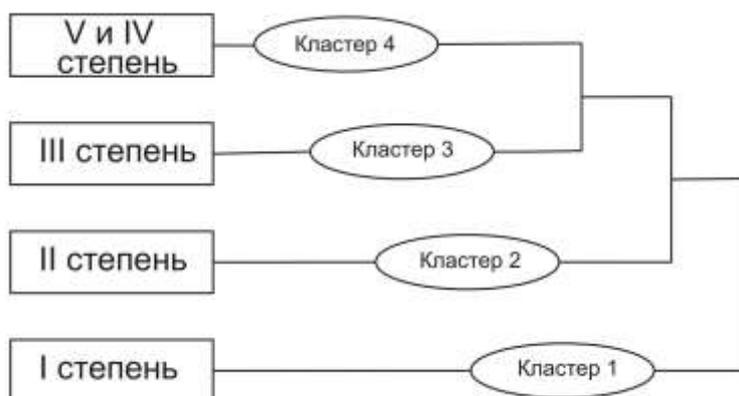


Рис. 2.9. Дендрограмма степеней защищенности отвалов с учетом 2-х видов лесомелиоративных мероприятий (на терриконе и у подножия)

Таким образом можно утверждать, что в количественном отношении 1 степень защищенности является самой представительной и образует 1 кластер. В следующую группу 2 и 3 кластер входит 2 и 3 степень защищенности. Замыкает 4 кластер 5 и 4 степень защищенности терриконовых ландшафтов.

## 2.2 Дистанционные исследования терриконовых ландшафтов с использованием космических снимков

Значительная территория, отсутствие методик комплексной оценки экологической деградации, а также снижение инвестиций на проектно-изыскательские работы резко ограничили применение традиционных наземных методов полевых изысканий. В связи с этим картографо-аэрокосмический мониторинг становится важнейшим методологическим и методическим приемом, позволяющим отслеживать изменения в состоянии, структуре, динамике и развитии ландшафтов. Применение космических фотоснимков открыло новые возможности в изучении терриконовых ландшафтов. На них отражаются не только физические компоненты, но и ландшафты в целом. Преимущество этого метода заключается в том, что он позволяет вести анализ процессов деградации ландшафтов сразу на нескольких уровнях комбинаций урочищ, составляющих тип местности, вплоть до ландшафтных районов [16].

Проведение картографо-аэрокосмического мониторинга ландшафтных структур наталкивается на ряд трудностей, возникающих вследствие большого объема информации. Использование информационных технологий для обработки картографических и аэрокосмических данных позволяет объединить пространственный анализ, методы математического моделирования и компьютерного картографирования в единый процесс и тем самым в значительной степени повысить качество и адекватность картографической продукции [16].

### 2.2.1. Исследование изменения химического состояния отвальной породы по фототонам шкалы RGB

Нами предложено распределять отвалы угольных шахт по фототонам шкалы RGB [20]. С помощью пакета прикладных программ «Google Earth» и «World Wind» была произведена оцифровка аэрокосмических снимков 78 отвалов Луганской области. Преобразование полученных изображений для оценки фототона по 255 уровням шкалы красного ( R ), зеленого (G) и синего (B) цветов производилась с помощью программного комплекса Photoshop (рис. 2.10). Данные результатов занесены в табл. 2.5.

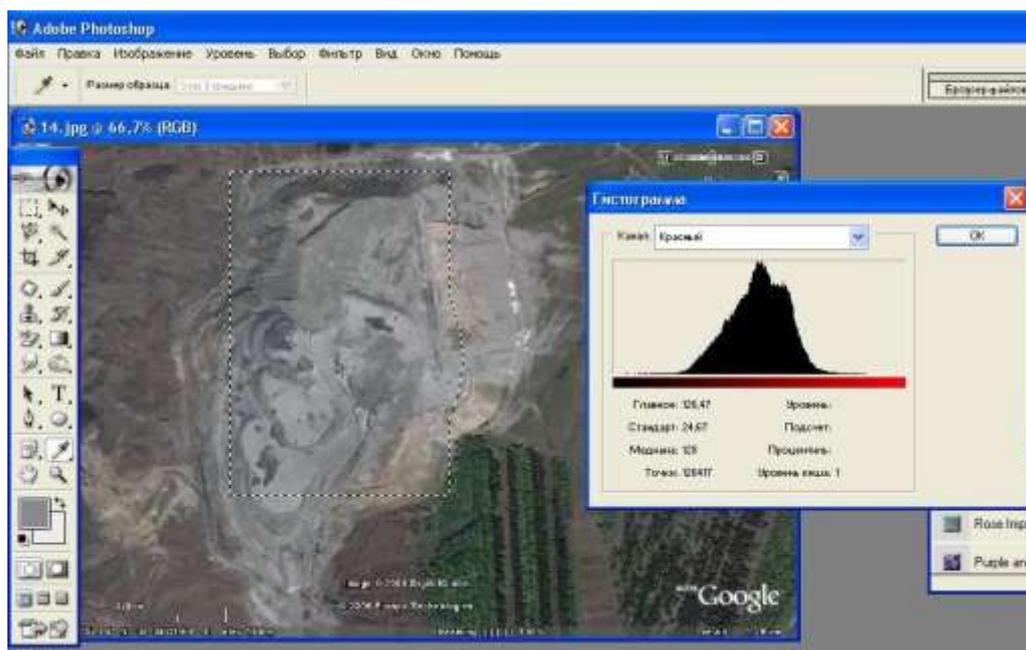


Рис. 2.10. Фрагмент аэрофотоснимка террикона ДВАТ шах. Суходольская - Восточная и определение красного фототона

Таблица 2.5

Распределение показаний фототона по шкале RGB отвалов угольных шахт для различных угольных районов Луганской области.

№ п/п	Угольный район	Показания фототона по спектрам			
		Rcp	Gcp	Bcp	RGBcp
1	Луганский	67	63	64	65
2	Алмазно-Марьевский	121	120	118	119
3	Краснадонский	117	110	109	112
4	Боково-Хрустальский	131	122	123	127
5	Должанско-Ровенецкий	126	119	121	122

Была произведена проверка нулевой гипотезы о принадлежности сомнительных вариантов к выборочной совокупности (табл. 2.6) путем

вычислений доверительного интервала для всей совокупности и определения вероятности нахождения сомнительных вариантов  $X$  в пределах  $\bar{x} \pm 2s$  (для больших выборок вероятность 95 %). Если  $X$  выходит за пределы  $\bar{x} \pm 2s$ , то нулевая гипотеза отвергается на 5%-ном уровне значимости, и варианты бракуются [21].

Таблица 2.6

Результаты выбраковки фототонов терриконов

Фототон	Пределы $\bar{x} \pm 2s$	Начальное количество терриконов	Выбракованное количество терриконов	Конечное количество терриконов
RGB	75,4-166,8	78	5	73
R	75,2-175,6	78	5	73
G	67,9-169,1	78	3	75
B	72,6-166,2	78	4	74

В табл. 2.7 представлены статистические показатели по R-, G-, B-фототонам терриконов.

Таблица 2.7

Сводная таблица статистических показателей фототонов терриконов

Статистические показатели	Фототона							
	без выбраковки R	с выбраковкой R	без выбраковки G	с выбраковкой G	без выбраковки B	с выбраковкой B	без выбраковки RGB	с выбраковкой RGB
Количество членов ряда (n)	78	73	78	75	78	74	78	73
Средняя ( $\bar{x}$ )	125,4	126	118,5	119,8	119,4	120,7	121	121,7
Ошибка среднего ( $S_x$ )	2,85	2,4	2,88	2,39	2,66	2,31	2,92	2,12
Медиана (Med)	136	132	129	106	114	137	120	111
Мода ( $M_0$ )	22	19	22	16	20	16	20	15
Стандартное отклонение ( $\sigma$ )	25,1	20,8	25,3	20,8	23,4	19,9	22,8	18,02
Дисперсия ( $\sigma^2$ )	632,2	431,4	640,6	431,2	547,2	396,4	599	324,7
Коэффициент вариации (V)	20	16,5	21,4	17,4	19,6	16,5	18,8	14,8
Экссесс (E)	73,5	67,5	73	71,44	72,96	69,14	72,45	66,34
Асимметрия (A)	8,7	8,33	8,66	8,61	8,66	8,44	8,68	8,22
Распределения $\chi^2$	-	5,18	-	3,75	-	7,26	-	4,34
$\chi^2_{теор}$	-	11,1 (0,05;5)	-	11,1 (0,05;5)	-	11,1 (0,05;5)	-	11,1 (0,05;5)

Исходя из данных табл. 2.8 мы видим несоответствие однородных данных RGB нормальному закону распределения, так как асимметрия  $(A) > 3\sigma_a$  и эксцесс  $(E) > 3\sigma_e$ , то есть эти данные необходимо аппроксимировать кривыми других типов распределений.

Таблица 2.8

Определение соответствия данных нормальному закону распределения (до и после выбраковки)

Цвет	A	E	Соответствие			
			да	нет	да	нет
			$(A < 3 G_a)$	$(A > 3 G_a)$	$(E < 3 G_e)$	$(E > 3 G_e)$
RGB	8,61	72,45	-	$8,61 > 0,81$	-	$72,45 > 1,8$
RGB <sub>+выб.</sub>	8,22	66,34	-	$8,22 > 0,86$	-	$66,34 > 1,7$
R	8,70	73,50	-	$8,7 > 0,81$	-	$73,50 > 1,8$
R <sub>+выб.</sub>	8,33	67,50	-	$8,33 > 0,81$	-	$67,50 > 1,8$
G	8,66	73,00	-	$8,66 > 0,81$	-	$73,00 > 1,8$
G <sub>+выб.</sub>	8,61	71,44	-	$8,61 > 0,81$	-	$71,44 > 1,8$
B	8,66	72,96	-	$8,66 > 0,81$	-	$72,96 > 1,8$
B <sub>+выб.</sub>	8,44	69,14	-	$8,44 > 0,81$	-	$69,14 > 1,8$

Далее все 73-75 терриконов были разбиты на интервалы, в каждом интервале определено количество эмпирических частот.

На основании эмпирических частот рассчитаны теоретические частоты распределения Пуассона и осуществлена проверка статической гипотезы о соответствии эмпирического распределения закону Пуассона [22].

В табл. 2.9-2.12 показаны расчеты теоретических частот на основе ряда количества фототонов RGB, R, G, B цветов.

Таблица 2.9

Расчеты теоретических частот RGB

Xi	Mi	$Xi \cdot Mi$	Pi	Mit
0	1	0	0,02	1,33
1	7	7	0,07	5,35
2	6	12	0,15	10,69
3	15	45	0,19	14,26
4	13	52	0,19	14,26
5	12	60	0,16	11,41
6	11	66	0,10	7,61
7	6	42	0,06	4,34
8	2	16	0,03	2,17
Сумма	73	300	0,97	71,42

Таблица 2.10

Расчеты теоретических частот R

Xi	Mi	$Xi \cdot Mi$	Pi	Mit
0	4	0	0,02	1,33
1	2	2	0,07	5,35
2	8	16	0,15	10,69
3	15	45	0,19	14,26
4	12	48	0,19	14,26
5	18	90	0,16	11,41
6	8	48	0,10	7,61
7	3	21	0,06	4,34
8	3	24	0,03	2,17
Сумма	73	294	0,97	71,42

Таблица 2.11

Расчеты теоретических частот G

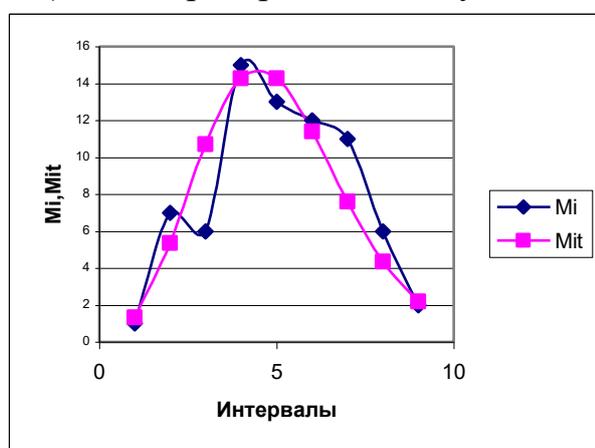
$X_i$	$M_i$	$X_i \cdot M_i$	$P_i$	$Mit$
0	2	0	0,01	0,83
1	3	3	0,05	3,75
2	8	16	0,11	8,44
3	12	36	0,16	12,65
4	11	44	0,18	14,23
5	13	65	0,17	12,81
6	12	72	0,12	9,61
7	8	56	0,08	6,18
8	6	48	0,04	3,47
Сумма	75	340	0,95	71,97

Таблица 2.12

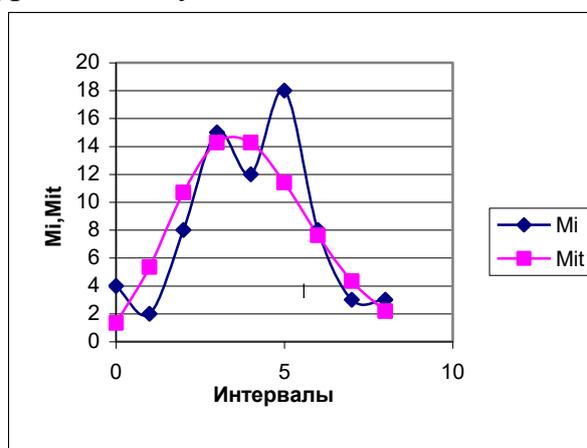
Расчеты теоретических частот В

$X_i$	$M_i$	$X_i \cdot M_i$	$P_i$	$Mit$
0	1	0	0,02	1,33
1	7	7	0,07	5,35
2	11	22	0,15	10,69
3	12	36	0,19	14,26
4	10	40	0,19	14,26
5	12	60	0,16	11,41
6	14	84	0,10	7,61
7	5	35	0,06	4,34
8	2	16	0,03	2,17
Сумма	74	300	0,97	71,42

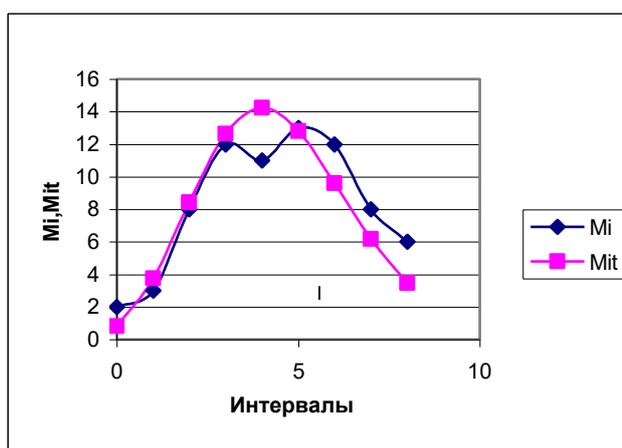
На рис. 2.11 представлены полигоны эмпирических ( $M_i$ ) и теоретических ( $Mit$ ) частот распределения Пуассона терриконов Луганской области.



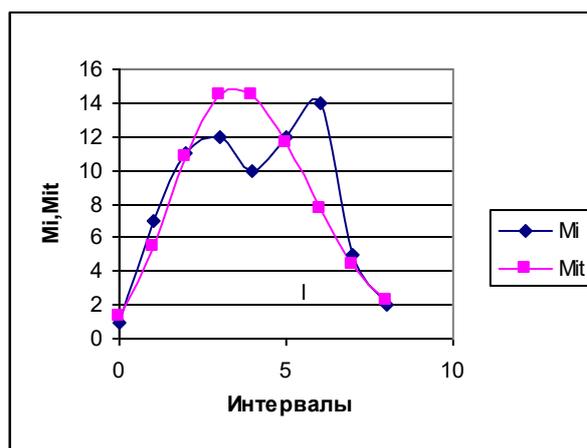
а



б



в



г

Рис 2.11. Полигоны эмпирических ( $M_i$ ) и теоретических частот ( $Mit$ ) распределения Пуассона по фототонам: а – RGB; б – R; в – G; г – B

Определение соответствия результатов исследований  
закону распределения Пуассона

Фото-тоны	Количество терриконов	$\chi^2$ на основе выборки	$\chi^2_{кр}(\alpha, \nu)$	Соответствие по $\chi^2$ закону распределения Пуассона	
				соответствует $\chi^2 < \chi^2_{кр}(\alpha, \nu)$	не соответствует $\chi^2 > \chi^2_{кр}(\alpha, \nu)$
RGB	73	4,34	11,1 (0,05;5)	+	-
R	73	5,18	11,1 (0,05;5)	+	-
G	75	3,75	11,1 (0,05;5)	+	-
B	74	7,26	11,1 (0,05;5)	+	-

Исходя из табл. 2.13 эмпирические частоты фототонов RGB и R, G, B необходимо аппроксимировать кривой распределения закона Пуассона.

### 2.2.2. Оценка изменения химического состояния отвальной породы

Исследование динамики изменения химического состояния отвальной породы с помощью RGB мы продемонстрируем на примере отвала шахты «Княгининская» ГП «Донбассантрацит» (рис. 2.12, 2.13).

Для проверки осуществления способа были рассмотрены несколько характерных участков на снимке отвала и прилегающей территории (рис. 2.13).

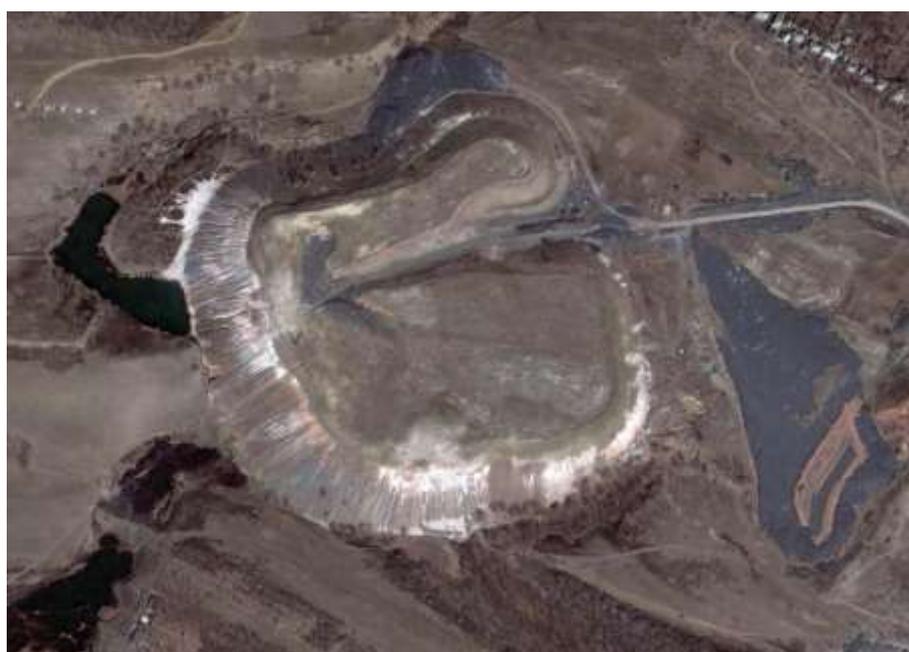


Рис. 2.12. Космический снимок отвала шахты «Княгининская»

В разных местах поверхности терриконов по черному цвету породной массы выделяются небольшие участки, где сохранились первичные рыхлые отвальные породы. По периферии этих участков устанавливается пограничная зона замещения, проявленная в изменении первичного цвета породы до бурых, вишневых оттенков, на фоне которых развиваются сульфаты желтого цвета.



Рис. 2.13. Фрагмент склона отвала с характерными признаками химического изменения породы

Далее по направлению от участков первичных пород выделяется зона развития белой сульфатной минерализации (рис. 2.13), которая пропитывает окисленные кирпично-красные породы. За пределами этой зоны располагаются обширные участки окисленных пород кирпично-красного цвета без видимых признаков развития сульфатов. Эти две зоны (желтая и белая) являются промежуточными между окисленными породами и первичными.

В табл. 2.14 показаны дешифровочные признаки изменения химического состояния породы.

В цветовом координатном пространстве RGB любой цвет получается как сумма (смещение) красного, зеленого и синего цветов. Если представить это пространство в виде куба, то на главной диагонали куба, образованного из нормированных компонентов, будут расположены серые цвета (ахроматические). Наряду с тем, что накоплен большой объем информации о реакции и чувствительности глаза к трем стимулам RGB, мы предлагаем для анализа терриконов использовать цветовую модель HSB (англ. *Hue, Saturation, Brightness*—оттенок, насыщенность, яркость) [23].

HSB цветовая модель состоит из цветового круга (то есть поперечного сечения цилиндра) и движка яркости (высоты цилиндра).

Таблица 2.14

Дешифровочные признаки изменения химического состояния породы на терриконе

Шкала фототона R/G/B	Описание изменения породы	Ранг изменения
109, 116, 124	Первичная серая порода	0
118, 121, 130		1
121, 125, 130		2
150, 134, 132	Зона развития сульфатов	3
228, 201, 198		4
248, 228, 228		5
252, 245, 239	Зона белой сульфатной минерализации	6
252, 252, 252		7
252, 254, 255		8
62, 18, 23	Окисленная порода кирпично красного цвета	9
105, 55, 54		10
192, 158, 144		11

Ниже приведены HSB и RGB цветовые модели по уровню деградации терриконовой породы.

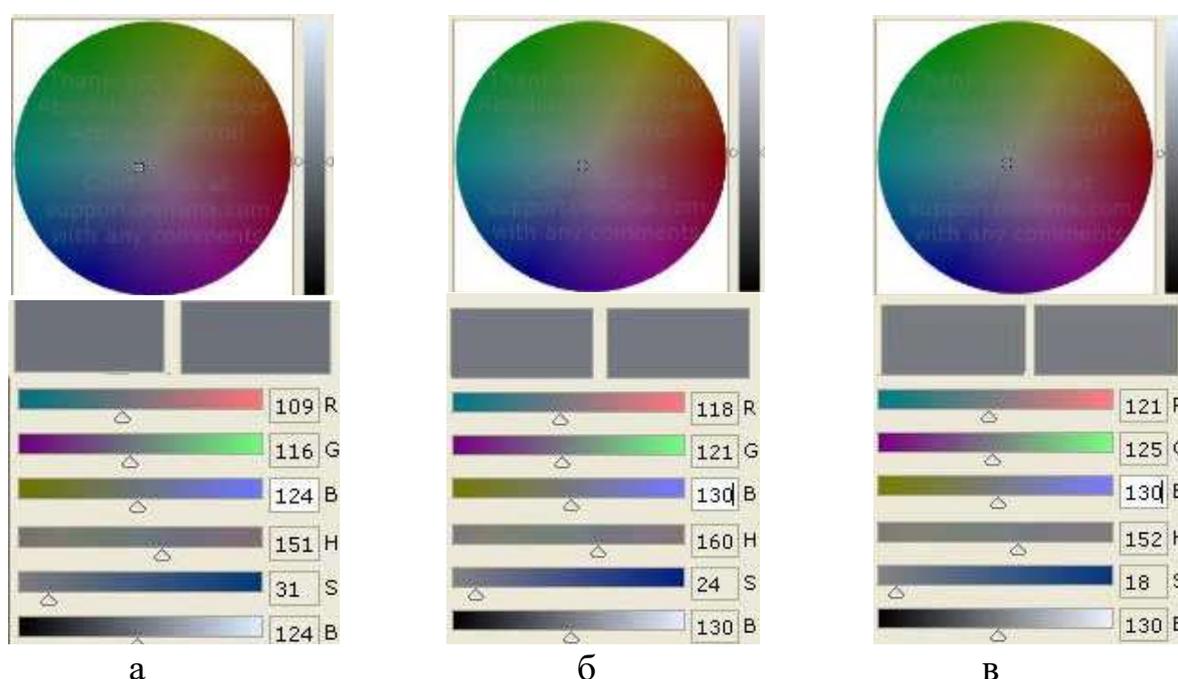


Рис. 2.14. Визуализация HSB и RGB цветовой модели терриконовой породы для следующих рангов: 0, 1, 2

На основании рис. 2.14 можно сделать вывод, что цветовой фототон для рангов на отвале находится в середине цветового круга с небольшим

смещением в сторону синего цвета, образуя серый цвет. Уровень яркости „В” изменяется в пределах от 124 до 130, насыщенность „S” варьирует от 18 до 31, цветовой тон „Н” - от 151 до 160. В координатном пространстве RGB R варьирует от 109 до 121, G - от 116 до 125, B - от 124 до 130.

Зона развития сульфатов (ранги 3 ,4 ,5) находится в середине цветового круга с небольшим отклонением в сторону красного цвета, образуя цвет от темно-бурого до светло-бурого. Уровень яркости „В” изменяется в пределах от 124 до 130, насыщенность „S” - от 21 до 34, цветовой тон „Н” - от 150 до 248. В координатном пространстве RGB R варьирует от 150 до 248, G - от 134 до 228, B - от 132 до 228.

Цветовой фототон для белой сульфатной минерализации терриконовой породы находится в середине цветового круга, образуя цвет от светло-бурого до светлого. Уровень яркости „В” изменяется в пределах от 252 до 255, насыщенность „S” - от 13 до 252, цветовой тон „Н” - от 0 до 20. В координатном пространстве RGB R изменяется от 240 до 252, G - от 245 до 254, B - от 239 до 255.

Цветовой фототон для 9, 10, 11 рангов химического состояния терриконовой породы находится в середине цветового круга со значительным смещением в сторону красного цвета, образуя цвет с кирпично-буроватым оттенком. Уровень яркости „В” - 192, насыщенность „S” изменяется от 51 до 64, цветовой тон „Н” от 11 до 14. В координатном пространстве RGB R изменяется от 62 до 192, G - от 18 до 158, B - от 23 до 144.

Используя программный комплекс Just Color Picker, мы получили фототона характерных цветовых контуров на отвале шахты „Запорожская” и определили их площадные характеристики в процентах (рис. 2.15), далее сопоставили фототона с рангами химического состояния породы (табл. 2.13). Результаты измерений занесли в табл. 2.15.



Рис. 2.15. Фрагмент определения RGB параметров характерных фотонов на отвале шахты „Запорожская”

Оценка деградации породы отвала шахты «Запорожская»

Площадь изменения, %	Ранги химического состояния породы											
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
более 85												
50-85											+	
20-50										+		
менее 20												
0												

Анализ химического состояния терриконовой породы отвала шахты „Запорожская”, представленный в табл. 2.15, позволяет сделать следующие выводы.

Порода отвала является окисленной и имеет 9 и 10 ранги химического состояния, соответственно занимая 55 и 45% площади террикона.

### 2.2.3. Оценка рассеяния вредных веществ с отвалов в ландшафтно-геохимических аренах

Рассеивание вредных химических веществ с терриконов на прилегающую территорию происходит воздушным путем и с поверхностным стоком. Область же рассеяния этих веществ называется ландшафтно-геохимической ареной (рис. 2.16) [24].

Нами предлагается оценивать рассеяние вредных веществ с отвалов в ландшафтно-геохимических аренах по фототонам RGB.



Рис. 2.16. Отвал шахты „Запорожская” с ярко выраженной ландшафтно-геохимической ареной

В табл. 2.16 показаны дешифровочные признаки формирования ландшафтно-геохимических арен на прилегающих к терриконам территориях.

Таблица 2.16

Дешифровочные признаки формирования ландшафтно-геохимических арен

Шкала фототона R/G/B	Характеристика изменений	Цветовая модель H/S/B	Шкала изменения	Экологическая ситуация
75, 84, 69	Произрастают сельхозкультуры, однородный темно-зеленый контур	68/46/84	0	Норма (фон)
50, 49, 62	Относительно однородный темно-серый контур	174/53/62	1	
52, 55, 67		162/57/67		
56, 48, 60		199/51/60		
63, 57, 73	Линейное тонковолокнистое сочетание темных и светлых окрашенных пятен	186/56/73	3	Риск
70, 66, 77		186/36/77	4	
85, 80, 73		25/36/85	5	
113, 91, 99	Толстоволокнистое ярко выраженное сочетание белых, красных контуров	241/50/113	6	Кризис
166, 160, 179		184/27/179	7	
195, 176, 191		222/25/195	8	
210, 198, 206	Однородная белая, желтая, красная зона выноса без темных пятен	228/15/210	9	Бедствие
227, 225, 234		180/10/234	10	
235, 233, 246		177/13/246	11	

Ниже приведены HSB и RGB цветовые модели по формированию ландшафтно-геохимических арен на территориях, прилегающих к отвалам.

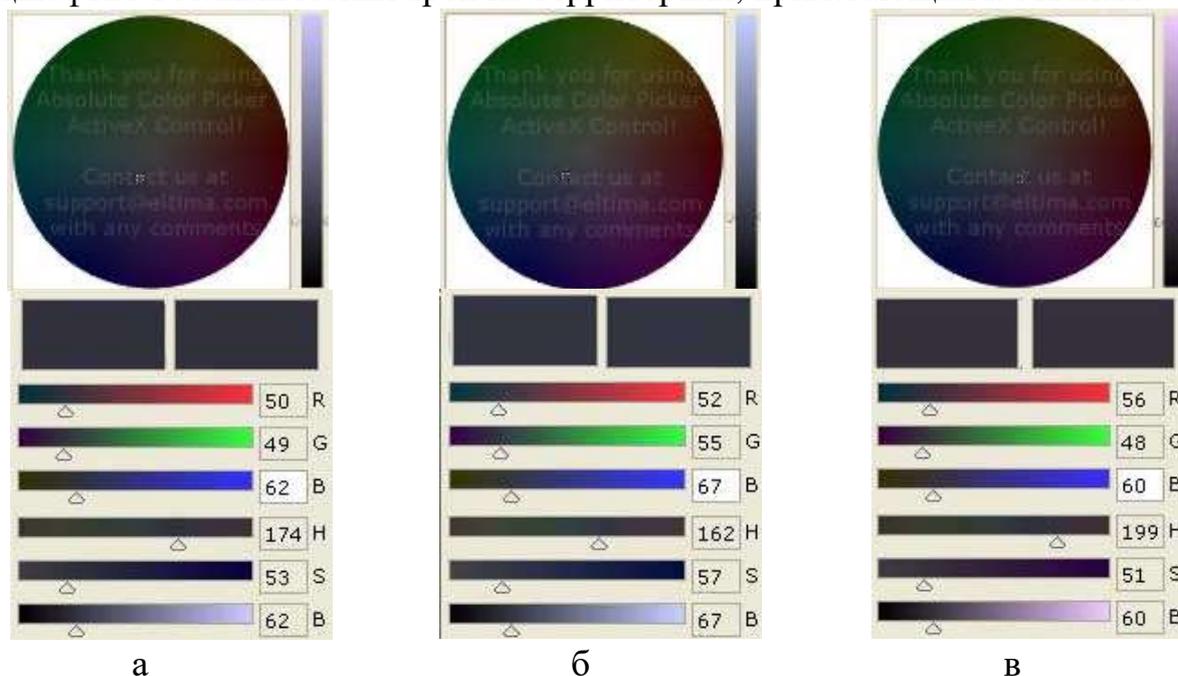


Рис. 2.17. Визуализация HSB и RGB цветовой модели формирования ландшафтно-геохимических арен для 0, 1, 2 уровней шкалы изменения

На основании данных, представленных на рис. 2.17, можно сделать вывод, что цветовой фототон для 0, 1, 2 уровней шкалы изменений находится в середине цветового круга, образуя темно-серый цвет. Таким образом, можно констатировать факт, что несмытая порода по критерию HSB и RGB находится чуть ниже центра цветового круга и данная зона характеризуется фоновыми показателями, которые соответствуют норме. Уровень яркости „В” изменяется в пределах от 60 до 67, насыщенность „S” варьирует от 51 до 53, цветовой тон „Н” от 162 до 199. В координатной сетке RGB, R изменяется от 50 до 56, G от 48 до 55, B от 60 до 67.

Цветовой фототон для 3-5 уровней шкалы изменений находится в середине цветового круга, смещаясь в направлении синего спектра, образуя серый цвет. 5-й уровень характеризуется смещением в область красного спектра. Яркость изменяется в пределах от 73 до 85, насыщенность – 36-56, цветовой тон – 25 - 186. В координатах RGB соответственно R изменяется от 63 до 85, G - от 57 до 80, B - от 73 до 77.

Цветовой фототон для 6-8 уровней деградации „кризис” движется от центра в направлении красного спектра. В координатах HSB модели характеризуется „Н” в пределах от 184 до 241, „S” в пределах от 25 до 50, „В” в пределах от 113 до 195. Характеристика RGB модели, R – 113-195, G – 91-176, B – 99–191.

Цветовой фототон для 9-11 уровней деградации „бедствие” находится в центре цветового круга, имеет светло-розовый цвет. Уровень яркости „В” изменяется в пределах от 210 до 246, насыщенность „S” варьирует от 10 до 15, цветовой тон „Н” от 177 до 228. В координатной сетке RGB, R изменяется от 210 до 235, G - от 198 до 233, B - от 206 до 246.

В качестве критериев оценки дальности рассеивания вредных химических веществ использовано расстояние от основания террикона:

- I степень* – ландшафтно-геохимическая арена в пределах 500-1000 м;
- II степень* - ландшафтно-геохимическая арена в пределах 200-500 м;
- III степень* - ландшафтно-геохимическая арена в пределах 50-200 м;
- IV степень* - ландшафтно-геохимическая арена в пределах 50 м;
- V степень* – рассеяние химических веществ отсутствует.

Ниже приведен пример использования данной методики для оценки ландшафтно-геохимической арены отвала шахты «Запорожская».

Используя программный комплекс Just Color Picker, мы получили фототона характерных точек прилегающей территории (рис. 2.18), сопоставили полученные фототона с эталонными (табл. 2.16) и замеряли расстояние от основания террикона до характерных точек. Результаты измерений занесли в табл. 2.17.

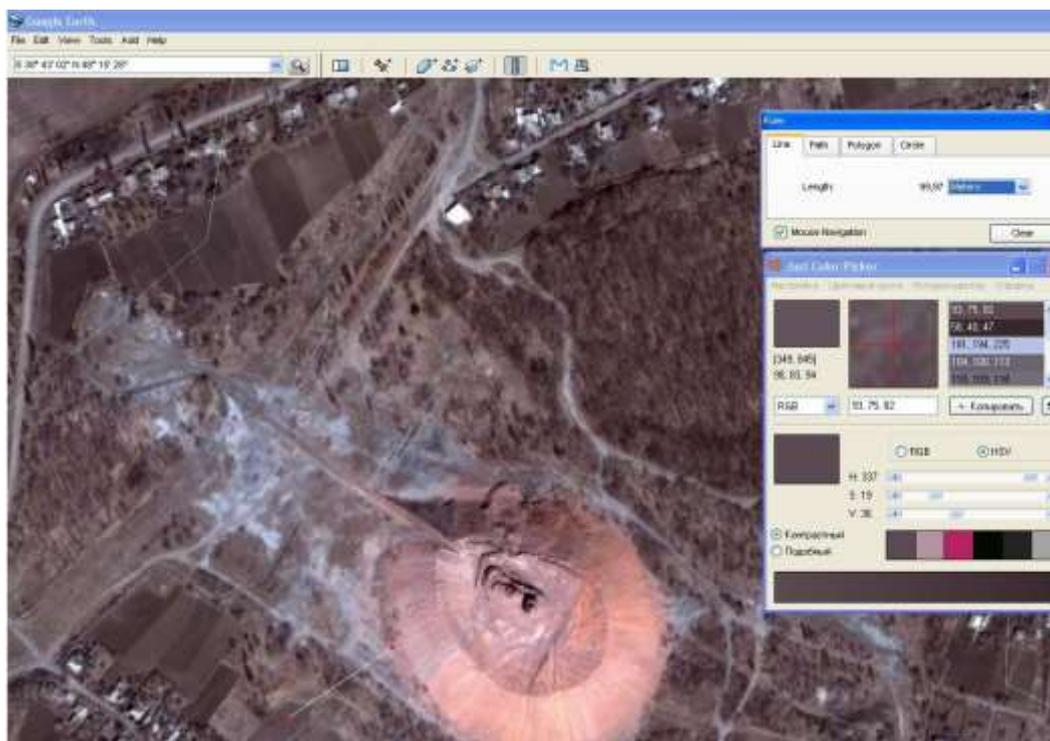


Рис. 2.18. Фрагмент определения RGB параметров ландшафтно-геохимической арены отвала шахты „Запорожская”

Таблица 2.17

Оценка рассеивания вредных химических веществ с отвала шахты «Запорожская»

Дальность рассеивания вредных химических веществ	Экологическая ситуация											
	норма			риск			кризис			бедствие		
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
I		+										
II							+					
III								+	+			
IV						+						
V												

Анализ табл. 2.17 позволяет сделать следующий вывод: состояние земель по шкале изменения фототона оценивается 5, 6, 7 и 8 уровнями, экологическая ситуация оценивается как „риск” и „кризис”.

Ниже приведено распределение прилегающих к терриконам территорий по деградации почвенного покрова (табл. 2.18) и распределение терриконов по химическому состоянию отвальной породы (табл. 2.19). Объектами исследований были выбраны 10 шахтных отвалов из 4 угольных районов Луганской области (рис 2.19).



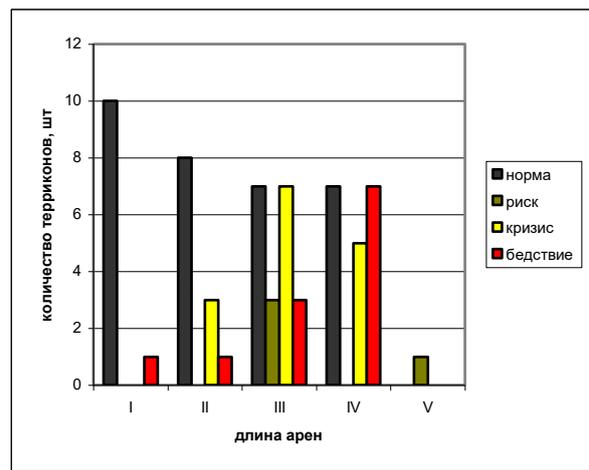
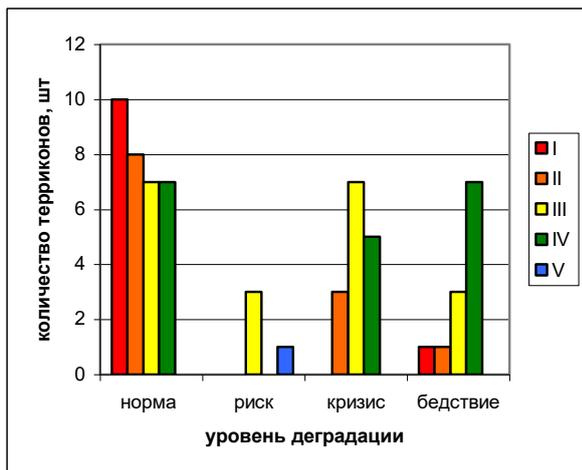
Рис. 2.19. Месторасположение исследуемых породных отвалов.

Таблица 2.18

Распределение терриконовых ландшафтов по дальности ландшафтно-геохимических арен и степени деградации почвенного покрова прилегающей территории

Дальность ареола загрязнения	Уровни деградации в соответствии с показателями фототонов											
	норма			риск			кризис			бедствие		
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
I	8	1	1							1		
	10									1		
II	7	1					3					
	8						3					
III	7			1	2		4	1	2	2	1	
	7			3			7			3		
IV	5	1	1				2	2	1		7	
	7						5			7		
V					1							
				1								

Данные таблицы иллюстрирует рис. 2.20.



а

б

Рис. 2.20. Гистограммы распределения терриконовых ландшафтов: а – по дальности ландшафтно-геохимических арен; б – по степени деградации почвенного покрова прилегающей территории

Таблица 2.19

Распределение терриконов по химическому состоянию отвальной породы

Площадь изменения, %	Ранги химического состояния породы											
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
более 85	1											
	1											
50-85	1	1	3	1				1		1		
	5			1			1			1		
20-50	3				1			1			3	
	3			1			1			3		
менее 20		1	3	1	3		1	5		1	6	
	4			4			6			7		
0					1							
					1							

#### 2.2.4. Изучение последствий эрозионных процессов на терриконах по данным космических снимков

Задачей исследования было усовершенствовать способ С. С. Соболева учета выноса продуктов водной эрозии применительно к склонам терриконов, на которых он очень трудоемок вследствие их большой крутизны и высоты отвалов.

Поставленная задача достигается тем, что в способе С. С. Соболева, который заключается в измерении параметров поперечного сечения промоин и вычислении их площади, ширину промоин измеряют с помощью программного

комплекса „Google Earth”, а площадь сечения промоин вычисляется с использованием специального алгоритма.

При осуществлении предложенного нами способа (Патент на корисну модель № 36884 Україна, МПК А01В 79/02 Спосіб обліку виносу продуктів водної ерозії з териконів/ О. Р. Зубов, Л. Г. Зубова, С. Г. Воробйов; Заявл. 21.05.2008; Опубл. 10.11.2008, Бюл. № 21) на космических снимках отвала, полученных с помощью программного комплекса «Google Earth», выбирают учетные секторы на склонах каждой экспозиции. С помощью этого же программного комплекса в пределах секторов измеряют длину каждой промоины и ее ширину в трех-пяти местах, определяют среднюю площадь сечения и объем промоины. Путем деления суммарного объема промоин на площадь сектора определяют многолетний смыв породы с единицы площади. Путем усреднения данных на разных экспозициях определяют многолетний смыв с единицы площади всего террикона, умножая который на площадь поверхности отвала можно определить многолетний смыв со всего отвала. Путем деления на длительность существования отвала определяют модуль смыва – годовой смыв породы с единицы площади поверхности отвала. Зная о содержании в породе тяжелых металлов и других опасных химических веществ, оценивают интенсивность их поступления в окружающую среду и экологическую опасность данного отвала.

Для проверки осуществления способа на снимке террикона шахты „Княгининская” (г. Красный Луч) был избран участок размером 58 м на 56 м площадью 3248 м<sup>2</sup> с 10 промоинами (рис.2.21). Померяна их длина и ширина (рис. 2.22).



Рис. 2.21. Исследуемая площадка на терриконе шахты «Княгининская»



Рис. 2.22. Замеры ширины промоины на отвале шахты «Княгининская» с помощью программного комплекса Google Earth

Поперечное сечение промоин чаще всего имеет вид трапеции (рис.2.23), площадь которой можно рассчитать по формуле:

$$F = (b_2 + b_1)h / 2,$$

где  $b_1$  - ширина нижнего основания трапеции,  $b_2$  - ширина верхнего основания трапеции;  $h$  - глубина промоины.

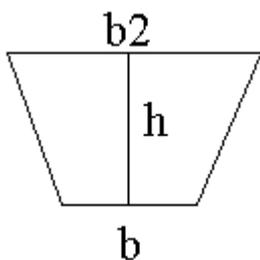


Рис. 2.23. Профиль сечения промоин

Проблемой дистанционного метода является невозможность определения по снимкам глубины промоин, поэтому была предпринята попытка ее определения косвенными методами.

Для этого на терриконе шахты "Княгининская" были измерены параметры одной из промоин выбранного участка (рис. 2.24): ширина верхнего и нижнего основания, глубина. Результаты измерений параметров и расчета площади сечения промоины длиной 58 м представлены в табл. 2.20.



Рис. 2.24. Замеры промоины на отвале шахты «Княгининская»

Таблица 2.20

Измеренные и рассчитанные параметры промоины

Параметры сечения промоины	Номер сечения промоины от низа к верху склона									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
ширина по низу $b_1$ , см	25	35	35	90	20	10	50	20	10	10
ширина по верху $b_2$ , см	250	350	350	370	130	70	120	40	20	20
глубина $h$ , см	60	85	120	100	60	20	30	20	10	10
площадь сечения $F_\phi$ , м <sup>2</sup>	0,83	1,64	2,31	2,3	0,45	0,08	0,26	0,06	0,015	0,015

На основании данных табл. 2.20 построен график зависимости площади сечения промоины от ее ширины (рис.2.25).

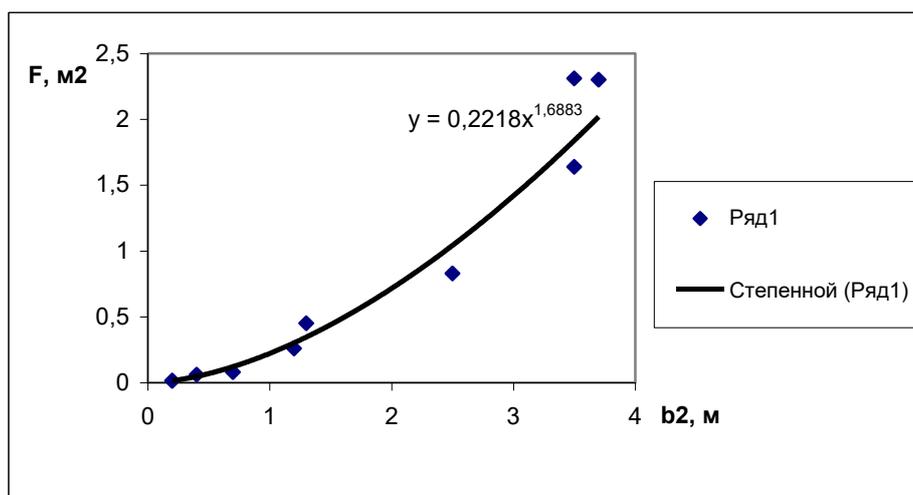


Рис. 2.25. График зависимости площади сечения промоины от ее ширины

Зависимость площади сечения промоины от ее ширины поверху описывается уравнением  $F = 0,2218b_2^{1,69}$ .

Полученная эмпирическая формула позволяет определить площадь сечения промоины по ее ширине, измеренной на космическом снимке, однако необходимо оценить точность ее определения.

Сравнение результатов измерений ширины промоины, выполненных по снимкам, с более точными измерениями, выполненными на местности, представлено в табл. 2.21. Оно показывает, что в большинстве измерений абсолютная ошибка не превышала 10 см. Относительная ошибка не превышала 8,3% при ширине сечений поверху более 70 см и возрастала до 25-50% при ширине 40-20 см, что вполне естественно.

Таким образом, измерение ширины промоин по космическим снимкам обеспечивает вполне удовлетворительную точность ее определения.

Таблица 2.21

Оценка точности определения ширины промоин по космическим снимкам

Параметры сечения промоины	Номер сечения промоины от низа к верху склона									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
по результатам измерения на отвале										
ширина поверху $b_2$ , см	250	350	350	370	130	70	120	40	20	20
по измерениям на снимке										
ширина поверху $b_2$ , см	240	332	340	362	136	65	110	50	30	30
Ошибка измерения $\pm$ см %	$\frac{-10}{4}$	$\frac{-18}{5,1}$	$\frac{-10}{2,9}$	$\frac{-8}{2,2}$	$\frac{+6}{4,6}$	$\frac{-5}{7,1}$	$\frac{-10}{8,3}$	$\frac{+10}{25}$	$\frac{+10}{50}$	$\frac{+10}{50}$

Для определения объема смытой породы с учетной площадки на склоне отвала шахты «Княгининская» с 10 промоинами по их ширине, измеренной дистанционным методом в 5 сечениях, были рассчитаны, используя эмпирическую формулу, площади этих сечений. Данные сведены в табл. 2.22.

Суммарная площадь сечения промоин рассчитана по формуле:

$$F_{\Sigma} = F_1 + F_2 + \dots + F_{10} = 6,07 \text{ м}^2,$$

где  $F_{1-10}$  - площадь сечения каждой из промоин.

Смыв породы с учетной площадки  $V = 6,07 \text{ м}^2 * 58 \text{ м} = 352,1 \text{ м}^3$ .

Объемный модуль смыва (смыв с единицы площади  $S$ ) рассчитан по формуле:

$$W = V/S = 352,1 \text{ м}^3 / 3248 \text{ м}^2 = 0,1083 \text{ м}^3/\text{м}^2 = 1083 \text{ м}^3/\text{Га}.$$

С учетом объемной массы породы ( $d = 1,29 \text{ т}/\text{м}^3$ ) массовый модуль смыва

$$M = W * d = 1083,0 \text{ м}^3/\text{Га} * 1,29 \text{ т}/\text{м}^3 = 1397 \text{ т}/\text{Га}.$$

Таблица 2.22

Результаты вычислений площади сечений промоин  
по эмпирической формуле

№ промоины	Длина промоины l, м	Ширина сечения промоины, см	Номер сечения промоины от низа к верху склона					Средняя ширина промоины $b_{cp}$ , см
		площадь сечения, $m^2$	1	2	3	4	5	средняя площадь $F_{cp}$ , $m^2$
1	62	b	2,14	2,67	3,14	2,24	1,78	2,39
		F	0,80	1,17	1,53	0,87	0,59	0,97
2	63	b	1,49	1,75	1,60	1,84	1,75	1,68
		F	0,44	0,57	0,49	0,62	0,57	0,53
3	47	b	2,15	2,40	1,85	3,40	2,13	2,38
		F	0,81	0,97	0,63	1,75	0,80	0,96
4	45	b	2,15	2,30	2,56	1,14	1,12	1,85
		F	0,81	0,91	1,09	0,28	0,27	0,63
5	58	b	2,40	3,40	3,62	1,10	0,30	2,16
		F	0,97	1,75	1,95	0,26	0,03	0,82
6	50	b	1,88	1,69	2,04	1,50	0,35	1,49
		F	0,64	0,54	0,74	0,44	0,04	0,44
7	41	b	0,77	1,01	1,80	0,90	0,30	0,96
		F	0,14	0,23	0,60	0,19	0,03	0,21
8	42	b	0,80	1,05	1,74	0,85	0,35	0,95
		F	0,15	0,24	0,57	0,17	0,04	0,20
9	43	b	1,16	1,38	3,14	2,20	1,10	1,79
		F	0,29	0,38	1,53	0,84	0,26	0,59
10	50	b	1,50	2,01	2,27	3,11	1,20	2,02
		F	0,44	0,72	0,89	1,51	0,30	0,73

Таким образом, за все время существования отвала с каждого метра квадратного его поверхности смыто 139,7 кг породы.

Далее, согласно предложенной методике, мы делаем расчет смыва еще с трех участков различных экспозиций. Находим средний массовый модуль смыва  $M_{cp}$ . Общий смыв породы с отвала определяем по формуле:

$$m_{cm} = M_{cp} * F_{cm};$$

где  $m_{cm}$  - масса смытой породы;

$F_{cm}$  - площадь всей боковой эродирующей поверхности отвала.

### 2.3. Оценка возможности использования программного комплекса Goggle Earth для оценки экологической опасности шахтных отвалов

В целях сбора, хранения и пополнения данных о породных отвалах на основе программного комплекса Goggle Earth создана географическая информационная система.

Она состоит из следующих разделов:

1. Территориальный раздел включает: название отвала, географические координаты, юридический адрес, принадлежность к угольному району, форму, занимаемую площадь.

2. Раздел экологической опасности. Террикону присвоена степень опасности по виду его воздействия. В базу занесено 6 видов воздействия.

3. Раздел защищенности. Террикону присвоена степень защищенности лесонасаждениями по видам: а – на терриконе, б – у подножия отвала.

4. Раздел оценки химического состояния и дальности развития ландшафтно-геохимических арен.

В табл. 2.23 приведен пример разделов информационной базы отвала шахты „Княгининская”.

Таблица 2.23

Информационная база отвала шахты «Княгининская»

Территориальный раздел		Раздел экологической опасности			
Название – отвал шахты ”Княгининская”		Виды воздействия		Степень воздействия	
Координаты: 48°07'54.21"с.ш.; 38°52'11.85"в.д.		На жителей населенных пунктов		II	
Юридический адрес: г. Красный Луч, ул. Красногвардейская 1		На пахотные земли		III	
Угольный район - Должанско – Ровенецкий		На приусадебные участки		II	
Форма отвала – плоский		На кормовые угодья		II	
Занимаемая площадь – 187000 м <sup>2</sup>		На речную сеть		IV	
		На водоемы		I	
Раздел защищенности		Раздел деградации породы и почвенного покрова			
Наличие защитных насаждений	Степень защищенности	Оценка химического состояния породы		Дальность развития ландшафтно-геохимических арен	
На терриконе	IV	площадь изменения, %	ранг состояния	уровень	дальность ареола
		более 85	-	норма	V
У подножия отвала	III	50-85	0	риск	III
		20-50	1	кризис	II
		менее 20	4,6,7,9,10	бедствие	I,IV
0	-				

На рис. 2.26 представлена ГИС терриконовых ландшафтов Луганской области. В левой части экрана программы «Goggle Earth» находится база данных терриконов. При нажатии на выбранный террикон автоматически происходит перемещение на место расположения террикона. При нажатии кнопки свойства или при удержании на ссылке названия террикона в базе происходит открытие баз данных террикона с описанием его физических и экологических характеристик.

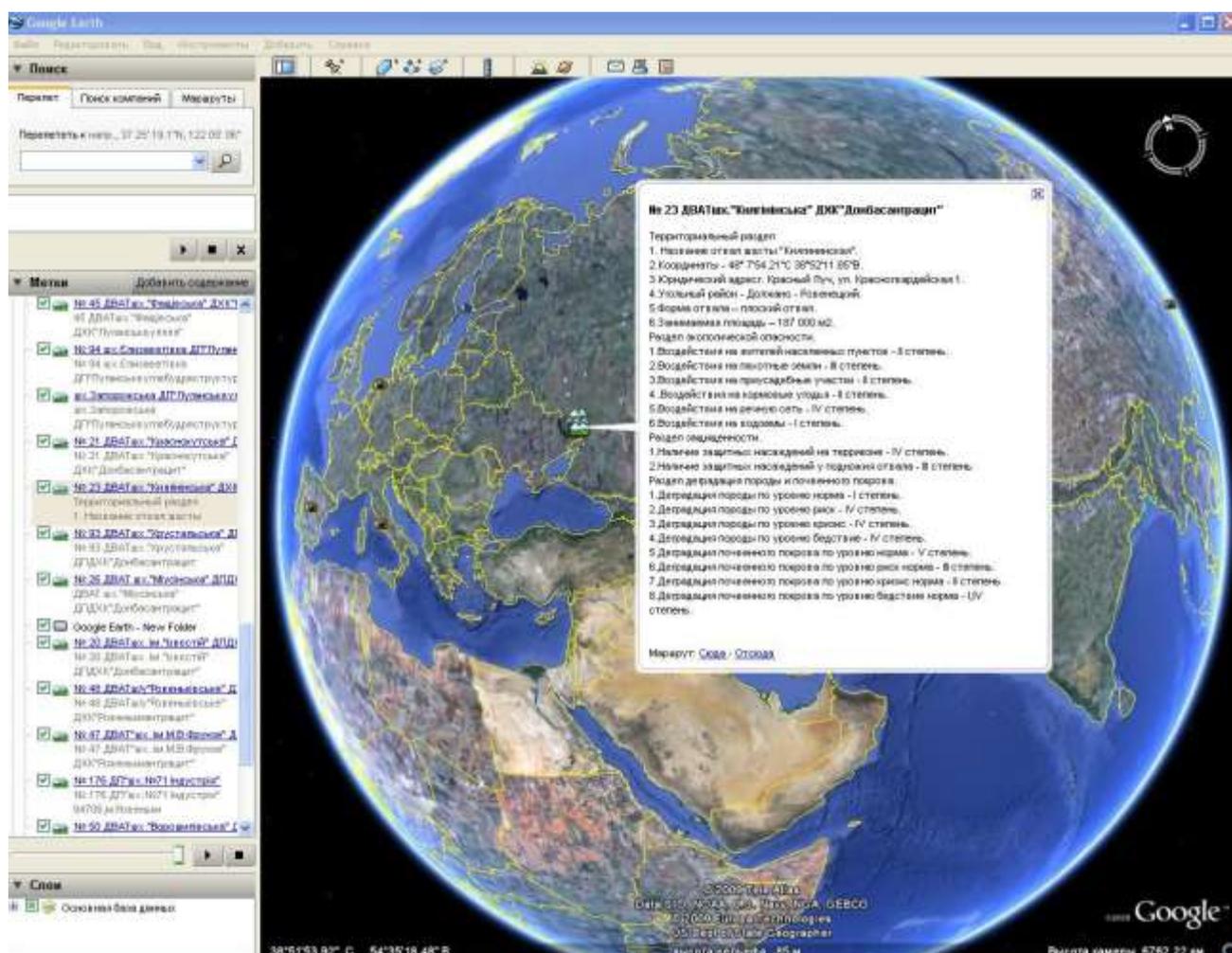


Рис. 2.26. ГИС терриконовых ландшафтов Луганской области

В данной географической системе заложена информация о 78 терриконовых ландшафтах Луганской области (рис. 2.27). Характеристика отвала по уровню и степени экологической опасности выводится на экран монитора по первому запросу (рис 2.28).



Рис 2.27. Фрагмент расположения терриконов в ГИС

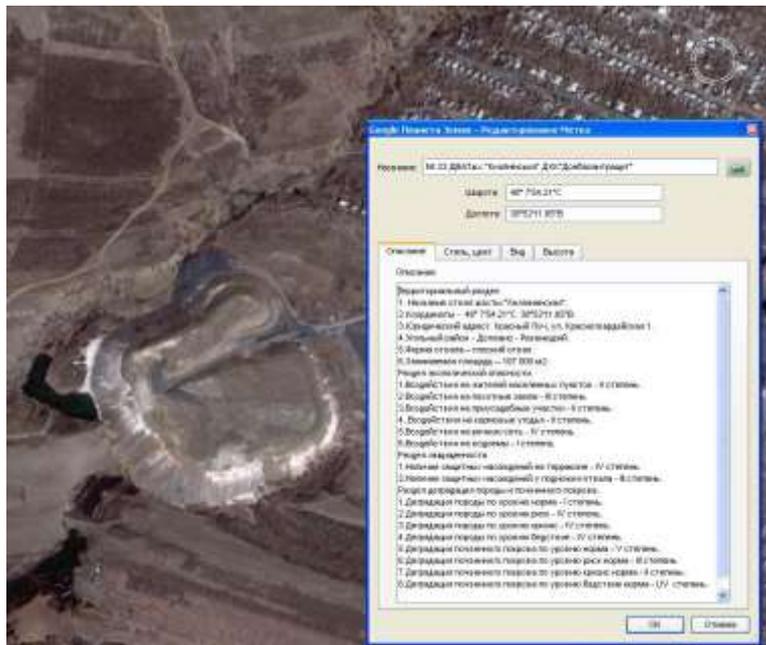


Рис 2.28. База данных ГИС отвала шахты «Княгининская»

Таким образом, разработанная нами ГИС позволяет оценивать терриконовые ландшафты:

- по видам и степени потенциальной экологической опасности для гидрографической сети и других элементов ландшафта;
- по степени защищенности лесонасаждениями самих терриконов, а также прилегающих к ним территорий;
- по химическому состоянию породы;
- по дальности развития ландшафтно-геохимических арен.

Эти данные привязаны географическими координатами с определением юридического адреса и месторасположением относительно угольного района и, соответственно, с пространственным выводом терриконового ландшафта на монитор ЭВМ.

Формат данных ГИС - KLM (Keyhole Markup Language) утвержден промышленной группой открытого консорциума по геопространственным данным. Именно в этом формате хранятся и отображаются данные.

## РАЗДЕЛ 3

### ПОСЛЕДСТВИЯ ГЕОХИМИЧЕСКОЙ ТРАНСФОРМАЦИИ ЕСТЕСТВЕННЫХ КАЛЬЦИЕВЫХ ЛАНДШАФТОВ ДОНБАССА В ТЕРРИКОНОВЫЕ СЕРНОКИСЛЫЕ

#### 3.1. Причины, обусловившие геохимическую трансформацию ландшафтов

Естественные ландшафты Донбасса имеют свои зональные геохимические особенности. В чем же они? Подробная геохимическая классификация приведена в табл. 3.1 [25]. Согласно источнику [25] три класса (кислый, кальциевый и соленосный) являются широко распространенными и наиболее характерны для лесной, степной, пустынной природных зон.

Таблица 3.1

Основные геохимические классы почв, илов, коры выветривания,  
водоносных горизонтов, ландшафтов (по А.И. Перельману)

Кислотно-щелочные условия вод	Окислительно-восстановительные условия вод		
	кислородные воды	глеевые воды	сероводородные воды
сильнокислые (рН меньше 3)	сернокислый (H <sup>+</sup> , Fe <sup>2+</sup> , Al <sup>3+</sup> )	сернокислый глеевый (H <sup>+</sup> , Fe <sup>2+</sup> )	сернокислый сульфидный (H <sup>+</sup> , H <sub>2</sub> S)
кислые и слабокислые (рН 3-6,5)	кислый (H <sup>+</sup> )	кислый глеевый (H <sup>+</sup> , Fe <sup>2+</sup> )	кислый сульфидный (H <sup>+</sup> , H <sub>2</sub> S)
нейтральные и щелочные, слабо-минерализованные (рН 6,5-8,5)	кальциевый (Ca <sup>2+</sup> )	карбонатный глеевый (Ca <sup>2+</sup> , Fe <sup>2+</sup> )	карбонатный сульфидный (Ca <sup>2+</sup> , H <sub>2</sub> S)
нейтральные и щелочные, соленые и солоноватые (рН 7-8,5)	Соленосный (Na <sup>+</sup> , Cl <sup>-</sup> , SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> )	соленосный глеевый (Na <sup>+</sup> , Fe <sup>2+</sup> , Cl <sup>-</sup> , SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> )	соленосный сульфидный (Na <sup>+</sup> , H <sub>2</sub> S)
сильнощелочные (содовые) (рН больше 8,5)	содовый (Na <sup>+</sup> , OH <sup>-</sup> )	содовый глеевый (Na <sup>+</sup> , OH <sup>-</sup> )	содовый сероводородный (Na <sup>+</sup> , OH <sup>-</sup> , H <sub>2</sub> S)

В лесной зоне полная нейтрализация кислых продуктов разложения органических веществ не происходит из-за недостатка кальция. В почвах и

других компонентах лесного ландшафта наблюдается кислая реакция. В этой среде хорошо мигрируют многие металлы, особенно в комплексе с органическими соединениями.

В степи, богатой кальцием, все компоненты ландшафта (почвы, кора выветривания, подземные, поверхностные воды и др.) имеют нейтральную или слабощелочную реакцию среды, так как кислые продукты разложения органических остатков полностью ими нейтрализуются. Кислое выщелачивание отсутствует, металлы малоподвижны.

В пустыне наблюдаются сухие, пропитанные солью кора выветривания и почва. Хлор, натрий и частично сера - типоморфные (определяющие характерные и существенные особенности) ионы пустынь.

Более редкими являются содовый и сернокислый классы ландшафтов. Содовые ландшафты встречаются на террасах рек, плоских равнинах, в озерных котловинах. К этим ландшафтам относятся солонцы и содовые озера, воды которых имеют рН более 8,5 и содержат соду. В подобных условиях легко мигрируют аниогенные элементы (кремний, молибден, селен и др.). Железо, кальций, магний, стронций, барий практически неподвижны.

Сернокислые ландшафты возникают в вулканических районах, а также в местах выхода на поверхность сульфидных руд. В условиях этих ландшафтов формируется сернокислый класс коры выветривания, почв, поверхностных и подземных вод. Для них характерен низкий рН (меньше 3), высокое содержание тяжелых металлов [25].

Исходя из вышеизложенного можно сделать вывод, что в степи (в том числе и в Донбассе) естественными природными ландшафтами являются кальциевые. В то же время на значительной территории Донбасса сейчас наблюдаются антропогенные сернокислые ландшафты. Какие же причины обусловили это явление? В 20-х годах XVIII века на территории Донбасса был разведан каменный уголь, а в 1795 году началась его систематическая добыча. За два столетия с момента появления первых шахт территория Донецкого угольного бассейна заметно изменилась. Произошло коренное изменение естественных ландшафтов, значительная часть природных кальциевых ландшафтов покрылась терриконами и превратилась в сернокислые. Пирит, содержащийся во всех углях Донбасса, при вскрытии пласта или попадая вместе с отвальной породой терриконов на поверхность, вступает в реакцию с кислородом воздуха. Окисляясь, он способствует образованию сернокислого класса подземных и поверхностных вод, почв, коры выветривания, то есть происходит трансформация природных кальциевых ландшафтов в антропогенные сернокислые (рис. 3.1).

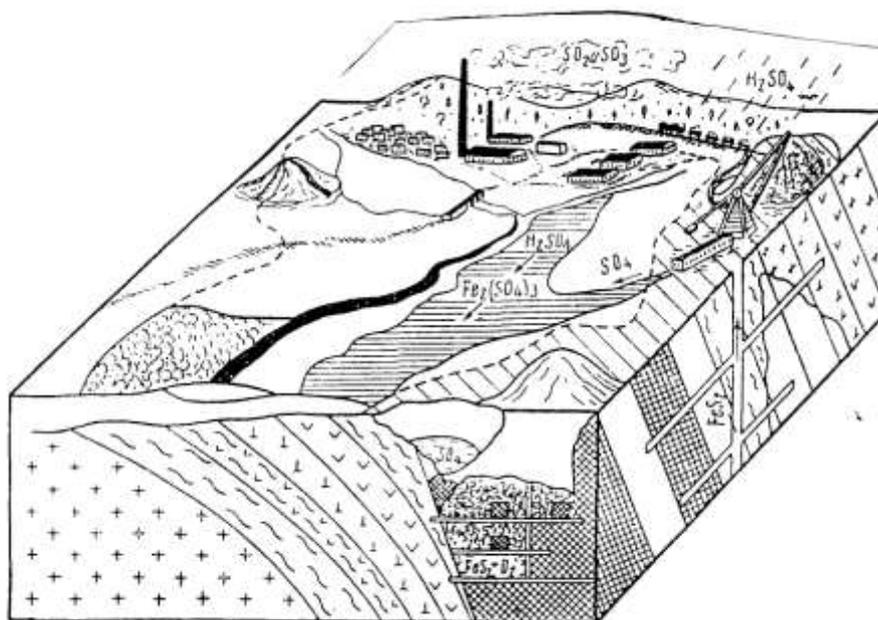


Рис. 3.1. Схема сернокислого ландшафта (по В. Г. Прохорову).

### 3.2. Виды физико-химических барьеров, формирующихся на поверхности терриконов и прилегающей к ним территории

Важное значение для науки имеют границы между двумя различными геохимическими классами, которые А.И. Перельман назвал геохимическими барьерами [25]. Барьеры бывают механические, биогеохимические, физико-химические. Физико-химические барьеры распределяют на кислородные, сульфидные, щелочные, кислые, испарительные, сорбционные, термодинамические. Концентрация химических элементов на этих барьерах зависит, с одной стороны, от класса барьера, а с другой - от гидрохимической составляющей, то есть от состава вод, поступающих к барьеру.

Нами проанализированы виды физико-химических барьеров, формирующихся на поверхности терриконов и прилегающей к ним территории.

При окислении пирита отвальной породы образуются кислородные и сульфидные барьеры.

Сернокислыми водными потоками с крутых склонов отвалов смываются простые катионы (Sr, Li, Zn, Cu, Pb, Cd, Ba, Hg, Ag, Y, La, Ca) и комплексные анионы (P, V, Mn, Cr) с образованием щелочных геохимических барьеров при встрече с естественными почвами, представленными черноземами обыкновенными с нейтральной или слабощелочной реакцией среды. Со стороны естественных почв к террикону эти барьеры уже будут рассматриваться как кислые.

В условиях терриконов протекают высокотемпературные процессы за счет реакций превращения двусернистого железа и последующего окисления образующихся при этом веществ, то есть образуются термодинамические физико-химические барьеры.

М. П. Зборщик и В. В. Осокин [26, 27] в горении отвальной породы выделяют несколько стадий: 1) самонагревание влажной горной породы вследствие биохимического и химического окислительного выщелачивания пирита, завершающееся образованием в ней химического реактора; 2) прогревание химическим реактором поверхностного слоя горной породы и обогащение его элементарной серой; 3) воспламенение паров серы на воздухе вблизи поверхности самонагревающейся горной породы при температуре 248... 261°C; 4) возникновение устойчивого горения десорбирующегося метана, продуктов термической деструкции и газификации горной породы.

По нашему мнению, на второй стадии горения отвальной породы формируются испарительные барьеры.

По М. А. Глазовской [28] по мере накопления на геохимических барьерах определенных веществ природа барьера изменяется, разрушаются некоторые исходные барьеры, возникают новые комплексные.

Ниже представлена краткая характеристика барьеров, формирующихся в условиях терриконов. Каждый из этих барьеров по прошествии времени может трансформироваться в комплексный.

### 3.2.1. Кислородные барьеры

Кислородные барьеры (А), согласно источнику [29], относятся к числу получивших наибольшее распространение в биосфере и образуются они тогда, когда миграционные потоки с бескислородными водами (глеевыми или сероводородными) попадают в зоны со свободным кислородом, а лимитируются эти барьеры наличием в миграционных потоках бескислородных вод. Согласно А. И. Перельману [25] на таких барьерах концентрируются сера и селен.

В геохимических условиях отвалов угольных шахт Донбасса формируются кислородные барьеры, но определенного типа – А<sub>9</sub>-А<sub>11</sub>. И образование их мы уже можем пояснить не попаданием бескислородных сероводородных вод в зону свободного кислорода, а наоборот, попаданием осадков и кислорода воздуха в отвальную породу, насыщенную сероводородом.

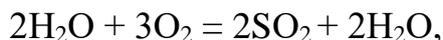
В табл. 3.2 представлены условия образования сероводорода в отвальной породе [27].

Таблица 3.2

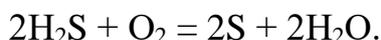
Условия образования сероводорода в отвальной породе [27]

Реакция, обуславливающая выделение вещества	Температура протекания реакции, °С	Особые условия выделения вещества
$S + H_2 = H_2S$	150-200	при термической деструкции углефицированного вещества
$S_2 + 2H_2 = 2H_2S$	>150-200 (обратно 400-1700)	при наличии паров серы
$FeS_2 + 2H = FeS + H_2S$	>327	

Согласно литературного источника [27] сероводород, выделяющийся из горной породы, способен самовоспламеняться на воздухе при температуре 250-300°C и гореть с образованием газообразного диоксида серы и воды:



а при недостатке кислорода и понижении температуры с образованием серы и воды:



Согласно М. П. Зборщику и В. В. Осокину [27] при самонагревании и горении пиритсодержащих углей и углисто-глинистых пород кроме углерод- и серосодержащих газов выделяются аэрозоли серной кислоты, аммиак, нашатырь, оксиды азота, оксид мышьяка, смоляные продукты.

По способу поступления химических элементов на барьер и от данного барьера часть из них, такие как: аммиак ( $\text{NH}_3$ ), цианводород ( $\text{HCN}$ ), оксид азота, относятся к диффузионным элементам, другие же вещества (нашатырь ( $\text{NH}_4\text{Cl}$ ), оксид мышьяка III ( $\text{As}_2\text{O}_3$ ) - к инфльтрационным.

### 3.2.2. Сульфидные барьеры

Сульфиды железа (пирит), имеющиеся в отвальной породе, способствуют образованию сульфидного барьера.

Согласно А. И. Перельману [25] в местах, где кислородные воды встречаются на пути своего движения сульфиды, образуются сульфидные барьеры (В).

На поверхности земли отвальные породы террикоников, богатые сульфидами, подвергаются процессам физического и химического выветривания.

В результате физического выветривания (изменения температуры, ведущего к тепловому расширению и сжатию минералов; деятельности воды и ветра) куски монолитной отвальной породы с плотностью 2,5 – 2,6 г/см<sup>3</sup> превращаются в рухляк выветривания с плотностью 1,5 г/см<sup>3</sup> и порозностью 40–50%. Химическое выветривание прежде всего связано с окислением. В отвальной породе террикоников в качестве основного окислителя выступает молекулярный кислород. Проникая в породу из атмосферы, он вступает во взаимодействие с различными компонентами, окисляя их. Кроме него окислителями выступают также  $\text{Fe}^{3+}$  и  $\text{S}^{6+}$ . Они образуют две окислительно-восстановительные системы:  $\text{Fe}^{3+} - \text{Fe}^{2+}$  и  $\text{SO}_4^{2-} - \text{H}_2\text{S}$  (табл. 3.3) [30].

Процесс химического выветривания выглядит следующим образом [26, 27, 31-33]. После увлажнения горной породы в начальный период формирования поровых растворов происходит химическое окисление пирита:

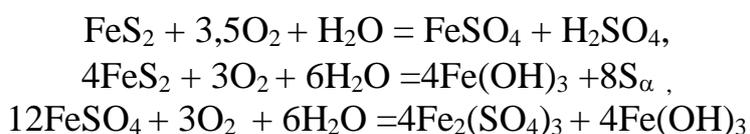


Таблица 3.3

Стандартные окислительно-восстановительные потенциалы  $E_0$   
(по отношению к потенциалу нормального водородного электрода при 25°C)

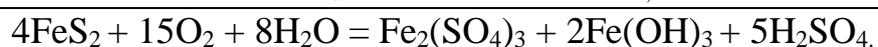
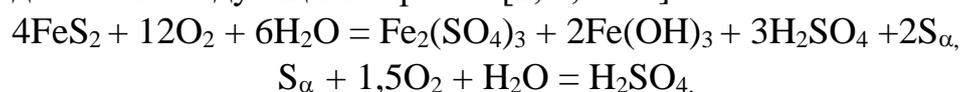
Элемент	Высшая степень окисления	+ne <sup>-</sup>	Низшая степень окисления	$E_0$ , В
Fe	Fe <sup>3+</sup>	+e <sup>-</sup>	Fe <sup>2+</sup>	+0,77
	Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub> ↓ + 8H <sup>+</sup>	+2e <sup>-</sup>	3Fe <sup>2+</sup> + 4H <sub>2</sub> O	+1,21
	Fe(OH) <sub>3</sub>	+e <sup>-</sup>	Fe(OH) <sub>2</sub> ↓ + OH <sup>-</sup>	-0,56
	Fe <sup>2+</sup>	+2e <sup>-</sup>	Fe	-0,44
S	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> + 4H <sup>+</sup>	+2e <sup>-</sup>	H <sub>2</sub> SO <sub>3</sub> + H <sub>2</sub> O	+0,17
	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> + H <sub>2</sub> O	+2e <sup>-</sup>	SO <sub>3</sub> <sup>2-</sup> + 2OH <sup>-</sup>	-0,93
	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> + 10H <sup>+</sup>	+8e <sup>-</sup>	H <sub>2</sub> S + 4H <sub>2</sub> O	+0,31

Выделяющаяся серная кислота расходуется на подкисление среды, при котором происходит разложение гидрокарбонат-ионов поровых растворов с выделением CO<sub>2</sub>. В этих условиях химическое окисление Fe<sup>2+</sup> практически полностью прекращается, а окисление пирита замедляется вследствие экранирования его поверхности новообразованиями.

При наличии в поровых растворах бактерий Th. Ferrooxidans процесс окислительного выщелачивания пирита получает продолжение. Вследствие подкисления среды и образования элементной серы при химическом окислении пирита создаются благоприятные условия для проявления активности микроорганизмов.

Нами были получены колонии тионовых бактерий Th. Ferrooxidans (рис.3.2), выращенные на основе вытяжки отвалной породы шахты «Луганская» [34]. Для выращивания бактерий использовали жидкую среду Сильвермана и Ландгрена с последующим пересевом бактерий на твердую питательную среду – агар. Культуру бактерий выдерживали в термостате при температуре 37°C. Развитие колоний регистрировали визуально. Максимальный рост бактерий наблюдался через 7 дней после посева.

Начало биохимического процесса окислительного выщелачивания пирита можно представить следующим образом [2, 3, 7 - 9]:



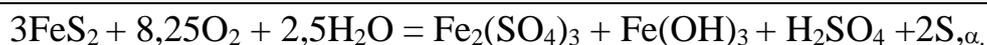
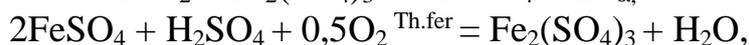
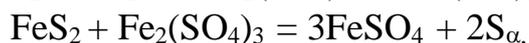
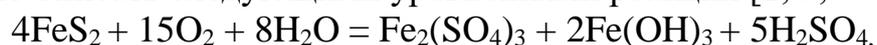
Окисление бактериями серы, резкое снижение pH среды, образование в поровых растворах мицелл коллоидного раствора серы, интенсификация обменных процессов с участием твердой, жидкой, газообразной и

бактериальной фаз исключают осаждение на поверхности пирита веществ новообразования.



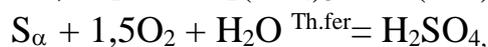
Рис.3.2. Колонии тионовых бактерий Th. Ferrooxidans

Стационарный биохимический процесс окислительного выщелачивания пирита можно описать следующими уравнениями реакций [2, 3, 7 - 9]:



Процесс окислительного выщелачивания пирита приобретает автокаталитический характер.

Микроорганизмы регулируют кислотность среды путем окисления соответствующего количества элементарной серы. Часть неокисленной серы переходит в кислой среде в коллоидный раствор. Если pH = 1,5 – 3,5, то стационарный биохимический процесс можно представить следующим образом [26, 27, 31-33]:



Процесс окисления любых минералов и отвальной породы террикоников ускоряется в пятьсот тысяч раз [31], если создаются условия для развития

тионовых бактерий *Th. Ferrooxidans* (для развития бактериального окисления). Эти бактерии используют для своей жизнедеятельности энергию реакций окисления неорганических соединений, протекающих с поглощением кислорода. Единственный источник углерода для их развития – углекислый газ, а источник энергии – процессы окисления сульфата железа (II) и серы. Растворенные кислород и уголекислота являются обязательными компонентами сред обитания *Th. Ferrooxidans*: растворенного кислорода должно содержаться 14 – 15 мг/л, уголекислоты – 70 – 90 мг/л [35,36]. Содержание в воде кислорода 8,1 мг/л при 25°C недостаточно для обеспечения активной жизнедеятельности этих бактерий [37]. Только на окисление закисного железа они потребляют кислорода в 180 раз больше, чем содержится его в воде. Следовательно, потребление кислорода в жидкости должно непрерывно компенсироваться растворением его из атмосферного воздуха.

Одним из важнейших условий существования и активной жизнедеятельности микроорганизмов *Th. Ferrooxidans* является кислотность среды их обитания. Максимальное количество этих микроорганизмов наблюдается в кислой среде при  $pH = 1,5-3,5$  [37]. Указанная кислотность характерна для максимальной окислительной активности их в процессе окисления железа и выщелачивания сульфидных минералов. Участвуя в окислении сульфидов, бактерии *Th. Ferrooxidans* сами создают оптимальную для себя кислую среду. Продукты метаболизма бактерий и содержащийся в растворе кислород способны проникать в очень тонкие поры, поэтому окисление сульфидов возможно не только в крупных порах, где содержатся бактерии, но и на любой доступной для жидкости поверхности.

Тионовые бактерии, попадая в горные породы извне, в первоначальный период (называемый лаг-фазой) могут не проявлять активной жизнедеятельности. В это время происходит приспособление микроорганизмов к новой среде и оптимизация ее ими для последующего развития в ней. Внешние причины задержки роста – не вполне благоприятное значение  $pH$ , отличие состава среды от того, к которому были приспособлены микроорганизмы. Внутренние причины – отсутствие готовности клеток к делению, зависящей от их возраста: старые клетки не могут сразу приступить к делению в новой среде, так как должны сначала накопить достаточные запасы энергии. Наличием лаг-фазы в жизнедеятельности микроорганизмов можно объяснить так называемый “инкубационный период” в самонагревании горных пород, в течение которого происходят процессы, не сопряженные с выделением значительного количества тепла [31].

### ***3.2.3. Испарительные барьеры***

Испарительные барьеры (F) – это такие участки биосферы, где в результате испарения поверхностных или подземных вод происходит отложение растворимых солей, преимущественно хлоридов и сульфатов [25].

В. А. Алексеенко и Л. П. Алексеенко [29] утверждают, что очень часто испарительные барьеры формируются в условиях кислородной окислительной обстановки.

Согласно А. И. Перельману на участках, где образуются сернокислые ландшафты, где происходит испарение сернокислых вод, образуется геохимическая аномалия  $F_1$  [25]. Это характерно и для отвалов угольных шахт.

Типичной для испарительных геохимических барьеров и аномалии  $F_1$  является испарительная концентрация Na, Cl, S и т.д. Соответственно мы проверили эту гипотезу в отношении типичного сернокислого терриконового ландшафта. Нами проанализировано содержание Na, Cl,  $SO_4$  в верхних слоях (0-20 и 20-40 см) отвальной породы террикона №3 шахты «Кременная-Западная».

Наблюдается тенденция концентрации Cl в верхнем 0-20 см слое отвальной породы террикона. Однако однозначно к полученным результатам относиться нельзя, так как в условиях конических отвалов со склонами в  $45^\circ$  происходит сильный смыв породы, и этот процесс может сильно влиять на общую картину концентрации элементов на испарительном барьере  $F_1$ .

#### 3.2.4. Термодинамические барьеры

Термодинамические барьеры (Н) формируются при довольно резком изменении давления и температуры [25].

Резкое изменение температуры происходит в отвалах вследствие окисления пирита и самовозгорания отвальных пород.

По нашим данным повышение температуры приводит к разрушению алюмосиликатов, переходу алюминия в ионную форму с последующим образованием различных техногенных минералов, имеющих в своем составе алюминий (рис.3.3).



Рис.3.3. Схематическое изображение формирования глинозема в отвальной породе

По данным Ю. А. Проскурни [38] к таким минералам в терриконах Донбасса относятся: галотрихит –  $\text{FeAl}_2[\text{SO}_4]_4 \cdot 22\text{H}_2\text{O}$ ; пикерингит –  $\text{MgAl}_2[\text{SO}_4]_4 \cdot 22\text{H}_2\text{O}$ ; тамаругит –  $\text{NaAl}[\text{SO}_4]_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ; алуноген –  $\text{Al}_2[\text{SO}_4]_3 \cdot 17\text{H}_2\text{O}$ ; чермигит –  $\text{NH}_4\text{Al}[\text{SO}_4]_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$ ; калийный галун –  $\text{KAl}[\text{SO}_4]_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$ ; натриевый галун –  $\text{NaAl}[\text{SO}_4]_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$ ; мулит –  $\text{Al}_6\text{Si}_2\text{O}_{13}$ .

Ускорение химических реакций и быстрое разрушение кристаллических решеток алюмосиликатов отвальной породы изучалось нами в условиях горения хвостовой части терриконика №2 шахты Кременная-Западная (рис. 3.4).

Из табл. 3.4 видно, что в образцах с горящей восточной хвостовой части отвала концентрация алюминия увеличивается в 40 – 1000 раз по сравнению с остальной поверхностью террикона.



Рис. 3.4. Перегоревшая хвостовая часть террикона № 2 шахты «Кременная-Западная»

О том, что здесь происходит процесс химического и бактериального окисления пирита, свидетельствуют: высокая кислотность 40 отобранных образцов породы (рН до 1,9) и тесная связь кислотности с содержанием подвижного алюминия (коэффициент корреляции до 0,99); высокое содержание сульфат-иона в водной вытяжке (до 8%) и тесная связь между последним и содержанием подвижного алюминия (коэффициент корреляции также 0,9).

Таблица 3.4

Химический состав породы терриконика № 2 шахты „Кременная - Западная”

Экспозиция и ярус склона	Глубина отбора образца, см	РН водное	$\text{SO}_4^{2-}$ , %	Подвижный алюминий, мг/100г породы
1	2	3	4	5
Вершина	0 – 20	4,2	0,518	46,8
	20 – 40	6,8	0,643	-
	40 – 60	7,4	0,614	-
	60 – 80	7,7	0,818	-
	80 – 100	7,4	0,470	-

Север, средина	0 – 20	3,6	0,365	54,0
	20 – 40	3,8	0,518	52,2
	40 – 60	4,2	0,461	40,5
	60 – 80	4,7	0,115	22,5
	80 – 100	5,9	0,451	37,8
Север, низ	0 – 20	3,9	0,480	78,3
	20 – 40	3,9	0,624	63,0
	40 – 60	4,0	0,672	67,5
	60 – 80	4,1	0,835	46,8
	80 – 100	4,4	0,854	29,7
Запад, средина	0 – 20	3,1	0,634	40,5
	20 – 40	3,6	0,893	27,0
	40 – 60	3,9	0,912	45,0
	60 – 80	4,0	0,931	18,0
	80 – 100	3,8	0,922	48,6
Запад, низ	0 – 20	4,2	0,336	36,0
	20 – 40	3,5	0,461	40,5
	40 – 60	2,9	0,643	27,0
	60 – 80	4,6	0,470	8,1
	80 – 100	4,7	0,643	6,3
Юг, средина	0 – 20	3,4	0,701	36,0
	20 – 40	3,7	0,883	24,3
	40 – 60	4,2	0,893	4,5
	60 – 80	3,9	0,662	40,5
	80 – 100	3,9	0,810	54,0
Юг, низ	0 – 20	3,6	0,720	29,7
	20 – 40	4,3	0,566	4,5
	40 – 60	4,4	0,586	0
	60 – 80	5,0	0,570	3,6
	80 – 100	4,5	0,682	2,7
Восток, низ	0 – 20	2,6	7,680	1350
	20 – 40	2,1	7,440	3240
	40 – 60	1,9	5,760	999
	60 – 80	2,3	5,040	180
	80 – 100	3,4	2,160	271,8

### 3.2.5. Сорбционные барьеры

Сорбционные барьеры (G) возникают в тех местах биосферы, где воды соприкасаются с сорбентами – веществами, способными поглощать (сорбировать) из растворов растворенные газы, ионы, молекулы [25].

В. А. Алексеенко [29] к сорбционным барьерам относит участки встречи водных или газовых потоков с сорбентами. В качестве сорбентов в отвальной породе выступают аргиллиты (глинистые сланцы), монтмориллониты, каолиниты. Автор отмечает, что сорбционные барьеры громадных размеров формируются в атмосфере. Многочисленные аэрозоли природного и технического происхождения сорбируют молекулы определенных газов. В свою очередь сорбированные молекулы газов создают вокруг аэрозолей своеобразную воздушную адсорбционную оболочку. Это позволяет аэрозолям

(включая тонкую пыль), адсорбировавшим газы, находиться в воздухе не 5 суток, как обычно, а до 40 суток.

М. А. Глазовская [28] отмечает, что мощным барьером для рассеяния техногенных газов и аэрозолей являются приземные температурные инверсии, а также инверсии оседания в свободной атмосфере. С ними связано оседание техногенных смогов. И туманы представляют собой сорбционные барьеры для техногенных газов, в частности оксидов азота и серы. Растворяясь в парах воды, оксиды образуют сильные агрессивные кислоты, длительно задерживающиеся в приземной атмосфере.

### ***3.2.6. Кислые и щелочные барьеры***

Терриконы являются мощными локальными источниками поступления в ландшафты химических веществ, техногенными ореолами рассеяния химических элементов в ландшафтах Донбасса. Химические вещества, поступающие от шахтных отвалов, рассеиваются как воздушным путем (пыль, газообразные элементы), так и с поверхностным и твердым стоком, то есть каскадным путем.

Элементарные ландшафты очень крутых (до 40°) склонов терриконов подвергаются сильнейшей водной эрозии, выщелачиваются и в целом являются гетерономными. Насыщенные растворенной породой потоки устремляются вниз (рис. 3.5, 3.6, 3.7).



Рис. 3.5. Поступление терриконовой породы на прилегающую территорию вследствие эрозионных процессов



Рис. 3.6. Погибшие насаждения ясеня зеленого в защитно-механической зоне возле подножия отвала шахтоуправления „Луганское”



Рис. 3.7. Измерение толщины корки наносов в лесном насаждении

На стыке сернокислых миграционных потоков с естественными почвами, представленными черноземами обыкновенными с нейтральной или слабощелочной реакцией среды, образуются щелочные барьеры. В результате повышения рН на щелочном барьере осаждаются многие элементы (рис. 3.8). Анализ внутренних свойств элементов, мигрирующих в сернокислых водах, показал, что многие из них (Zn, Cu, Pb, Cd, Li, Ba, Sr) мигрируют в виде простых, растворимых в воде катионов. При встрече с щелочными условиями они осаждаются в виде слаборастворимых гидроксидов.

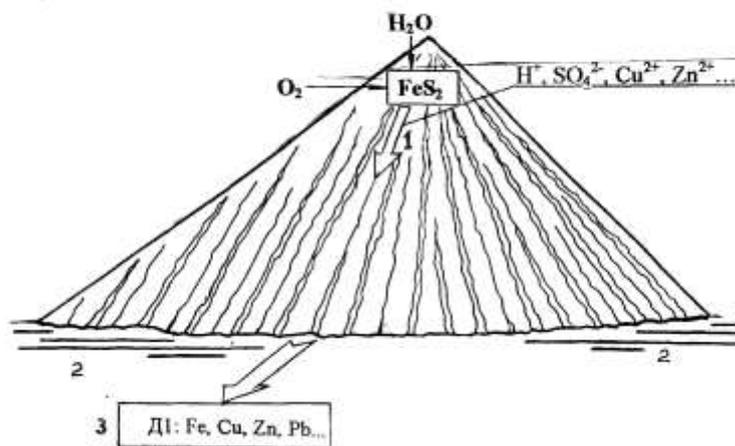


Рис. 3.8. Аномалия типа Д1 у подножия терриконика: 1 – сернокислый раствор; 2 – черноземы; 3 – щелочной барьер (Д)

Известно, что на щелочных барьерах (в качестве которых в нашем случае выступают степные почвы) осаждаются: Mg, Ca, Sr, Ba, Ra, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Pb, Cd, Hg, Be, Al, Ga, Y, Tr, Cr, P, As, U [25].

Осаждение элементов, мигрирующих в воде в виде простых ионов (растворимые катионы) и кислородсодержащих растворимых анионов, рассмотрено нами выше. Осаждение же на щелочных барьерах элементов, входящих в состав комплексных нерастворимых гидролизованных соединений (Al, Ga, W, Ge, Be, Nb, Mo, Zr) в виде простых ионов, объясняется следующим образом. Их соединения при растворении в воде вначале подвергаются первичной диссоциации, при которой лиганды внешней сферы отделяются от комплексообразователя, а щелочные барьеры черноземов приводят ко вторичной диссоциации, при которой от комплексообразователя отделяются адденды внутренней сферы. Это происходит только на специфических геохимических барьерах, в нашем случае в качестве такого выступает щелочной барьер.

Аккумуляция веществ (обогащение) происходит на прилегающих к отвалам территориях на площадных геохимических барьерах щелочного класса (Д1, Д2). Многие химические элементы (Mg, Ca, Sr, Ba, Ra, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Pb, Cd, Hg, Be, Al, Ga, Y, Tr, Cr, P, As, U) при встрече со степными черноземами выпадают из миграционной среды, переходят в твердую

фазу и формируют геохимические аномалии. Внутренние миграционные потоки, оставляя часть веществ на геохимических барьерах, переходят во внешние, устремляясь по склонам речной долины.

Область рассеяния химических веществ с поверхностным и твердым стоком – ландшафтно-геохимическая арена совпадает с границами речных бассейнов.

За годы существования отвалов на прилегающей территории оседает огромное количество различных элементов: свинец, медь, никель, хром, кобальт, цинк. Серебро и висмут, подвижные в любых кислотно-щелочных условиях, мигрируют с поверхностным стоком и частично – в глубь почвенного профиля почв. То же происходит и с молибденом (подвижным в окислительной обстановке), ниобием и вольфрамом (частично мигрирующим в щелочной среде). Значительная часть химических элементов поглощается почвой и сосредотачивается в гумусовом горизонте, и только некоторая часть распределяется по почвенному профилю. Это объясняется тем, что черноземы – типичные почвы степной зоны – характеризуются повышенной буферностью к загрязняющим веществам, а также способностью к их аккумуляции в верхнем слое.

### **3.3. Щелочные барьеры, формирующиеся на прилегающих к отвалам сельскохозяйственных землях**

Цель данного подраздела - изучение различных геохимических барьеров, в том числе кислых и щелочных барьеров, формирующихся на прилегающих к отвалам территориях и, прежде всего, на сельскохозяйственных землях. Для изучения этого вопроса были поставлены и решены следующие задачи:

- исследовать химический состав типичного для региона шахтного отвала;
- изучить химический состав прилегающих к отвалу почв и оценить экологическую ситуацию по загрязнению их токсичными элементами;
- исследовать влияние токсичных элементов, мигрирующих с отвала на сохранность и показатели роста сельскохозяйственных культур;
- изучить химический состав сельскохозяйственных культур и оценить экологическую ситуацию по загрязнению их токсичными элементами.

В качестве объекта исследований использованы почвы и посевы озимой пшеницы совхоза «Лисичанский», территория которого вплотную примыкает к коническому отвалу №3 шахты «Матросская» ОАО «Лисичанскуголь». Наблюдения показали, что при таянии снега или ливнях потоки воды с поверхности отвала поступают на поле и перемещаются вдоль него, принося продукты эрозии, отлагающиеся на поле в виде шлейфов шириной до 50 м.

Отборы почвенных проб и изучение растительности осуществлялись на расстояниях 50, 100 и 150 м от отвала в пределах одного из этих шлейфов и за его границей (контрольные точки). Повторность отбора снопов с метровых площадок – трехкратная, равномерно по ширине шлейфа.

Для определения рН использовался потенциометрический метод, для определения содержания сульфат-ионов – количественный метод. Содержание микроэлементов в отвальной породе и почве было определено с помощью приближенно-количественного эмиссионного спектрального анализа по методике ИМР (г. Симферополь) спектрографом СТЭ-1, производства ЛОМО (г. Санкт-Петербург) с приставкой УСА-6. Подвижная форма мигрирующих тяжелых металлов пересчитана по методике Г. А. Соловьева.

Валовая форма содержания тяжелых металлов в растительных образцах, отобранных на прилегающей территории, определялась после озоления с помощью спектрального эмиссионного анализа.

Оценка экологической ситуации в прилегающих к отвалам почвах проводилась путем сравнения фактических значений концентрации тяжелых металлов с ПДК валовой формы и подвижной формы; в растительной продукции – путем сравнения фактических значений валовой формы с ПДК валовой формы по методике, разработанной в ННЦ «Институт почвоведения и агрохимии им. А.Н. Соколовского» УААН.

На основании полученных данных выявлены особенности геохимической трансформации естественных кальциевых ландшафтов Донбасса под воздействием терриконов в антропогенные сернокислые.

В природных компонентах естественных ландшафтов степи, в том числе Донбасса, типоморфным элементом является кальций. В антропогенных терриконовых сернокислых ландшафтах типоморфными являются ион водорода и сульфат-ион (табл. 3.5). Обусловлено это окислительными процессами на поверхности отвалов, которые приводят к образованию  $H_2SO_4$  и к сильному подкислению среды.

Таблица 3.5

Геохимическая характеристика отвала № 3 и прилегающей к нему территории

№ п/п	Место отбора пробы	Показатели	
		рН	$SO_4^{2-}$ , %
1	T <sub>1</sub> (склон терриконика)	6,2	0,2
2	T <sub>2</sub> (наносы у подножия терриконика)	4,5	0,4
3	T <sub>3</sub> (50 м от подножия отвала)	5,9	0,43
4	T <sub>3</sub> (к) (контроль в 50 м от подножия отвала)	7,5	0,06
5	T <sub>4</sub> (100 м от подножия отвала)	7,8	0,14
6	T <sub>4</sub> (к) (контроль в 100 м от подножия отвала)	8,0	0,1
7	T <sub>5</sub> (150 м от подножия отвала)	8,0	0,08
8	T <sub>5</sub> (к) (контроль в 150 м от подножия отвала)	7,9	0,1

Исходя из данных табл. 3.5 прослеживается изменение рН в отвальной породе и почвах до 50 м от отвала по сравнению с зональными степными почвами. Кислотность отвальной породы составляет 6,2, тогда как в

зональных почвах рН равно 6,5 – 8,5 [25]. Содержание сульфатов в породе и у подножия отвала (0,2 – 0,4%) значительно выше естественного содержания в степных почвах (0,006%). Повышенным содержанием сульфат-ионов характеризуется и прилегающая к отвалу территория (0,06 – 0,43%). Объясняется это катастрофическим смывом породы в результате водной эрозии.

На стыке сернокислых миграционных потоков с естественными степными почвами (черноземы обыкновенные) с нейтральной или слабощелочной реакцией среды образуются щелочные барьеры, на которых осаждаются многие элементы – Mg, Ca, Sr, Ba, Ra, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Pb, Cd, Hg, Be, Al, Ga, Y, Tr, Cr, P, As, U [25] и образуется геохимическая аномалия. Осаждение тяжелых металлов привело к загрязнению прилегающей к отвалам территории (табл.3.6).

Таблица 3.6

Результаты спектрального анализа

Элемент	Кларк, %	Содержание в тысячных долях %			
		отвальная порода	почва	растения пшеницы	
				в шлейфе	на контроле
P	0,12	70	70	700	700
Pb	$2 \cdot 10^{-3}$	2	2	3	3
Cu	0,01	3	3	5	3
Ti	0,58	500	300	30	15
V	0,016	7	7	0,5	0,3
Mn	0,08	30	70	70	70
Ga	$N \cdot 10^{-9}$	1	1	0,3	0,2
W	$5 \cdot 10^{-3}$	0,3	0,3	-	-
Ni	0,018	5	5	0,7	0,5
Cr	0,033	10	10	1,5	0,7
Ge	$N \cdot 10^{-9}$	0,2	0,2	-	-
Co	0,01	1	1	-	-
Bi	$N \cdot 10^{-6}$	0,2	0,2	0,2	0,2
Ba	0,047	30	30	30	70
Be	0,001	0,2	0,2	-	-
Nb	-	2	2	-	-
Mo	$N \cdot 10^{-4}$	0,2	0,2	0,2	0,2
Sn	$N \cdot 10^{-4}$	0,5	0,5	0,2	0,15
Li	0,004	3	3	3	2
Zr	0,023	20	20	5	3
Ag,%	$N \cdot 10^{-6}$	3	5	7	7
La	-	1	1	-	-
Zn	0,004	10	10	10	5
Sr	0,017	1	1	-	-

Исходя из нормативов загрязнения земель тяжелыми металлами для вышеуказанных элементов проведена оценка типов экологических ситуаций (табл.3.7).

Таблица 3.7

Оценка типов экологических ситуаций в почвах, прилегающих к террикону

Элемент	Отношение валового содержания к кларку	Тип экологической ситуации	Отношение валового содержания к ПДКв	Тип экологической ситуации	Отношение подвижной формы к ПДКп	Тип экологической ситуации
Со	1,25	благопол.	0,5	удовл.	0,8	удовл.
Сu	1,5	благопол.	0,5	удовл.	5	катастр.
Zn	2	удовл.	1	удовл.	1,3	удовл.
Ni	1,25	благопол.	0,6	удовл.	2,5	кризисн.
Pb	2	удовл.	0,6	удовл.	7	катастр.

На значительной части шлейфа наблюдалась полная гибель растений. Табл. 3.8 и рис. 3.9 иллюстрируют, как под действием токсикантов изменилась всхожесть и показатели роста сохранившейся части посевов пшеницы.

Таблица 3.8

Показатели сохранности и развития озимой пшеницы в зоне шлейфа наносов с терриконики и вне ее

Место учета	Показатели				
	количество растений на 1 м <sup>2</sup>	высота стебля, см	ширина листовой пластины, см	количество колосьев у растения, шт	длина колоса, см
T <sub>3</sub>	6,6	30,1	0,50	1,00	4,00
T <sub>3(к)</sub>	81,0	70,3	1,00	5,33	6,90
T <sub>4</sub>	15,7	48,0	0,80	3,00	7,40
T <sub>4(к)</sub>	70,7	61,7	0,87	5,00	7,77
T <sub>5</sub>	29,0	71,0	1,10	5,67	8,83
T <sub>5(к)</sub>	98,7	87,0	0,87	8,33	9,37
НСР <sub>0,5</sub>	14,5	7,8	0,18	1,16	0,93

Как видим, снижение количества растений на метре квадратном в зоне шлейфа по отношению к контролю изменяется от 12 до 3,4 раза по мере удаления от отвала, снижение высоты растений изменяется от 2,3 до 1,2 раза, количества колосьев – от 5,3 до 1,5 раза, их длины – от 1,7 до 1,1 раза. То есть

наблюдается явно угнетенное состояние растений в зоне шлейфа наносов, улучшающееся по мере удаления от терриконика (рис. 3.9, 3.10).

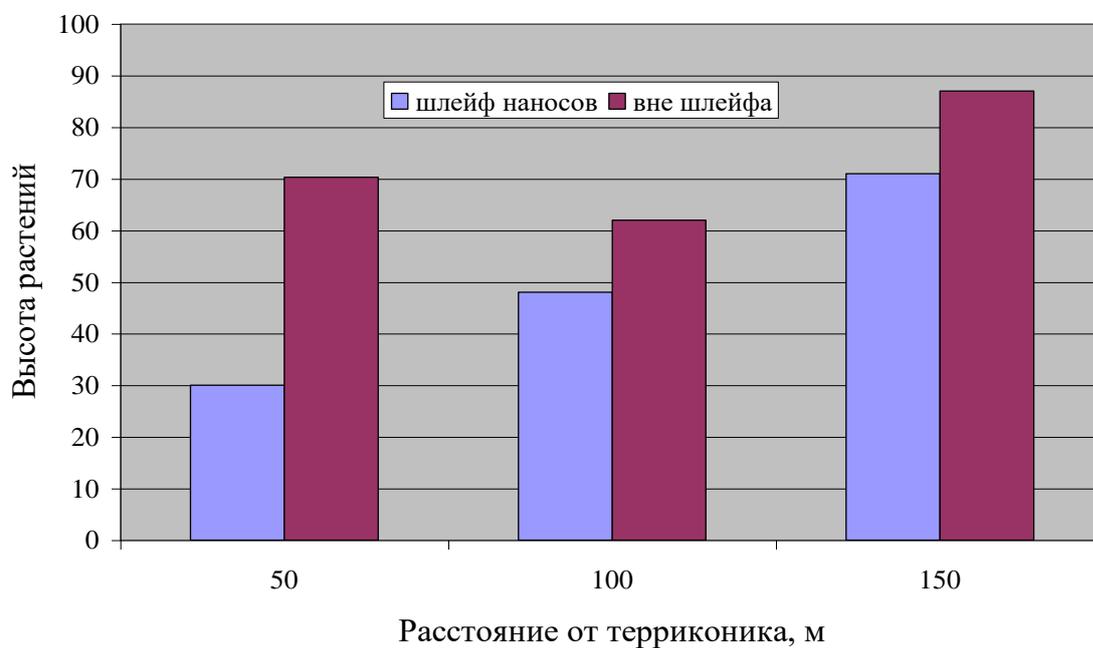


Рис.3.9. Влияние террикона на высоту растений озимой пшеницы



Рис. 3.10. Угнетенное состояние растений пшеницы в зоне шлейфа наносов

Тот факт, что и вне шлейфа густота растений значительно ниже посевной нормы, свидетельствует о том, что загрязнение почвы происходит не только в

зоне отложения наносов, но и за ее пределами – в результате ветрового переноса и перемещения почвы при обработке.

Нами проведен спектральный анализ пшеницы, выращиваемой у подножия терриконика шахты «Матросская», и оценена экологическая ситуация по загрязнению растительной продукции тяжелыми металлами (табл. 3.9).

Таблица 3.9

Оценка загрязнения растений тяжелыми металлами  
(в зоне шлейфа / на контроле)

Элемент	Содержание в растениях, мг/кг	Отношение валового содержания к ПДК	Тип экологической ситуации
Zn	100/50	2/1	катастрофич./предкризисная
Pb	30/30	100/100	катастрофич./катастрофич.
Cu	50/30	5/3	катастрофич./катастрофич.
Ni	7/5	14/10	катастрофич./катастрофич.

По отношению содержания Zn, Cu, Ni, Pb в пшенице, выращиваемой на территории, прилегающей к террикону, и на контроле к ПДК этих элементов, экологическая ситуация признана катастрофической.

В 2006 году конический отвал №3 шахты «Матросская» ОАО «Лисичанскуголь» был переформирован в плоский и засеян травой. С целью проверки, уменьшается ли степень загрязнения прилегающей к отвалу территории после горнотехнической и биологической рекультивации, нами были отобраны пробы породы из промоины на высоте 5 м, у подножья отвала, на дне траншеи, опоясывающей отвал на расстоянии 13 м от него, в шлейфе выноса на расстоянии 50 м от отвала и на контроле (50 м от отвала). Отобраны также пробы почвы на расстоянии 100 м, 200 м от отвала.

С помощью шкалы Н. И. Алямовского была определена кислотность отобранных образцов породы и почвы. Результаты представлены в табл. 3.10.

Таблица 3.10

Геохимическая характеристика отвала № 3  
и прилегающей к нему территории

№ п/п	Место отбора пробы	pH
1	T <sub>1</sub> (промоина, на высоте 5 м)	5,8
2	T <sub>2</sub> ( подножия террикона)	5,8
3	T <sub>3</sub> (канавы)	6,8-7
4	T <sub>4</sub> (50 м от подножия отвала, шлейф)	5,8
5	T <sub>4</sub> (к) (контроль в 50 м от подножия отвала)	7
6	T <sub>5</sub> (100 м от подножия отвала)	6,8
7	T <sub>6</sub> (200 м от подножия отвала)	6

Исходя из данных табл. 3.10, прослеживается изменение рН в отвальной породе и почвах по сравнению с зональными степными почвами. Кислотность отвальной породы с промоины, подножия отвала, шлейфа выноса составляет 5,8; кислотность почвы на расстоянии 200 м от отвала – 6, тогда как в зональных почвах рН равно 6,5 – 8,5 [25]. Сравнивая кислотность породы и почвы до и после переформирования отвала в плоский, можно сделать вывод, что после переформирования отвала в плоский рН породы и почвы изменилась в сторону более кислой (склон террикона с 6,2 до 5,8; 100 м от отвала – с 7,8 – до 6,8).

После переформирования отвала в плоский нами также был выполнен спектральный анализ породы и почв агроландшафтов, прилегающих к отвалу. Результаты представлены в виде табл. 3.11.

Таблица 3.11

Результаты спектрального анализа породы и почвы

Химический элемент	Кларк, %	Содержание в тыс. дол. %		
		отвальная порода	почва, 50 м от отвала, шлейф выноса	почва, 50 м от отвала, контроль
P	0,12	50	70	70
Pb	2*10 <sup>-3</sup>	1	2	3
Cu	0,01	2	2	3
Ti	0,58	300	500	500
V	0,016	7	10	10
Mn	0,08	100	70	70
I	2	3	4	5
Ga	N*10 <sup>-9</sup>	1	1	1,5
W	5*10 <sup>-3</sup>	0,3	0,3	0,3
Ni	0,018	3	5	5
Cr	0,033	10	10	10
Ge	N*10 <sup>-9</sup>	0,15	0,2	0,2
Co	0,01	1	1	1
Bi	N*10 <sup>-6</sup>	0,15	0,2	0,2
Ba	0,047	30	30	20
Be	0,001	0,2	0,2	0,2
Nb	-	2	2	2
Mo	N*10 <sup>-4</sup>	0,2	0,2	0,2
Sn	N*10 <sup>-4</sup>	0,3	0,5	0,5
Li	0,004	7	3	3
Y	-	2	3	2
Yb	-	0,15	0,2	0,15
Zr	0,023	30	30	20
Ag,%	N*10 <sup>-6</sup>	2*10 <sup>-6</sup>	3*10 <sup>-6</sup>	3*10 <sup>-6</sup>
La	-	1	1	1
Zn	0,004	3	7	10
Sr	0,017	1	2	1

Проведена оценка экологической ситуации по загрязнению породы и почвы тяжёлыми металлами (табл. 3.12).

Таблица 3.12

Оценка экологической ситуации

Элемент	Отношение фактического содержания к кларку	Экологическая ситуация	Отношение фактического содержания к ПДК валовой формы	Экологическая ситуация	Отношение фактического содержания к ПДК подвижной формы	Экологическая ситуация
Порода из промоины (высота 5 м)						
Zn	0,6	благопол.	0,3	благопол.	0,4	благоп./удовл.
Ni	0,75	благопол.	0,35	благопол.	1,5	предкриз.
Co	1,25	благопол.	0,02	благопол.	0,08	благоп./удовл.
Pb	1	благопол.	0,3	благопол.	3,5	кризисн.
Cu	1	благопол.	0,4	благопол.	3,3	кризисн.
Cr	1,33	благопол.	1	удовл.	5	кризисн.
Порода из шлейфа выноса, 50 м от отвала						
Zn	1,4	благопол.	0,7	удовл.	0,9	благоп./удовл.
Ni	1,25	благопол.	0,6	удовл.	2,5	кризисн.
Co	0,13	благопол.	0,02	благопол.	0,08	благоп./удовл.
Pb	2	благопол.	0,6	удовл.	7	кризисн.
Cu	1	благопол.	0,4	благопол.	3,3	кризисн.
Cr	1,3	благопол.	1	удовл.	5	кризисн.
Почва на контроле, 50 м от отвала						
Zn	2	благопол.	1	удовл.	1,3	предкриз.
Ni	1,25	благопол.	0,6	удовл.	2,5	кризисн.
Co	0,13	благопол.	0,02	благопол.	0,08	благоп./удовл.
Pb	3	удовлетв.	0,9	удовл.	10,5	катастр.
Cu	1,5	благопол.	0,55	удовл.	5	кризисн.
Cr	1,3	благопол.	1	удовл.	5	кризисн.

В зоне шлейфа выноса отвальной породы и на контроле нами был исследован химический состав растений пшеницы, выращиваемой у подножия террикона шахты «Матросская», после переформирования его в плоский (табл. 3.13).

Таблица 3.13

## Спектральный анализ растений пшеницы

Элемент	Кларк, %	Содержание в тыс. дол. %	
		в шлейфе	на контроле
P	0,12	>1000	>1000
Pb	$2 \cdot 10^{-3}$	0,2	0,7
Cu	0,01	3	10
Ti	0,58	10	10
V	0,016	0,5	0,3
Mn	0,08	200	70
Ga	$N \cdot 10^{-9}$	0,2	0,2
Ni	0,018	7	2
Cr	0,033	1,5	0,5
Bi	$N \cdot 10^{-6}$	0,3	0,3
Ba	0,047	15	10
Mo	$N \cdot 10^{-4}$	0,15	0,5
Sn	$N \cdot 10^{-4}$	0,1	0,1
Li	0,004	2	-
Y		1	1
Zr	0,023	7	7
Ag,%	$N \cdot 10^{-6}$	$7 \cdot 10^{-5}$	$1 \cdot 10^{-4}$
Zn	0,004	20	100

Проведена оценка экологической ситуации по загрязнению растений пшеницы тяжелыми металлами (табл. 3.14).

Таблица 3.14

## Оценка экологической ситуации (в зоне шлейфа / на контроле)

Элемент	Содержание в растениях, мг/кг	Отношение фактического содержания к ПДК	Тип экологической ситуации
Zn	200/1000	0,17/0,28	благопол.- предкризисн./ благопол.- предкризисн.
Ni	70/20	5,88/0,56	катастрофическая/ благопол.- предкризисн.
Mn	2000/700	1,91/0,22	катастрофическая/ благопол.- предкризисн.
Pb	2/7	0,28/0,33	благопол.- предкризисн./ благопол.- предкризисн.
Cu	30/100	0,13/0,14	благопол.- предкризисн./ благопол.- предкризисн.
Cr	15/5	3,15/0,35	катастрофическая/ благопол.- предкризисн.

Была определена масса 1000 зёрен пшеницы, отобранной на поле, прилегающем к плоскому отвалу шахты «Матросская» (рис. 3.11).

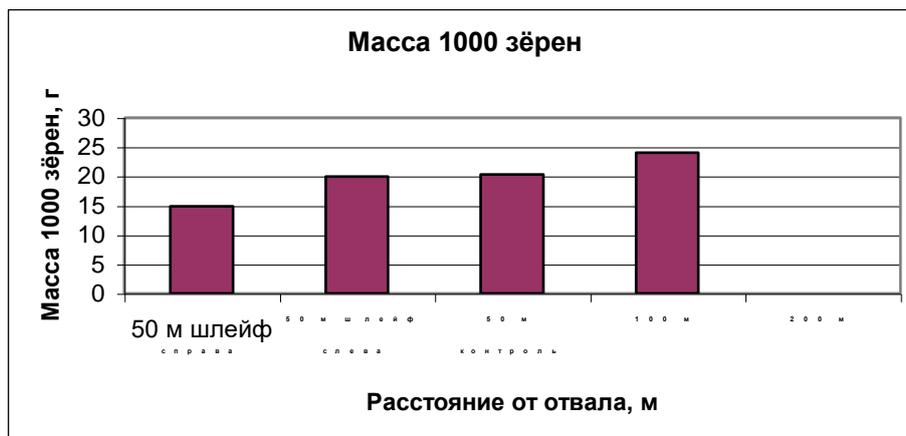


Рис.3.11. Масса 1000 зёрен пшеницы

Исходя из диаграммы видно, что масса 1000 зерен пшеницы, отобранной в зоне шлейфа, ниже массы на контрольном участке. За пределами шлейфа выноса масса 1000 зёрен увеличивается.

Нами, с использованием Международного классификатора стран СЭВ, проведена классификация пшеницы по массе 1000 зёрен (табл.3.15, 3.16).

Таблица 3.15

Международный классификатор пшеницы по массе 1000 зёрен стран СЭВ

Баллы	Пшеница
1-2 (очень низкая)	До 30
3-4 (низкая)	30,1 – 38,0
5-6 (средняя)	38,1 – 46,0
7-8 (высокая)	46,1 – 54,0
9 (очень высокая)	Свыше 54

Таблица 3.16

Классификация зерен пшеницы, выросшей на прилегающей к плоскому отвалу территории (2008 г.), по массе

Место отбора образцов	Масса зёрен пшеницы, г	Баллы
50 м справа от отвала, шлейф	14,9	1-2 (очень низкая)
50 м слева от отвала, шлейф	19,9	1-2 (очень низкая)
50 м от отвала, контроль	20,3	1-2 (очень низкая)
100 м от отвала	24,0	1-2 (очень низкая)

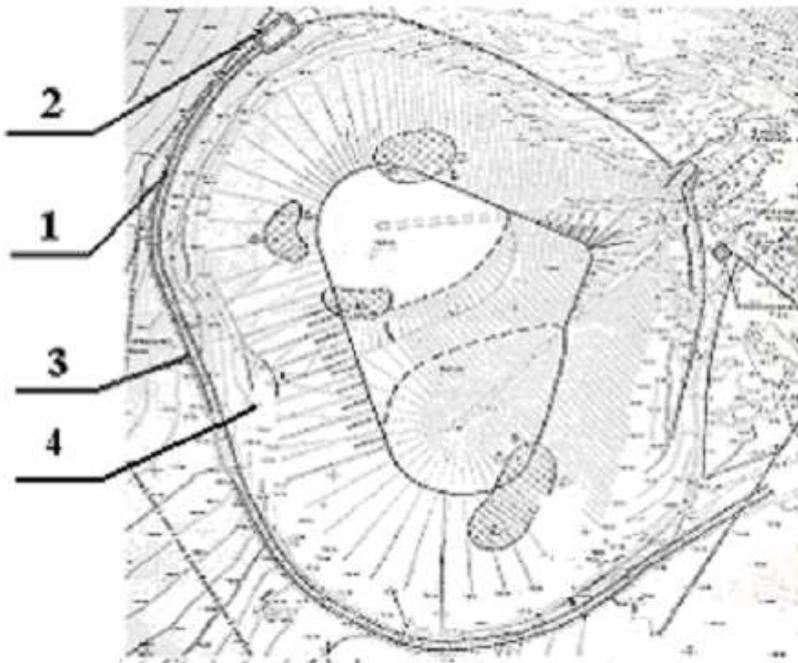
Породные отвалы угольных шахт, независимо от их формы (конические, плоские), оказывают крайне неблагоприятное воздействие на прилегающие агроценозы, проявляющееся в накоплении в почвенном покрове сульфатов и тяжелых металлов в недопустимых концентрациях и, как следствие, в катастрофическом снижении всхожести посевов и урожая озимой пшеницы, достоверном уменьшении высоты растений до 2,3 раза, ширины листовой пластины – до 2 раз, длины колосьев – до 1,7 раза.

На прилегающих к терриконикам территориях, загрязненных тяжелыми металлами, образуются биогеохимические барьеры, то есть, в силу биогенной миграции, происходит накопление в растениях химических элементов в аномальных концентрациях, существенно отличающихся от ПДК.

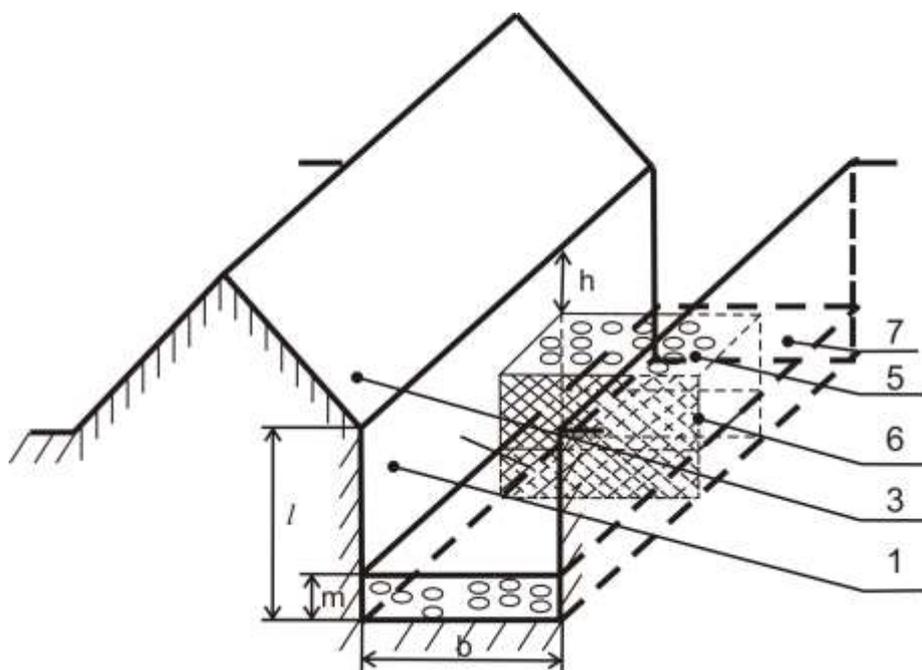
### **3.4. Формирование искусственных щелочных барьеров с целью предотвращения загрязнения прилегающей к отвалам территории**

Для защиты территории, прилегающей к отвалам угольных шахт, от загрязнения твердым и ионным стоком, который формируется вследствие эрозионно-гидрологических процессов на отвалах, нами предложен способ, который заключается в размещении по периметру отвалов вала и траншеи, заполненной известняком на 20 – 30% ее глубины, причем через расчетное расстояние в траншее располагают перемычки в виде слоя известняка, который находится между водопроницаемыми мембранами. Высоту перемычек определяют расчетом при условии пропуска вдоль траншеи максимального расхода дождевого стока 10% обеспеченности.

Сущность полезной модели поясняется рис. 3.12, где на фиг.1 изображена траншея 1, водоприемник 2 в виде прямоугольного котлована, вал 3, террикон 4, а на фиг. 2 изображен фрагмент траншеи 1 с перемычкой 5.



Фиг. 1



Фиг. 2

Рис. 3.12. Способ предотвращения загрязнения территории продуктами эрозии с терриконов

Способ осуществляется следующим образом. На дно траншеи 1 и водоприемника 2 наносят слой известняка 7, через расчетные расстояния в траншее 1 располагают перемычки 5 в виде слоя известняка, который находится между водопроницаемыми мембранами 6 из мелкоячеистой стальной сетки, закрепленной на кольях. При выпадении жидких атмосферных осадков либо таянии снега подкисленные воды поверхностного стока с террикона попадают в траншею 1 и стекают вдоль нее к водоприемнику 2. Наличием перемычек 5 создают подпор воды. При этом воды стока частично просачиваются сквозь слой известняка 7 в дно траншеи 1, а большая часть фильтруется сквозь перемычки 5. В результате взаимодействия с известняком сточные воды теряют повышенную кислотность, а осадок образовавшихся нерастворимых солей коагулируется в известняке, не проникая в подземные воды и на прилегающую территорию.

Предложенный способ позволяет понизить кислотность талых и ливневых вод, стекающих в водоприемник, и перевести растворимые соли тяжелых металлов в нерастворимую форму, что существенно снизит поступление тяжелых металлов в грунтовые воды и на прилегающую территорию. В результате этого предотвращается загрязнение тяжелыми металлами как подземных вод, так и почвенного покрова.

Для определения эффективности предложенного способа нами был осуществлен фильтрационный опыт. Для его осуществления разработана специальная методика.

В пилотной установке использованы два вида карбонатной (меловой) породы: из карьера в г. Луганске (Л) и из Белогоровского карьера в

г. Лисичанске (Б), для которых выполнено определение физико-механических свойств и химического состава (табл. 3.17 и 3.18).

Таблица 3.17

Физико-механические свойства меловой породы

Вид мела	Водопоглощение, %	Предел прочности на сжатие	
		в сухом состоянии	в водонасыщенном состоянии
Б	размокает	не определялся	0,2
Л	27,90	4,5	0,7

Таблица 3.18

Химический состав меловой породы

Вид мела	Содержание основных окислов, %								ППП
	CaO	MgO	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	SO <sub>3</sub>	
Б	55,10	<0,1	0,94	0,10	0,10	0,16	0,10	<0,02	43,6
Л	51,69	<0,1	7,50	1,07	0,34	0,28	0,24	<0,02	38,8

По данным химического анализа был произведен минералогический состав мела (табл.3.19).

Таблица 3.19

Минералогический состав меловой породы

Мел	Содержание основных окислов, %				
	CaCO <sub>3</sub>	MgO	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
Б	98,39	<0,1	0,94	0,10	0,10
Л	92,30	<0,1	7,50	1,07	0,34

Испытания проводились согласно требованиям ДСТУ БВ.2.7.-71 Строительные материалы.

Химический состав мела (рис.3.13) определялся согласно следующим нормативным методикам: Нормативный документ: ГОСТ 21138.5-78 – ГОСТ 1138.9-78 Мел. Методы анализа.

Произведен фракционный анализ породы:

Меловая порода Л, 25% - фракция размером 0-2 см ;  
50% - 2-5 см;  
25% - более 5 см.

Меловая порода Б, 70% - 0-2 см;  
30% - 2-5 см.



а



б

Рис. 3.13. Виды карбонатной породы, использованной в опытах: а - из карьера в г. Луганске (Л); б - из Белогоровского карьера (Б).

Эксперимент состоял в следующем: для фракций 0-2, 2-5 см использовали сосуд диаметром 0,086 м высотой 0,3 м, на дно которой положили слой гравия высотой 4 см, затем следует слой меловой породы высотой 8 см. Для фракций >5 и смеси фракций 0-2, 2-5, >5 использовали сосуд диаметром 0,16 м высотой 0,3 м.

Дистиллированную воду разбавили фиксоналом до рН 2,65 и пропускали через фильтрационную установку. Опыт повторили 10 раз, используя раствор с исходной кислотностью. После каждого пропускания отбирали пробу и измеряли рН на выходе, отмечали время фильтрации, сухой остаток и количество сульфат-ионов на выходе (рис.3.14, 3.15).

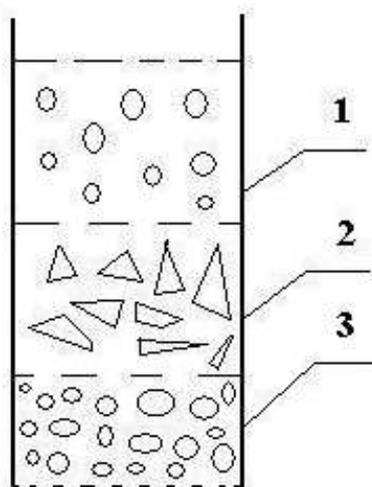


Рис. 3.14. Схема экспериментальной фильтрационной установки: 1 – слой воды, 2 – слой карбонатной породы, 3 – слой щебня



Рис. 3.15. Работа с фильтрационной установкой

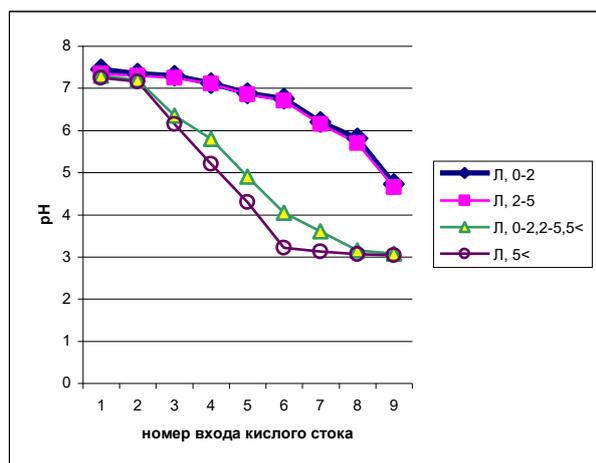
В табл. 3.20 показаны результаты эксперимента для различных вариантов фракций и марки карбонатной породы.

Таблица 3.20

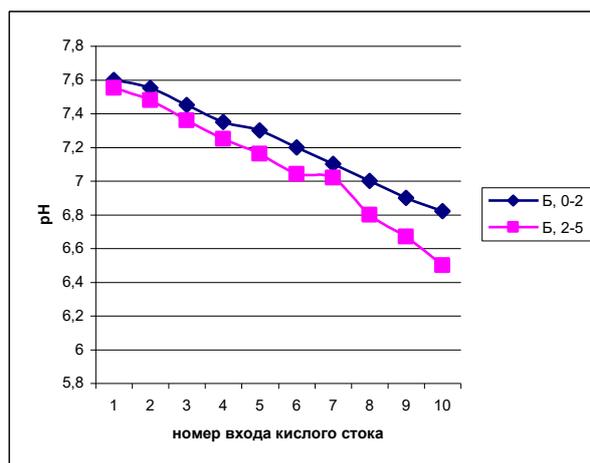
Результаты нейтрализации кислых стоков с использованием различных фракций и марок карбонатной породы

№	Порода, фракционный состав	рН на входе	Номер повторения и водородный показатель воды на выходе из фильтрационной установки									
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	Л, 0-2	2,65	7,45	7,35	7,30	7,12	6,88	6,75	6,20	5,81	4,72	3,69
2	Л, 2-5	2,65	7,35	7,30	7,25	7,10	6,85	6,70	6,15	5,70	4,65	3,58
3	Л, >5	2,65	7,25	7,16	6,15	5,20	4,30	3,21	3,12	3,06	3,04	3,05
4	Л, 0-2, 2-5, >5	2,65	7,30	7,20	6,35	5,80	4,90	4,05	3,60	3,15	3,08	3,08
5	Л, 0-2, 2-5, >5	3,65	7,35	7,27	6,48	6,20	5,35	4,77	4,25	4,14	4,11	4,12
6	Б, 0-2	2,65	7,60	7,55	7,45	7,35	7,30	7,20	7,10	7,00	6,90	6,82
7	Б, 2-5	2,65	7,55	7,48	7,36	7,25	7,16	7,04	7,02	6,80	6,67	6,50

На основании данных, представленных в таблице, можно сделать вывод, что способность карбонатной породы к нейтрализации кислых стоков различна. Для большей наглядности отличительных признаков построен график зависимости изменения рН от количественного показателя входа кислых стоков (рис. 3.16).



а



б

Рис 3.16. Графики изменения кислотности на выходе фильтрационной установки: а – породы „Л” для фракций 0-2, 2-5, >5 и их смеси; б – породы „Б” для фракций 0-2, 2-5

Анализ данных, приведенных на рис 3.16, позволяет констатировать следующее:

- уровень нейтрализации кислых вод при начальном этапе (1-3 пропускания) держится на достаточно высоком уровне вне зависимости от карбонатной породы и размеров фракции;

- начиная с 4-го входа уровень рН существенно различается: для фракций породы Л размером 0-2 и 2-5 см происходит постепенное снижение водородного показателя до уровня 3,69; для фракций породы >5 см и смеси 0-2, 2-5, >5 см происходит резкое снижение водородного показателя до уровня 3,15, при рН 3,08 происходит стабилизация водородного показателя;

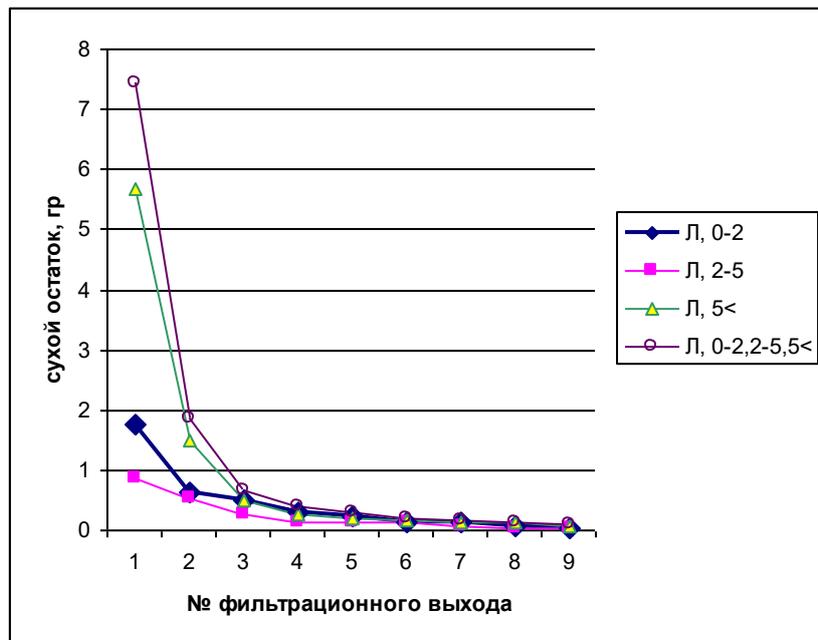
- уровень нейтрализации кислых стоков с использованием фракций карбонатной породы Б размером 0-2 и 2-5 см сохраняется достаточно высоким при всех десяти циклах промывки, постепенно снижаясь с рН 7,6 до 6,50.

Для выяснения интенсивности выноса частиц мела из установки была определена масса осадка в пробах фильтрата (табл. 3.21).

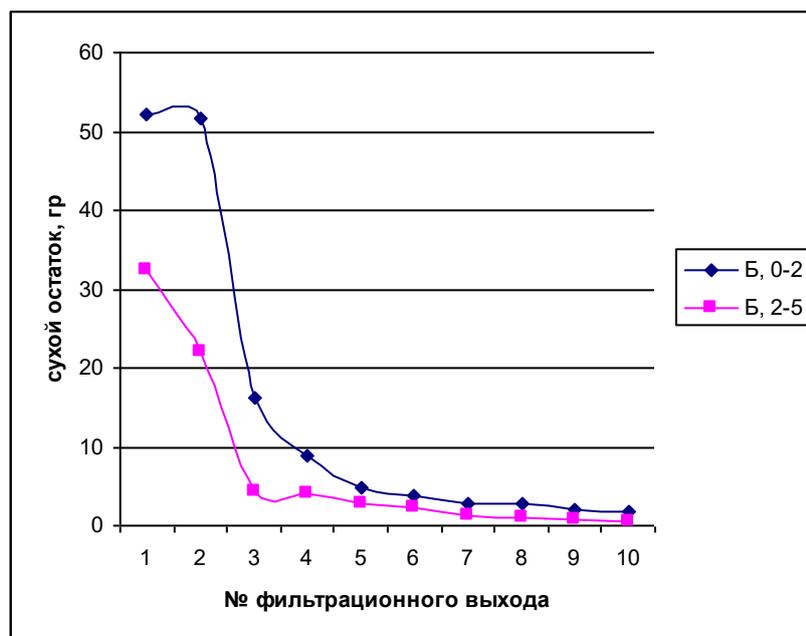
Таблица 3.21

Масса сухого остатка на выходе из фильтрационной установки

№ п/п	Порода, фракционный состав, см	Масса сухого остатка, г									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	Л, 0-2	1,76	0,63	0,50	0,32	0,24	0,15	0,14	0,06	0,04	0,04
2	Л, 2-5	0,87	0,53	0,26	0,13	0,13	0,12	0,07	0,03	0,06	0,25
3	Л, 5<	5,68	1,48	0,51	0,27	0,20	0,17	0,14	0,12	0,08	0,07
4	Л, 0-2,2-5, >5	7,43	1,86	0,68	0,40	0,29	0,20	0,15	0,13	0,11	0,10
5	Б, 0-2	52,28	51,55	16,24	8,75	4,84	3,87	2,85	2,76	2,12	1,65
6	Б, 2-5	32,36	21,95	4,35	3,98	2,72	2,25	1,24	0,94	0,87	0,61



а



б

Рис 3.17. Графики изменения количества осадка в зависимости от цикла фильтрации: а – для фракций 0-2, 2-5, 5< породы „Л”, и 0-2,2-5,5<; б – для фракций 0-2, 2-5 породы „Б”

На основании данных, представленных на рис. 3.17, можно сделать вывод, что скорость выноса частиц мела из исследуемых образцов резко снизилась после второго цикла.

## РАЗДЕЛ 4

### ОПТИМИЗАЦИЯ ПОВЕРХНОСТИ ОТВАЛОВ ПУТЕМ РЕКУЛЬТИВАЦИИ

#### 4.1. Общие представления о проведении работ по рекультивации породных отвалов

Восстановление растительности терриконовых «лунных» ландшафтов возможно с помощью рекультивации.

Рекультивация освобожденных из-под отвалов почв и лесная рекультивация поверхности терриконов складываются из трех этапов: подготовительного, горнотехнического и биологического.

Подготовительный этап включает обследование территории; изучение специфики геоморфологических, геологических, гидрологических и других условий нарушенных земель; определение направления рекультивации; установление требований к последующим этапам и выбор методов; составление технико-экономических обоснований и рабочих проектов рекультивации.

Горнотехнический (инженерный) этап - подготовка территории к различным видам целевого использования. Проводится он на основании разработанных проектов рекультивации и включает рациональное формирование поверхности (в нашем случае террасирование откосов отвалов), покрытие плоской вершины потенциально плодородным слоем, выполнение необходимых мелиоративных работ, устройство подъездных и землевозных дорог. После завершения работ по горнотехнической рекультивации в установленном законом порядке земли передаются организациям и предприятиям для дальнейшего комплекса работ по биологической рекультивации. Нарушенные земли после проведения инженерного этапа могут быть использованы под лесные, сельскохозяйственные и плодовые культуры [39].

Наиболее распространенный способ освоения нарушенных площадей – лесная рекультивация, так как древесные породы успешно растут на относительно бедных землях и не требуют тщательного выравнивания территории.

Первые попытки выращивания леса на терриконах были предприняты в 1949 - 1951 гг. институтом лесоводства АН УССР. При использовании садово-паркового способа посадки деревьев в заполненные черноземной почвой ямы размером 50 x 50 см и глубиной 70 см дали удовлетворительные результаты по приживаемости, но в последующем саженцы на крутосклонах усохли из-за несоответствия развитой надземной части малому количеству почвы и влаги и сохранились лишь у подножия отвалов. Первые результаты работ были описаны многими авторами [40-45]. Позже сотрудниками Украинской сельскохозяйственной

академии (УСХА) и Донецкого ботанического сада разработаны способы озеленения и защитно-декоративного облесения терриконов угольных шахт.

Согласно способу УСХА закладке лесонасаждений на крутосклонах терриконов предшествует микротеррасирование. Оно преграждает путь поверхностному стоку, смыву, размыву породы и облегчает передвижение людей по крутосклонам, облегчает посадку сеянцев и внесение удобрений [46-62], (рис 4.1).

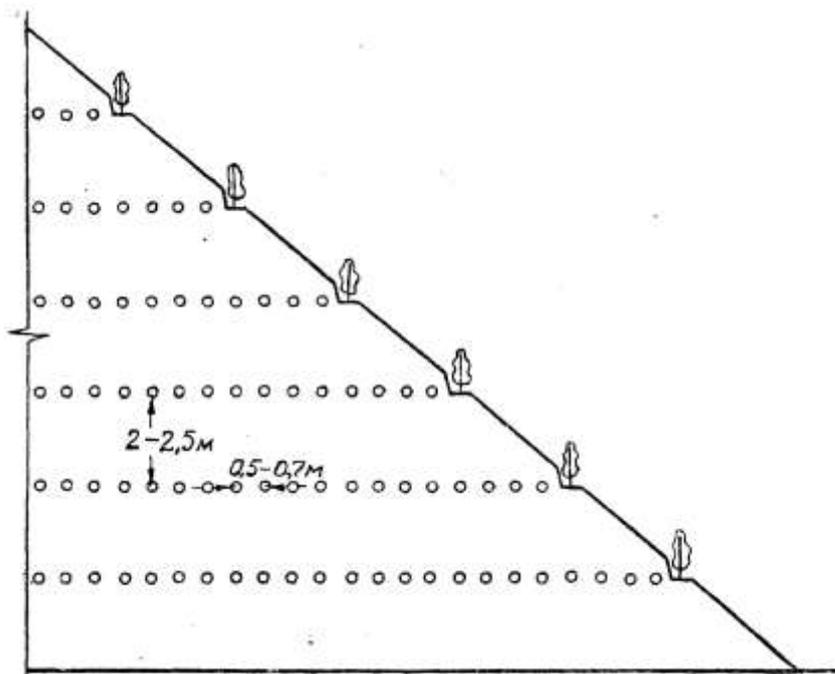


Рис. 4.1. Схема озеленения терриконов по способу УСХА

При рекультивации терриконов по способу Донецкого ботанического сада рекомендуется переформирование конического отвала в плоский, выполаживание откосов, формирование микротеррас, частичная мелиорация породы и создание защитно-мелиоративного растительного покрова [63-80].

Ниже представлены разработанные нами формулы, с помощью которых были произведены расчеты горнотехнического и биологического этапов рекультивации терриконов по этим двум способам.

#### **Способ УСХА**

Протяженность микротеррас определяется как частное от деления площади поверхности террикона на 2,5 м (расстояние между микротеррасами). Площадь поверхности террикона – это сумма площадей поверхности конического отвала по экспозициям. Обычно террикон ориентируют хвостовой частью в направлении востока, поэтому площадь боковой поверхности каждой из трех экспозиций – северной, западной и южной можно определить по формуле:

$$S_{\text{пов}} (С, З, Ю) = \pi RL/4.$$

Площадь хвостовой (восточной) части:

$$S_{нов}(B) = \left[ 2 \times \left( \frac{L_6 \times L_{ю}}{2} \right) - \left( \frac{S_{ю}}{2} \right) \right],$$

где  $L$  – длина склона,  $L = \frac{H}{\sin \varphi}$ ;

$R$  – радиус основания,  $R = \frac{H}{fg\varphi}$ ;

$H$  – высота террикона.

Количество посадочных мест на склонах конического отвала – частное от деления протяженности микротеррас на 0,7 (расстояние между саженцами).

### *Способ Донецкого ботанического сада*

Протяженность микротеррас по способу Донецкого ботанического сада рассчитывается как частное от деления площади поверхности усеченного конуса  $S_{нов} - \frac{S_{нов}}{9}$  на 2,5 м (расстояние между террасами).

Объем вывозимой породы определяется как одна треть объема отвала (объем террикона определяется как объем конуса, равный произведению  $1/3$  площади основания на высоту). Площадь основания (подошвы) рассчитывается по формулам:

$$S_{осн} = F_1(ЮЗС) + F_2(БЮС),$$
$$F_1 = \frac{n \times R_{сп}^2}{2},$$
$$F_2 = \frac{(R_{Ю} + R_C) \times R_B}{2}.$$

Исходя из вышеизложенного, объем вывозимого грунта равен:

$$V^1 = V/9,$$

где  $V$  – объем конического отвала.

Объем потенциально плодородного грунта для экранирования плоской вершины по способу Донецкого ботанического сада рассчитывается как произведение площади плоской вершины на толщину наносимого экрана, то есть 0,4 м.

Площадь плоской вершины определяется по формуле:

$$S^1 = S_{осн}/9.$$

Количество посадочных мест на склонах (рис.4.2) – частное от деления протяженности микротеррас на 0,7 (расстояние между саженцами).

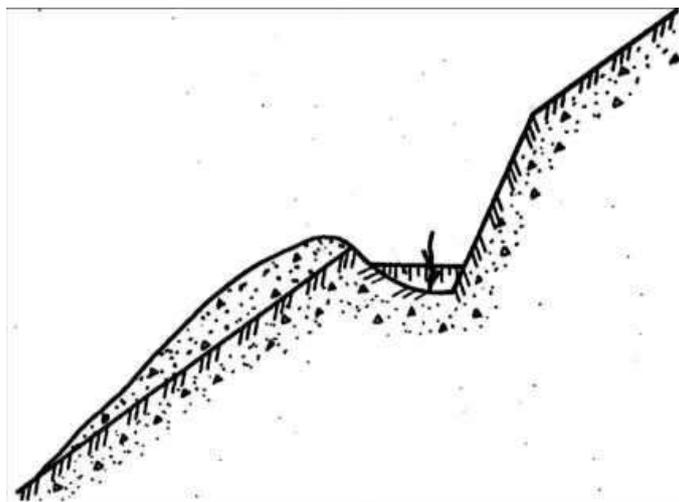


Рис.4.2. Вид микротеррасы с саженцем

Количество сеянцев, необходимое для озеленения плоской вершины, рассчитывается делением площади плоской вершины на площадь питания одного дерева ( $0,7 \text{ м} \cdot 2,5 \text{ м} = 1,75 \text{ м}^2$ ).

Одним из условий успешной лесной рекультивации терриконов является правильный подбор ассортимента древесных пород. Обычно используется экологический принцип подбора (соответствие требований отдельных пород деревьев условиям среды). С этой целью для начала анализируются действия абиотических факторов на растения (свет, тепло, влага, питание, состав атмосферного воздуха и т.д.) [81].

Значение тепла в жизни растений, как известно, очень велико. Фотосинтез протекает нормально в довольно узких пределах положительных температур  $5^\circ - 30^\circ\text{C}$ , а при температуре выше  $45^\circ$  и ниже  $2^\circ\text{C}$  прекращается. С режимом тепла тесно связано также дыхание растений, транспирация, распускание листьев, рост и т.д. Зимой растение может погибнуть не только от мороза, но и от других неблагоприятных условий. Кроме морозов зимой растения подстерегают и другие опасности: гибель под ледяной коркой, выпревание, вымокание и т.д. Поэтому понятие "зимостойкость" значительно шире, чем морозоустойчивость, которая входит в него лишь как одно из важнейших условий перезимовки.

Нормальное течение физиологических процессов возможно только в состоянии высокого влагонаполнения клеток, то есть когда растительные клетки насыщены водой и оболочка их растянута. Засуха влияет на растения двояко: повышает температуру тканей растения (перегрев) и вызывает большую потерю воды (водный дефицит или завядание). Следовательно, засухоустойчивость растений представляет собой способность выносить, во-первых, перегрев, а во-вторых, обезвоживание [81].

Различают воздушное и почвенное питание растений [81]. Воздушное питание - это фотосинтез. Почвенное питание - поглощение из почвы минеральных веществ (зольные элементы и азот). Минеральное богатство почв тесно связано с их механическим составом: бедные почвы - это пески и супеси,

богатые - суглинистые и глинистые почвы. Широкое распространение имеют засоленные почвы (солончаки, солонцы, солончаковые, солонцеватые и осолоделые). Источником естественного засоления почв служат обычно соленосные материнские породы, а также минерализованные грунтовые воды, связанные с засоленными водами, с промышленным стоком. Засоленные почвы обладают рядом крайне неблагоприятных для роста растений свойств. Это высокая токсичность содержащихся в них легкорастворимых солей; крайняя физиологическая сухость, вызванная высоким осмотическим давлением минерализованных почвенных растворов и большой водоудерживающей способностью солонцовых горизонтов; неблагоприятные водно-физические свойства (вязкость во влажном состоянии, плотность и слитость в сухом); щелочная реакция почвенного раствора и др. [81].

Промышленная деятельность человека ведет к выбросу в воздух различных твердых, жидких и газообразных веществ (пыли, дыма, газов и др.), вредных для растений.

Такие выбросы вызывают сокращение сроков вегетации, торможение ростовых процессов, угнетение фотосинтеза. Эти нарушения приводят к снижению прироста, усыханию.

Различают 3 вида газоустойчивости растений: физиологическую, морфологическую, биологическую.

Физиологическая определяется окисляемостью клеточного содержимого. Чем меньше окисляемость протоплазмы, тем выше газоустойчивость растений.

Морфологическая газоустойчивость обуславливается особенностями строения листьев, которые препятствуют поступлению газов в растение.

Биологическая газоустойчивость связана со способностью растений быстро восстанавливать пораженные газами органы.

На основании физиологических, анатомических и лесоводственных исследований [82] древесные породы делятся:

1) по степени их светолюбия и теневыносливости на: *очень светолюбивые* (акация белая - *Robinia pseudoacacia* J., сосна обыкновенная – *Pinus sylvestris* L.); *светолюбивые, малотеневыносливые* (сосна крымская – *Pinus pallasiana* D., ясени – *Fraxinus* L., дуб черешчатый – *Quercus robur* L.); *относительно теневыносливые* (клены – *Acer* L., липы – *Tilia* L., яблони – *Malus* Mill., груши – *Pyrus* L.); *очень теневыносливые* (граб – *Carpinus* L., каштан конский – *Casanea sativa* Mill., ель – *Picea A.Dietr.*, тис – *Taxus* L.);

2) по отношению к теплу на: *крайне теплолюбивые породы* (кипарисы - *Cupressus*, бамбуки - *Bambusoideae*, лавр - *Laurus*); *теплолюбивые* (миндаль – *Amygdalus* L., айва – *Cedonia* Mill.); *относительно холодостойкие* (липы - *Tilia* L., тополя - *Populus* L, акация белая - *Robinia pseudoacacia* J., абрикос – *Armeniaca* Scop., орех грецкий - *Juglans regia* L); *холодостойкие* (дуб черешчатый - *Quercus robur* L., ясени - *Fraxinus* L., груша - *Pyrus* L., яблоня - *Malus* Mill., клены – *Acer* L); *исключительно холодостойкие породы* (береза – *Betula* L., ель - *Picea A.Dietr.*, сосна - *Pinus sylvestris* L.);

3) по отношению к влаге на: *гигрофиты* (ольха – *Alnus* Mill., ива - *Salix alba* L.); *мезогигрофиты* (ива - *Salix alba* L., тополя - *Populus* L, ольха - *Alnus*

Mill); *мезофиты* (ясени - Fraxinus L., ель - Picea A.Dietr., граб - Carpinus L.); *мезоксерофиты* (дуб черешчатый - Quercus robur L., клены - Acer L, яблоня - Malus Mill., груша - Pyrus L.); *ксерофиты* (акация белая - Robinia pseudoacacia J., скумпия - Cotinus Mill., лох - Elaeagnus L., сосна - Pinus sylvestris L.);

4) по отношению к почвенному плодородию на: *олиготрофы* - *малотребовательные* (сосна обыкновенная - Pinus sylvestris L., акация белая - Robinia pseudoacacia J.), *мезотрофы* - *среднетребовательные* (осина - Populus tremula L., дуб черешчатый - Quercus robur L., ель - Picea A.Dietr, липа - Tilia L), *мегатрофы* - *требовательные* (клены - Acer L, граб - Carpinus L., бук - Fagus L.);

5) по отношению к засолению на: *наиболее солеустойчивые- галофиты* (тамариксы - Tamarix); *солеустойчивые* (тамариксы - Tamarix); *наиболее солевыносливые* (лохи - Elaeagnus L., вяз перистоветвистый - Ulmus L., ясень зеленый - Fraxinus L., саксаул - Haloxylon Bge. Bunge.); *солевыносливые* (дуб черешчатый - Quercus robur L., груша - Pyrus L., клены - Acer L, акация - Robinia J.); *слабосолевыносливые* (ясень - Fraxinus L., сосна крымская - Pinus pallasiana D., осина - Populus tremula L., тополя - Populus L., шиповник - Rosa canina); *очень слабо выносливые* (орех грецкий - Juglans regia L., ива белая - Salix alba L) [82].

Разные виды растений неодинаково чувствительны к дыму и вредным газам. Наиболее газоустойчивые древесные растения: акация желтая, груша обыкновенная, дуб черешчатый, ива белая, клен серебристый, лох узколистный, акация белая, розы культурные, сирень обыкновенная, тополя, шелковица, ясени.

В табл.4.1 представлен пример анализа древесных пород с учетом их физиологии, экологических требований, декоративности.

Таблица 4.1

Анализ древесных пород с учетом их физиологии, экологических требований, декоративности

Древесная порода	Продолжительность жизни, лет	Быстрота роста, общая высота, м	Тип корневой системы	Отношение древесной породы к факторам						Декоративность
				Почва	Влага	Свет	Воздух	Тепло	Засоление	
Дуб черешчатый	500—600	До 10 лет растет медленно, 40	Стержневой	Среднетребовательный	Мезоксерофит	Среднего светолюбия	Неустойчив к газу	Холодостойкий	Солевыносливый	Высокая
Ясень ланцетовидный	150—350	Б/р, 15—20	Поверхностный	Малотребовательный	Мезофит	Светолюбивый	Наиболее газоустойчивый	То же	Наиболее солевыносливый	Средняя
Абрикос обыкновенный	40—50	Б/р, 5—8	Стержневой	→	Ксерофит	→	Газоустойчивый	Относительно холодостойкий	Солевыносливый	→
Лох узколистный	Более 25	Б/р, 10	То же	Нетребовательный	То же	→	Наиболее газоустойчивый	То же	Наиболее солевыносливый	Высокая
Клен остролистный	150—200	М/р, 30	Поверхностный	Требовательный	Мезофит	Теневосильный	Газоустойчивый	Холодостойкий	Несолевыносливый	→
Сосна обыкновенная	300—350	Б/р, 40	Стержневой	Малотребовательная	Ксерофит	Очень светолюбивая	Страдает от загазованности	Исключительно холодостойкая	Солевыносливая	→

Существующая технология срезания вершук терриконов требует соблюдения ряда очень важных условий, без которого ее эффективность резко понижается. И особенно тревожит часто встречающаяся практика переформирования терриконов без последующей биологической рекультивации. Если не производить вывоз грунта, то засыпаются откосы, где уже произошло самозарастание и началось формирование первичных почв, заселение пионерной растительности, процессы химического выветривания, поселение деревьев. Такие откосы с рядом начавшихся благоприятствующих процессов засыпаются неокисленной породой, непригодной пока к произрастанию растений и даже обладающей активно агрессивными свойствами. Рыхлые породы на склонах интенсивно эродируют, а в процессе отсыпки пылят. Плоская вершук накапливает воду и перераспределяет ее неравномерно. Вода стекает к краю вершук неравномерно по ее периметру. В результате создаются предпосылки для оползневых явлений свежесыпанного грунта по слежавшемуся — более плотному и менее водопроницаемому — "коренному" грунту вследствие переувлажнения водами поверхностного стока. Происходят разрушительные оползни, небезопасные для прилегающей заселенной территории, растут овраги с катастрофическим выносом породы. Активно эродирует и остальная часть склоновой поверхности вследствие как транзитного, так и местного стока — уже в первый год после переформирования отвала вся поверхность его склонов покрывается густой сетью промоин, а у подножия появляются обширные конусы — выносы скелетной части грунта. Самая распыленная и наиболее подвижная часть породы транспортируется потоками на значительные расстояния, а ионный сток достигает постоянных водотоков — ручьев и рек.

Является совершенно очевидным, что необходим целый комплекс мероприятий по задержанию стока на вершук, максимально полному использованию влаги атмосферных осадков на месте их выпадения, регулированию склонового стока путем его максимально полного задержания и безопасного отведения остаточного стока со склонов. Этой цели наиболее полно отвечают отказ от выполаживания вершук и создание микротеррас на склонах терриконика с последующей посадкой растений

#### **4.2. Усовершенствование способов микротеррасирования поверхности терриконов**

Способ микротеррасирования поверхности отвалов, разработанный в 1969 г. сотрудниками УСХА, является простым и эффективным. Микротеррасирование начинают с вершины террикона, от «хвоста», против часовой стрелки. Террасы закладываются по всей поверхности террикона через 2-2,5 м, их ширина 30 см. Нарезке террас предшествует их разметка, то есть разбивка горизонтальных линий с помощью эклиметра. На рис. 4.3 дан поперечный разрез микротеррасы, в табл. 4.2 и 4.3 приведены основные показатели рекультивируемой поверхности и параметры микротеррас,



Параметры поперечного сечения террасы

Элемент террасы	Обозначение	Размеры
Ширина, см:		
<i>поверху</i>	CL	30-35
<i>по дну</i>	DE	15
Глубина выемки, см		10-12
Крутизна склона, °		33-37
Наклон материкового откоса, град.	FE	60-65
Площадь поперечного сечения, м <sup>2</sup> :		
<i>выемки</i>	NDEF	0,084
<i>емкости</i>	CLED	0,025

Характерная особенность терриконов – изрезанность поверхности промоинами, образовавшимися в результате стока талых и ливневых вод. Они имеют треугольное или трапецеидальное сечение и располагаются по образующим конуса от вершины к подножью. Глубина их изменяется от 30-40 см до 1 – 1,5 м в зависимости от механического состава породы. Расстояние между ними – от 2 до 5 м и более. У старых промоин русло устойчиво к размыву благодаря накоплению на дне крупнообломочного материала.

Зимний период в условиях Донбасса характеризуется значительным перераспределением снежного покрова, сильными метелистыми ветрами. На высоте ветер усиливается, поэтому, как правило, снег на терриконе выдувается с ровных участков и скапливается в промоинах. К началу зимних оттепелей и весеннего снеготаяния большая часть поверхности оказывается без снега и мало увлажняется, а запасы воды в промоинах расходуются на сток.

Целью данных исследований являлась возможность улучшения влагообеспеченности насаждений на террасах за счет более полного использования запасов воды снежного покрова, а также повышения долговечности террас.

Указанная цель достигается в случае применения нового способа подготовки поверхности терриконов под облесение, разработанного нами и заключающегося в создании по горизонталям склонов микротеррас с обратным уклоном полотна. В местах пересечения с промоинами их прокладывают на откосах и дне этих промоин по спиралевидной восходящей линии. В одной из нескольких промоин террасу прерывают. При этом между промоинами террасам придают продольный уклон, равный 0,01-0,02, а перед посадочными местами на них формируют перемычки высотой, равной половине превышения бровки террасы над ее дном.

Продольный уклон террас является необходимым условием достижения цели, так как благодаря ему обеспечивается поверхностный сток из промоин к сеянцам древесных пород на терриконе и предупреждается разрушение террас

вследствие перелива воды через бровку. Кроме того, наличие такого уклона позволяет уменьшить вероятность появления на полотне террас в результате отклонения их от намеченной трассы бессточных участков. Вероятность эта тем меньше, чем больше величина уклона.

В то же время величина уклона ограничивается требованием не допустить размывающей скорости потока. Как свидетельствует приводимый ниже гидравлический расчет, для терриконигов Донбасса критическая величина продольного уклона террас равна в среднем 0,02. Она определяет верхний предел указанного интервала уклонов (0,01-0,02). Нижний предел назначается для того, чтобы обеспечить запас устойчивости полотна к размыву в случае отклонений физико-механических свойств грунта от усредненных.

Расчет предельно допустимого уклона террас выполнен с помощью табличного материала и формул, применяемых для случая равномерного движения воды в открытых руслах [83]. На основании формулы (7.1) максимально допустимый уклон дна террасы:

$$i_{\text{доп.}} = (V_{\text{доп.}}/W)^2,$$

где  $V_{\text{доп.}}$  – максимально допускаемая (неразмывающая) в сечении скорость воды в потоке, м/с;  $W$  – скоростная характеристика, м/с.

По Б. И. Студеничникову [83]

$$V_{\text{доп.}} = 3,6\sqrt[4]{hd},$$

где  $d$  – средневзвешенный диаметр частиц грунта в русле, м;  $h$  – глубина потока, м.

Скоростную характеристику определяем так (7.2):

$$W = R^z/n,$$

где  $n$  – коэффициент шероховатости;  $R$  – гидравлический радиус, м;  $z$  – показатель степени.

Гидравлический радиус находим по формуле:

$$R = \omega/\chi,$$

где  $\omega$  – площадь живого сечения потока, м<sup>2</sup>;  $\chi$  – смоченный периметр, м.

По данным табл. 7.3 [83], коэффициент шероховатости для некрепленных искусственных русел равен 0,025.

Поперечный разрез водопроводящей полости террасы в упрощенном виде представляет собой прямоугольный треугольник с гипотенузой, обращенной кверху и расположенной горизонтально. Глубина полости 12 см, ширина - 34 см. Рабочая глубина террасы, то есть максимально допустимая глубина потока  $h = 0,1$  м, при наиболее неблагоприятной ситуации ширина его  $B = 0,28$  м;  $\chi = 0,37$  м;  $\omega = 0,014$  м<sup>2</sup>;  $R = 0,038$  м. В табл. 7.6 [83] при  $R = 0,038$  м и  $n = 0,025$ ,  $W = 3,5$  м/с.

Терриконики угольных шахт Донбасса сложены в основном из аргиллитов приугольных пластов, в состав которых входят глинистые минералы (60-95%), кварц (20%), гидрослюды (1%), песчаники (4-10%),

известняк (6%), пирит (10%), уголь (6-10%), древесина и сера [84]. Доминируют хрящеватые и каменистые фракции.

На основе обобщенных данных о механическом составе поверхностного выветрелого слоя породы на терриконах городов Донбасса [85] и результатов нашего обследования ряда терриконов в г. Лисичанске выполнен расчет средневзвешенного по фракциям (за исключением каменистой крупнообломочной) диаметра частиц грунта в слое 0-30 см. Он равен 3,3 мм.

Подставляя значения  $h$  и  $d$  в формулу (7.13), получаем:

$$V_{\text{доп}} = 3,6 \sqrt[4]{0,0033} * 0,1 = 0,49.$$

По формуле (7.1)  $i_{\text{доп}} = (0,49/3,5)^2 = 0,02$ .

При уменьшении продольного уклона до 0,01 пропускная способность поперечного сечения террас снижается на 29%, а минимальное допустимое значение средневзвешенного диаметра частиц грунта – с 3,3 до 0,9 мм (по формуле 7.13). Такое значение присуще сильно выветрелым грунтам с большим количеством мелкого песка и глинистых фракций и редко встречается на терриконах. В их грунтах содержание фракций менее 1 мм обычно не превышает 30%.

Таким образом, создание террас с продольным уклоном (0,01 – 0,02) практически исключает возможность их размыва. Пропускная способность при этом варьирует слабо.

Теперь о перемычках. Только при высоте их, равной половине глубины полости террас, обеспечивается оптимальное решение задачи улучшения влагообеспеченности и повышения надежности террас. Даже при малых расходах смачиваемая площадь полотна составляет не менее половины максимально возможной. При больших расходах гарантируется достаточно высокая пропускная способность сечения террас, так как площадь его над перемычкой уменьшается не более чем на 25%.

Наличие перечисленных признаков позволяет использовать запасы влаги, накапливающиеся в виде снега в промоинах террикона, для дополнительного влагозарядкового весеннего увлажнения грунта. Таким образом улучшаются условия для приживаемости насаждений и их роста.

Продольный уклон полотна обеспечивает сток воды вдоль террас, а поперечные перемычки способствуют более рациональному его увлажнению.

При нарезке террас практически невозможно избежать небольших отклонений от намеченной трассы, поэтому при горизонтальном их расположении задерживаемые воды поверхностного стока перераспределяются по их длине, скапливаясь на пониженных участках. При избыточном стоке в этих местах происходят разрушения, а на склоне возникают новые промоины. Создание террас с уклоном исключает появление бессточных участков, а прерывание их полотна на промоинах с устойчивым руслом позволяет упорядочить сброс избытка стока. На рис.4.4 представлены общий вид затеррасированного террикона и фрагмент его поверхности с промоинами и террасами.

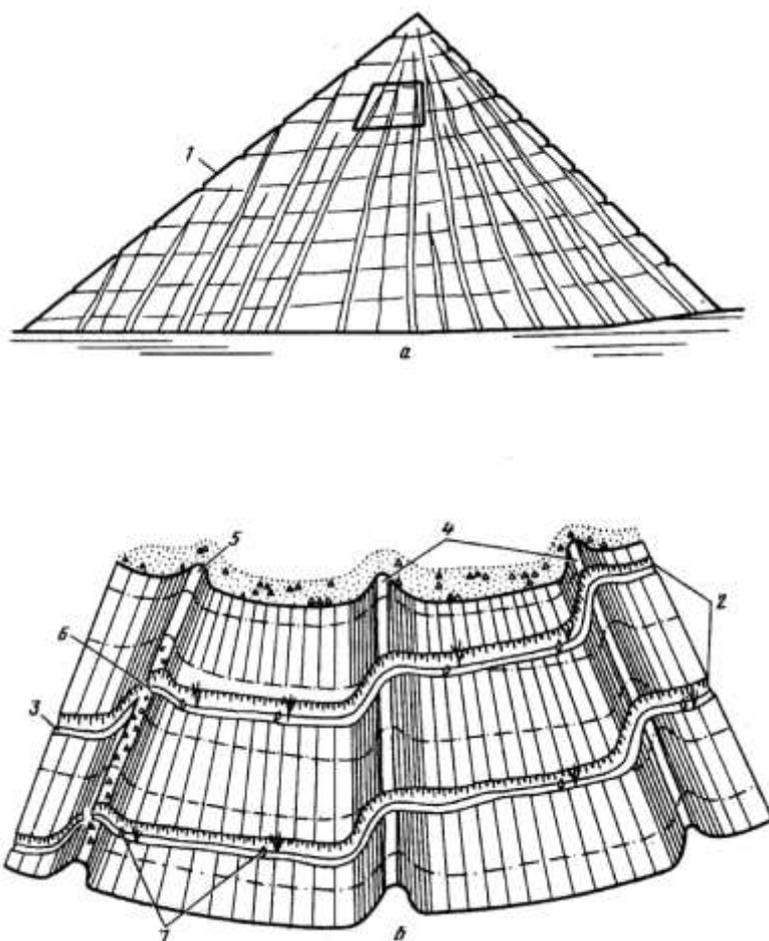


Рис.4.4. Общий вид затеррасированного террикона (а) и фрагмент его поверхности с промоинами и микротеррасами (б):

1 – хвостовая часть террикона; 2 – террасы; 3 – полотно террасы; 4 – промоины; 5 – сбросная промоина; 6 – перемычка из грунта в сбросной промоине; 7 – перемычки на террасе

Микротеррасирование осуществляется следующим образом. Первоначально выполняют геодезическую разбивку трасс, используя нивелир, теодолит, эклиметр и другие инструменты. Нарезку террас начинают от хвостовой части террикона, с его вершины, чтобы не засыпать готовые сооружения грунтом, который отваливают вниз по склону. При ручном выполнении работ технологически удобно придавать полотну вогнутую поверхность с уклоном в сторону террикона. При этом за счет насыпи ширина его несколько увеличивается. На пересечении с малыми промоинами террасу сильнее заглубляют в тело террикона, на пересечении с большими, превышающими размеры террас, последние прокладывают по откосам и дну промоин (по спиралевидной линии). На расчетном расстоянии от начала террасу прерывают на откосе и продолжают от тальвега промоины с устойчивым сформированным профилем, имеющим дно и откосы, сложенные крупнообломочным материалом, накопившимся в процессе смыва более мелких фракций.

При использовании ручного и механизированного труда возможны соответственно и два способа прерывания террасы. В первом случае ее не доводят до дна промоины и продолжают от тальвега, во втором делают непрерывной, а на откосе промоины вручную устраивают перемычку из грунта. Перемычки по длине террасы (вне промоин) при ручном труде создают за счет несрезания слоя почвы, при использовании террасера формируют из насыпного грунта. Длину отрезков террасы определяют расчетным путем исходя из необходимости пропуска в замыкающем ее створе остаточного количества воды. Его получают как разницу между расходом поверхностного стока в процессе движения к террасе и расходом в виде поглощения дном.

Предельно допустимую длину отрезков террас между сбросными промоинами определяем по формуле:

$$L = Q_{\text{проп}}/[Vl - K(\chi i - 0,3)], \text{ м,}$$

где  $Q_{\text{проп}}$  – пропускная способность террасы, м<sup>3</sup>/с;  $l$  – расстояние между террасами;  $V$  – удельная ширина промоин, м/м;  $i$  – максимальная интенсивность водоотдачи из снега, м/с;  $\chi$  – удельный смоченный периметр промоин, м/м.

Расчетное расстояние между сбросными участками может изменяться в зависимости от расположения террасы по высоте. Это связано с тем, что в направлении от вершины террикона к его основанию увеличиваются ширина и глубина промоин, а следовательно, параметры  $V$  и  $\chi$ . С другой стороны, в указанном направлении увеличивается и расстояние между промоинами, а это ведет к снижению удельных показателей. Поэтому целесообразно оперировать несколькими значениями величины  $L$ , рассчитанными для нескольких (3-5) ярусов поверхности терриконика по высоте.

Сбросные промоины выбирают из числа наиболее сформировавшихся, с устойчивым к размыву каменистым дном. Подбор их начинают с какой-то одной [84]. По окружности основания террикона от начальной промоины отмеряют расстояние  $L$ , и самая крайняя промоина в пределах данного отрезка будет сбросной №2 и т.д.

После выполнения работ по предлагаемому способу, при таянии снега, накапливающегося в промоинах, сток будет перехватываться спиралевидной частью террас и отводиться к остальной части, стекая по которой, увлажнит преимущественно грунт перед перемычками – в местах посадки семян. В случае, если приток воды из промоин-оросителей начнет преобладать над поглощением, остаточный сток, нарастающий по длине террасы и грозящий переливом через бровку, своевременно сбросится в промоины-коллекторы.

Способ проверен на отвалах бывшей шахты им. М.Л. Рухимовича и шахты им. 60-летия Советской Украины объединения “Лисичанскуголь”. На отвалах выделены опытные участки, где террасы прокладывали с уклоном 0,01-0,03, в промоинах – по спиралевидной линии с плавно изменяющимся уклоном (от 0,01 – 0,02 по краям промоины до 0,1 – 0,15 на оси ее). Через расстояние (1,5 м), кратное расстоянию между сеянцами (0,75 м), на террасах оставляли перемычки грунта высотой 5-6 см, равной половине глубины полости. Через 8-9 м террасы прерывали на одной из промоин. Промоины подбирали с глубиной

до 1 м и устойчивым к размыву дном. Террасы в них дополнительно укрепляли крупнообломочным материалом, извлекаемым из породы при создании террас.

После летних ливней к концу вегетационного периода в большинстве промоин, не имевших водопрочного русла, террасы были размыты. Вследствие неупорядоченного перелива воды через бровку террасы во многих местах вне промоин также были размыты, а на откосах возникли мелкоструйчатые промоины. На опытном участке террасы не разрушались. Эффект от предотвращенного ущерба (в результате разрушения террас) и дополнительного увлажнения рассчитывали следующим образом. Емкость промоин в среднем по террикону №1, типичному для Донбасса, равна 1480 м<sup>3</sup>/га, запас воды в снеге при заполнении промоин 444 м<sup>3</sup>/га. С учетом поглощения талого стока промоинами дополнительное увлажнение склонов составляет 222 м<sup>3</sup>/га, или 30 л на одно посадочное место. В табл. 4.4 представлены весенние запасы влаги в почвогрунте террас террикона №1 шахты им. 60-летия Советской Украины.

Таблица 4.4

Характеристика запасов влаги в почвогрунте

Вариант опыта (террасирования)	Слой грунта, см	Через 1 год после террасирования		Через 2 года после террасирования	
		влажность, %	продуктивная влага, мм	Влажность, %	продуктивная влага, мм
Горизонтальное	0-10	12,3	6,5	20,6	17,3
	10-20	13,3	10,0	19,1	18,7
	20-30	16,2	10,3	21,7	18,5
	30-40	14,4	6,2	24,3	22,0
	40-50	14,8	6,7	22,1	18,3
По новому способу	0-10	16,0	10,8	24,4	22,2
	10-20	17,7	16,6	23,3	25,0
	20-30	19,6	15,4	25,0	23,5
	30-40	20,0	15,2	24,6	22,6
	40-50	16,3	10,7	23,7	19,0

Проведенные исследования свидетельствуют о том, что за счет отвода талых вод из промоин на террасах, созданных новым способом, происходит дополнительное увлажнение. В среднем за 2 года накопление влаги в слое 0-50 см составило 23,3 мм. Таким образом, микротеррасирование с продольным уклоном дает возможность использовать воду, накопившуюся в виде снега в промоинах терриконика, для дополнительного влагозарядкового весеннего увлажнения, что значительно улучшает условия для приживаемости саженцев и их роста.

Несмотря на сравнительную экономичность облесения терриконов путем микротеррасирования его поверхности с последующей высадкой сеянцев древесных культур на микротеррасы, и эта технология внедряется недостаточно активно. Кризисное состояние экономики, сдерживающее выделение каких-либо средств на биологическую рекультивацию, побудило нас к поиску альтернативных способов облесения терриконов.

Как отмечалось ранее, выпадающий на терриконы снег сдувается с ровной поверхности, но задерживается в промоинах. Это свойство способствует задержанию влаги и благоприятствует произрастанию растительности в промоинах. Древесные растения, высаженные в промоинах, или самосевные лучше растут. Промоины также задерживают переносимые ветром и водой семена. Часто наблюдаются случаи зарастания промоин от вышерасположенных растений. Это дает нам основание как альтернативный способ массового облесения терриконов рекомендовать облесение верхушек, от которых опадающие семена созревших для воспроизводства деревьев будут перемещаться по промоинам потоками воды поверхностного стока, пока не найдут участок для закрепления и последующего прорастания.

Облесение необходимо производить по обычной технологии с применением микротеррасирования, начиная его от верхушки и далее продвигаясь по спиралевидной линии вниз по склону. Однако достаточно облесить не более четверти терриконики по высоте. При этом площадь облесения составит не более 1/16 площади боковой поверхности терриконики, т.е. объем работ по террасированию и высадке растений, а соответственно, затраты труда и средств сократятся не менее чем в 16 раз.

Учитывая малую продолжительность весеннего периода с оптимальными условиями посадки, связанную с быстрой потерей влаги из породы склонов терриконики, особенно на высоте, и ограниченное количество достаточно квалифицированных исполнителей, которые могут быть допущены к работе на большой высоте и крутизне, очевидно, что при данном способе облесения представится возможным выполнить микротеррасирование и посадку саженцев на значительно большем количестве терриконики каждого производственного объединения. После достижения деревьями возраста созревания (5-7 лет) начнется самозаращение промоин вследствие осеменения грунта опадающими семенами и их транспортирования водами поверхностного стока при таянии снега и ливневых осадках.

Таким образом, при одинаковых затратах труда и средств возможно облесение многократно большего количества терриконики. Данный способ защищен патентом Украины № 25148 на полезную модель.

Другой предложенный нами способ (патент Украины № 25149) заключается в том, что облесение выполняют путем гидропосева семян, которые вместе с водой будут выливаться из бака, установленного на верхушке терриконики (рис. 4.5). В воду добавляются удобрения и прилипатели, способствующие склеиванию семян с почвенными агрегатами (например, полиакриламид). Воду выливают поочередно в каждую промоину, а

выпускаемый объем воды рассчитывается так, чтобы струя дошла до подножия, не выходя за пределы терриконика, а семена распределились равномерно по длине промоины.

Предварительно вершину немного выравнивают вручную, формируя площадку для установки бака и работы с ним. Бак затаскивают на площадку по хвостовой части терриконика лебедкой. Воду подвозят в автоцистерне и закачивают в бак по шлангу или металлической трубе. Вручную или механической мешалкой производят перемешивание компонентов рабочей смеси в баке, а затем незамедлительно выпускают нужную порцию с помощью другого шланга в промоину, открывая и закрывая задвижку.

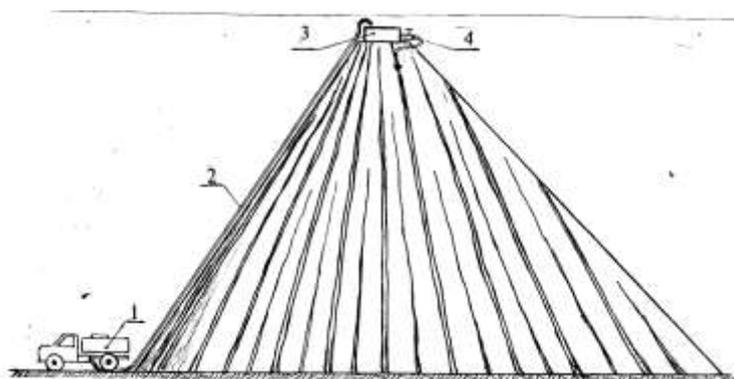


Рис. 4.5. Способ фитомелиорации террикоников с использованием гидропосева: 1 — автоцистерна; 2 — подающий трубопровод; 3 — бак; 4 — водовыпускной патрубков с задвижкой и шлангом

Объем воды ( $V_{\text{п}}$ ), подаваемой в отдельную промоину, должен быть достаточным для того, чтобы с учетом потерь на впитывание вода, поданная сверху, дошла донизу и не уходила за пределы отвала, то есть вся поданная вода за время ее стекания ( $t_{\text{с}}$ ) должна впитаться в грунт дна промоины. Поставленная задача достигается за счет того, что подачу прекращают в расчетный момент времени ( $t_{\text{п}}$ ) заранее — до момента дотекания воды до подножия отвала. Расход подачи воды ( $Q_{\text{п}}$ ) должен обеспечить поступление в промоину за время подачи  $t_{\text{п}}$  необходимого объема  $V_{\text{п}}$ .

Вышеназванные параметры, определяющие режим водоподдачи, можно рассчитать по разработанному нами алгоритму, основанному на равенстве:

$$V_{\text{п}} = V_{\text{ф}},$$

где  $V_{\text{п}}$  — объем водоподдачи;  $V_{\text{ф}}$  — объем поглощения воды (фильтрации) в дно промоины:  $V_{\text{п}} = Q_{\text{п}}t_{\text{п}}$ ,  $V_{\text{ф}} = Q_{\text{ф}}t_{\text{с}}$ ;

где  $Q_{\text{п}}$  и  $Q_{\text{ф}}$  — соответственно расходы водоподдачи и фильтрации;

$$Q_{\text{ф}} = v_{\text{ф}}F_{\text{п}} = v_{\text{ф}}L\chi,$$

где  $v_{\text{ф}}$  — скорость фильтрации воды в грунт терриконика, м/с;  $F_{\text{п}}$  — площадь дна и откосов промоины, контактирующих с потоком;  $L$  — длина смачиваемого участка промоины, принимаемая равной, в среднем за время стекания воды  $t_{\text{с}}$  от начала водоподдачи до полного поглощения всей поданной воды, половине длины склона отвала (83 м для лобовой его части при средней высоте 50 м);  $\chi$  — смоченный периметр промоины.

Подставляя приведенные выражения в исходное равенство получаем уравнение:  $Q_{пt_{п}} = 0,5v_{ф}L\chi t_c$ , связывающее параметры, определяющие режим водоподачи. Отсюда  $t_{п} = 0,5v_{ф}L\chi t_c / Q_{п}$ .

Смоченный периметр потока зависит от его глубины  $h_p$  и для промоин треугольного сечения с углом откосов  $\varphi$ , равным естественному ( $37^\circ$ ), определяется выражением:  $\chi = 2h_p \cos\varphi \approx 1,6h_p$ .

Время  $t_c$  определяется удвоенным отношением расстояния, которое вода должна пройти по склону, к скорости ее стекания  $v_c$ , определяемой из уравнения:  $v_c = Wi^{0,5}$ ,

где  $i$  — крутизна склона отвала (тангенс угла), равная для угла  $37^\circ$  0,754;  $W$  — скоростная характеристика, зависящая, согласно формулам гидравлики и табличным данным (Справочник по гидравлике / Под ред. Большакова В.А.- Киев: "Вища школа", 1977.- 280 с.), от коэффициента шероховатости  $n$ , принятого равным для промоин 0,04, и гидравлического радиуса  $R = \omega/\chi$ , где  $\omega$  — площадь живого сечения потока, зависящая от его глубины.

$$\text{Для промоин терриконов } \omega = h_p^2 \text{ctg}\varphi = 1,327h_p^2.$$

$$\text{Таким образом, } R = (h_p^2 \text{ctg}\varphi) / (2h_p \cos\varphi) = 0,5h_p \sin\varphi^{-1} = 0,831h_p;$$

$$v_c = 0,868W.$$

С учетом вышеизложенного формула времени водоподачи приобретает следующий вид:

$$t_{п} = (0,5v_{ф}L\chi 2L/v_c) / Q_{п} = (v_{ф}L^2\chi/v_c) / (v_c\omega) = v_{ф}L^2/v_c^2R.$$

Гидропосев лучше выполнять при увлажненном состоянии грунта (вследствие таяния снега или выпадения жидких осадков), чтобы уменьшить потери воды на фильтрацию и, соответственно, ее расход. В начальный период фильтрации воды в увлажненный грунт ее скорость,  $v_{ф}$ , по нашим исследованиям, можно принять равной 2-3 мм/мин.

$$\text{При } v_{ф} = 2,5 \text{ мм/мин} = 0,00042 \text{ м/с и } L = 83 \text{ м } t_{п} = 0,29/v_c^2R.$$

Задача определения режимных параметров решается путем подбора в форме таблицы (табл. 4.5) и с помощью графиков (рис. 4.6).

Таблица 4.5

Расчет параметров режима подачи воды при гидропосеве семян

$h_p, \text{ м}$	$\chi, \text{ м}$	$\omega, 10^{-4} \text{ м}^2$	$R, \text{ м}$	$W, \text{ м/с}$	$v_c, \text{ м/с}$	$Q_{п}, \text{ м}^3/\text{с}$	$t_{п}, \text{ с}$	$V_{п}, \text{ м}^3$
0	0	0	0	0	0	0	0	0
0,01	0,016	1,327	0,008	0,52	0,45	0,00006	179	0,011
0,03	0,058	11,94	0,025	1,15	1,00	0,0012	11,6	0,014
0,05	0,080	33,2	0,042	1,76	1,53	0,0051	3,0	0,015
0,10	0,160	132,7	0,083	3,1	2,7	0,036	0,58	0,017
0,15	0,240	298,6	0,125	5,07	4,4	0,13	0,12	0,016

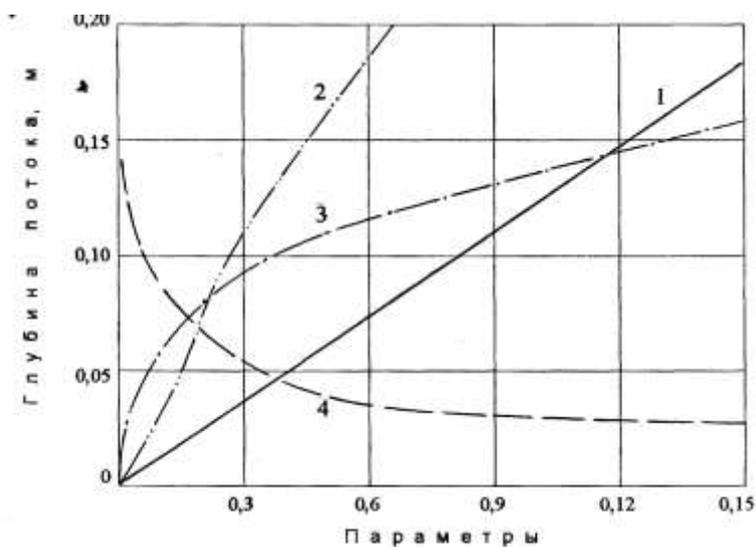


Рис. 4.6. Взаимосвязь параметров поперечного сечения водного потока, гидрологических показателей и режимных параметров водоподачи:

- 1 — гидравлический радиус  $R$ , м; 2 — скорость потока  $0,1v_c$ , м/с;  
 3 — расход воды  $Q$ , м<sup>3</sup>/с; 4 — время водоподачи  $t_p$ , сек.

При расчете мы задавали значения глубины потока и определяли по формулам соответствующие им дискретные значения остальных параметров поперечного сечения потока. По полученным данным построены графики зависимости параметров сечения и режимных параметров водоподачи.

Расчетные данные свидетельствуют, что вследствие большой крутизны склонов потоки на террикониках способны разгоняться до очень высоких скоростей, многократно превышающих допустимое неразмывающее значение (максимум 1 м/с с учетом наличия твердых крупнообломочных включений). Именно поэтому на террикониках и протекают так активно эрозионные процессы.

Кратковременная подача небольшого количества воды с большой скоростью не вызовет значительной эрозии, а небольшой смыв породы будет даже полезен для лучшей заделки семян. Поэтому оптимальным режимом можно считать подачу в каждую промоину 14 л воды в течение 12 секунд. При этом средняя скорость воды в потоке не превысит 1 м/с.

При расстоянии между промоинами у подножия в среднем 3 - 5 м их количество на типичном терриконике высотой 50 м составляет 100 - 180 м. Для посева древесных культур или трав на нем потребуется до 2,5 кубометров воды.

Полученные параметры носят ориентировочное значение и должны уточняться в зависимости от формы поперечного сечения промоин и скорости фильтрации, которую надо проверять методом заливки водой небольших металлических рамок, вдавливаемых в грунт.

### 4.3. Формирование, динамика развития и современное состояние фитоценозов терриконов

#### 4.3.1. Лесонасаждения террикона №11 ПО "Донецкуголь"

В процессе анализа экологических условий терриконников нами выявлены главные факторы, отрицательно влияющие на рост и состояние лесонасаждений. Условно их можно объединить в три группы: 1) факторы, действующие на корни растений, - недостаток питательных веществ и их несбалансированность, фитотоксичность грунтов и недостаток влаги; 2) факторы, действующие на надземную часть растений - загазованность и запыленность воздуха, различные климатические факторы; 3) агротехническая группа факторов - нарушение агротехники посадки и ухода за лесонасаждениями.

С позиций защитного лесоразведения большой интерес представляет выявление взаимосвязей между этими факторами и ростом древесных пород на терриконах. Эти сведения могут стать ключом к прогнозированию состояния лесонасаждений на отвалах угольных шахт.

Влияние климатических факторов на текущие приросты по диаметру можно выявить сравнением величин текущих приростов и климатических условий за определенный ряд лет. Текущий прирост определяется анализом хода роста модельных деревьев, климатические факторы - по материалам Гидрометслужбы. Необходимо найти функцию, показывающую зависимость величины  $Y$  (текущий прирост по диаметру) от величин  $X_1, X_2, X_n$  (климатические факторы). Наиболее целесообразно использовать метод Брандона в методической последовательности, разработанной УНИИЗПЭ.

Модельные деревья, в данном случае акации белой, отобраны нами на пробной площади чистых акациевых насаждений склона СВ экспозиции терриконника № 2 ПО "Донецкуголь" (озеленение отвала проведено УСХА), климатические данные за период жизни деревьев взяты по метеостанции "Донецк" (рис.4.7).



Рис. 4.7. Лесонасаждения на терриконе №11 ПО "Донецкуголь"

Функция ( $Y$ ) выражается произведением отдельных функций, отражающих взаимодействие переменных и зависящих от одного фактора:

$$Y = C f_1(X_1) f_2(X_2) \dots f_n(X_n)$$

где  $C$  – константа.

Строим графики зависимости  $Y_\phi$  от всех климатических факторов: среднемесячной температуры за вегетационный период, суммарного количества осадков за гидрологический год и отдельно за вегетационный период. Определяем величины  $C$  и все аналитические выражения функций  $f_i(X_i)$ .

Убывание степени влияния парных связей  $Y_i = f_i(X_i)$  является определяющей в очередности построения графиков. Определяется она их сопоставлением. Сначала строятся графики зависимости от всех климатических факторов. Далее на корреляционном поле проводятся эмпирические линии регрессии, выравниваемые теоретической линией регрессии. Данные парного анализа дают оценку тесноты корреляционной связи прироста по диаметру с каждым из показателей климата. Наиболее тесную связь с  $Y$  в нашем случае показывает суммарное количество осадков за вегетационный период ( $X_1$ -фактор). На основании теоретической кривой по графику связи  $Y_\phi$  и  $X_1$  находим аналитическое выражение  $f_1(X_1)$ .

Большим разбросом точек, обусловленным случайным сочетанием других факторов, характеризуется построение зависимости остальных факторов. Приведение графических точек к единому значению данного фактора осуществляем по формуле Радько:

$$Y_{\text{пр}} = C_1 Y_\phi / Y_p,$$

где  $Y_{\text{пр}}$  - приведенное значение точки;  $Y_\phi$  - фактическое значение точки;  $Y_p$  - расчетное значение точки;  $C_1$  - константа.

Конечная формула приведения:

$$Y_{\text{пр}} = C f_1(X_1) f_2(X_2) \dots f_n(X_n) / f_1(X_1).$$

Разброс приведенных точек на графике в зависимости от следующего фактора значительно меньше. Далее операция повторяется аналогично.

Установленные парные зависимости объединяются в многофакторный алгоритм по формуле:

$$Y_p = f_1(X_1) f_2(X_2) \dots f_n(X_n) / C_1 C_2 \dots C_{n-1},$$

где  $Y_p$  - искомая зависимая переменная;  $f_1(X_1) f_2(X_2) \dots f_n(X_n)$  - парные зависимости от первого, второго и т.д. факторов;  $C_1, C_2, \dots, C_{n-1}$  - постоянные коэффициенты.

Для построения математико-статистической модели прироста акации белой по диаметру (рис. 4.8) данные климатических факторов были обработаны нами математически по приведенным выше формулам (табл. 4.6).

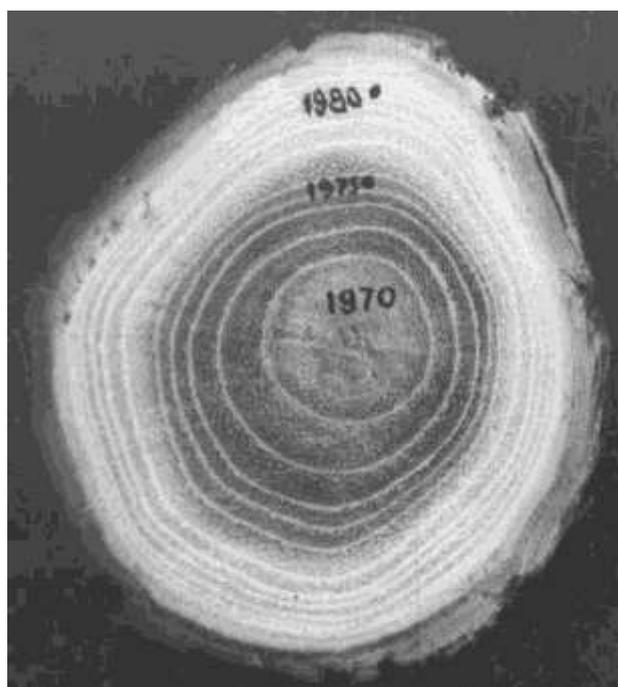


Рис. 4.8. Срез ствола модельного дерева акации белой

Таблица 4.6

Пример расчета модели для определения текущего прироста акации белой по диаметру

Текущий прирост по диаметру, мм ( $Y_{\phi}$ )	Сумма осадков за вегетационный период, мм ( $X_1$ )	$f_1(X_1)$	$Y_1 = Y_{\phi} C_1 / f_1(X_1)$	Среднемесячная температура воздуха за вегетационный период, °C ( $X_2$ )	$F_2(X_2)$	$Y_2 = Y_1 C_2 / f_2(X_2)$	$Y_p$
1,2	188	1,3	0,92	19,7	0,96	0,96	1,24
2,24	339	2,51	0,89	16,3	0,99	0,90	2,48
1,72	223	1,58	1,09	15,5	0,99	1,1	1,58
1,0	151	1,01	0,99	19,8	0,96	1,04	0,97

Графики теоретических кривых характеризуют существенное влияние на текущий прирост акации белой суммы осадков и среднемесячных температур за вегетационный период. Получена эмпирическая зависимость текущего прироста акации белой от суммы осадков за вегетационный период (рис.4.9):

$$D_1 = 0,008W - 0,2.$$

С увеличением среднемесячной температуры за вегетационный период отмечается редукция текущего прироста, описываемая уравнением:

$$D_2 = 1,14 - 0,0094t.$$

В общем виде математико-статистическая модель текущего прироста акации белой по диаметру на терриконах выражается уравнением регрессии:

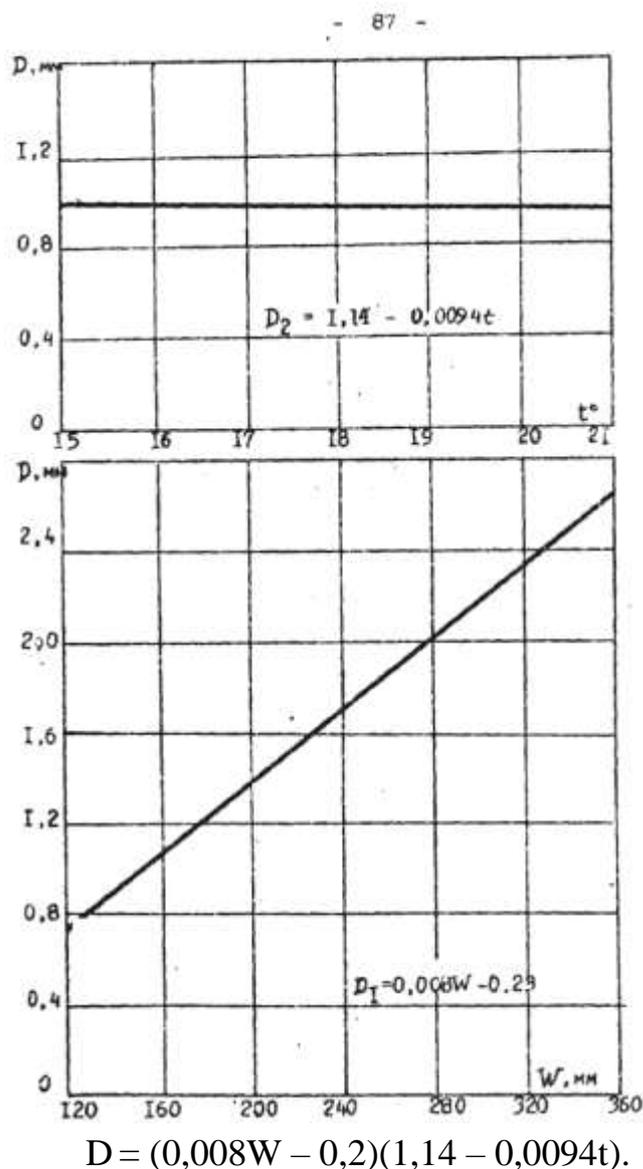


Рис.4.9. Зависимость текущего прироста по диаметру ( $D$ , мм) акации белой от суммы осадков за вегетационный период ( $W$ , мм) и среднемесячной температуры ( $t^\circ$ ).

Для определения тесноты связи между текущим приростом и отобранными факторами, влияющими на его значение, вычисляется множественное корреляционное отношение:

$$R = 1 - \sqrt{(\sigma^2 Y_1 Y_2 \dots Y_n / \sigma^2 Y_\phi)},$$

где  $\sigma^2 Y_\phi$  - общая дисперсия, показывающая влияние на  $y_\phi$  всех факторов, включая отобранные;  $\sigma^2 Y_1 Y_2 \dots Y_n$  - дисперсия теоретического значения прироста  $Y_p$ , характеризующая влияние только отобранных факторов ( $X_1, X_2 \dots X_n$ ); определяется по формуле:

$$\sigma^2 Y_1 Y_2 \dots Y_n = \sum((Y_\phi - Y_p)^2 / (n - 1)),$$

где  $Y_\phi$  - фактическое значение функции,  $Y_p$  - расчетное значение функции,  $n - 1$  - число степеней свободы.

Множественное корреляционное отношение равно 0,96, что указывает на высокую степень тесноты связи между расчетными значениями прироста  $Y_p$  и отобранными факторами.

Квадрат множественного корреляционного отношения (коэффициент детерминации), равный 0,92, указывает, что удельный вес влияния отобранных факторов на текущий прирост составляет 92%.

Значимость множественного корреляционного отношения была проверена по t-критерию Стьюдента:

$$t = \sqrt{(n - 2) / (1 - R^2)},$$

где  $R$  - множественное корреляционное отношение;  $(n - 2)$  - число степеней свободы.

$t$  расчетное равно 17,7 при  $t$  табличном для уровня 0,01, равном 5,84.

$t$  расч. больше  $t$  табл., следовательно, множественное корреляционное отношение значимо.

#### ***4.3.2. Лесонасаждения конического отвала № 1 шахты им. 60-летия Советской Украины (г. Лисичанск, Луганская область)***

На момент проведения рекультивации конический отвал № 1 шахты им. 60-летия Советской Украины имел высоту 50 м, объем породы 690 тыс. м<sup>3</sup>, угол наклона хвостовой части 19°, лобовой - 33°. Отсыпка отвала закончена в 1981 г.

Основной задачей было формирование биологически устойчивых смешанных лесных насаждений. Поэтому для дуба черешчатого сопутствующей породой был выбран клен остролистный (порода-активатор). Дуб черешчатый чередовался по рядам с кленом остролистным и ясенем ланцетолистным. На участке, где дуб черешчатый высаживался с кленом остролистным, смешение порядное и звеньями. Там, где на верхних и средних ярусах склонов северных экспозиций имеются очаги горения (рис. 4.10, 4.11), высажены сеянцы газоустойчивого ясеня ланцетолистного. На склоне северо-восточной экспозиции на нижнем ярусе высажен абрикос обыкновенный, а также сосна обыкновенная чистыми рядами. На неблагоприятных склонах южных экспозиций, где есть очаги горения, по всем ярусам чистыми рядами высажен лох узколистный.

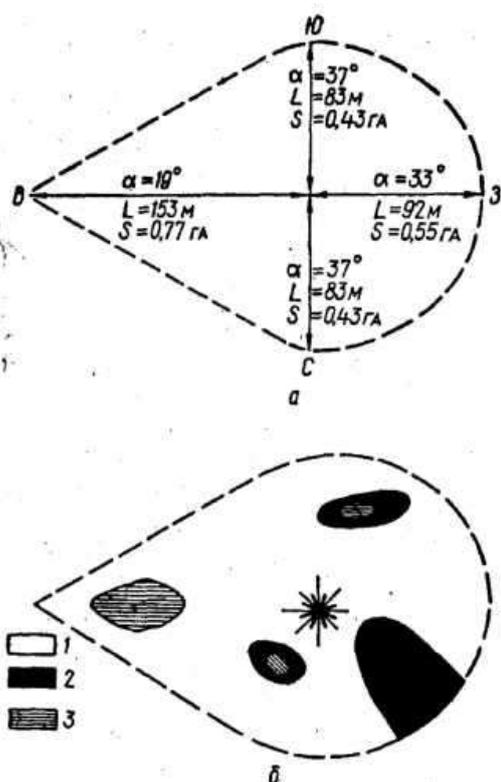


Рис. 4.10. Вид террикона сверху:  
а-параметры, б-почвенная карта

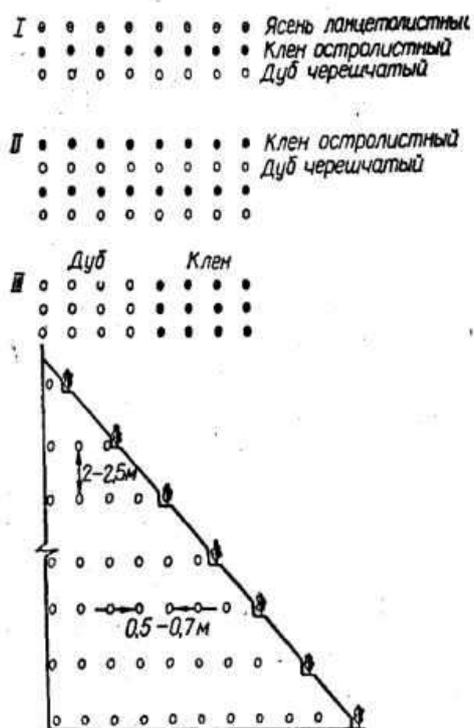


Рис. 4.11. Схема посадки древесных пород:

Подготовка поверхности террикона под посадку заключалась в поделке по всей его поверхности горизонтальных микротеррас через 2-2,5 м (рис. 4.12).



Рис.4.12. Микротеррасирование поверхности террикона №1

По нашим данным, отвальная порода имеет грубый гранулометрический состав (содержание фракции менее 1 мм около 20%), основной ее частью являлся крупнообломочный материал. Он представлен, главным образом, камнями и гравием, на долю которых в среднем приходилось до 75% общей массы. Плотность слоев колеблется в пределах 1,3—1,6 г/см<sup>3</sup>. Перегоревшая

сланцевая порода, расположенная ниже горизонта 30—50 см, имеет плотность 1,4 г/см<sup>3</sup>, средняя плотность твердой фазы составляет 2,71 г/см<sup>3</sup>. Общая пористость породы колеблется в пределах 43—50%. Аэрированность изменяется от 27 до 55%, что свидетельствует о хороших условиях для растений. Гигроскопическая влажность увеличивалась с глубиной с 2,25% до 5,07%. Максимальная гигроскопичность изменялась от 5,2 до 12,6%.

Значение величины рН на терриконе составляет 4—7,5 (диапазон от сильнокислой до слабощелочной среды). Сильнокислая реакция породы наблюдалась на среднем и нижнем ярусах склона западной экспозиции (лобовая часть террикона). Почти все образцы породы были засолены, поскольку плотный остаток везде был больше 0,3%. Содержание в образцах сульфат-иона, которым определяется засоление грунтов, колебалось в интервале 0,21—4,42%. Хлориды не играли значительной роли в засолении, их в образцах содержалось до 0,003%. В отвале присутствует кальций (0,046—0,493%), магний (0,026—0,612%) и натрий (0,003—0,435%). Основное место в почвенном поглощающем комплексе принадлежит катионам щелочно-земельных металлов.

Для агрохимической оценки породы террикона мы определили наличие подвижных форм азота, фосфора и калия, которые необходимы для питания растений. Выявлено, что обеспеченность подвижным фосфором недостаточна для нормального роста растений. Фосфор в кислой породе с железом и алюминием образует нерастворимые соединения. Наименьшее содержание фосфора (0,5 мг на 100 г) в слое толщиной 20—40 см среднего и нижнего ярусов склона западной экспозиции (лобовая часть террикона), где величина рН самая низкая (4,1 и 4). В 100 г породы отвала содержалось от 4,5 до 60 мг К<sub>2</sub>О, четкого распределения его по слоям не наблюдалось. В породе было мало легкогидролизуемого азота.



Рис.4.13. Саженьцы ясеня ланцетолистного к осени первого года жизни на терриконе

Нами построены математико-статистические модели сохранности всех лесонасаждений к осени первого года жизни на терриконе (рис. 4.13) в зависимости от обеспеченности доступными формами азота, фосфора, калия, от

кислотности и засоленности, содержания пылеватых частиц в отвальной породе (табл.4.7).

Таблица 4.7

Характеристика сохранности лоха узколистного и факторов, на нее влияющих

Сохранность, %	Легкогидролизуемый азот, мг/100г	Подвижный фосфор, мг/100г	Подвижный калий, мг/100г	рН	Засоленность, (SO <sub>4</sub> ), %	Содержание пылеватых частиц, %
58	2,8	2,7	15,0	6,5	0,93	1,6
50	3,9	1,7	10,0	5,6	0,90	1,0
43	5,0	0,7	4,5	4,7	0,83	0,4
43	13,0	1,0	3,5	4,5	0,83	0,5
40	21,2	0,9	2,5	4,2	0,85	0,6
58	15,4	3,7	11,2	5,8	0,94	2,6
47	28,0	3,7	7,0	5,0	1,25	1,6
47	2,8	2,7	16,0	6,5	0,93	1,6
57	9,3	4,7	17,0	6,7	0,95	3,2
59	15,8	6,7	18,0	6,9	0,96	4,9
60	25,0	6,5	15,0	6,4	1,30	3,6
62	35,0	6,4	11,5	5,9	1,65	2,6
50	9,5	4,5	13,2	6,1	0,90	3,7
57	19,3	4,3	10,5	5,9	1,10	1,3
52	2,8	2,7	16,0	6,5	0,93	1,6
47	3,0	2,5	12,0	5,9	0,89	2,1
43	3,2	2,3	8,5	5,3	0,85	2,6
48	3,4	2,2	9,0	5,6	0,68	1,3
53	3,6	2,2	9,5	5,9	0,51	0,0

Наибольшую площадь на терриконе занимали посадки лоха узколистного. Они полностью охватывали наиболее неблагоприятную южную половину террикона. Это обеспечило достаточно широкое варьирование изучаемых факторов. Сохранность лоха узколистного определялась к осени первого года жизни на 19 площадках, каждая из которых охватывала 100 растений. Обеспеченность осадками в год исследований находилась на уровне среднемноголетней. Исходные данные в границе их варьирования были разбиты на пять интервалов. В результате корреляционно-регрессионного анализа по методу Брандона был выбран наиболее оптимальный порядок исключения значащих факторов, обеспечивающий наиболее высокое множественное корреляционное отношение. Было рассчитано среднее значение функционала для интервалов разбиения независимых факторов, по которым нами были построены эмпирические графики каждого из изучаемых факторов (рис. 4.14). Эмпирические линии выравнены теоретическими линиями регрессии.

Анализ теоретических кривых позволял сделать вывод о том, что в наибольшей степени сохранность лоха узколистного зависит от содержания подвижного фосфора и кислотности отвальной породы:

$$Y_2 = 43 + 2,4P;$$

$$Y_4 = 34pH^{0,23},$$

где  $Y_2, Y_4$  - сохранность, %;  $P$  - содержание подвижного фосфора, мг/100 г породы;  $pH$  - кислотность.

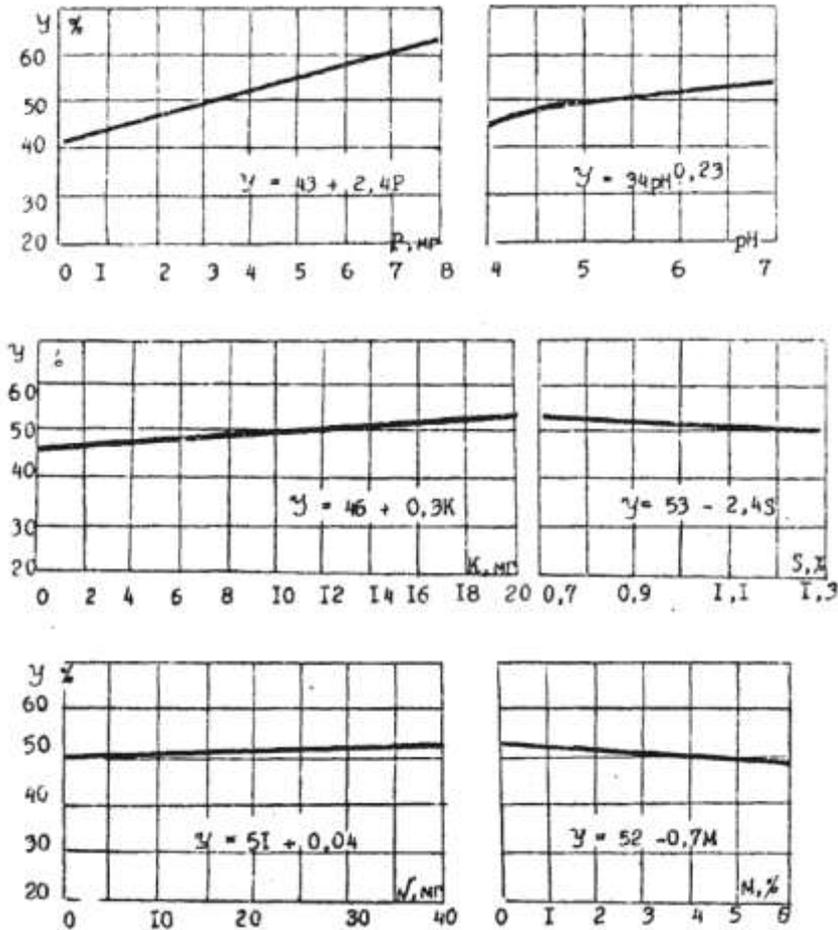


Рис. 4.14. Зависимость сохранности лоха узколистного ( $Y$ ) от содержания в породе подвижного фосфора ( $P$ ), калия ( $K$ ) и легкогидролизуемого азота ( $N$ ), от кислотности ( $pH$ ), засоленности ( $S$ ), содержания пылеватых частиц ( $M$ )

Величина сохранности была обратно пропорциональна засоленности грунта ( $S$ , %) и проценту содержания пылеватых частиц ( $M$ ):

$$Y_5 = 53 - 2,4S; \quad Y_6 = 52 - 0,7M$$

и прямо пропорциональна содержанию подвижного калия ( $K$ , мг/100 г), легкогидролизуемого азота ( $N$ , мг/100г породы):

$$Y_3 = 46 + 0,3K; \quad Y_1 = 51 + 0,04N.$$

В общем виде математико-статистическая модель сохранности лоха узколистного на терриконах выражалась уравнением регрессии:

$$Y = 9,6 \cdot 10^{-8} X_4^{0,23} (51 + 0,4X_1)(43 + 2,4X_2)(46 + 0,3X_3)(53 - 2,4X_5)(53 - 1,33X_6).$$

Полученная зависимость характеризовалась достаточно высоким коэффициентом детерминации (0,73), показывающим, что удельный вес влияния отобранных факторов в условиях года со среднемноголетней обеспеченностью осадками составлял 73%.

Значимость множественного корреляционного отношения была проверена по t-критерию Стьюдента. t расч. было равно 3,98 при t табл. для уровня 0,01, равном 2,9, т. е. t расч. > t табл., следовательно, множественное корреляционное отношение значимо.

Установленные количественные зависимости позволили составить номограмму прогноза сохранности лоха узколистного в зависимости от действия исследованных факторов (рис.4.15).

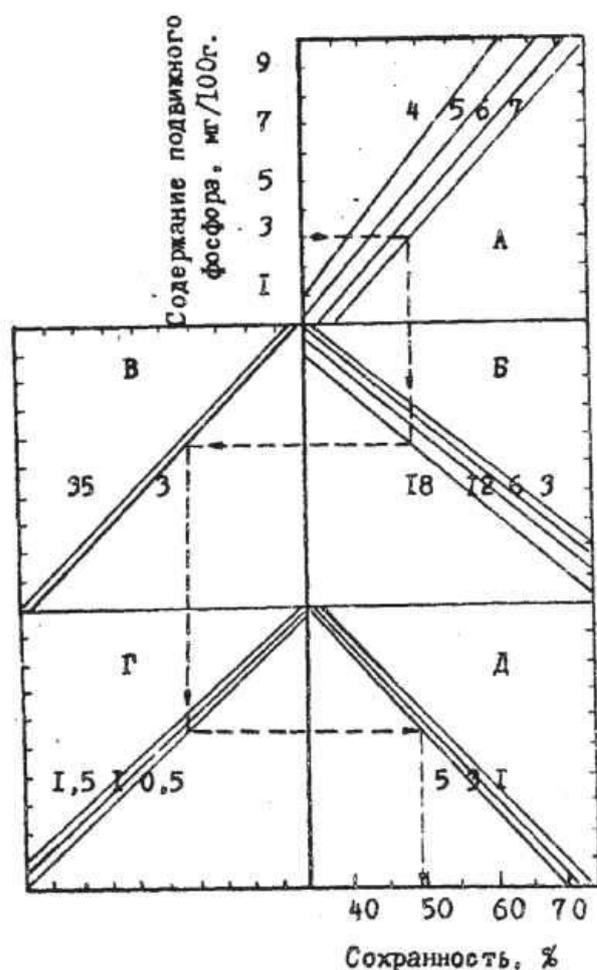


Рис.4.15. Номограмма определения величины сохранности лоха узколистного на терриконе: А - кислотность породы, рН; Б - содержание подвижного калия, мг/100 г; В - содержание легкогидролизуемого азота, мг/100 г; Г - засоленность, %; Д - содержание пылеватых частиц, %

Данные по приживаемости и сохранности насаждений через 10 лет, а также показатели роста представлены в табл. 4.8.

Сохранность и показатели роста лесонасаждений  
на терриконе через 10 лет после посадки

Древесная порода	Место посадки (экспозиция, ярус)	Приживаемость, %	Сохранность через 10 лет, %	Средняя высота, м	Средний диаметр у корневой шейки, см
лох узколистный	ЮВ, ЮЗ, верхний средний нижний	63	39	3,7	9,4
ясень ланцетолистный	СЗ, верхний средний	84	54	3,2	4,0
абрикос обыкновенный	СВ, нижний	92	82	4,05	7,6
сосна обыкновенная	СВ, нижний	23	растения погибли	-	-
дуб	СЗ, средний	75	71	3,1	7,5
клен		94	36	2,1	2,8
ясень		83	51	3,2	4,0
дуб черешчатый	СЗ, нижний	74	53	1,1	3,2

Сосна обыкновенная, страдающая от загазованности воздуха, полностью пропала. Погибли посадки лоха узколистного на засушливом, засоленном склоне юго-восточной экспозиции. Общая его сохранность составила 39%. Низкая сохранность (36%) наблюдается у требовательного к влаге и почвенному плодородию клена остролистного.

Очень хорошие показатели сохранности и роста (I бонитет) у абрикоса обыкновенного и, что удивительно, у дуба черешчатого, хотя известно, что в степных условиях даже на богатых почвах он растет не всегда хорошо. Значительно сказалось на показателях роста этой древесной породы смешение ее с породами-активаторами и ингибиторами. Высота дуба в смешении втрое больше высоты дуба в чистых рядах. Соответственно распределялись и их бонитеты (II - в смешении, IV - чистыми рядами). Хорошая сохранность и показатели роста (II бонитет) наблюдаются у ясеня ланцетолистного.

Таким образом, для создания биологически устойчивых лесонасаждений на терриконах подходит дуб черешчатый в смешении с породами-активаторами и ингибиторами, а также чистые насаждения ясеня ланцетолистного и абрикоса обыкновенного.

### *4.3.3. Характеристика фитоценоза террикона шахты им. М.Л. Рухимовича (г. Лисичанск, Луганская область)*

Террикон бывшей шахты им. М. Л. Рухимовича расположен в западной части Луганской области. Его эксплуатация прекращена более 50 лет назад. В 1988 году отвал переформирован из конического в плоский, а в 1989-1990 гг. облесен. Для посадок использовали абрикос обыкновенный, ясень ланцетолистный, лох узколистный, акацию белую, вяз перистоветвистый, тополь, тамариск.

Отвальная порода террикона перед проведением биологической рекультивации была нами обследована. Она имела грубый гранулометрический состав (на долю камней и гравия приходилось 35–75% общей массы), засолена (водорастворимых солей больше 0,3%). Характерной особенностью водной вытяжки являлось большое количество плотного остатка. Его содержание в образцах колебалось в пределах 0,73–1,76%. Определял засоление сульфат-ион (0,44–1,32%). Судя по отсутствию в породе шахтного отвала ионов  $\text{CO}_3^{2-}$ , в ней не было токсичных солей  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  и  $\text{MgCO}_3$ . Ионы  $\text{HCO}_3^-$  относились к нетоксичным, так как ионов  $\text{Ca}^{2+}$  в водной вытяжке было больше, чем  $\text{HCO}_3^-$ . Ионы  $\text{SO}_4^{2-}$  были обусловлены в породе террикона в большей степени присутствием нетоксичных солей  $\text{CaSO}_4$  и в меньшей -  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  и  $\text{MgSO}_4$ . Ионы  $\text{Cl}^-$  полностью относились к токсичным, поскольку были связаны с токсичными  $\text{NaCl}$ ,  $\text{MgCl}_2$ . Однако хлориды не играли значительной роли в засолении: содержание хлора во все образцах находилось в пределах 0,001-0,003%.

Засоление и концентрация воднорастворимых солей были тесно связаны с рН почвенного раствора (4,2–5,7), в связи с чем его состав пополнялся окислами железа и алюминия. Железо, как элемент с переменной валентностью, было представлено в породе отвала в формах  $\text{Fe}_2$  и  $\text{Fe}_3$ . Содержание закисного железа колебалось от 2,7 до 13 мг/100г породы, подвижного алюминия – от 0,06 до 1,26 мг\*экв. на 100 г.

С целью выяснения, все ли количество обменного железа и алюминия было токсично, определяли степень насыщенности поглощающего комплекса катионами  $\text{Ca}^{2+}$  и  $\text{Mg}^{2+}$ , так как легкоподвижные формы обменных Ca и Mg всегда являются антагонистами элементов, оказывающих вредное воздействие на растения. Степень насыщенности поглощающего комплекса этими катионами составляла 70–90% емкости обмена. В таких условиях даже большое содержание обменного Al и Fe было неопасно для культурных растений, потому что при усиленном кальциевом и магниевом питании в кислых породах террикона затруднялось поглощение растениями токсичных элементов.

На основании изложенного был сделан следующий вывод. При сильнокислой реакции в отвальной породе террикона будут создаваться условия для образования высоких концентраций подвижных форм Al и Fe, которые будут угнетать растительность и полезную микрофлору, но если увеличивать содержание элементов-антагонистов (Ca, Mg и др.), токсичное действие алюминия и железа будет ослабевать.

Кроме кальция и магния для нормального роста и развития растений жизненно необходимо множество различных питательных элементов и, конечно же, в первую очередь азот, фосфор и калий. Содержание подвижного фосфора колебалось в пределах 80–255 мг, калия – 6–66,8 мг на 1 кг породы. Азот поглощался корнями в нитратной и аммиачной форме. Его в породе отвала было соответственно 3–18,2 и 0,38–3,63 мг/100 г.

Все минеральные элементы выполняли в растении присущие им функции. В табл. 4.9 представлены данные, характеризующие зольность и содержание основных биогенных элементов саженцев двухлетних древесных пород-азотонакопителей – акации белой и лоха узколистного, произрастающих на терриконе.

Таблица 4.9

Содержание золы и основных биоэлементов в различных частях двухлетних модельных растений, %

Древесная порода	Анализируемая часть растения	Экспозиция склона	Зольность	Ca	CaO	Mg	Fe	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	Na	
Акация белая	листья	З	19,17	1,76	2,46	0,96	0,0036	2,59	0,32	1,20	0,20	
		С	6,08	1,44	2,01	0,82	0,0018	3,79	0,21	0,87	0,14	
		В	8,50	0,96	1,34	1,06	0,0030	2,94	0,40	1,55	0,20	
		ветви	З	4,55	0,60	0,84	0,48	0,0030	0,93	0,22	1,32	0,11
		С	3,23	0,76	1,06	0,24	0,0010	1,84	0,17	0,91	0,12	
		В	5,06	0,52	0,73	0,80	0,0018	0,98	0,40	1,58	0,11	
		корни	З	16,30	0,32	0,45	0,36	0,1550	1,74	0,22	1,32	0,14
		С	4,25	0,40	0,56	0,29	0,0068	2,04	0,21	0,64	0,10	
		В	7,43	0,48	0,67	0,46	0,0068	1,19	0,14	1,28	0,35	
		листья	СЗ	11,47	0,56	0,78	0,76	0,1080	3,54	0,34	1,47	0,14
	Лох узколистный	ветви	СЗ	2,21	0,20	0,28	0,19	0,0034	0,89	0,19	0,64	0,06
		корни	СЗ	2,34	0,24	0,34	0,19	0,0034	1,21	0,21	0,67	0,08

Наибольшей зольностью обладали листья (6,08–19,17%). Примерно в 3 раза меньше она была у ветвей (2,21–5,06%). Наличие основных биоэлементов (N, P, K) сильно варьировало. В обследуемых древесных породах было достаточно азота. Больше всего его в листьях (акация белая – 2,59–3,79, лох узколистный – 3,54%). Максимальное (до 1,58%) количество калия наблюдалось в листьях и ветвях акации белой на склонах восточной экспозиции, минимальное (0,64%) – в ее листьях и корнях на склонах северной экспозиции. Это прямо пропорционально наличию калия в образцах грунта с этих же экспозиций. Содержание натрия в растительных пробах с отвала колебалось в незначительных пределах (0,06–0,20%). Накопление магния

растениями имеет свои особенности. Более всего его обнаружено в листьях, затем в порядке убывания – в ветвях и корнях.

К. А. Тимирязев отмечал, что растение может содержать известные вещества не потому, что они для него необходимы, а потому только, что они находятся в почве. В породе отвала на склонах западной экспозиции количество окисного железа достигало 64,6 мг на 1 кг сухого вещества. Только этим можно было объяснить наличие 1550 мг/кг железа в корнях акации при 250 мг/кг в нормальных условиях.

Склоны этой экспозиции также были сильно засолены. При этом уровне засоления растения не справлялись с высоким осмотическим давлением почвенного раствора, что уменьшало поступление воды, а вместе с ней и различных ионов в ткани растений. Поэтому здесь наблюдались значительные признаки угнетения двухлетних саженцев акации (табл. 4.10, рис. 4.16).

Таблица 4.10

Показатели роста древесных пород

Экспозиция склона	Высота ( $M \pm m$ ), м	Площадь листовой пластины ( $M \pm m$ ), см <sup>2</sup>
	Акация белая	
С	2,23 ± 0,10	4,77 ± 0,30
З	0,77 ± 0,11	4,86 ± 0,61
В	2,78 ± 0,12	7,40 ± 0,30
	Лох узколистный	
СЗ	1,60 ± 0,06	6,14 ± 0,31



Рис. 4.16. Двухлетнее растение акации белой, произрастающей на склоне западной экспозиции

В условиях данного породного отвала двухлетняя акация показывала высокую зависимость роста и развития от экспозиции и свойств отвальной породы. В целом же протяженность ее кроны с севера на юг превышала протяженность кроны с запада на восток. Глубина залегания корней составляла от 10 до 60 см. На всех экспозициях расположение корневой системы было неглубокое, что объяснялось уменьшением влажности с увеличением глубины.

Лох узколистный произрастал на склоне северо-западной экспозиции. Протяженность его кроны с запада на восток была меньше, чем с севера на юг. Форма ствола сбежистая. Максимальная глубина залегания корней 40 см, начало боковых отмечено с глубины 12 см. Корневая система была ориентирована с запада на восток.

На 2008 год проективное покрытие растительностью террикона бывшей шахты им. М. Л. Рухимовича составляет 100%. Фитоценоз представлен лесными насаждениями из следующих древесных и кустарниковых пород: акация белая, вяз перистоветвистый, лох узколистный, тополь, тamarиск и др. Большая часть площади поверхности отвала занята насаждениями акации белой. Древостой здесь характеризуется простой формой. Насаждения представлены одной культурой, то есть имеют состав 10 Ак, сомкнутость крон составляет 0,9. Известно, что в десятилетнем возрасте деревья имели среднюю высоту 5,5 м и характеризовались как насаждения первого бонитета.

Нами определены высота и диаметр, которыми в настоящее время характеризуются деревья на отвале шахты им. М. Л. Рухимовича. Средняя высота их достигает 8 м. Ниже представлены статистические характеристики вариационного ряда диаметра ствола деревьев акации белой по состоянию на июль 2008 г.: средняя арифметическая  $X_{cp} = 9,45$  см; дисперсия  $s^2 = 17,76$ ; коэффициент вариации  $v = 45\%$ ; абсолютная ошибка выборочной средней  $s_x = 0,75$ ; относительная ошибка  $s_{x\%} = 7,88\%$ .

Доверительный интервал генеральной средней для 5%-ного уровня значимости при  $n - 1 = 32 - 1 = 31$  степенях свободы вариации ( $t_{05} = 2,04$ )

$$X_{cp} \pm t_{05} s_x = 9,45 \pm 2,04 * 0,75 = 9,45 \pm 1,53 = (7,92 \div 10,98).$$

Таким образом, среднее арифметическое всей совокупности с 95%-ным уровнем вероятности находится в интервале  $7,92 \div 10,98$  см, абсолютная ошибка выборочной средней – 0,75 см, относительная ошибка – 7,88%; коэффициент вариации диаметра ствола – 45%.

Существует оценка соответствия нормальному закону распределения (достоверности данных) по коэффициенту вариации. Однако в нашем случае он несколько завышен, то есть более 33%. Так как оценка нормальности распределения по коэффициенту варьирования является «прикидочной», соответственно возможность принятия гипотезы нормального распределения проверена нами с помощью показателей асимметрии и эксцесса. По нашим расчетам,  $A = 0,23$ ;  $E = 0,01$ ;  $3\sigma_a = 1,3$ ;  $3\sigma_e = 2,6$ . Соблюдены условия  $A < 3\sigma_a$ ,  $E < 3\sigma_e$ , что свидетельствует о возможности принятия гипотезы нормального распределения.

Для дополнительного подтверждения гипотезы нами построена гистограмма распределения деревьев акации белой по диаметрам ствола (рис. 4.17).

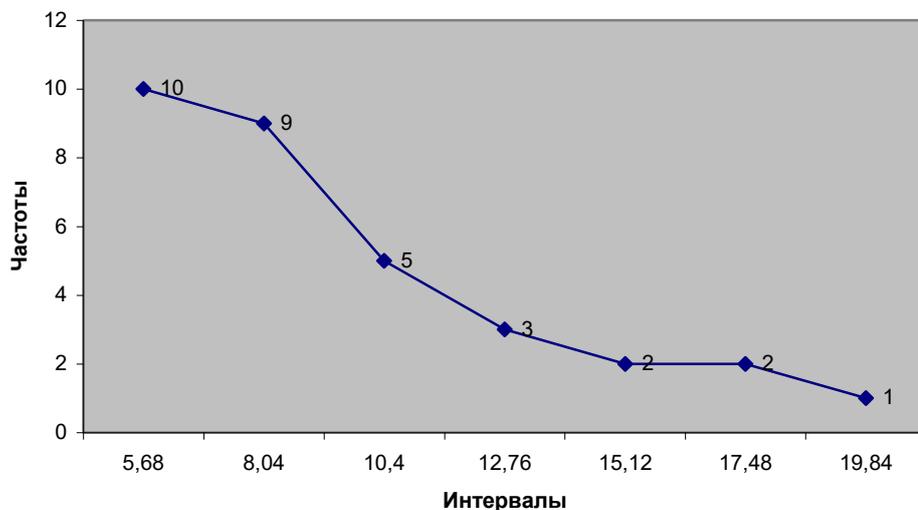


Рис. 4.17. Кривая распределения насаждений акации белой по диаметрам ствола

На основании эмпирических интервальных частот нами с помощью: плотности вероятности нормированного нормального распределения

$$f(t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-t^2/2} \quad (\text{первый способ}) \quad \text{и} \quad \text{интеграла вероятности}$$

$$\Phi(t) = \frac{2}{\sqrt{2\pi}} \int_0^t e^{-t^2/2} dt \quad (\text{второй способ}) \quad \text{рассчитаны теоретические частоты}$$

(табл. 4.11).

Таблица 4.11

Расчет теоретических частот нормального распределения

i	Исходные границы интервалов		Среднее значение интервалов, $\tilde{x}_i$	Эмпирические частоты, $m_i$	Новые границы		$t_i$	$f(t_i)$	$\tilde{m}_i$	$\Phi(t_{i-1})$	$\Phi(t_{i+1})$	$P_i$	$\tilde{m}_i$
	$x_{i-1}$	$x_{i+1}$			$t_{i-1}$	$t_{i+1}$							
2.36	4,50	6,86	5,68	10	-1,18	-0,62	-0,9	0,266	4,77	0,762	0,464	-0,149	-4,768
	6,86	9,22	8,04	9	-0,62	-0,05	-0,34	0,376	6,75	0,465	0,040	-0,212	-6,784
	9,22	11,58	10,40	5	-0,05	0,51	0,23	0,388	6,97	0,040	0,399	0,35	11,200
	11,58	13,94	12,76	3	0,51	1,07	0,79	0,292	5,24	0,399	0,715	0,163	5,216
	13,94	16,30	15,12	2	1,07	1,63	1,35	0,160	2,88	0,715	0,897	0,09	2,880
	16,30	18,66	17,48	2	1,63	2,19	1,91	0,064	1,16	0,897	0,972	0,037	1,184
	18,66	21,02	19,84	1	2,19	2,75	2,47	0,019	0,34	0,972	0,986	0,008	0,256

Оценка расхождения между эмпирическими и теоретическими интервальными частотами выполнена нами с помощью  $\chi^2$  - критерия Пирсона (табл.4.12, 4.13).

Таблица 4.12

Оценка расхождения между эмпирическими и теоретическими (первый способ) частотами

Эмпирические частоты $m_i$	Теоретические частоты $m\tilde{}_i$	$(m_i - m\tilde{}_i)^2 / m\tilde{}_i$
10	4,773	5,724
9	6,754	0,747
5	6,969	1,449
3	5,238	
2	2,877	
2	1,155	0,09
1	0,339	

$$\Sigma=8,01=\chi^2$$

Таблица 4.13

Оценка расхождения между эмпирическими и теоретическими (второй способ) частотами

Эмпирические частоты $m_i$	Теоретические частоты $m\tilde{}_i$	$(m_i - m\tilde{}_i)^2 / m\tilde{}_i$
10	4,768	5,741
9	6,784	0,724
5	11,2	4,315
3	5,216	
2	2,88	
2	1,184	0,107
1	0,256	

$$\Sigma=10,887=\chi^2$$

Фактический  $\chi^2 > \chi_{кр}^2(\alpha, \nu)$ , то есть принимается гипотеза  $H_1$ .

#### 4.3.4. Характеристика фитоценоза отвала шахты 19-го партсъезда (поселок Сутоган, Лутугинский район, Луганская область)

Данный объект (рис. 4.18) состоит из двух примыкающих друг к другу отвалов. Исследовался отвал № 2, имеющий высоту 30 м. Рекультивация исследуемого террикона выполнена более 25 лет назад (в 1982-1983 гг.) лабораторией рекультивации земель Украинского НИИ защиты почв от эрозии. Горнотехнический этап рекультивации был выполнен по способу Донецкого ботанического сада с понижением высоты и нанесением потенциально плодородного грунта на плоскую вершину.

Биологический этап рекультивации заключался в высадке однолетних саженцев древесных пород на всей поверхности отвала. Озеленение проводилось саженцами акации белой (*Robinia pseudoacacia*) на склонах террикона, а также абрикоса обыкновенного (*Armeniaca vulgaris* Lam.), груши обыкновенной (*Pirus communis* L.) и акации белой на плоской вершине.



Рис. 4.18. Терриконики шахты 19-ого партсъезда поселка Сутоган: 1-4 – терриконик № 2 (1 - плато, 2- северный, 3 – западный, 4 – южный склоны); 5- терриконик № 1; 6 – трасса Луганск-Алчевск

В настоящее время вся поверхность отвала покрыта древесными насаждениями, под пологом которых произрастают более 20 видов травянистых растений: донник лекарственный (*Melilotus officinalis* (L.) Pall.), подорожник ланцетолистный (*Plantago lanceolata* L.), лапчатка восточная (*Potentilla orientalis* Juz.), пырей ползучий (*Elytrigia repens* (L.) Nevski), льнянка понтийская (*Linaria pontica* Ruprian), тысячелистник степной (*Achillea stepposa* Klok.), сокирки полевые (*Consolida regalis* S.F. Gray), горошек мышиный (*Vicia cracca* L.) и др.

Ниже представлены данные обследования эдафических условий, в которых в настоящее время существует искусственный фитоценоз рекультивированного отвала (табл.4.14, 4.15).

Таблица 4.14

Объемная масса отвальной породы по экспозициям (г/см<sup>3</sup>)

Глубина замера	Место замера				Средняя по глубине измерения
	Вершина	Северный склон	Южный склон	Западный склон	
0-10	1,23	1,25	1,25	1,21	1,24
10-20	1,24	1,26	1,25	1,24	1,25
20-30	1,17	1,23	1,25	1,24	1,22
30-40	1,23	1,26	1,35	1,35	1,30
Средняя	1,22	1,25	1,27	1,26	1,25

Таблица 4.15

Водопроницаемость отвальной породы по экспозициям (мм/мин)

№ опыта	Место проведения опыта			
	вершина	северный склон	южный склон	западный склон
1	1,25	7,09	22,75	8,29
2	0,86	11,67	29,57	8,13
3	0,96	7,77	17,98	8,55
Средняя	1,02	8,85	23,43	8,32

Данные по водопроницаемости и объемной массе отвальной породы были обработаны с помощью методов корреляционно-регрессионного анализа.

Таким образом, формулы:

$$Y_s(\rho) = 30133,82 - 70239,74 \cdot \rho + 54593,4 \cdot \rho^2 - 14154,34 \cdot \rho^3, \quad (1)$$

$$Y_t(\rho) = \frac{1,25 + (\rho - 1,84)}{(2,49 - 2,14 \cdot \rho)} \quad (2)$$

отражают эмпирические зависимости водопроницаемости отвальной породы от ее плотности для склонов ( $Y_s(\rho)$ ) и вершины ( $Y_t(\rho)$ ) террикона соответственно. Коэффициент корреляции приведенных зависимостей 0,98.

Зависимости (1), (2) представлены на рис. 4.19 в виде графиков.

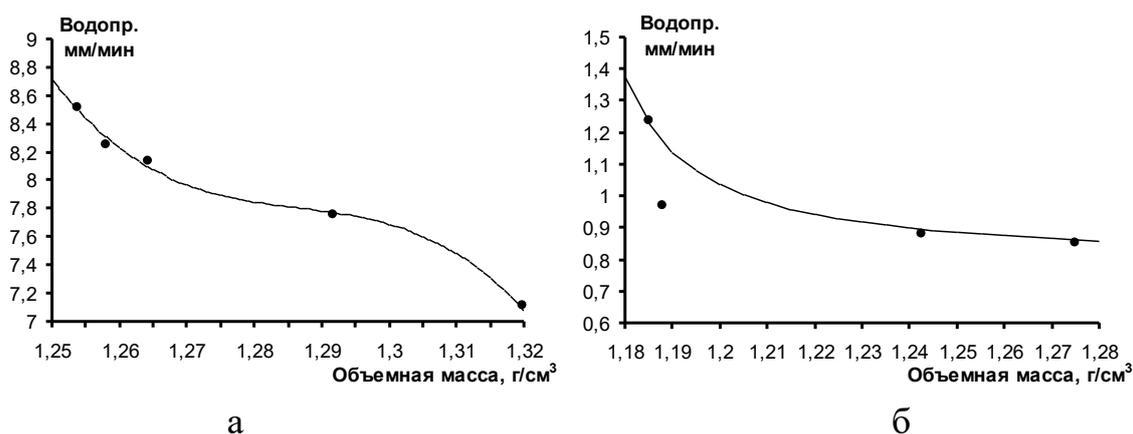


Рис. 4.19. Зависимость водопроницаемости отвальной породы от ее плотности: а – склоны, б – вершина.

В табл. 4.16 представлено содержание азота, фосфора и калия (NPK). Содержание кальция, магния и алюминия представлено на рис.4.20.

Таблица 4.16

Содержание NPK в почвогрунте и породе отвала, мг/100 г почвы

Вещества	Вершина	Южный склон	Западный склон	Северный склон,
Калий	3,5	2,25	1,25	1,5
Нитриты	0,035	0,042	0,15	0,14
Нитраты	1,66	8,35	0	7,66
Фосфаты	0,28	0,09	0,25	0,15

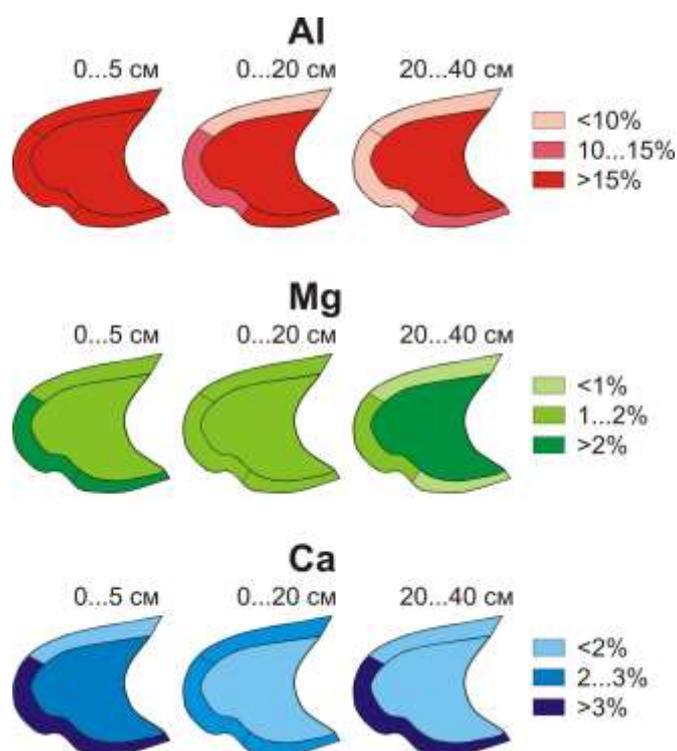
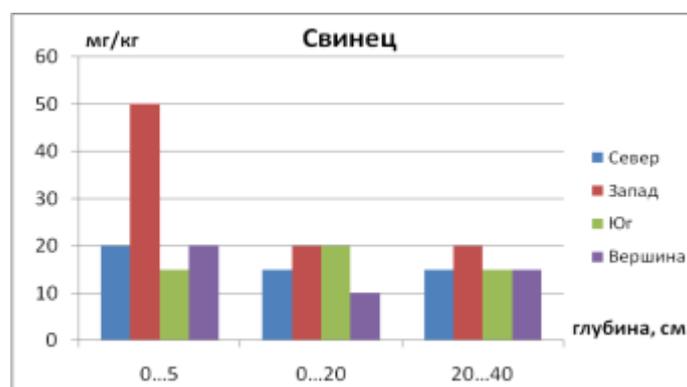


Рис. 4.20. Картограмма содержания кальция, магния и алюминия на плоской вершине и склонах различных экспозиций породного отвала

На рис. 4.21 представлено содержание свинца и меди на плоской вершине и откосах шахтного отвала.



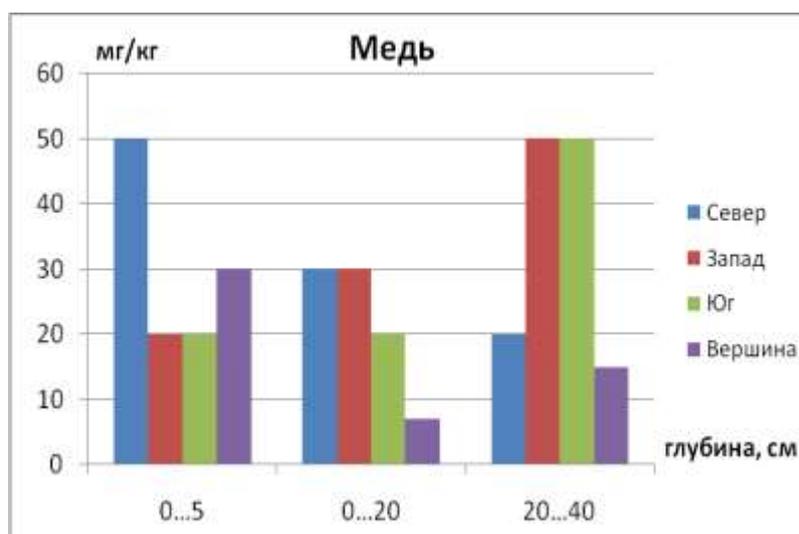


Рис. 4.21. Содержание тяжелых металлов в отвальной породе

В табл. 4.17 представлена оценка экологической ситуации по загрязнению отвальной породы шахтного отвала свинцом и медью.

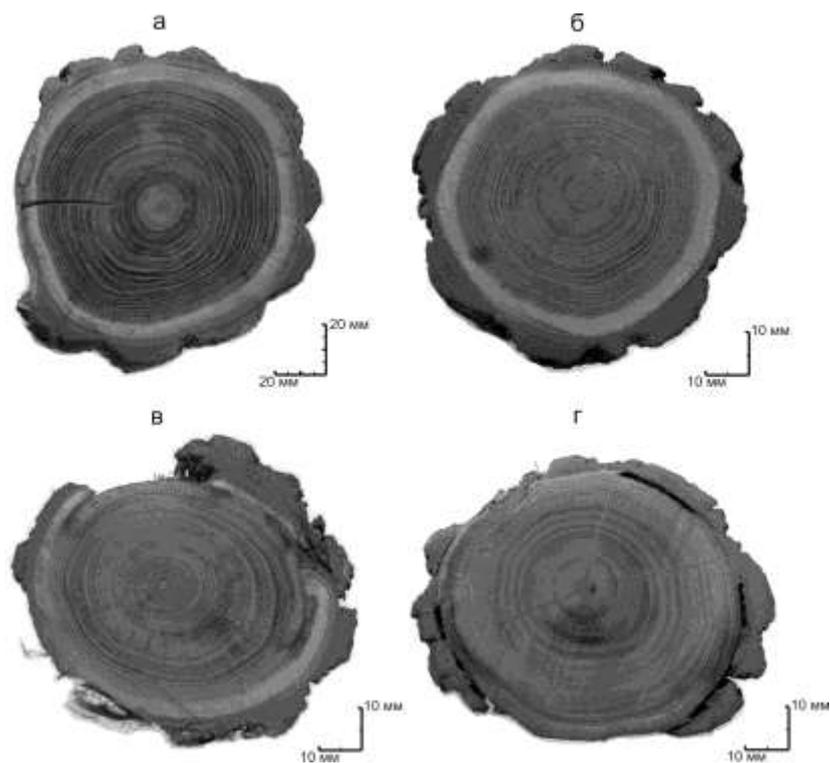
Таблица 4.17

Экологическая ситуация по загрязнению породы шахтного отвала тяжелыми металлами

Экспозиция	Глубина отбора пробы	Фактическое содержание, мг/кг	Отношение факт. содерж. к кларку	Оценка экологической ситуации	Отношение факт. содерж. к ПДК вал.	Оценка экологической ситуации	Отношение факт. содерж. к ПДК подв. формы	Оценка экологической ситуации
С	0-5	20	2	удовл.	0,63	удовл.	7	кризисная
С	0-20	15	1,5	благопол.	0,47	благопол.	5,25	кризисная
С	20-40	15	1,5	благопол.	0,47	благопол.	5,25	кризисная
З	0-5	50	5	кризисная	1,56	предкризисн	17,5	катастроф.
З	0-20	20	2	удовл.	0,63	удовл.	7	кризисная
З	20-40	20	2	удовл.	0,63	удовл.	7	кризисная
Ю	0-5	15	1,5	благопол.	0,47	благопол.	5,25	кризисная
Ю	0-20	20	2	удовл.	0,63	удовл.	7	кризисная
Ю	20-40	15	1,5	благопол.	0,47	благопол.	5,25	кризисная
Верх.	0-5	20	2	удовл.	0,63	удовл.	7	кризисная
Верх.	0-20	10	1	благопол.	0,31	благопол.	3,5	кризисная
Верх.	20-40	15	1,5	благопол.	0,47	благопол.	5,25	кризисная
С	0-5	50	2,5	удовл.	0,91	удовл.	8,33	кризисная
С	0-20	30	1,5	благопол.	0,55	удовл.	5,00	кризисная
С	20-40	20	1	благопол.	0,36	благопол.	3,33	кризисная
З	0-5	20	1	благопол.	0,36	благопол.	3,33	кризисная
З	0-20	30	1,5	благопол.	0,55	удовл.	5,00	кризисная

Экспозиция	Глубина отбора пробы	Фактическое содержание, мг/кг	Отношение факт. содерж. к кларку	Оценка экологической ситуации	Отношение факт. содерж. к ПДК вал.	Оценка экологической ситуации	Отношение факт. содерж. к ПДК подв. формы	Оценка экологической ситуации
З	20-40	50	2,5	удовл.	0,91	удовл.	8,33	кризисная
Ю	0-5	20	1	благопол.	0,36	благопол.	3,33	кризисная
Ю	0-20	20	1	благопол.	0,36	благопол.	3,33	кризисная
Ю	20-40	50	2,5	удовл.	0,91	удовл.	8,33	кризисная
Верх.	0-5	30	1,5	благопол.	0,55	удовл.	5,00	кризисная
Верх.	0-20	7	0,35	благопол.	0,13	благопол.	1,17	предкриз.
Верх.	20-40	15	0,75	благопол.	0,27	благопол.	2,50	кризисная

С целью анализа современного состояния древесных насаждений нами были отобраны модельные деревья акации белой с каждой экспозиции и плоской вершине. С каждого модельного дерева отбирались поперечные срезы. Для четкости годичных слоев срезы шлифовались и лакировались. На рис.4.22 представлены срезы стволов акации белой со склонов и вершины.



а – вершина; б – южный склон; в – западный склон; г – северный склон

Рис. 4.22. Срезы стволов акации белой с различных экспозиций

Нами были промерены текущие приросты по диаметру всех модельных деревьев за их период роста. В табл.4.18 представлены средние значения замеров текущих приростов по диаметру модельных деревьев с вершины и

склонов. Данные были получены путем усреднения замеренных годовичных слоев по четырем направлениям со среза каждого модельного дерева.

Высадка однолетних саженцев акации белой на данном терриконике осуществлялась 24 года назад, что соответствует полученным данным подсчета годовичных колец срезов модельных деревьев с вершины, северного и южного склонов. На срезе с западного склона количество годовичных колец соответствует 23, что свидетельствует о том, что биологический этап рассматриваемого отвала, осуществлялся в течение 2-х лет, и высадка саженцев на этом склоне проводилась годом позже.

По данным, приведенным в табл. 4.18, можно сделать заключение, что самой неблагоприятной экспозицией для произрастания древостоя, в частности, акации белой, следует считать южный склон отвала. Это вызвано рядом причин, связанных с особенностями рельефа террикона в совокупности с влиянием погодных условий. Так, южный склон имеет крутой угол откоса 35 - 45°. Плодородный слой, попадавший с вершины, а также из посадочных ям высаживаемых саженцев, по большей части смывался. И в настоящее время почвогрунт южного склона преимущественно состоит из выработанной породы. Также южный склон имеет большую освещенность солнцем, приводящую к его большому нагреву и испарению имеющейся в почвогрунте влаги, условия увлажнения здесь близки к сухостепным, что негативно сказывается на увеличении толщины годовичных слоев. В связи с этим средние значения текущих приростов по диаметру южной экспозиции являются наименьшими.

Наибольший прирост годовичных колец наблюдается на срезе модельного дерева с плоской вершины отвала, что объясняется нанесением плодородного слоя на поверхность при проведении биологического этапа рекультивации терриконика, а также более равномерным распределением осадков по плоской поверхности.

Таблица 4.18

Средние значения замеров текущих приростов по диаметру

Год прироста	Средние значения текущих приростов по диаметру по экспозициям			
	вершина	северный склон	южный склон	западный склон
1	2,87	1,56	0,78	—
2	3,83	4,79	5,70	2,25
3	2,09	3,39	2,01	0,76
4	2,72	3,93	1,21	1,21
5	2,39	2,47	1,28	0,65
6	2,84	0,80	1,16	1,15
7	2,06	2,13	2,18	1,12
8	3,19	0,76	1,49	1,09
9	3,09	2,19	1,16	1,86

10	2,67	1,01	0,65	1,81
11	3,49	1,06	0,65	2,34
12	3,64	0,71	0,85	1,88
13	2,01	1,00	0,90	1,96
14	2,07	1,55	0,665	1,82
15	2,24	1,48	0,735	1,33
16	2,48	0,81	0,645	0,91
17	2,20	1,02	0,835	1,21
18	1,75	0,74	0,75	0,90
19	1,52	1,07	0,63	0,75
20	1,62	0,65	0,645	0,88
21	1,45	0,54	0,74	0,85
22	1,27	0,46	0,755	0,97
23	1,58	0,40	0,77	0,90
24	2,625	0,42	1,98	2,19

Северный и западный склоны более пологие и имеют высокую плотность лесонасаждений, условия увлажнения приближаются к лесостепным, что приводит к более высоким значениям толщины приростов по диаметру модельных деревьев, чем на южном склоне. Однако полученные данные также неравномерны с течением времени, что может быть вызвано сложившимися погодными условиями данной местности за период произрастания древостоя.

Для отобранных по экспозициям модельных деревьев были построены гистограммы и соответствующие им полигоны, отражающие функцию плотности годовичного прироста по диаметру исследованных деревьев. Пример таких построений для среза модельного дерева с плоской вершины отвала представлен на рис.4.23.

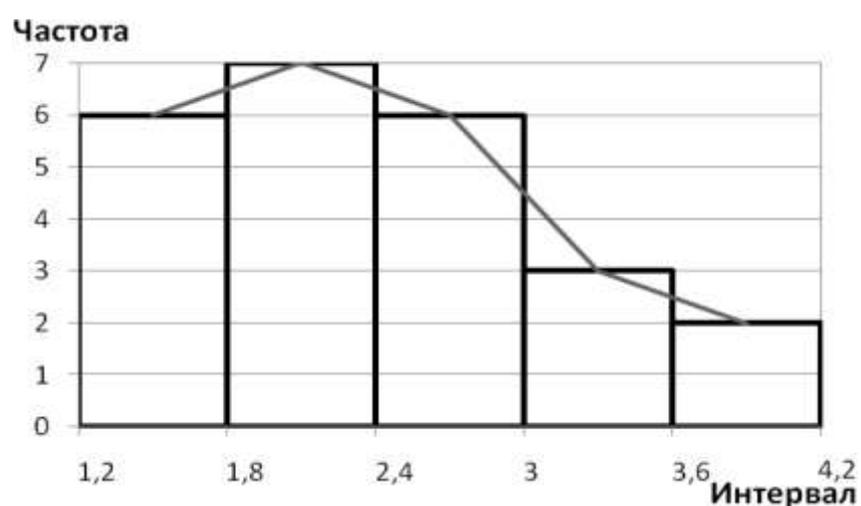


Рис. 4.23. Гистограмма и полигон для модельного дерева с вершины отвала

Данные текущего прироста по диаметру всех модельных деревьев были обработаны статистически и представлены в табл. 4.19. Полученные данные замеров толщины годичных слоев модельных срезов с вершины и западного склона соответствуют закону нормального распределения. Данные с южного и северного склонов соответствуют логарифмически нормальному распределению.

Нами проведено сравнение текущих приростов по диаметру модельных деревьев в зависимости от местоположения на отвале (табл. 4.20).

Таблица 4.19

Статистические характеристики количественной изменчивости приростов по диаметру акации белой

Показатели	Значения			
	вершина	северный склон	южный склон	западный склон
Среднее арифметическое $\bar{x} = \left( \sum_{i=1}^n x_i \right) / n$ , мм	2,4	0,13	0,024	1,34
Дисперсия, мм <sup>2</sup> $S^2 = \left( \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \right) / (n-1)$	0,51	0,49	0,28	0,37
Среднее квадратическое отклонение $S = \sqrt{S^2}$ , мм	0,71	0,7	0,53	0,61
Коэффициент вариации $V = \frac{S}{\bar{x}} \times 100\%$ , %	29,71	557	2224,62	45,78
Абсолютная ошибка $S_{\bar{x}} = S / \sqrt{n}$	0,15	0,14	0,11	0,13
Относительная ошибка $S_{\bar{x}\%} = \frac{S_{\bar{x}}}{\bar{x}} \times 100\%$ , %	6,1	113,7	454,1	9,55
Доверительный интервал $\bar{x} \pm t \cdot S_{\bar{x}}$	2,4±0,31	0,13±0,29	0,02±0,23	1,34±0,27
Асимметрия $A = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^3}{n \cdot \sigma_A^3}$	0,3	0,43	1,47	-0,1
Экцесс $E = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^4}{n \cdot \sigma_E^4} - 3$	-2,26	-2,27	-2,29	-2,54

Сравнение текущих приростов по диаметру модельных деревьев  
в зависимости от местоположения на отвале

Сравнение модельных деревьев по экспозициям	$t_{\phi}$	$t_{\text{теор}}$	Результат сравнения
В - С	11,19	1,96	$t_{\phi} > t_{\text{теор}}$
В - Ю	13,14	1,96	$t_{\phi} > t_{\text{теор}}$
В - З	5,5	1,96	$t_{\phi} > t_{\text{теор}}$
С - Ю	0,57	1,96	$t_{\phi} < t_{\text{теор}}$
З - С	6,34	1,96	$t_{\phi} > t_{\text{теор}}$
З - Ю	7,87	1,96	$t_{\phi} > t_{\text{теор}}$

Для определения существенности различий между двумя выборочными совокупностями используется критерий Стьюдента, согласно которому предварительно нами рассчитанное значение статистики  $t_{\phi} = (\bar{x}_1 - \bar{x}_2) / \sqrt{S_{\bar{x}_1}^2 + S_{\bar{x}_2}^2}$  сравнивалось с табличной статистикой, имеющей распределение Стьюдента. Нами была выдвинута нулевая гипотеза  $H_0$  о том, что между двумя выборками нет существенных различий. Нулевая гипотеза подтверждается при  $t_{\phi} \geq t_{\text{теор}}$ , соответственно при  $t_{\phi} < t_{\text{теор}}$  нулевая гипотеза отвергается и принимается альтернативная гипотеза  $H_1$ , которая говорит о том, что между выборочными совокупностями имеются существенные различия [86].

Рассмотрим основные показатели роста акации белой на указанном отвале. Диаметры стволов бóльшей части деревьев находятся в диапазоне от 70 до 90 мм (рис. 4.24), при высоте около 5 - 6 м. Из полученных данных видно, что лесонасаждения акации белой, произрастающей на исследуемом терриконе, соответствуют III бонитету. В то же время рост акации белой на поверхности террикона неравномерный, и выявляется существенная зависимость размеров текущих приростов по диаметру срезов стволов от места произрастания на отвале.

Нами были измерены приросты по диаметру срезов модельных деревьев акации белой возрастом 24 года. Средний годовой прирост за весь жизненный цикл модельных деревьев с вершины отвала, а также его западного, северного и южного склонов составил соответственно: 2,4; 1,34; 1,45 и 1,17 мм.

Так, на южном склоне отвала диаметры стволов акации белой имели наименьшие размеры. Напротив, для плоской вершины отвала характерны наибольшие значения диаметров стволов исследуемых лесонасаждений. Относительно высокую плотность лесонасаждений, по сравнению с южным склоном, имеют северный и западный склоны отвала. Здесь, в связи с более пологими углами откосов, эрозионные процессы выражены в меньшей степени, благодаря чему за время произрастания лесонасаждений на отвале успел сформироваться почвенный плодородный слой. Достаточная увлажненность

почвогрунта способствовала формированию благоприятных условий для произрастания древостоя, сходных с таковыми в лесостепных зонах.

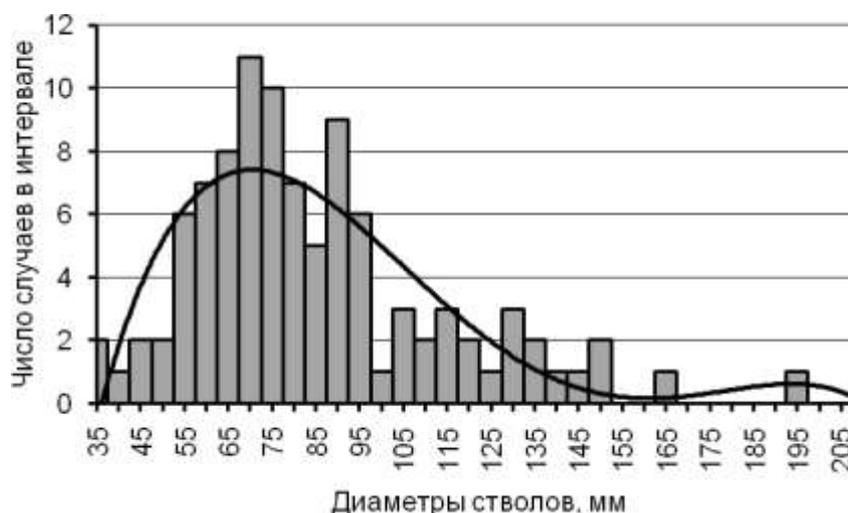


Рис. 4.24. Количественные характеристики измерений диаметров стволов акации белой: 1 – гистограмма измерений, 2 – кривая функции распределения

Средние значения ширины годичных колец модельных деревьев стандартизованы (переведены в индексные ряды прироста), и получена обобщенная хронология. Для этого использовалось выражение:

$$I_t = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{(\bar{x}_t)_i}{(\bar{r}_d)_i}, \quad (1)$$

где  $I_t$  - индекс прироста  $t$ -го года;  $n$  – число модельных деревьев;  $(\bar{x}_t)_i$  - средняя ширина  $t$ -го годичного кольца  $i$ -го модельного дерева;  $(\bar{r}_d)_i$  - средний радиус среза  $i$ -го модельного дерева.

Ближайшая метеорологическая станция находится в г. Луганске, на территории Луганского национального аграрного университета, в 18 км от места сбора образцов на терриконике поселка Сутоган. Период хронологического сопоставления погодных данных и индексов прироста соответствует 1983-2006 гг.

Перейдем к анализу влияния погодных факторов на радиальный прирост модельных деревьев. Данный анализ основан на широко известном в дендроклиматологии методе функций отклика [87]. Суть последнего заключается в оценке значения коэффициента корреляции между индексами прироста и среднемесячными значениями температуры воздуха и количества осадков. Для определения коэффициентов корреляции использовалась широко известная в математической статистике формула:

$$R_{x,y} = \frac{1}{s_x s_y} \frac{1}{k-1} \sum_{j=1}^k (x_j - \bar{x})(y_j - \bar{y}). \quad (2)$$

Здесь  $R_{x,y}$  – коэффициент корреляции между величинами  $x$  и  $y$ ;  $k$  – число пар;  $\bar{x}$ ,  $\bar{y}$  – средние для данных переменных  $x$  и  $y$ ;  $s_x, s_y$  – стандартные отклонения для распределений  $x$  и  $y$ .

Множество коэффициентов корреляции  $R_{I,f}$  (где  $I$  – погодичные индексы прироста исследуемого периода;  $f = (T, P)$  – соответственно температуры воздуха и количество осадков исследуемого периода по месяцам), суть функции отклика. С помощью рассчитанных коэффициентов корреляции оценивался относительный вклад каждой климатической переменной в изменчивость индексов прироста. Расчеты проводились для периода года, благоприятствующего росту деревьев. Таковым, как правило, является период со среднесуточными температурами воздуха  $10^\circ\text{C}$  и выше.

Полученные нами результаты представлены на рис. 4.25. Очевидно, что представленные ряды содержат климатический сигнал. Так, прирост деревьев в мае, июне и октябре положительно коррелирует с температурой ( $R = 0,06\text{--}0,26$ ).

В наибольшей степени это выражено для температур мая. Тепловой режим в данный период положительно сказывается на ростовых процессах (процессы метаболизма в живых тканях, дыхание и т. д.), что в итоге отражается на формировании древесного кольца.

Количество осадков в начальный период роста (в мае) также положительно сказывается на приросте модельных деревьев ( $R = 0,16$ ), так как в это время деревья испытывают повышенную потребность в увлажнении. Высокая же температура июля и августа отрицательно сказывается на росте акации белой. Количество выпадающих осадков в это время становится лимитирующим фактором роста. Так, для августа коэффициент корреляции радиального прироста от количества осадков  $R = 0,06$ .

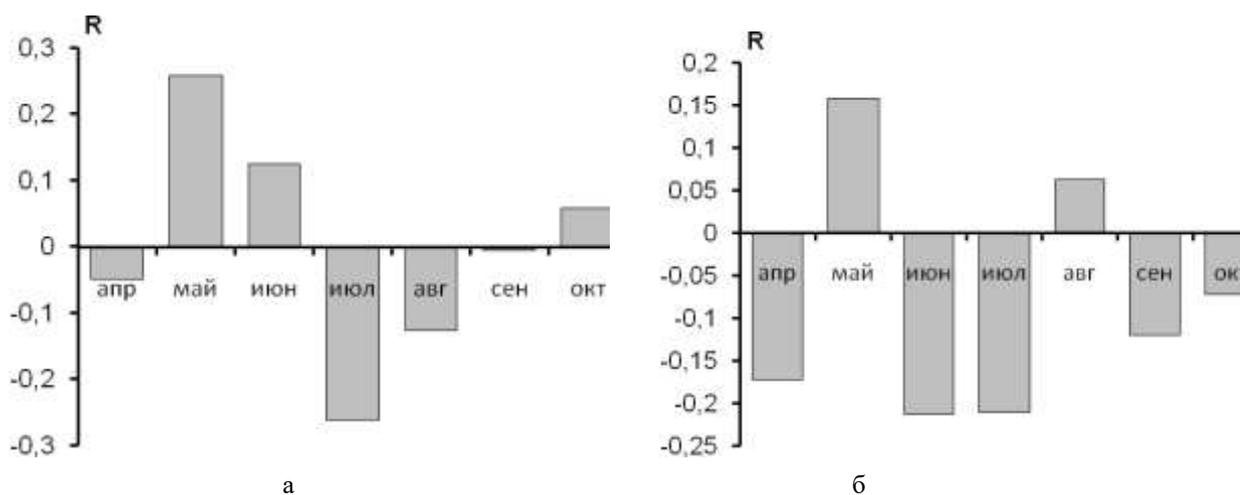


Рис. 4.25. Функции отклика прироста акации белой на температуру воздуха (а) и фактор увлажнения (б):  $R$  – коэффициент корреляции

В осенний период завершается формирование поздней древесины и идет накопление питательных элементов на следующий год, поэтому влияние погодных условий данного периода практически не проявляется на приросте

деревьев.

В работе [88] отмечается, что ряды ширины годовых колец обладают некоторой «инерционностью» благодаря определенным физическим предпосылкам для роста. Так, ширина годового кольца данного года в какой-то степени зависит от роста дерева и условий окружающей среды в прошлом. Нами наряду с результатами, представленными на рис. 4.23, также было проанализировано влияние погодных условий осенних месяцев предшествующего года на прирост текущего. Однако теснота связи оказалась незначительной. Например, коэффициент корреляции температуры сентября предшествующего года с приростом текущего года оказался равным 0,035.

Рассмотрим теперь взаимосвязь прироста текущего года с ростом деревьев за предшествующие периоды. Такие коэффициенты корреляции можно обозначить как  $R_{t,t-1}$  - для предыдущего года,  $R_{t,t-2}$  - для периода двухгодичной давности и далее по аналогии. Характерно, что в данном случае теснота связи оказывается достаточно значительной. Так, коэффициент корреляции прироста текущего года с приростом предшествующего  $R_{t,t-1} = 0,34$ . Еще большая взаимосвязь наблюдается с более отдаленными периодами, например  $R_{t,t-2} = 0,63$ . Т. е. явно прослеживается зависимость прироста исследуемых модельных деревьев от условий их роста в прошлом.

Большой практический интерес представляет получение некоторой аналитической зависимости, с помощью которой возможно было бы прогнозировать рост акации белой на рекультивированных террикониках. Обычно в таких случаях используются регрессионные зависимости различных видов. Касательно исследуемой нами системы следует отметить, что она является многофакторной, зависящей как от погодных условий текущего года, так и от роста деревьев за предшествующие периоды, что, как было показано выше, оказывает достаточно значимое влияние на текущий радиальный прирост.

Перейдем к рассмотрению предлагаемой нами модели радиального роста акации белой на рекультивированных террикониках угольных шахт. Для простоты исследуемую систему будем рассматривать в дискретном пространстве состояний с периодом, равным 1 году. Используя такие обозначения, как  $r_t$ , представляющее усредненный радиус дерева в  $t$ -ом году и

$W_t$  - характеризующее погодные условия в  $t$ -ом году, а также предполагая линейную зависимость между отдельными факторами и величиной радиального роста дерева за текущий период, можно получить следующее уравнение:

$$r_t = \alpha_1 \cdot r_{t-1} + \alpha_2 \cdot w_t + \alpha_3, \quad (3)$$

где  $\alpha_1$ ,  $\alpha_2$  - эмпирические коэффициенты, характеризующие тесноту связи роста дерева в предшествующий год с текущим годом и тесноту связи погодных условий с величиной текущего радиального прироста дерева соответственно,  $\alpha_3$  - случайная величина, обобщающая все остальные

неучтенные факторы. По сути, уравнение (3) является типовым уравнением множественной линейной регрессии. Для окончательной формализации уравнения (3) необходимо определиться с видом зависимости  $w_t$ , связанной с погодными условиями  $i$ -го года, а также вычислить коэффициенты  $\alpha_1$ ,  $\alpha_2$  и  $\alpha_3$ .

Рассмотрим, каким образом можно формализовать величину  $w_t$ . Судя по проведенному нами анализу, наиболее значимыми погодными факторами, влияющими на величину радиального роста исследуемых модельных деревьев, являются температуры мая-июня, а также количество осадков мая. Поэтому нами может рассматриваться зависимость  $w_t = w_t((t_{m,u})_t, (p_m)_t)$ , где  $(t_{m,u})_t$  - средняя температура мая-июня  $t$ -го года,  $(p_m)_t$  - количество осадков мая  $t$ -го года, нормированные относительно их средних значений за соответствующий период. Делая предположение, что взаимосвязь  $w_t$  и погодных факторов  $(t_{m,u})_t$  и  $(p_m)_t$  описывается полиномиальной зависимостью не более чем второго порядка, на основе проведенного многофакторного корреляционно-регрессионного анализа нами было установлено, что для определения  $w_t$  может быть использовано следующее выражение:

$$w_t = (t_{m,u})_t^2 + (p_m)_t. \quad (4)$$

Коэффициент корреляции полученной величины  $w_t$  со значениями годовых приростов составил 0,28. Для определения коэффициентов  $\alpha_1$ ,  $\alpha_2$  и  $\alpha_3$  можно использовать, например, метод наименьших квадратов [89]. Так, для экспериментально определенных нами значений годового роста деревьев, а также соответствующих значений погодных условий были получены следующие значения искомым постоянных:  $\alpha_1 = -0,060$ ,  $\alpha_2 = 0,096$ ,  $\alpha_3 = 0,066$ . Подставляя значения полученных коэффициентов, а также зависимость (4) в уравнение (3), приходим к окончательному виду модели радиального роста акации белой на рекультивированных террикониках угольных шахт:

$$r_t = -0,06 \cdot r_{t-1} + 0,096 \cdot \left( (t_{m,u})_t^2 + (p_m)_t \right) + 0,066. \quad (5)$$

Величины годового прироста будут определяться как  $\bar{x}_t = r_t - r_{t-1}$ . Результаты расчетов по уравнению (5), а также соответствующие опытные данные представлены на рис. 4.26, откуда видно, что полученная модель достаточно хорошо отражает особенности роста акации белой на исследованном нами рекультивированном терриконике п. Сутоган. Коэффициент корреляции полученной зависимости (5) с опытными данными составил 0,99. Данная модель может использоваться для предварительной оценки текущих диаметров деревьев акации белой, высаженных на рекультивированных отвалах угольных шахт, а также, на основании долгосрочного погодного прогноза, применяться при прогнозировании динамики дальнейшего роста деревьев.



Рис. 4.26. Графики погодичного относительного прироста акации белой на рекультивированном отвале угольной шахты п. Сутоган:

1 – опытные данные, 2 – расчетные данные

#### 4.4. Оценка возможности использования отвалов угольных шахт Донбасса в качестве объектов Национальной экологической сети

Ученые пришли к выводу: для того, чтобы у природы был свой шанс на сохранение био- и ландшафтного разнообразия, примерно четверть (25%) территории в любом регионе должна оставаться в «диком» состоянии. Но где взять эту четверть и что, строго говоря, она должна из себя представлять? Статья 16 закона Украины «Об экологической сети Украины» №1864-IV от 24.06.04 предлагает использовать в качестве такой территории наряду с объектами природно-заповедного фонда различные нарушенные, деградированные и малопродуктивные земли [90]. В условиях Донбасса к таким землям можно отнести и неудобья на территории бывших шахтных комплексов, а также отвалы угольных шахт – терриконы, на которых прекращена отсыпка породы и завершилось горение. Сущность предложения состоит не только в использовании этой территории как «дикой», а использовать её в качестве элемента национальной экологической сети (НЭС) Украины.

Экосеть – единая территориальная система, которая создается с целью улучшения условий для формирования и восстановления окружающей среды. Общая концепция «экосети» предусматривает возобновление генетического, экологического и функционального неразрывного единства биосистем как взаимообусловленной целостности [90].

Целью данного подраздела является оценка возможности использования терриконов (отвалов угольных шахт) в качестве объектов НЭС. Для достижения поставленной цели выбрано типичное для Донбасса угольное

предприятие, имеющее на балансе отвалы угольных шахт, и оценено экологическое состояние существующих фитоценозов на выбранных отвалах.

Выбор типичного угольного предприятия выполнен с помощью статистических методов. Экологическое состояние существующих на отвалах угольных шахт фитоценозов оценено с использованием величины флуктуирующей асимметрии билатеральных морфологических признаков [91].

Исследование возможности использования отвалов угольных шахт в качестве объектов национальной экосети выполнено на примере угольного предприятия ОАО «Лисичанскуголь». Данное предприятие имеет на балансе 24 породных отвала: восемь отвалов шахты им. Я. Ф. Мельникова, десять отвалов шахты «Новодружеская», другие отвалы и является типичным для Донбасса.

В качестве объектов исследования использованы три породных отвала ОАО «Лисичанскуголь»: естественно заросший конический отвал шахты им. Я. Ф. Мельникова; естественно заросший, переформированный из конического в плоский отвал бывшей шахты им. П. Л. Войкова; переформированный из конического в плоский и озелененный в 1989-91 годах отвал бывшей шахты им. М. Л. Рухимовича.

При статистическом изучении генеральной совокупности использован выборочный метод. В данном случае выбранные для исследований терриконы представляют выборочную, а все отвалы Донбасса – генеральную совокупность. Результаты выборочной совокупности являются корректными при условии соответствия статистических показателей выборочной совокупности нормальному закону распределения. Проверка на соответствие выполнена с использованием асимметрии (А) и эксцесса (Е) (табл.4.21).

Таблица 4.21

Проверка параметров отвалов (состояние на 01.01.2008 г.)  
на соответствие нормальному закону распределения

Параметры отвалов	Статистические показатели						*Соответствие закону нормального распределения	
	матем. ожидание ( $X_{ср.}$ )	дисперсия ( $S^2$ )	абсол. ошибка ( $SX_{ср.}$ )	относит. ошибка ( $SX_{ср.}\%$ )	асимметрия (А)	эксцесс (Е)	по А	по Е
Высота, м	41,78	777,3	5,69	13,62	0,03	-0,59	+	+
Площадь поверхности, га	14,61	304,2	3,56	24,36	0,05	1,72	+	+
Масса породы в отвалах, тыс. т.	2365,4	$17,38 \cdot 10^6$	851,2	35,98	0	2,4	+	+

\*Соответствие (+) по  $A$  при условии, что  $A < 3\sigma_a$  ( $3\sigma_a = 1,5$ ), по  $E$ , если  $E < 3\sigma_e$  ( $3\sigma_e = 3$ ).

На основании табл. 4.21 можно сделать заключение о соответствии данных выборочной совокупности закону нормального распределения и распространить эти выводы на все отвалы Донбасса.

Для оценки экологического состояния существующих фитоценозов на отвалах угольных шахт ОАО «Лисичанскуголь» с помощью навигатора Mio R-550 было выполнено рекогносцировочное обследование трех породных отвалов: естественно заросшего конического отвала шахты им. Я. Ф. Мельникова (координаты: N-48°54'57,2"; E-38°23'32,2"; H=174 м); естественно заросшего, переформированного из конического в плоский отвала бывшей шахты им. П. Л. Войкова (координаты: N-48°54'8,9"; E-38°27'9,6"; H=157 м); переформированного из конического в плоский, озелененного в 1989-91 гг. отвала бывшей шахты им. М. Л. Рухимовича (координаты: N-48°54'48,7"; E-38°26'39,5"; H = 87,6м). Ниже представлены их внешний вид и краткая характеристика имеющихся на их поверхности фитоценозов.

Конический отвал шахты им. Я. Ф. Мельникова характеризуется сплошным растительным покровом, в котором около 50% площади занимает естественно поселившийся клен ясенелистный, акация белая, береза. Остальная часть территории занята травянистым фитоценозом, в котором важное место занимают дикие злаковые растения (рис. 4.27).



Рис. 4.27. Общий вид обследованного отвала шахты им. Я. Ф. Мельникова

Плоский отвал бывшей шахты им. П. Л. Войкова характеризуется обильным естественным растительным покровом (рис. 4.28). Общее покрытие травостоя 60%. На отвале имеются единичные экземпляры деревьев.

Древесные породы представлены вязом мелколистным (высота до 1,5 м), тополем (высота от 0,8 до 1,5 м), лохом узколистным (высота до 7 м).



Рис. 4.28. Плоский отвал бывшей шахты им. П. Л. Войкова



Рис. 4.29. Озелененный отвал бывшей шахты им. М. Л. Рухимовича

Озелененный отвал бывшей шахты им. М. Л. Рухимовича. Проектное покрытие растительностью составляет 100% (рис. 4.29). Фитоценоз представлен лесными насаждениями из следующих древесных и кустарниковых пород: акация белая, вяз мелколистный, лох узколистный, тополь, тамариск и др. Большая часть площади поверхности отвала занята насаждениями акации белой. Древостой здесь характеризуется простой формой. Насаждения представлены одной культурой, то есть имеют состав 10 Ак, сомкнутость крон

составляет 0,9. Известно, что в десятилетнем возрасте деревья имели среднюю высоту 5,5 м и характеризовались как насаждения первого бонитета. В процессе исследований определены высота и диаметр, которыми в настоящее время характеризуются деревья. Средняя высота их достигает 8 м, средний диаметр 10 см.

Подлесок в насаждении акации отсутствует. Встречаются одиночные экземпляры подроста семенного происхождения. Семена – с рядом расположенных и обильно плодоносящих деревьев. Травяной покров незначительный. Общее покрытие травостоя 20%. Под многими деревьями имеется моховый покров, лишайниковый отсутствует. Внеарусная растительность также отсутствует.

Исходя из краткой характеристики фитоценозов, сформировавшихся на исследуемых отвалах угольных шахт, можно сделать вывод в пользу возможности использования террикоников в качестве объектов НЭС. При этом важное значение имеет качество окружающей среды, формируемое в фитоценозах отвалов. По данным выполненных исследований, отвальная порода всех объектов загрязнена тяжелыми металлами (табл. 4.22).

Таблица 4.22

Оценка загрязнения отвальной породы тяжелыми металлами

Элемент	Содержание (min-max), мг/кг	Отношение валового содержания к кларку	Тип экологической ситуации	Отношение валового содержания к ПДК вал.	Тип экологической ситуации	Отношение подвижной формы к ПДК подв.	Тип экологической ситуации
Zn	50 - 100	1 - 2	благоп.	0,5 - 1	удовл.	0,39 - 0,65	благоп.
Ni	30 - 50	0,75-1,25	благоп.	0,35 - 0,59	благоп.-удовл.	1,5 - 2,5	предкриз.-криз.
Co	7 - 10	0,88-1,25	благоп.	0,14 - 0,2	благоп.	0,56 - 0,8	благоп.
Pb	10 - 20	1 - 2	благоп.	0,31-0,63	благоп.-удовл.	3,5 - 7	криз.
Cu	20 - 30	1 - 1,5	благоп.	0,36-0,55	благоп.-удовл.	3,3 - 5	криз.
Cr	100-200	1,33-2,67	благоп.-удовл.	1 - 2	удовл.-предкриз	5 - 10	криз.

Подвижные формы таких тяжелых металлов, как никель, свинец, медь и хром, содержащихся в породе в повышенных концентрациях (о чем свидетельствует предкризисная и кризисная экологическая ситуация в табл. 4.18), вредно воздействуют на растения. Чтобы оценить состояние растительности определена величина флуктуирующей асимметрии билатеральных морфологических признаков. Она представляет собой отклонение от строгой билатеральной симметрии как следствие

несовершенства онтогенетических процессов и проявляется в незначительных направленных расхождениях между сторонами листа растений. Полученная интегральная оценка качества окружающей среды позволяет определить реакции живых существ на воздействие неблагоприятных факторов, которые действовали в момент их развития [91].

Для оценки качества окружающей среды на исследуемых отвалах в июле 2008 года с использованием шкалы оценки отклонений состояния организма от условной нормы по величине интегрального показателя стабильности развития отобраны пробы листьев тополя, единичные экземпляры которых представлены на рис. 4.30.

Определение величины флуктуирующей асимметрии билатеральных морфологических структур проводилось путем расчета числа структур слева и справа в определенных интервалах. Популяционная оценка выражалась средней арифметической расхождений в количестве структур слева и справа. Величина асимметрии вычислялась путем деления разницы в измерениях на двух сторонах листа на их сумму. В табл. 4.23 представлены результаты оценки качества окружающей среды по степени развития листьев тополя на отвалах и на контроле (частный сектор, г. Лисичанск).



Рис. 4.30. Отдельные экземпляры обследованных листьев тополя

Таблица 4.23

Оценка качества окружающей среды на отвалах угольных шахт ОАО «Лисичанскуголь» по степени развития листьев тополя

Место отбора проб листьев	Величина полученного показателя стабильности развития	Стабильность развития в баллах	Качество окружающей среды
Отвал шахты им. П. Л. Войкова	0,024	1	условно нормальное
Отвал шахты им. М. Л. Рухимовича	0,03	1	условно нормальное
Контроль (частный сектор, г. Лисичанск)	0,063	5	критическое состояние

На основании результатов табл. 4.22 можно сделать вывод о том, что в условиях отвалов угольных шахт при естественном зарастании травянистой растительностью или искусственном создании лесонасаждений формируется условно нормальное качество окружающей среды, что позволяет рекомендовать отвалы с развитым фитоценозом в качестве объектов национальной экологической сети.

Нами предложен способ формирования экологической сети, основанный на использовании в качестве ее элементов терриконов и защищенный патентом на полезную модель [92].

Известно, что формирование экологической сети с целью обеспечения возможности расселения и миграции растительных и животных видов включает выбор в ландшафте территориально замкнутых участков с растительностью, близкой к природной (т. н. природных ядер), и участков удлиненной формы с природной или близкой к ней растительностью (т. н. экологических коридоров), связывающих между собой природные ядра или ответвляющихся от природных ядер и экологических коридоров (т. н. называемых интерактивных участков, выполняющих функцию распространения влияния ядер и коридоров на окружающую среду) (Шеляг-Сосоненко Ю.Р., Гродзинский М. Д., Романенко В. Д. Концепция, методы и критерии создания экосети Украины/Под общей редакцией Ю.Р.Шеляга-Сосоненко.- Киев, 2004.- С. 27-40 [93].

Формирование экологической сети особенно актуально в густонаселенных промышленных районах степной зоны, но здесь оно и очень ограниченное вследствие недостаточного количества участков с естественной древесной и травянистой растительностью, малодоступных для человека.

В основу полезной модели была поставлена задача обеспечения возможности формирования более полной и разветвленной экологической сети в густозаселенных промышленных районах степной части Украины путем привлечения дополнительных участков, не находящихся в интенсивном хозяйственном использовании, что приведет к улучшению условий для расселения и миграции диких животных, птиц и растительных видов.

Поставленная задача достигается тем, что в качестве природных ядер и интерактивных участков дополнительно используют породные отвалы

угольных шахт, на которых прекратилось горение и начался процесс самозарастания травянистой и древесной растительностью. Для ускорения процесса формирования экологической сети применяют мероприятия по более быстрому самозарастанию малозаросших отвалов, а также их искусственное облесение, а для обеспечения связи отвалов с другими элементами экологической сети выполняют искусственное залужение и посадку кустарниковой растительности в суходольных звеньях гидрографической сети (ложбинах и лощинах), примыкающих к отвалам. Благодаря этому значительно повышается площадь и разветвленность экологической сети, ограничивается доступ в нее человека за счет большой крутизны склонов отвалов.

Сущность полезной модели показана на фрагменте топографической карты территории Первомайского района Луганской области. На участке площадью 967 га, окаймленном жилой застройкой городов Первомайск, Кировск, Теплогорск и Стаханов, имеется обособленный лесной массив 1 – природное ядро площадью 296 га и река Лугань 2 с притоками 3, выполняющая функцию сети экологических коридоров, связывающих территорию с крупнейшим экологическим коридором восточной части Украины - долиной реки Северский Донец (рис. 4.31). На участке имеются также семь терриконов 4 - 10 с общей площадью поверхности 75 га, потенциально пригодных для выполнения функций ядер или интерактивных участков, но не связанных с коридорами, за исключением отвалов 9 и 10.

Предложенный способ осуществляется следующим образом. Активизируют самозарастание и выполняют искусственное облесение терриконов 4 - 10 по одному из известных способов, например [94, 95], а также высаживают кустарниковую растительность в сочетании с залужением в виде полос шириной 30-50 м в лощине 11 между отвалом 4 и р. Луганкой и на участках 12 между отвалами 4, 5 и 6. Облесение терриконов сделает их пригодными для гнездования птиц, безопасного обитания многих видов диких животных и пресмыкающихся, а залужение в сочетании с высадкой кустарников придает участкам 11 и 12 свойства экологических коридоров, связывающих новые природные ядра 4 – 6 с речными коридорами в виде долины р. Луганки и поймы р. Северский Донец. Площадь облесенных участков увеличится на 75 га, то есть с 30% до 38,4%. Дополнительная площадь является особо ценной для сохранности представителей дикой флоры и фауны, поскольку она наиболее труднодоступна для человека вследствие большой крутизны (до 40°) склонов терриконов.

Таким образом, предложенный способ позволяет увеличить площадь участков с древесной и кустарниковой растительностью до размеров, необходимых для формирования в густозаселенных промышленных регионах полноценной экологической сети, способной выполнять функции охраны, обеспечения возможности расселения и миграции растительных и животных видов без отчуждения земель, находящихся в интенсивном использовании. Кроме того, развитие растительности на терриконах снизит их резко отрицательное воздействие на окружающую среду, так как предотвращает ветровую и значительно снижает водную эрозию.



Рис. 4.31. Способ формирования экологической сети с использованием терриконов

#### 4.5. Вторичное использование лесонасаждений рекультивированных терриконов

По данным украинского государственного комитета лесного хозяйства, показатель лесистости в стране составляет 15,6%, при том что в большинстве стран Европы норма – 20%. Запасы древесины в украинских лесах достигают 1,7 млрд м<sup>3</sup>. Но украинские леса большей частью несут водоохранную, защитную и оздоровительную функции и имеют лишь ограниченное эксплуатационное назначение. Другими словами, лишь 50% лесов страны предназначены для промышленного производства древесины [96, 97]. Леса на Украине расположены очень неравномерно – большая часть сосредоточена на западе страны – в Карпатах и Полесье. Коэффициент лесистости значительно колеблется в зависимости от области – от 1,2% в Запорожской до 51% в Закарпатье [96, 97]. Наиболее распространенные в стране породы деревьев – сосна, дуб, бук, елка, береза, ясень, граб. Хвойные леса занимают 42% территории, в том числе 33% – сосновые; 43% лиственных лесов составляют дуб и бук [96-98].

Имеющиеся данные о лесах Украины позволяют сделать вывод о том, что это лесодефицитная страна, особенно в плане леса III группы. Однако при этом множество промышленных производств не может нормально функционировать без древесины, которая применяется в следующих областях: производство обработанных лесоматериалов, панелей на деревянной основе, поддонов, деревянного упаковочного и оберточного материала, в мебельной

промышленности, а также при производстве паркета и других половых покрытий, целлюлозы, угледобыча, телекоммуникационные линии и линии электропередач [99-102]. В связи с этим возникает вопрос, как решить эту проблему.

Еще более неблагоприятная ситуация сложилась на территории Донбасса, где состояние лесонасаждений определяется такими факторами [98]:

- климатическими условиями области, которые характеризуются как очень жесткие с недостаточным количеством осадков, резкими перепадами температур, засухами, суховеями и пыльными бурями. В общем климатические условия области неблагоприятны для произрастания лесов, в связи с чем необходимо затрачивать намного больше усилий для получения стойких, долговечных насаждений;
- чрезмерно высоким техногенным прессом, который испытывают лесные насаждения области, “перегруженной” промышленными предприятиями разного профиля (шахты, химические предприятия, металлургия, др.).

Все эти проблемы также остро сказываются на нехватке промышленного леса для данного региона.

Одним из активных потребителей древесины являются шахтные комплексы, которые используют ее в качестве крепежного материала для подземных горных выработок, в том числе и в виде рудничных стоек [102-104]. В то же время общеизвестным является тот факт, что при длительной работе шахт формируемые при этом отвалы пустой породы озеленяются с целью предотвращения негативного воздействия на окружающую природную среду. Обычно для озеленения используются следующие древесные породы: ясень ланцетолистный (*Fraxinus lanceolata* Borkh (F.viridis Michx)), абрикос обыкновенный (*Armeniaca vulgaris* Lam.), груша обыкновенная (*Pirus communis* L.), лох узколистный (*Elaeagnus angustifolia* L.), дуб черешчатый (*Quercus robur* L.), акация белая (*Robinia pseudoacacia*), а сами посадки при этом выполняются более «загущенными» [105, 106]. Так, при положенном расстоянии между деревьями 1,5 м посадку саженцев производят на расстоянии 75 см с целью обеспечения максимальной степени покрытия древесными насаждениями поверхности отвалов с учетом того, что часть растений может погибнуть в сложных, зачастую неблагоприятных, экологических условиях отвалов угольных шахт. Однако такие древесные породы, как акация белая (*Robinia pseudoacacia*) имеют обычно высокую приживаемость на террикониках, так как являются зимостойкими, засухоустойчивыми, светолюбивыми, хорошо переносят климат степной и лесостепной зон, в отношении к почвам являются кислото- и солеустойчивыми, проявляют стойкость к загазованности атмосферы, но плохо переносят переуплотнение почвы. Соответственно их сохранность высокая, а во взрослом состоянии из-за нехватки площади питания требуется проведение рубок ухода. В связи с этим возникает проблема дальнейшего рационального использования такой вырубленной древесины, которая могла бы применяться для удовлетворения нужд промышленности

Украины, а также угольных шахт Донбасса. Однако какие-либо исследования, так же как и опубликованные работы, в данной области отсутствуют.

Целью настоящих исследований являлось изучение возможностей вторичного использования лесонасаждений рекультивированных террикоников угольных шахт.

Для достижения поставленной цели были изучены таксационные показатели лесонасаждений на типичном для Донбасса рекультивированном терриконике и их соответствие требованиям о рудничных стойках.

Исследования проводились на типичном отвале шахты 19-го партсъезда в поселке Сутоган Лутугинского района Луганской области. Объектом исследований выступил терриконик № 2. Данный терриконик имеет высоту 30 м. В результатах исследований данные восточной экспозиции отсутствуют, так как восточная сторона исследуемого объекта примыкает к терриконнику № 1 указанной шахты. Рекультивация исследуемого отвала была выполнена 25 лет назад. Горнотехнический этап рекультивации был выполнен по способу Донецкого ботанического сада [105, 106] со срезанием вершины и нанесением потенциально плодородного грунта на плоскую вершину. Биологический этап состоял в посадке на склонах акации белой и на плоской вершине груши обыкновенной, абрикоса обыкновенного и акации белой. Травянистый покров на склонах возник путем естественного самозарастания в результате занесения семян с прилегающей степной территории, на плоской вершине – в результате прорастания семян, содержащихся в потенциально-плодородном грунте, которым «экранировали» вершину.

В результате проведенных нами исследований было установлено, что приблизительно за 25 лет произрастания акации белой на поверхности рекультивированных отвалов высота деревьев достигла 5 - 6 м, при этом толщина ствола варьирует от 6 до 20 см в зависимости от экспозиции и связанных с нею микроклиматических различий условий произрастания, но средний показатель толщины ствола находится в диапазоне 7 - 9 см.

Обратимся теперь к ГОСТ 616-83, который регламентирует технические условия к рудничным стойкам, в том числе и для Донецкого угольного бассейна. Так, в данном ГОСТ указаны стандартизованные длина и толщина стоек, используемых для крепления подземных горных выработок. Согласно проведенным нами измерениям стволов акации белой, последние удовлетворяют соответствующим требованиям ГОСТ и могут быть использованы для изготовления стандартизованных стоек с толщиной в верхнем торце 7, 8, 9 см и длиной 0,5, 0,6, 0,7, 0,8 м.

ГОСТ 616-83 также определяет древесные породы, которые могут быть использованы для изготовления рудничных стоек. В частности, в ГОСТ указано следующее: «Стойки должны изготавливаться из древесины лиственницы, сосны, ели, кедра и пихты и соответствовать требованиям настоящего стандарта...» Представляет интерес проведение сравнительного анализа физико-механических свойств древесины акации белой и древесных пород, используемых для изготовления рудничных стоек согласно указанному ГОСТ (на примере лиственницы и сосны обыкновенной). В качестве исходных

данных при проведении сравнительного анализа использовались данные работ [107-109]. Результаты сведены в табл. 4.24.

Таблица 4.24

Физико-механические свойства акации белой и древесных пород, используемых для изготовления рудничных стоек

Древесная порода	Относительная твердость, МПа	Плотность, кг/м <sup>3</sup> , при влажности 12%	Торцовая твердость, МПа	Ударная вязкость, Дж/м <sup>2</sup>	Предел прочности, Мпа, при:			
					сжатии вдоль волокон	статическом изгибе	скалывании вдоль волокон	
							радиальном	тангенциальном
Акация белая	7,1	830	94,2	190000	73,1	148	20,9	27,2
Лиственница	2,6	660	44	51993	65	112	9,9	9,4
Сосна обыкновенная	2,49	520	29	412002	49	86	7,5	7,3

Помимо данных, приведенных в табл. 4.23, следует также выделить ряд достаточно важных характеристик древесины акации белой. Так, согласно [109-111], акация белая относится к сильноусыхающим породам. Коэффициенты разбухания (усушки) ее древесины (изменение размеров образца в процентах, отнесенное к изменению влажности) составляют: в радиальном направлении – 0,25; в тангенциальном направлении – 0,34; объемный – 0,61. Эти показатели находятся на одном уровне со свойствами древесины лиственницы. Так, для нее коэффициенты разбухания в радиальном направлении – 0,2; в тангенциальном направлении – 0,38; объемный – 0,6. Сопротивляемость вырыванию креплений (гвоздей и шурупов) оценивается как очень высокая, приблизительно на уровне с лиственницей. По стойкости к гниению относится к группе особенно стойких пород (вместе с лиственницей). Таким образом, физико-механические свойства акации белой во многом превосходят таковые у древесных пород, традиционно используемых при креплении подземных выработок. В частности, ее плотность, твердость, прочность и стойкость к гниению позволяют использовать ее в качестве рудничных стоек [109-111], свай, строительстве заборов, мостов и т. п.

В то же время отсутствие в ГОСТ 616-83 акации белой можно объяснить ее достаточно малым распространением на территориях стран бывшего СССР, в том числе и Украины. Однако возвращаясь к вопросу рекультивации терриконов, следует еще раз обратить внимание на тот факт, что акация белая широко используется при проведении биологического этапа рекультивации ввиду своей высокой приживаемости на терриконах. Поэтому выращивание на поверхности терриконов акации белой, помимо выполнения

сугубо экологических функций, может представлять и технический интерес: как древесный материал для нужд шахт и промышленности.

Исходя из вышеизложенного нами оценено соответствие древесины акации белой требованиям ГОСТ 616-83, предъявляемым к рудничным стойкам. В результате выявлено, что древесина этой породы по физическим и механическим свойствам имеет показатели, соответствующие ГОСТ 616-83, что позволяет использовать ее при креплении подземных выработок.

Проведенные исследования позволили нам предложить способ рекультивации плоских отвалов угольных шахт (патент Украины №404120), который на V международном конкурсе изобретений и новых технологий (Севастополь, 2009 г.) получил золотую медаль [112].

## ЛИТЕРАТУРА

1. Зубова Л.Г., Гречка В.А., Матюшенко Ю.В. Воздействие горнодобывающей промышленности на естественные ландшафты Донбасса//Экотехнологии и ресурсосбережение.-1999.-№4.-С.63-66.
2. Воробьев С.Г., Кудленко В.Г. Определения удельной гамма-активности пород шахтных отвалов//Вісник Кременчуцького державного політехнічного університету імені Михайла Остроградського.-2008.-№6/2008(53),ч.1.-С.120-123.
3. Уханьова М.І., Хоботова Е.Б. Дослідження радіаційно-хімічних властивостей відвальних горілих порід//Матер.конф. «Сучасні проблеми екології та геотехнологій».-Житомир.-2009.-С.38-39.
4. Основные черты геохимии урана.- М.: Изд-во Акад. наук СССР, 1963.- 590 с.
5. Смирный М.Ф., Харьковский Б.Т., Зубова Л.Г. и др. Терриконика угольных шахт – источники радиоактивности // Экология.- 2002.- №2.- С. 8 -11.
6. Смирный М.Ф., Зубова Л.Г., Зубов А.Р. Экологическая безопасность терриконовых ландшафтов Донбасса: монография.- Луганск: Изд-во ВНУ им. В.Даля, 2006.- 232 с.
7. В. И. Бакланов Растительные условия терриконов Донбасса/ В кн. Интродукция растений и зеленое строительство в Донбассе.- К.: Наук. думка, 1970.- С. 15-25.
8. Калюжный Д. Н., Давыдов С. А., Дукарская Л. Г., Аксельрод М. Б. Загрязнение атмосферного воздуха сернистым газом от шахтных терриконов // Гигиена и санитария.-М.:Медгиз, 1950.-№5.-С.19-24.
9. Зборщик М. П., Осокин В. В. Природа опасных и экологически вредных проявлений в пиритсодержащих породах//Уголь Украины.- 1998.- №5.- С.26-27.
10. Зборщик М. П., Осокин В. В. Предотвращение экологически вредных проявлений в породах угольных месторождений.- Донецк: ДонГТУ, 1996.- 178 с.
11. Саранчук В. М. Борьба с горением породных отвалов.- К.: Наук. думка, 1978.- 268 с.
12. Инструкция по предупреждению самовозгорания, тушению и разборке породных отвалов к § 652 “Правил безопасности в угольных шахтах” // Сборник инструкций к “Правилам безопасности в угольных шахтах”.- К.: «Основа», 1996.- Т.2.- С. 358-367.
13. Пашковский П. С. , Попов Э. А., М. А. Яремчук Контроль теплового состояния породных отвалов // Уголь Украины.- 2000.- №7.- С. 27-29.
14. Кузнецов М. С., Глазунов Г. П. Эрозия и охрана почв: Учебник.- 2-е изд. Перераб. и доп. – М.: Изд-во МГУ, Изд-во «КолосС», 2004.- С. 168-169.
15. Зубов А. Р. Насущные проблемы защиты природной среды при ликвидации шахт / А. Р. Зубов, Л. Г. Зубова, С. Г. Воробьев // Географічні інформаційні системи в аграрних університетах: тези доповідей 2-ої Міжнародної науково-методичної конференції. Збірник наукових праць.-Херсон: Айлант, 2007. – С. 43-44.

16. Методическое пособие по применению информационных технологий в агролесомелиоративном картографировании / Авторы: К. Н. Кулик, В. И. Петров, И. П. Свинцов, А. С. Рулев, Ю. Г. Юферев и др. – Москва: ГУ ВНИАЛМИ, 2003. – 46 с.
17. Зубов А.Р. Применение ГИС-технологий для оценки последствий воздействия угольных шахт на окружающую среду / А. Р. Зубов, Л. Г. Зубова, С. Г. Воробьев // Географічні інформаційні системи в аграрних університетах: матеріали 2-ої Міжнародної науково-методичної конференції. Збірник наукових праць.- Херсон: Айлант, 2007. – С. 19-23.
18. Калинина В. Н. Введение в многомерный статистический анализ /В. Н. Калинина, В. И. Соловьев / Учебное пособие / ГУУ. – М., 2003.- 66 с.
19. Калинина В. Н. Компьютерный практикум по прикладной статистике / В. Н. Калинина, В. И. Соловьев / Учебное пособие для вузов. – М.: РИПО ИГУМО, 2005. – 104 с.
20. Воробьев С. Г. Использование ГИС-технологий в сочетании с анализом космических снимков для оценки литологического состава терриконов / С. Г. Воробьев / Научный журнал „Вісник”. – Луганск: изд-во ВНУ им. В. Даля, 2007. - № 4 [110] часть 1 – с. 162 – 168.
21. Доспехов Б. А. Методика полевого опыта / с основами статистической обработки результатов исследований. Изд. 4-е, перераб. и доп. – М.: Колос, 1979. – 416 с.
22. Школьный Е. П., Гончарова Л. Д., Миротворська Н. К. Методи обробки та аналізу гідрометеорологічної інформації (збірник задач) / Навчал. посібник. – К.: Міносвіти і науки України, 2000. – 419 с.
23. Фисенко В. Т. Компьютерная обработка и распознавание изображений / В. Т. Фисенко, Т. Ю. Фисенко / учеб. пособие. – СПб: СПбГУ ИТМО, 2008. – 192 с.
24. Глазовская М. А. Геохимия природных и техногенных ландшафтов СССР. – М.: Высшая школа, 1988. – 328 с.
25. Перельман А.И. Биокосные системы земли.- М.: Наука, 1977.- 160 с.
26. Зборщик М. П., Осокин В. В. Природа опасных и экологически вредных проявлений в пиритсодержащих породах // Уголь Украины, 1998.- №5.-С.26-27.
27. Зборщик М. П., Осокин В. В. Предотвращение экологически вредных проявлений в породах угольных месторождений.-Донецк.:ДонГТУ, 1996.- 178с.
28. Глазовская М.А. Геохимия природных и техногенных ландшафтов СССР.- М.: Высшая школа, 1988.- 328 с.
29. Алексенко В.А., Алексенко Л.П. Геохимические барьеры.- М.: Логос, 2003.- 144 с.
- 30.Смирный М.Ф., Зубова Л.Г., Зубов А.Р. и др. Воздействие промышленных отходов Донбасса на прилегающие территории // Экология.-2002.- №2.- С. 45 - 48.
31. Зборщик М.П. Предотвращение самовозгорания горных пород.- К.: Техніка, 1990.- 175 с.

32. Зборщик М.П., Осокин В.В., Паниотов Ю.Н. Условия самонагревания пиритсодержащих осадочных горных пород // Горный журнал.- 1990.- №11.- С. 9 - 16.
33. Зборщик М.П., Осокин В.В., Паниотов Ю.Н. Условия теплового взрыва в пиритсодержащих горных породах // Разработка месторождений полезных ископаемых.- 1990.- Вып. 86.- С. 70 - 77.
34. Бондаренко М.Б., Мандебура Т.Н., Зубова Л.Г., Абраменко В.Л. Биохимическое выщелачивание алюминия с отвальной породы терриконики.- Матер. Всеукр.наук. конф. „Перший крок у науку”.- Луганськ, 2006.- С. 12-16.
35. Голомзик А.И., Михайлова Т.А. Окислительная способность *Thiobacillus ferrooxidans* в связи с содержанием  $O_2$  и  $CO_2$  в среде обитания // Прикладная биохимия и микробиология.- 1972.- Т.8, вып. 1.- С. 38 - 41.
36. Silverman M.P., Rogoff M.H. Morphological variation in *Ferrobacillus ferrooxidans* related to iron oxidation // Nature,- 1961.- Vol.191/- P. 1221 – 1224.
37. Польшин С.И. Обогащение руд и россыпей редких и благородных металлов: Учеб. для вузов по спец. “Обогащение полезных ископаемых”.- 2-е изд.- М.: Недра, 1987.- 429 с.
38. Проскурня Ю.А. Мінералогія відвалів вугільних шахт Донбасу (на прикладі Донецько-Макіївського промислового району): Автореф. дис... канд. геолог. наук: 04.00.20 / Крив. техн. ун-тет.- Кривий Ріг, 2000.- 19 с.
39. Плюсин И. И., Голованов А. И. Мелиоративное почвоведение.- М.: Колос, 1983.- 318 с.
40. Зражевський А. І. Родючість нерозвинених ґрунтів на терриконах Донбасу і питання озеленення терриконів // Праці інституту лісівництва.: Вид-во АН УРСР, 1953.- Т. 6.- С. 120.
41. Волошин М. П. Опыт озеленения терриконики // Сб. науч. труд.- М.: Изд-во АН СССР, 1961.- Вып. 43.- С. 27 - 28.
42. Зражевский А. И., Попов М. А. Инструкция по озеленению терриконики.- К.: Наук. думка, 1953.- 21 с.
43. Кобезкий К. Д. Озеленить терриконы // Строительство и архитектура.- 1957.- № 9.- С. 16 - 18.
44. Шалыт М. С., Костомаров В. И. Опытное озеленение терриконики Донбасса // Докл. АН УССР.- 1950.- Т.5.- С. 399 - 404.
45. Шалыт М. С., Костомаров В. И. Посадка на терриконах// Лесное хозяйство.- 1950.- №12.- С. 59 - 61.
46. Скорик В. Г. Опыт озеленения терриконики угольных шахт Донбасса: Автореф. дис... канд. с.-х. наук.- К.: УСХА, 1976.- 29 с.
47. Киричек Л. С. Естественное плодородие и эффективность минеральных удобрений ґрунтов терриконов угольных шахт Донбасса // Научные труды УСХА.- 1976.- Вып. 177.- С. 85 – 89.
48. Логгинов Б. И. Возможности озеленения терриконов Донбасса // Растения и промышленная среда.- К.: Наук.думка, 1971.- С. 124 - 129.
49. Логгінов Б. И., Кірічек Л. С., Корецький Г. С. До добору деревних порід для захисно-декоративного залісення терриконів вугільних шахт Донбасу // Наук. праці УСГА, 1972.- Вип. 64.- С. 46 - 52.

50. Логгінов Б. И., Кірічек Л. С., Корецький Г. С. Умови росту лісонасаджень та результати дослідів на терриконах Донбасу // Наук. праці УСГА, 1972.- Вип. 64.- С. 39 - 45.
51. Логгинов Б. И. Рекультивация земель с нарушенным почвенным покровом // Повышение эффективности лесного хозяйства Украины.- К.: МСХ СССР, 1973.- С. 95 - 98.
52. Логгинов Б. И., Киричек Л. С., Жук Е. Г. Особенности применения минеральных удобрений при лесовыращивании на каменистых грунтах терриконов Донбасса // Науч. труды УСХА, 1976.- Вып. 172.- С. 58 - 64.
53. Логгинов Б. И., Киричек Л. С. Защитно-декоративное облесение угольных шахт Донбасса: Экспресс-информ.- М., 1974.- Вып. 9.- 23 с.
54. Логгинов Б. И. О методах биологической рекультивации отвалов промышленных выработок // Науч. труды УСХА, 1977.- Вып. 150.- С. 7 - 10.
55. Логгинов Б. И., Киричек Л. С. Методические рекомендации по защитно-декоративному облесению терриконов угольных шахт Донбасса.- К., 1978.- 34 с.
56. Логгинов Б. И., Киричек Л. С. За озеленение терриконов угольных шахт Донбасса // Уголь, 1978.- № 11.- С. 60 - 61.
57. Логгинов Б. И. Облагораживание терриконов угольных шахт Донбасса // Лесное хозяйство.- 1979.- №11.- С. 54 - 56.
58. Логгинов Б. И., Киричек Л. С. Наступление на терриконы // Лес и человек.- М., 1979.- 30 с.
59. Логгинов Б. И. Гидропоника на терриконах Донбасса // Наука и жизнь, 1981.- № 6.- С. 20 - 21.
60. Логгинов Б. И., Киричек Л. С., Попа Ю. Н. Экономическая эффективность лесной рекультивации шахтных отвалов Донецкого угольного бассейна // Экологическая и экономическая роль защитных лесных насаждений в лесоаграрном степном ландшафте.- Волгоград, 1985.- С. 140 - 144.
61. Скорик В. Г. Об озеленении терриконов Донбасса // Вестник сельскохозяйственной науки.- 1975.- №8.- С. 90 - 93.
62. Скорик В. Г. Зимостойкость некоторых древесных пород на терриконах Донбасса // Науч. труды УСХА, 1976.- Вып. 172.- Т. 1.- С. 73 - 75.
63. Бакланов В. И., Мазур А. Б. Внедрение рекомендаций по озеленению породных отвалов шахт и обогатительных фабрик Донбасса.- М.: ЦНИЭЛИУголь, 1978.- 16 с.
64. Рева М. Л., Бакланов В. І. Підсумки досліджень з озеленення терриконів Донбасу // Інтродукція та експериментальна екологія рослин.- К.: Наук. думка, 1973.- Вип. 2 .- С. 90 - 97.
65. Бакланов В. И. Некоторые методы снижения токсичности поверхностного слоя породы терриконов Донбасса // Рекультивация земель в СССР.- М.: Мысль, 1973.- С. 317 - 325.
66. Бакланов В. И. Терриконы – как объект озеленения // Растения и промышленная среда.- К: Наук. думка, 1968.- С. 157 - 161.
67. Бакланов В. И. Некоторые особенности водного режима в породе терриконов Донбасса // IV Республиканская научная конференция молодых исследователей.- К.: Наук. думка, 1969.- С. 62 - 63.

68. Временные рекомендации по озеленению породных отвалов угольных шахт и обогатительных фабрик.- Донецк: Донбасс, 1974.- 20 с.
69. Бакланов В. И., Давыдов И. А. Почвообразовательный процесс на терриконах // Растения и промышленная среда.- К.: Наук. думка, 1968.- С. 45-52.
70. Бакланов В. И. Растительные условия терриконов Донбасса // Интродукция растений и зеленое строительство в Донбассе.- К.: Наук. думка, 1970.- С. 15 - 25.
71. Бакланов В. И. Исследование по озеленению отвалов (терриконов) шахт и обогатительных фабрик Донбасса: Автореф. дис... канд. биол. наук.- Донецк, 1971.- 27 с.
72. Бакланов В. И. Терриконы станут зелеными // Природа вокруг нас.- Донецк: Донбасс, 1978.- С. 23 - 29.
73. Костюк А. Н., Бакланов В. И. Использование дикорастущего винограда для озеленения шахтных терриконов // Зелёное строительство в степной зоне УССР.- К.: Наук. думка, 1970.- С. 100 - 103.
74. Рева М. Л., Бакланов В. И. Опыт озеленения терриконов Донбасса // Матер. I Украинской конф. «Растения и промышленная среда».- К.: Наук. думка, 1968.- С. 28 - 31.
75. Рева М. Л., Бакланов В. И. Результаты озеленения террикона шахты Центрально-Заводская в г. Донецке // Материалы симпозиума по вопросам рекультивации нарушенных промышленностью территорий ГДР.- Лейпциг, 1970.- С. 409 - 416.
76. Рева М. Л., Бакланов В. И. Некоторые результаты фитомелиорации терриконов Донбасса // Растительность и промышленные загрязнения.- Свердловск, 1970.- Вып. 7.- С. 112 - 117.
77. Рева М. Л., Бакланов В. И. Древесные растения на терриконах Донбасса // Растения и промышленная среда.- К.: Наук. думка, 1971.- С. 133 - 135.
78. Рева М. Л., Бакланов В. И. Почвообразовательные процессы на отвалах каменноугольных шахт Донбасса // Рекультивация промышленных пустошей.- М.: Мысль, 1972.- С. 103 - 111.
79. Рева М. Л., Бакланов В. И. Опыт озеленения террикона шахты Центрально-Заводская в г. Донецке // Растительность и промышленные загрязнения.- Свердловск, 1969.- С. 145 - 150.
80. Рева М. Л., Бакланов В. И. Некоторые тенденции при рекультивации породных отвалов шахт Донбасса // Тезисы докладов Всесоюзного совещания по рекультивации земель в СССР.- М., 1975.- С. 373 - 375.
81. Рекультивация земель и ландшафтная архитектура.- Луганск: ВУГУ, 2000.- 39 с.
82. Колесниченко М. В. Лесомелиорация с основами лесоводства.- М.: Колос, 1981.- 335 с.
83. Справочник по гидравлике/ Под ред В.А. Большакова. Киев, 1977, с.70-97.
84. Киричек Л. С. Естественное плодородие и эффективность минеральных удобрений грунтов терриконов угольных шахт Донбасса/ Научные труды УСХА, 1976. Вып. 177, с. 85-89.
85. Промышленная ботаника.- Киев, 1980, с. 117-119.

86. Вредное воздействие отвалов угольных шахт на агроландшафты и пути его нейтрализации / А.Р. Зубов, Л.Г. Зубова, С.Г. Воробьев и др. // Збірник наукових праць Луганського національного аграрного університету. – 2008. - № 82. - С. 3 – 11.
87. Fritts Н. С. Tree rings and climate / Н.С. Fritts – London; New York; San Francisco: Academic press, 1976. – 566 p.
88. Румшинский Л. З. Математическая обработка результатов эксперимента. – М.: Наука, 1971. – 192 с.
89. Ивахненко А. Г. Индуктивный метод самоорганизации моделей сложных систем. — Киев: Наук. думка, 1981 —296 с.
90. Закон Украины «Об экологической сети Украины» №1864-IV от 24.06.04.
91. Нероба Ю. Г., Горова А. І., Павличенко А. В. Оцінка якості докiлля за рівнем стабільності розвитку *Betula Pendula* //Матер.конф. «Екологічні проблеми регіонів України».- Одеса, 2008.- С.198-199.
92. Патент на корисну модель № 44092, Україна, МПК А01В 79/02. Спосіб формування екологічної мережі/ О. Р. Зубов, А. О. Зубов, О. С. Гуренко; Заявл. 17.10.2008; Опубл. 25.09.2009, Бюл. № 18.
93. Шеляг-Сосоненко Ю.Р., М. Д. Гродзинский, В. Д. Романенко Концепция, методы и критерии создания экосети Украины/ Под общей редакцией Ю.Р.Шеляга-Сосоненко.- Киев, 2004.- С. 27-40.
94. Патент на корисну модель № 25148 Україна, МПК А01В 79/02. Спосіб рекультивації териконів/ О.Р.Зубов, Л.Г.Зубова; Заявл. 29.03.2007; Опубл. 25.07.2007, Бюл. № 11.- С. 4.
95. Патент на корисну модель № 25149 Україна, МПК А01В 79/02. Спосіб фітомеліорації териконів/ О. Р. Зубов, Л. Г. Зубова; Заявл. 29.03.2007; Опубл. 25.07.2007, Бюл. № 11.
96. Листопад О. Лесное право на Украине и возможности общественности в охране леса // Лесной бюллетень. – 2000. – № 15, сентябрь. – С. 18-21.
97. Бобко А. Лесопользование: социальная необходимость и экологическая целесообразность // Экономика Украины. – 2001, №3. - С.75-81.
98. Звіт про стан навколишнього природного середовища Луганської області у 2006 році. / Державне управління охорони навколишнього природного середовища в Луганській області.
99. Никишов В. Д. Комплексное использование древесины: учебник для студентов вузов. – М.: Изд-во Московского гос. ун-та леса, 2006. – 262 с.
100. Вадимов Е. Н., Гонтарь М. А., Захожай В. Б. Рациональное и комплексное использование древесины на предприятиях Украинской ССР. - Киев: УкрНИИТИ, 1983. - 44 с.
101. Комплексное использование древесины при производстве композиционных материалов / Рос. акад. естеств. наук; Редкол.: А. С. Щербаков (отв. ред.) и др. - М. : Изд-во Моск. гос. ун-та леса, 1998. – 91 с.
102. Мащенко Т. В. Использование древесины в строительном комплексе в зависимости от условий произрастания на радиоактивно-загрязненных территориях : автореферат дис. ... кандидата сельскохозяйственных наук : 03.00.16. - Брянск, 1999. - 25 с.

103. Проведение капитальных горных выработок при строительстве шахт : Сб. науч. тр. ВНИИОМШС / ВНИИ орг. и механизации шахт. стр-ва.; Отв. ред. Косков И. Г. - Харьков : ВНИИОМШСа, 1988. – 128 с.
104. Технология строительства подземных сооружений: Учеб. для вузов в 3-х ч. - М. : Изд-во Акад. горных наук, 1998. – Ч.1.: Строительство вертикальных выработок. – 285 с.
105. Технология строительства подземных сооружений: Учеб. для вузов. В 3-х т.- М.: Недра, 1992. – Ч.2.: Строительство горизонтальных и наклонных выработок. – 316 с.
106. Методические рекомендации по защитно-мелиоративному озеленению породных отвалов. – Донецк: ДБНТИ, МУП УССР, 1980. – 24 с.
107. Методические рекомендации по биологической рекультивации площадей плоских породных отвалов угольных шахт и обогатительных фабрик Украинской ССР. – Донецк: ЦБНТИ, МУП УССР, 1990. – 54 с.
108. ГОСТ 616-83. Стойки рудничные деревянные. Технические условия. - Взамен ГОСТ 616-72; Введ. 01.01.84. – М.: Изд-во стандартов, 1983. – 8 с.
109. Радчук Л. И. Основы конструирования изделий из древесины: Учебное пособие. - М.: МГУЛ (Московский государственный университет леса), 2006. - 200 с.
110. Уголев Б. Н. Древесиноведение и лесное товароведение: Учебник. - М.: ГОУ ВПО МГУЛ, 2007. - 351 с.
111. Глебов И. Т., Рысев В. Е. Технология деревообработки. Термины и определения: Учебное пособие. - Екатеринбург: УГЛТУ (Уральский государственный лесотехнический университет), 2005. – 220 с.
112. Патент №42978А Україна, МПК А01В 79/02. Спосіб рекультивації пласких відвалів вугільних шахт/О. Р. Зубов, Л. Г. Зубова, А. В. Харламова;- Заявл. 17. 10. 2008; Опубл. 10. 04. 2009, Бюл. № 7.- С. 4.

## СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

**Зубова Лилия Григорьевна** - профессор кафедры гидрометеорологии Восточноукраинского национального университета им. В. Даля, доктор технических наук, профессор. Руководит подготовкой аспирантов и соискателей. Имеет более 170 публикаций, из них три монографии, два учебных пособия, 25 авторских свидетельств и патентов на изобретения и полезные модели. Научные исследования связаны с проблемами оптимизации терриконовых ландшафтов Донбасса.

**Зубов Алексей Рэмович** – заведующий кафедрой гидрометеорологии Восточноукраинского национального университета им. В. Даля, доктор сельскохозяйственных наук, профессор. Член Европейского общества охраны почв (ESSC). Руководит подготовкой аспирантов и соискателей. Имеет более 160 публикаций, из них три монографии, два учебных пособия, 27 авторских свидетельств и патентов на изобретения и полезные модели. Основные направления исследований – изучение закономерностей эрозионно-гидрологических процессов на водосборах и развитие научных и прикладных основ формирования устойчивых агроландшафтов.

**Воробьев Сергей Германович** – заведующий учебными лабораториями, ассистент кафедры прикладной физики. В 2001 г. окончил магистратуру Восточноукраинского национального университета им. В. Даля по специальности „Педагогика высшей школы». Соискатель кафедры „Гидрометеорология”. Автор 14 научных работ, в т.ч. 3 патентов на полезные модели. Научные исследования связаны с вопросами повышения экологической безопасности терриконовых ландшафтов Донбасса.

**Сиволап Светлана Игоревна** – инженер, аспирант кафедры «Гидрометеорология». В 2006 г. окончила магистратуру по специальности «Экология и охрана окружающей среды» Восточноукраинского национального университета им. В. Даля. Автор 10 научных работ. Научные исследования связаны с изучением влияния породных отвалов угольных шахт на экологическое состояние почвенного покрова и биопродуктивность агроландшафтов Донбасса.

**Харламова Алина Вадимовна** – аспирант кафедры «Гидрометеорология». В 2006 г. окончила магистратуру по специальности «Экология и охрана окружающей среды» Восточноукраинского национального университета им. В. Даля. Автор 10 научных работ, в т.ч. одного патента на полезную модель. Научные исследования связаны с изучением экологического состояния фитоценозов рекультивированных терриконов и разработкой мероприятий по их улучшению.

**Зубов Антон Алексеевич** – аспирант кафедры системной инженерии. В 2007 году окончил магистратуру Восточноукраинского национального университета им. В. Даля по специальности «Системы управления и автоматика». Имеет 20 научных работ, в т.ч. 1 патент на полезную модель. Научные исследования связаны с изучением вопросов создания экспертной системы оценки терриконов как объектов Национальной экологической сети.

Наукове видання

Зубова Лілія Григорівна  
Зубов Олексій Ремович  
Воробйов Сергій Германович  
Сиволап Світлана Ігорівна  
Харламова Аліна Вадимівна  
Зубов Антон Олексійович

## ОПТИМІЗАЦІЯ ТЕРИКОНОВИХ ЛАНДШАФТІВ

(російською мовою)

Редактор	З.І. Андропова Л.В. Бугокова
Техн. редактор	Т.М. Дроговоз
Оригінал-макет	О.О. Грінченко
Коректор	Я.В. Рудник

Підписано до друку 15.03.2010  
Формат 60×84<sup>1/16</sup> Папір типограф. Гарнітура Times.  
Друк офсетний. Умов. друк. арк. 12,1. Обл.-вид. арк. 13,0.  
Тираж 300 екз. Вид. № 2408. Замов № \_\_\_\_\_. Ціна договірна.

Видавництво Східноукраїнського національного  
університету імені Володимира Даля

Свідоцтво про реєстрацію: серія ДК № 1620 від 18.12.2003

Адреса видавництва : 91034, м. Луганськ, кв. Молодіжний, 20а  
Телефон: 8 (0642) 41-34-12, факс. 8 (0642) 41-31-60  
E-mail: uni@snu.edu.ua http: www.snu.edu.ua

