

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ, МОЛОДЕЖИ И СПОРТА УКРАИНЫ
ВОСТОЧНОУКРАИНСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
имени ВЛАДИМИРА ДАЛЯ**

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

**ПОВЫШЕНИЕ
ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ
ПОРОДНЫХ ОТВАЛОВ
УГОЛЬНЫХ ШАХТ**

Монография

Луганск 2012

УДК 504.06

П 42

Рекомендовано Ученым советом
Восточноукраинского национального университета имени Владимира Даля
(протокол № 9 от 27. 04. 2012 г.)

Рецензенты:

Голубничий П. И., доктор физико-математических наук, профессор,
Заслуженный деятель науки и техники Украины
Бранспиз Ю.А., доктор технических наук, профессор

Зубов А. Р.

П 42 Повышение экологической безопасности породных отвалов угольных шахт:
монография./ А.Р. Зубов, Л. Г. Зубова, С.Г. Воробьев, А.А. Зубов, А.В. Харламова.–
Луганск: изд-во ВНУ им. В. Даля, 2012. – 176 с. табл. 60; рис. 40; библиогр. 102 назв.

ISBN 978-966-590-948-4

В монографии сделан анализ формирования экологической опасности породных отвалов угольных шахт - терриконов. Раскрыты закономерности выноса загрязняющих веществ с их поверхности в результате водной и ветровой эрозии. Описаны разработанные авторами методы дистанционного определения эродированности поверхности отвалов и изучения дефляционной устойчивости отвальной породы в лабораторных условиях. Методом математического моделирования установлены количественные показатели отложения продуктов дефляции на территории размещения отвалов. Рассмотрены пространственные закономерности изменения удельной гамма-активности почв на этой территории и содержания в них тяжелых металлов. Изучена возможность снижения экологической опасности отвалов путем создания на их поверхности «Киотских лесов» и вовлечения отвалов в Национальную экологическую сеть.

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

У монографії зроблено аналіз формування екологічної небезпеки порідних відвалів вугільних шахт - териконів. Розкрито закономірності винесення забруднюючих речовин з їх поверхні в результаті водної та вітрової ерозії. Описано розроблені авторами методи дистанційного визначення еродованості поверхні відвалів і вивчення дефляційної стійкості відвальної породи в лабораторних умовах. Методом математичного моделювання встановлено кількісні показники відкладення продуктів дефляції на території розміщення відвалів. Розглянуто просторові закономірності зміни питомою гамма-активності ґрунтів на цій території і вмісту в них важких металів. Вивчена можливість зниження екологічної небезпеки відвалів шляхом створення на їх поверхні «Киотських лісів» і залучення відвалів у Національну екологічну мережу.

Для наукових співробітників, фахівців, сфера діяльності яких пов'язана з екологією вуглевидобувної промисловості, викладачів, аспірантів і студентів.

УДК 504.06

ISBN 978-966-590-948-4

© А.Р. Зубов, Л.Г. Зубова, С.Г.Воробьев,
А.А. Зубов, А.В.Харламова, 2012

© Восточноукраинский
национальный университет
имени Владимира Даля, 2012

СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие.....	5
1. Анализ формирования экологической опасности терриконов в результате эрозионных процессов на их поверхности.....	7
1.1. Закономерности выноса породы в окружающую среду в результате эрозии	7
1.1.1. Динамика интенсивности эрозионных процессов на терриконах в начальный период после окончания их формирования.....	7
1.1.2. Усовершенствование методов изучения последствий эрозии на поверхности породных отвалов и оценка ее среднемноголетней интенсивности.....	13
1.2. Миграционная способность частиц породы различного размера в элювиально-аккумулятивной техногенной фации катен терриконовых ландшафтов.....	18
1.3. Количественная оценка изменений геохимических катен и арен терриконовых ландшафтов.....	23
1.3.1. Влияние породных отвалов на степень кислотности почвенного покрова и воды прилегающих к ним ландшафтов и водоемов.....	26
1.3.2. Характеристика содержания сульфат-ионов в терриконовой породе, почвенном покрове и водоемах прилегающей к отвалам территории.....	31
1.4. Пространственные закономерности изменения удельной гамма-активности почв на прилегающей к отвалам территории.....	34
1.5. Определение интенсивности загрязнения прилегающей к отвалам территории тяжелыми металлами.....	39
2. Оценка интенсивности процесса дефляции поверхности терриконов и отложения выносимой породы на прилегающей территории.....	45
2.1. Закономерности процесса дефляции поверхности породных отвалов.....	45
2.2. Математическая модель процесса загрязнения территории, окружающей породные отвалы, продуктами дефляции их поверхности.....	66
2.3. Компьютерные реализации математической модели процесса загрязнения территории породой, выносимой ветром с отвалов.....	81
2.3.1. Прогнозирование годового дефляционного выноса породы со сформированных отвалов и ее отложения на прилегающей территории.....	81
2.3.2. Расчет многолетнего загрязнения территории породой, отнесенной ветром в период отсыпки отвалов.....	90
2.3.3. Расчет многолетнего дефляционного загрязнения территории породой, выносимой с отвалов в период их формирования.....	94

3. Повышение экологической безопасности отвалов путем создания на их поверхности «Киотских лесов».....	96
3.1. Расчет депонирования углекислого газа из атмосферы лесонасаждениями терриконов угольных шахт.....	96
3.1.1. Оценка запасов углерода, величин его годового депонирования и баланса на озелененных терриконах угольных шахт.....	98
3.1.2. Исследование таксационных показателей лесонасаждений на терриконах и динамика их изменения с течением времени.....	106
3.1.3. Оценка величин запасов и годового депонирования углерода.....	116
3.2. Целенаправленное переформирование конических отвалов в плоские.....	123
4. Повышение экологической безопасности породных отвалов путем их использования в качестве объектов Национальной экологической сети.....	132
4.1. Общая схема формирования экологической опасности отвалов и анализ возможных способов управления ею.....	133
4.2. Последовательность создания экологической сети с включением в нее терриконов.....	135
4.3. Обоснование технической возможности использования отвалов угольных шахт в экологической сети.....	144
4.4. Обоснование системы возможных решений для управления экологической безопасностью терриконов путем их включения в схему экологической сети и критериев их принятия.....	148
4.5. Разработка алгоритма распознавания аэрокосмических снимков для получения информации об экологическом состоянии терриконов.....	154
4.6. Обоснование прикладных подходов к диагностированию теплового состояния поверхности отвалов.....	158
Литература.....	163
Сведения об авторах.....	171

Предисловие

Одними из основных нарушителей и загрязнителей окружающей природной среды в Донбассе являются горнодобывающие предприятия. На территории его украинской части – в Луганской и Донецкой областях находится 1257 породных отвалов угольных шахт – терриконов – общим объемом 1056,5 млн. м³, которые занимают площадь 5526 га [1]. Однако гораздо большей является площадь земель, нарушенных и загрязненных в процессе строительства и эксплуатации шахтных комплексов. Основная часть загрязнения приходится на горящие породные отвалы [2], но существенную роль в загрязнение вносят и негорящие вследствие чрезвычайного развития на их поверхности процессов эрозии и дефляции.

Формирование неблагоприятной экологической ситуации на прилегающей к породным отвалам территории происходит в результате ее загрязнения оседающими продуктами водной и ветровой эрозии, в результате выпадения атмосферных осадков, загрязненных при их прохождении через слой воздуха, содержащий газообразные продукты горения отвалов, пылевые и сажевые частицы.

В основу монографии положены результаты многолетних исследований авторов, позволившие выполнить анализ формирования экологической опасности терриконов с построением математических моделей дефляции отвальной породы и ее отложения на прилегающей территории, разработать новые методы мониторинга эрозионных процессов.

В качестве основного фактора управления экологической опасностью терриконов в монографии рассматриваются лесные насаждения, поскольку они обладают способностью радикально снижать интенсивность эрозии и дефляции поверхности как почв, так и горных пород.

Поскольку управление экологическим состоянием территории размещения шахтных отвалов путем проведения их лесной рекультивации сейчас почти не осуществляется вследствие ее убыточности для горнодобывающих предприятий, авторами выполнен поиск новых путей

мотивации к выделению средств на лесную рекультивацию как из фондов самих предприятий, так и городских бюджетов. Значительное внимание в монографии уделено анализу возможности использования поверхности породных отвалов под «Киотские леса» и в качестве объектов Национальной экологической сети.

Авторы монографии: А. Р. Зубов, доктор сельскохозяйственных наук, профессор [общее руководство исследованиями и редактирование монографии]; Л. Г. Зубова, доктор технических наук, профессор [общее руководство исследованиями и редактирование монографии]; к.т.н. С.Г. Воробьев [разд. 1], А.А. Зубов [разд. 2,4], А.В. Харламова [разд. 3].

1. АНАЛИЗ ФОРМИРОВАНИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ОПАСНОСТИ ТЕРРИКОНОВ В РЕЗУЛЬТАТЕ ЭРОЗИОННЫХ ПРОЦЕССОВ

1.1. Закономерности выноса породы в окружающую среду в результате эрозии поверхности терриконов

Отвалы угольных шахт отрицательно влияют на прилегающие территории, существенно изменяя природные ландшафты. Коническая форма отвалов, большая крутизна их склонов (до 45°) способствуют активным эрозионным процессам, происходящим на поверхности отвалов, которые в свою очередь содействуют выносу породы на прилегающую территорию. Смываемая потоками талых и ливневых вод порода токсична, под воздействием атмосферных осадков происходит процесс естественного выщелачивания металлов из породы отвалов с образованием загрязненных кислых стоков. Серная кислота, образующаяся в результате окисления пирита, растворяет различные металлы и переводит их в подвижную форму. Следовательно, эрозионные процессы приводят к переносу в ландшафты тяжелых металлов в подвижной форме [3].

Для получения количественных показателей экологической опасности тяжелых металлов, сульфат- и водород-ионов выполнено определение их содержания в породе и сделана оценка интенсивности эрозионных процессов, происходящих на поверхности отвалов, прослежено перераспределение продуктов водной эрозии на пути следования временных водных потоков талых и дождевых вод.

1.1.1. Динамика интенсивности эрозионных процессов на терриконах в начальный период после окончания их формирования

Исследования по определению интенсивности эрозионных процессов выполнялись на отвале шахты «Матросская» ОАО «Лисичанскуголь», переформированного из конического в плоский в 2006 году. В результате

переформирования склоны отвала покрылись срезанной породой, а промоины, имевшиеся на них, оказались засыпанными. Поэтому появилась редкая возможность изучения эрозионного процесса как бы от его начала на свежесыпанном отвале.

Для определения годового модуля смыва породы был применен метод С.С. Соболева [4]. При этом на площадке размером 1 x 10 м, расположенной поперек склона, был произведен замер ширины и глубины промоин, сформированных стоком талых и ливневых вод за 12, 24 и 36 месяцев, прошедших после выполненного переформирования отвала (с 01.10.2006 г. по 6.10.2007 г.; с 6.10.2007 г. по 5.10.2008 г. и 5.10.2008 г. по 25.10.2009 г.). Результаты измерений представлены в табл. 1.1.

Таблица 1.1

**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 ²		
	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. 1.1.

Из представленных на рис. 1.1 данных можно констатировать увеличение площади сечения промоин за указанные периоды.

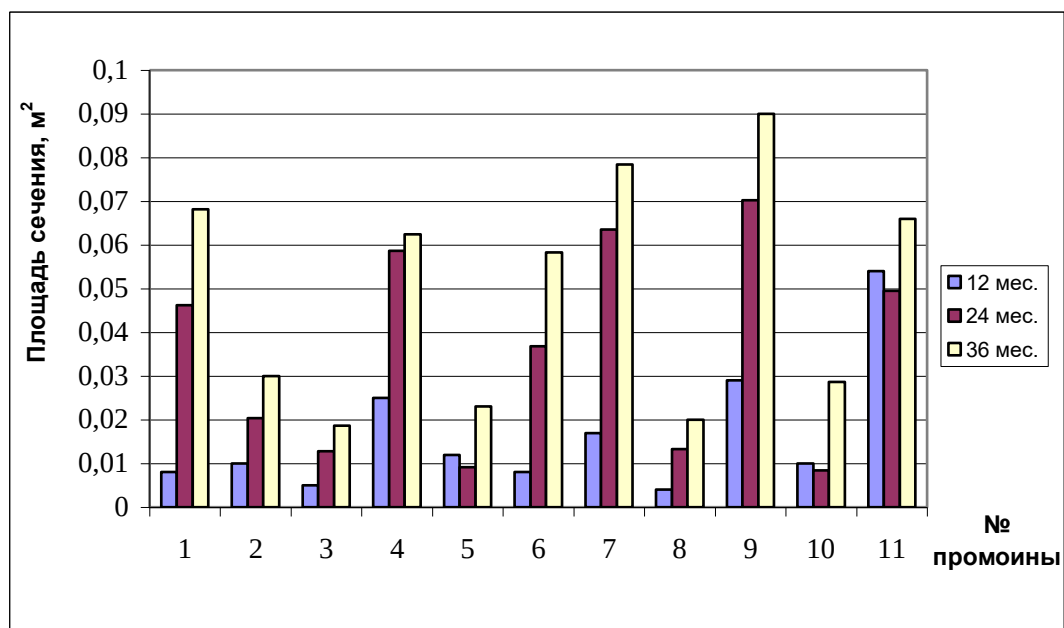


Рис. 1.1. Динамика изменения площади сечения промоин

Суммарная площадь сечения промоин рассчитана по формуле:

$$F = \Sigma(b \cdot h), \quad (1.1)$$

где b и h – соответственно ширина и глубина промоин.

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

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

По данным измерений, выполненных А.Р.Зубовым и А.А.Зубовым, суммарная площадь промоин на 15.10.2010 г. достигла $0,753 \text{ м}^2$.

Смыв породы с учетной площадки в динамике определялся по формуле:

$$V = F \cdot L, \quad (1.2)$$

где F – суммарная площадь сечений промоин;

L – ширина учетной площадки (1 м);

$$V_1 = 0,181 \text{ м}^3, V_2 = 0,389 \text{ м}^3, V_3 = 0,543 \text{ м}^3, V_4 = 0,753 \text{ м}^3.$$

Объемный модуль смыва (смыв с единицы площади) равен:

$$W = V/S,$$

где S – площадь учетной площадки (10 м^2).

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

$$W_3 = 0,0543 \text{ м}^3/\text{м}^2 = 543,0 \text{ м}^3/\text{га}; W_4 = 0,0753 \text{ м}^3/\text{м}^2 = 753 \text{ м}^3/\text{га}.$$

Массовый модуль смыва с площадки определялся нами по формуле:

$$M = W \cdot d,$$

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

На 6.10.2007 г., 5.10.2008 г. и 25.10.2009 г. и 15.10.2010 г. модули смыва были соответственно равны:

$$M_1 = 23,4 \text{ кг/м}^2 = 234 \text{ т/га}; M_2 = 502 \text{ т/га}; M_3 = 700 \text{ т/га}; M_4 = 931 \text{ т/га}.$$

Расчеты показывают, что за первые 12 месяцев с отвала было смыто 234 т/га, за вторые – 268 т/га, за третьи – 198 т/га, за четвертые – 931 т/га. В пересчете на месяц смыв за первые 12 месяцев составляет 19,5 т/га, за вторые – 22,3 т/га, за третьи – 16,5 т/га, а за четвертые – 19,3 т/га. В среднем за четыре года месячный смыв породы составил 19,4 т/га, а годовой – 233 т/га.

В результате проведенных измерений параметров поперечного сечения промоин от длины промоин (табл. 1.2), проведенных на отвале шахты „Княгининская” (г. Красный Луч), выведено уравнение (1.3) изменения площади поперечного сечения промоин по длине склона (рис. 1.2).

Таблица 1.2

Изменение площади поперечного сечения промоин по их длине

№ промоины	Расстояние от начала промоины, м				
	12	24	36	48	60
	площадь поперечного сечения, м ²				
1	0,59	0,87	1,53	1,17	0,8
2	0,57	0,62	0,49	0,57	0,44
3	0,8	1,75	0,63	0,97	0,81
4	0,27	0,28	1,09	0,91	0,81
5	0,03	0,26	1,95	1,75	0,97
6	0,04	0,44	0,74	0,54	0,64
7	0,03	0,19	0,6	0,23	0,14
8	0,04	0,17	0,57	0,24	0,15
9	0,26	0,84	1,53	0,38	0,29
10	0,3	1,51	0,89	0,72	0,44
средние значения F , м ²	0,293	0,693	1,002	0,748	0,549

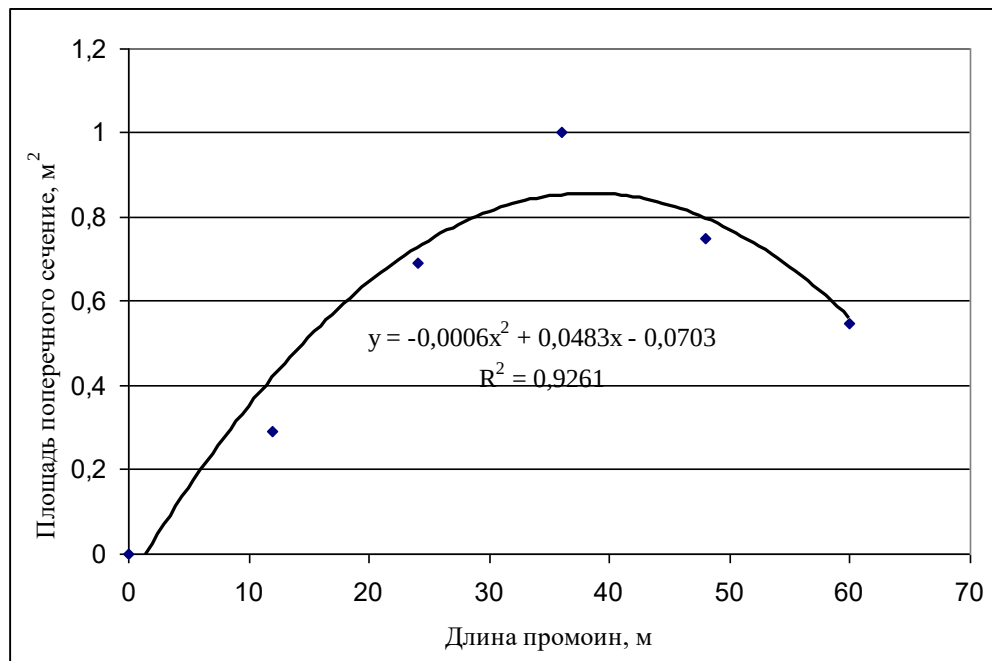


Рис. 1.2. Изменение площади поперечного сечения промоин по длине склона

$$F = 0,0483l - 0,0006l^2 - 0,0703, \quad (1.3)$$

где l – расстояние от вершины отвала до исследуемого участка, м.

С помощью уравнения (1.3) 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:

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

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

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

$$M_{IV}^{cp} = 931 \text{ т/га} \cdot 0,66 = 614,5 \text{ т/га}.$$

Смыв породы со всего отвала определен по формуле:

$$m_{cm} = M_{cp} \cdot S_{б.нов},$$

где m_{cm} – масса смытой породы; $S_{б.нов}$ – площадь боковой поверхности отвала;

M_{cp} – средний модуль смыва.

В результате измерений на топографическом плане отвала было установлено следующее значение площади его боковой поверхности:

$$S_{б.нов} = 50432 \text{ м}^2 = 5,04 \text{ га}.$$

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

$$m_{см}^1 = 154,4 \text{ т/га} \cdot 5,04 \text{ га} = 778,2 \text{ т}; m_{см}^2 = 331,3 \text{ т/га} \cdot 5,04 \text{ га} = 1670 \text{ т};$$

$$m_{см}^3 = 462,3 \text{ т/га} \cdot 5,04 \text{ га} = 2330 \text{ т}; m_{см}^4 = 614,5 \text{ т/га} \cdot 5,04 \text{ га} = 3097 \text{ т}.$$

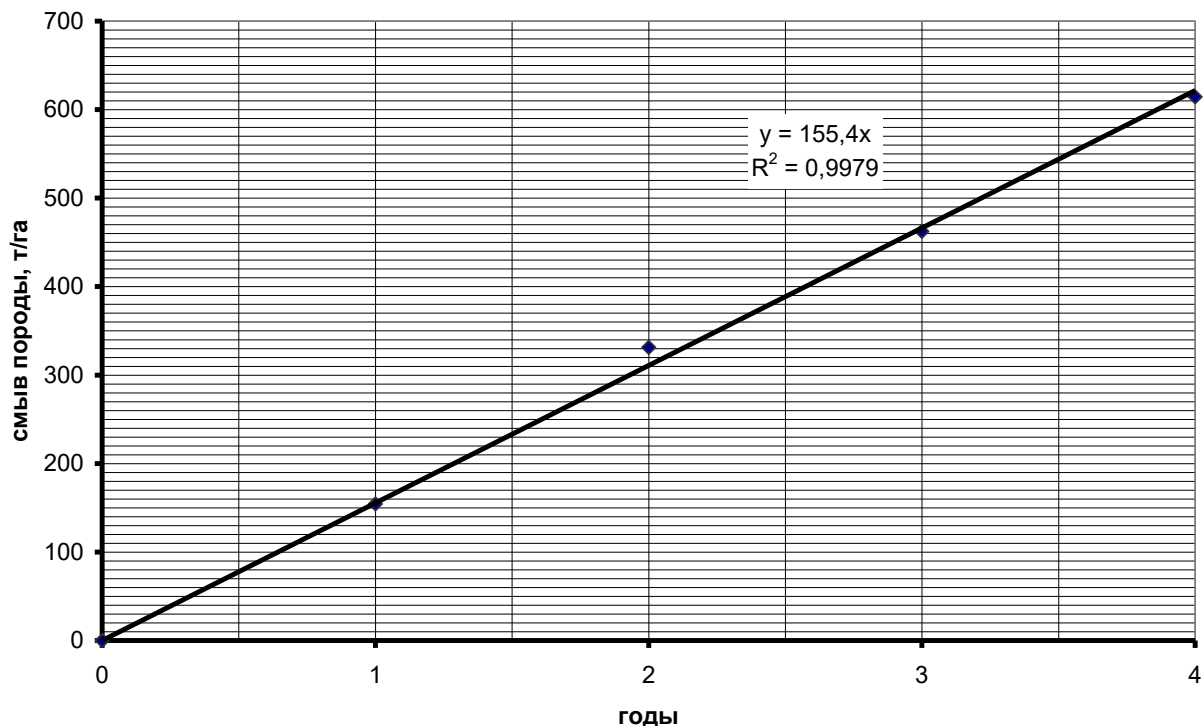


Рис. 1.3. Динамика смыва породы с террикона

На основании полученных данных, представленных на рис. 1.3 с помощью программы Excel установлено, что динамика смыва породы с учетной площадки описывается уравнением:

$$M = 155,4t \quad (1.4)$$

где t – количество лет.

С помощью уравнения (1.4) сделан прогноз на 10 лет вперед: общий смыв составит 1554 т/га. Размер смыва породы со всего исследуемого отвала

площадью 5,04 га составит 7832 т.

Проанализировав метеоданные, мы установили, что за период с 01.10.06 г. по 6.10.2007 г. выпало 372 мм атмосферных осадков, с 6.10.2007 г. по 5.10.2008 г. – 430 мм, с 5.10.2008 г. по 25.10.2009 г. – 372 мм при норме годовых осадков (473 мм). Эти данные позволяют сделать важный 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 [5-7].

1.1.2. Усовершенствование методов изучения последствий эрозии на поверхности породных отвалов и оценка ее среднемноголетней интенсивности

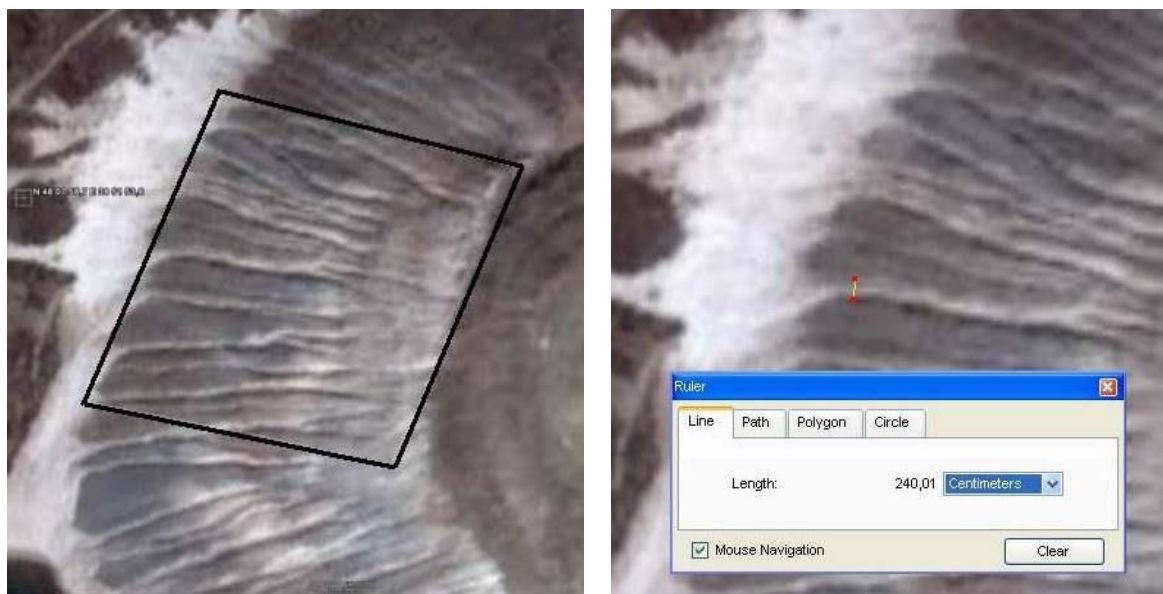
Нами предлагается усовершенствовать способ учета выноса продуктов водной эрозии С.С. Соболева [4-6] применительно к склонам терриконов, на которых он очень трудоемок. Для этого в этом способе, который заключается в измерении параметров поперечного сечения промоин и вычислении его площади, ширину промоин измеряют с помощью программного комплекса „Google Earth”, а площадь сечения промоин вычисляется с использованием специального алгоритма [8].

При осуществлении предложенного способа, защищенного патентом Украины на полезную модель № 36884, 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.

По модулю смыва, зная содержание в породе тяжелых металлов и других опасных химических веществ, можно оценить интенсивность их поступления в окружающую среду, а, следовательно, 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 и площадью 3248 м² с 10 промоинами (рис. 1.4, а). Измерена их длина и ширина (рис. 1.4, б).



а

б

Рис. 1.4. Исследуемый отвал шахты „Княгининская”:

а – исследуемая площадка террикона; б – замер ширины промоины

Поперечное сечение промоин чаще всего имеет вид трапеции, площадь которой можно рассчитать по формуле:

$$F = (b_2 + b_1) \cdot h / 2, \quad (1.5)$$

где b_1 – ширина нижнего основания трапеции; b_2 – ширина верхнего основания трапеции; h – глубина промоины.

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: ширина верхнего и нижнего основания, глубина. Результаты измерений параметров и расчета площади сечения промоины длиной 58 м представлены в табл. 1.3.

Таблица 1.3

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_ϕ , м ²	0,83	1,64	2,31	2,3	0,45	0,08	0,26	0,06	0,015	0,015

На основании данных табл. 1.3 построен график зависимости площади сечения промоины от ее ширины (рис. 1.5).

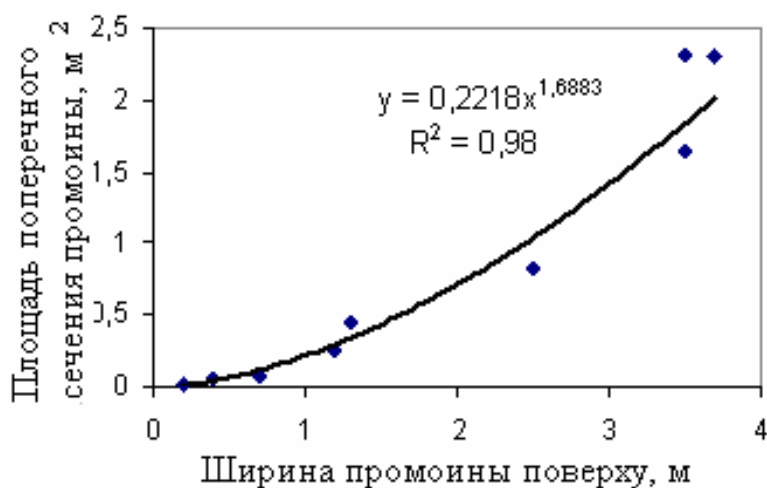


Рис. 1.5. График зависимости площади сечения промоины от ее ширины

Зависимость площади сечения промоины от ее ширины по верху представлена на рис. 1.5, она описывается уравнением:

$$F = 0,2218 \cdot b_2^{1,69},$$

где b_2 – ширина промоины по верху, м.

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 непосредственно на местности, представлено в табл. 1.4. Оно показывает, что в большинстве измерений абсолютная ошибка не превышала 10 см. Относительная ошибка не превышала 8,3% при ширине сечений по верху более 70 см и возрастала до 25-50% при ширине 40–20 см.

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

Таблица 1.4

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

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. 1.5.

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 $V = 6,07 \text{ м}^2 \cdot 58 \text{ м} = 352,1 \text{ м}^3$.

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

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

Таблица 1.5

**Результаты вычислений площади сечений промоин
по эмпирической формуле**

№ про- моины	Длина про- моины l , м	Ширина сечения промоины b , см	Номер сечения промоины от низа к верху склона					Средняя ширина промоины b_{cp} , см
		площадь сечения F , м^2	1	2	3	4	5	средняя площадь F_{cp} , м^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 квадратного метра его поверхности смыто 139,7 кг породы.

Предложенный способ позволяет без дополнительных наземных исследований определить смыв породы с отвала, что в свою очередь создает значительную экономию материальных средств и времени.

1.2. Миграционная способность частиц породы различного размера в элювиально-аккумулятивной техногенной фации катен терриконовых ландшафтов

В результате выполненных работ установлено, что эрозионные процессы на породных отвалах характеризуются значительной интенсивностью - до 154 т/га в год смываемой породы с террикона. Для выявления наиболее подвижных фракций породы нами исследован агрегатный и микроагрегатный состав отвальной породы в элювиально-аккумулятивной техногенной фации катен терриконовых ландшафтов.

Для исследования перемещения частиц породы разного размера были отобраны образцы почв и отложившейся породы на территории отвалов шахт „Дуванная” (с. Дружное, Краснодонский р-н), „Княгининская” (г. Красный Луч), „Матросская” (г. Лисичанск). Места отбора указаны в табл. 1.6.

Таблица 1.6

Точки отбора образцов почв и породы на прилегающей к отвалам территории

№ п/п	Обозначение точек отбора	Место отбора	Расстояние от отвала, м	Шахта
1	Д.1.2	ил перед водотоком у подножия отвала	5	„Дуванная”
2	Д.1.5	дно балки ниже отвала	250	
3	Д.1.6	ил в низинке на дне балки	650	
4	Д.1.8	устье балки с терриконом перед урезом воды пруда	855	
5	К.1.1	45 м от основания террикона	45	„Княгининская”
6	К.1.2	низ шлейфа выноса	25	
7	К.1.3	ниже середины шлейфа	15	
8	К.1.4	середина шлейфа	10	
9	К.1.5	верх шлейфа	0	
10	К.2.1	нанос перед отвалом	0	
11	К.2.2	нанос у кромки воды	15	
12	М.1.2	середина террасы	5	„Матросская”
13	М.1.3	нанос в траве	20	
14	М.1.4	дно траншеи	30	
15	М.1.5	ил в траншее перед прудом	35	
16	М.3.1А	нанос в ложбине	40	
17	М.3.1К1	контроль 20 м вправо от т.3.1 А	45	
18	М.3.5А	в середине зоны загрязнения	305	
19	М.3.5К1	контроль	310	

Отбор образцов (Д.1.2, Д.1.5, Д.1.6, Д.1.8) на территории, прилегающей к отвалу шахты „Дуванная”, производился на пути стока воды от основания террикона до пруда.

Отбор образцов почв (К.1.1, К.1.2, К.1.3, К.1.4, К.1.5) возле отвала шахты „Княгининская” производился на шлейфе выноса терриконовой породы из крупной промоины. На территории, прилегающей к отвалу шахты „Матросская”, образцы почв (точки М.1.2, М.1.3, М.1.4, М.1.5) отбирались от основания отвала до траншеи, совмещенной с валом, окружающей отвал, а также на пашни вдоль шлейфа выноса породы, возникшего еще до создания траншеи (точки М.3.1А, М.3.1К1, М.3.5А, М.3.5К1).

Для определения миграционных свойств породы определялось содержание различных фракций агрегатов в образцах методом „сухого” и „мокрого” просеивания по Н.И. Савинову [9] (табл. 1.7, рис. 1.6, табл. 1.9).

Для более полного представления о структурном изменении почв определены агрегаты меньше 0,25 мм по методу Н.А. Качинского [9], результаты измерений представлены в табл. 1.8, 1.10.

Таблица 1.7

Результаты структурного анализа почв территории, прилегающей к отвалу шахты „Дуванная” (числитель – данные сухого просеивания, знаменатель – данные мокрого просеивания)

Точка отбора	Размер агрегатов (в мм) и их содержание (в % от веса воздушносухой почвы)									
	>10	10-7	7-5	5-3	3-2	2-1	1-0,5	0,5-0,25	<0,25	всего
Д.1.2	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
				4	3,8	4,4	6,4	8,4	73	100
Д.1.5	5,33	4,61	10,14	30,5	19,1	17,6	8,2	4,4	0,24	100
				15,2	12	19	23	17,4	13,4	100
Д.1.6	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
				0,4	0,6	0,8	0,4	0,6	97,2	100
Д.1.8	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
				0,2	4,2	23	29,8	17,4	25,4	100

* - структурный анализ сделан путем только мокрого просеивания.

На основании данных, представленных в табл. 1.7, можно сделать вывод, что агрегатный состав отложенной породы изменяется по длине пути

миграции. На расстоянии 250 м от отвала (Д. 1.5) в отложенных наносах преобладает фракция размером 5–3 мм, в 650 метрах от отвала наносы перед прудом на 97,2% представлены частицами <0,25 мм.

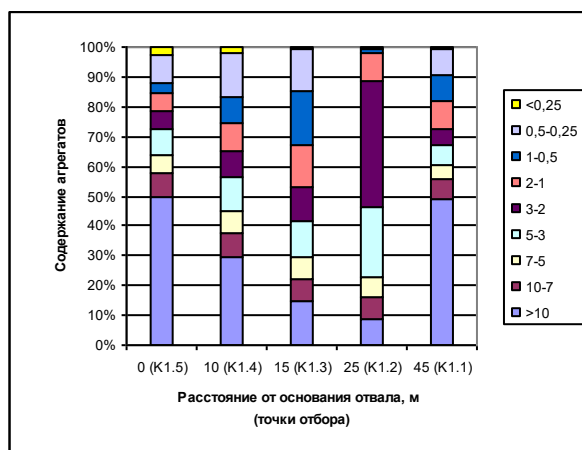
Сравнение результатов микроагрегатного анализа, представленных в табл. 1.8, показывает, что в наиболее удаленной точке наносов с отвала (650 м) преобладает фракция размером 0,05 – 0,01 мм, а на расстоянии 250 м ее содержание только 1,8 %, преобладает фракция 1 – 0,25 мм (76,6 %).

Таблица 1.8

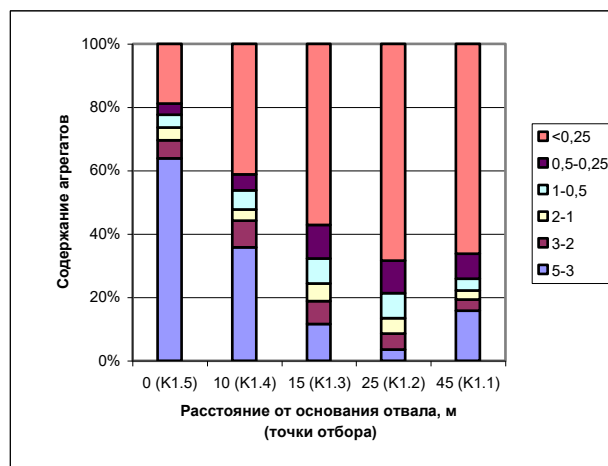
**Результаты микроагрегатного анализа почв территории,
прилегающей к отвалу шахты „Дуванная”**

Точка отбора	Размер фракций (в мм), её содержание (в %)						Сумма частичек размером, мм, (в %)	
	1-0,25	0,25-0,05	0,05-0,01	0,01-0,005	0,005-0,001	<0,001	<0,01	>0,01
Д.1.2	39,47	19,56	20,98	5,07	6,86	8,07	20,00	80,00
Д.1.5	76,62	8,21	1,81	4,17	0,64	8,55	13,36	86,64
Д.1.6	23,00	7,84	60,28	5,90	0,61	2,37	8,87	91,13
Д.1.8	51,07	7,23	16,06	10,14	11,98	3,53	25,64	74,36

Таким образом, можно сделать вывод, что фракция размером <0,05 мм характеризуется высокой подвижностью.



а



б

Рис. 1.6. Гистограмма распределения агрегатного состава отложений вдоль водотока от отвала шахты „Княгининская” к пруду:
а – „сухое” просеивание; б – „мокрое” просеивание

На основании результатов сухого просеивания, представленных на рис. 1.6, а, можно сделать вывод, что агрегатный состав отложенных наносов

очень варьирует по мере удаления от отвала. Наносы с мелкоглыбистой структурой (>10 мм) в начале выноса в верхней точке шлейфа составляют 49,9 %; через 10 метров - в середине шлейфа они составляют 29,7 %; в точке К.1.3 их количество уменьшается до 14,9 %; через 25 метров - до 8,63%; а затем за зоной основного выноса на расстоянии 45 метров происходит их рост до 48,7 %. Содержание частиц других размеров варьирует в пределах 5 - 20%. Отмечено накопление частиц размером 3–2 мм (41,76%) внизу шлейфа.

Данные мокрого просеивания свидетельствуют о наличии более выраженной закономерности в агрегатном составе отложенных наносов на пути потока: содержание водопрочных агрегатов размером 5–3 мм с расстоянием уменьшается, а агрегатов размером <0,25 мм - увеличивается, что говорит о более выраженной миграционной способности последних.

Таблица 1.9

Результаты структурного анализа почв территории, прилегающей к отвалу шахты „Матросская” (числитель – данные сухого просеивания, знаменатель – данные мокрого просеивания)

Точка отбора	Размер агрегатов (в мм) и их содержание (в % от веса воздушносухой почвы)									
	>10	10-7	7-5	5-3	3-2	2-1	1-0,5	0,5-0,25	<0,25	всего
М.1.2	50,81	10,49	8,50	9,26	5,97	4,97	3,67	3,16	3,16	100
				20,2	6,2	4,8	5,2	6,6	57,0	100
М.1.3	21,79	8,27	10,21	16,83	20,53	15,56	4,47	2,14	0,19	100
				18,6	8,0	6,6	7,8	10,0	49,0	100
М.1.4	1,25	2,11	2,70	5,96	12,33	33,90	18,69	21,87	1,19	100
				1,6	1,4	1,8	6,2	20,4	68,6	100
М.1.5	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
				2,0	0,8	0,7	0,7	2,0	93,8	100
М.3.1А	26,69	8,96	8,17	11,55	10,06	11,35	7,71	11,25	4,24	100
				16,4	3,4	3,2	3,4	7,0	66,6	100
М.3.1К1	21,90	7,24	7,05	1,14	11,90	15,62	11,90	10,86	12,38	100
				2,4	1,8	3,2	8,4	16,4	67,8	100
М.3.5А	28,68	11,89	9,90	11,94	9,53	10,45	7,92	8,06	1,63	100
				5,4	3,2	3,2	4,4	10,0	73,8	100
М.3.5К1	18,19	4,34	6,03	15,56	20,23	18,81	10,12	6,13	0,58	100
				0,0	1,4	5,6	18,6	23,6	50,8	100

* - структурный анализ сделан путем только мокрого просеивания.

На основании данных сухого просеивания образцов отложений на территории шахты «Матросская», представленных в табл. 1.9, можно сделать

вывод, что содержание мелкоглыбистой фракции (>10 мм) в них уменьшается в направлении стока от подножия отвала к водоулавливающей траншее с 50,81 % (т. М.1.2) до 1,25% (М.1.4); а содержание фракции 2 – 1 мм возрастает с 4,97% (т. М.1.2) до 33,9% (М.1.4).

Количество частиц размером 1 – 0,5 мм увеличивается с 3,67% (т. М.1.2) до 18,69% (М.1.4). Рост содержания мелких фракций объясняется снижением доли крупных. По мере движения наносов вдоль траншеи к отстойнику содержание всех фракций заметно снижается, а содержание фракции мельче 0,25 мм достигает 93,8%. Можно сделать вывод о высоких миграционных свойствах данной фракции.

Анализируя результаты агрегатного состава проб почвы другого шлейфа выноса породы, возникшего еще до создания траншеи (точки отбора М.3.1А, М.3.5А и контроля М.3.1К1, М.3.5К1), можно сделать вывод, что масса мелкоглыбистой фракции в них выше чем на контроле (вне шлейфа): 26,69%, 28,68% и 21,90%, 18,19% соответственно. Это свидетельствует о водном переносе частиц >10 мм. На основании данных „мокрого” просеивания (табл. 1.9) можно сделать вывод, что фракционный состав почв во всех точках следования потока преимущественно представлен частицами размером $<0,25$ мм, содержание которых варьирует от 50,8% до 93,8%. Второе место занимают частицы размером 0,5 – 0,25 мм (6,6% – 23,6%).

Для того чтобы рассмотреть миграционные процессы на микроуровне, выполнен микроагрегатный анализ, результаты представлены в табл. 1.10.

Таблица 1.10

Результаты микроагрегатного анализа почв территории, прилегающей к отвалу шахты „Матросская”

Точка отбора	Размер фракций (в мм), её содержание (в %)						Сума частиц размером, мм, %	
	1-0,25	0,25-0,05	0,05-0,01	0,01-0,005	0,005-0,001	$<0,001$	$<0,01$	$>0,01$
М.1.2	27,11	61,19	7,06	0,49	0,51	3,64	4,65	95,35
М.1.3	53,31	25,94	15,66	3,04	0,90	1,15	5,09	94,91
М.1.4	79,03	7,86	6,89	1,31	2,88	2,03	6,22	93,78
М.1.5	26,23	62,35	6,28	1,85	0,89	2,40	5,14	94,86
М.1.6	6,88	26,47	63,85	1,90	0,18	0,72	2,80	97,20

Из представленных данных (табл. 1.10) можно сделать вывод, что три фракции: 1–0,25, 0,25–0,05 и 0,05–0,01 дают существенный вклад (более 93,8%) в миграционную составляющую отобранных образцов. У основания террикона (т. М.1.2) количество частиц размером 1–0,25 составляет 27,11%. В точке М.1.4 (дно траншеи) наблюдалось максимальное содержание этих частиц. Преобладающей фракцией в конце пути потока в отложениях на дне отстойника явилась 0,05–0,01 мм, а ее сумма с более мелкими составила 66,7%. Таким образом, эта фракция является наиболее подвижной и трудноуловимой с помощью обычных мероприятий.

1.3. Количественная оценка изменений геохимических катен и арен терриконовых ландшафтов

За два столетия с момента появления первых шахт территория Донецкого угольного бассейна очень сильно 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 терриконики 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 [3].

В природных компонентах естественных ландшафтов степи, и в частности Донбасса, типоморфным элементом является кальций. В антропогенных терриконовых сернокислых ландшафтах типоморфными являются ион водорода и сульфат-ион. Обусловлено это окислительными процессами на поверхности отвалов, которые приводят к образованию H_2SO_4 и к сильному подкислению среды [10-12].

Для определения уровня изменения терриконовых ландшафтов нами выполнен анализ образцов породы и почв по водородному показателю,

определена гамма- и альфа-активность, выполнен анализ на содержание сульфат-ионов и тяжелых металлов.

Для определения рН образцов использовался электрометрический метод [13]. Абсолютная погрешность измерений составила 0,1%. Результаты измерений представлены в табл. 1.11.

Таблица 1.11

Результаты анализа водородного показателя образцов породы и почв территории, прилегающей к отвалу шахты „Дуванная”

№ п/п	Точка отбора	Место отбора, вид образца	Показатели		
			расстояние от основания отвала, м	значение рН	характеристика кислотности почвы и породы
1	Д.1.1	порода со склона отвала не перегоревшая	5	3,20	сильнокислая
2	Д.1.2	ил у подножия отвала	3	3,30	сильнокислая
3	Д.1.3	ил ближе к водотоку	5	4,32	сильнокислая
4	Д.1.4	вода из водотока у отвала	7	4,00	сильнокислая
5	Д.1.5	на дне по водотоку в балке	250	4,75	среднекислая
6	Д.1.6	ил в балке	650	6,42	нейтральная
7	Д.1.9	вода из пруда	860	6,40	нейтральная
8	Д.2.1	порода со склона отвала	0	4,31	сильнокислая
9	Д.2.2	почва вне водотока	20	6,85	нейтральная
10	Д.2.3	почва вне водотока	100	6,98	нейтральная
11	Д.2.4	почва вне водотока	200	7,18	нейтральная
12	Д.2.5	почва вне водотока	400	7,35	нейтральная
13	Д.2.6	почва вне водотока	750	7,56	слабощелочная

На основании данных, представленных в табл. 1.11, можно сделать вывод, что терриконовая порода характеризуется сильнокислой реакцией среды (рН 3,2). Сильнокислой реакцией характеризуются и отложения у подножия отвала (рН 3,3). С увеличением расстояния до 650 м на север вдоль дна водотока наблюдается постепенное снижение кислотности почвогрунта до рН 6,4. Подкисляющее действие приносимой с отвала породы сказывается и на воде пруда, удаленного от него на 850 метров (рН 6,4).

Водородный показатель почвы вдоль другого учетного створа, уходящего на восток, увеличивается от 6,85 до 7,56. Поскольку створ не имеет уклона, по нему не происходит миграция породы водным путем. Поэтому подкисление почвы в направлении к отвалу свидетельствует о ее загрязнении отлагающимися сильнокислыми частицами породы, выносимой с поверхности отвала в результате ее дефляции.

Как свидетельствуют данные табл. 1.12 и рис. 1.7, вынос сильнокислой породы из промоин отвалов (рН 2,9–3,55) приводит и к сильнокислой реакции воды водоемов, находящихся в непосредственной близости от них (рН 3,7).

Таблица 1.12

Результаты определения водородного показателя образцов воды, породы и почвы на территории, прилегающей к отвалу шахты „Княгининская”

Точка отбора	Место отбора	Показатели		
		расстояние от основания отвала, м	значение рН	характеристика кислотности
К.1.8	склон отвала	-	3,55	сильнокислая
К.1.2	низ шлейфа	25	2,90	сильнокислая
К.1.3	10 м от т. К.1.3.)	15	2,96	сильнокислая
К.1.0	вода из пруда от основания террикона	20	3,70	сильнокислая



а



б

Рис. 1.7. Гистограмма распределения водородного показателя почв (отвал шахты „Матросская”): а – вдоль водотока от отвала к пруду; б – вне водотока вдоль створа на пашне

На основании данных, представленных на рис. 1.7, можно сделать вывод, что водородный показатель вдоль линии стока изменяется с 3,61

(порода на склоне) до 4,35 (вода в отстойнике). В шлейфе выноса породы на пашне рН колеблется в пределах 4,12 – 5,55. В контрольных (чистых) точках водородный показатель изменяется от 7,1 до 7,6.

1.3.1 Влияние породных отвалов на степень кислотности почвенного покрова и воды прилегающих к ним ландшафтов и водоемов

На основании методики В.В. Барашенко, И.Д. Шмигельской и др. [14] нами выполнена оценка породы и почв прилегающих к отвалам территорий по степени кислотности (рН). Результаты представлены в табл. 1.13, 1.14.

Таблица 1.13

Степень кислотности (рН) породы отвалов шахт

№ п/п	Точка отбора	Место отбора (порода со склона отвала шахт)	Показатели			
			расстояние от основания отвала, м	рН	характеристика кислотности	группа
1	Д.1.1	„Дуванная”	-5	3,20	сильнокислая	I
2	К.1.8	„Княгининская”	-30	3,55	сильнокислая	I
3	М.1.1	„Матросская”	-3	3,61	сильнокислая	I

По данным, приведенным в табл. 1.13, можно сделать вывод, что порода трех отвалов по степени кислотности относится к I группе (рН менее 4,5).

Таблица 1.14

Оценка степени кислотности почв территории, прилегающей к отвалу шахты „Дуванная”

№ п/п	Точка отбора	Место отбора	Показатели			
			расстояние от основания отвала, м	рН	характеристика кислотности	группа
1	Д.1.2	ил у подножия отвала	3	3,30	сильнокислая	I
2	Д.1.3	ил ближе к водотоку	5	4,32	сильнокислая	I
3	Д.1.4	твода из водотока возле отвала	7	4,00	сильнокислая*	I
4	Д.1.5	талвег балки	250	4,75	среднекислая	II
5	Д.1.6	ил перед прудом	650	6,42	нейтральная	V
6	Д.2.2	образец почвы	20	6,85	нейтральная	VI
7	Д.2.3	образец почвы	100	6,98	нейтральная	VI
8	Д.2.4	образец почвы	200	7,18	слабощелочная	VII
9	Д.2.5	образец почвы	400	7,35	слабощелочная	VII
10	Д.2.6	образец почвы	750	7,56	слабощелочная	VII

На территории отвала шахты „Дуванная” исследования проводились в двух направлениях. Первое направление – место отбора почв

характеризовалось элювиальной техногенной фацией (Д.1.2, Д.1.3), трансэлювиально-техногенной фацией (Д.1.5) и трансаккумулятивно-техногенной фацией (Д.1.6). Второе направление – территория аграрного ландшафта (пашня) Д.2.2 – Д.2.6. Результаты оценки приведены в табл. 1.14.

На основании табл. 1.14 можно сделать вывод, что почвы элювиальной техногенной фации относятся к I группе кислотности, сильнокислым грунтам (рН менее 4,5); трансэлювиальной техногенной фации катены – ко II группе кислотности, среднекислым почвам (рН 4,51 – 5,00); трансаккумулятивной техногенной фации катены – к V группе кислотности – нейтральной. На пашне (аграрный ландшафт) степень кислотности меняется от V к VII группе.

Территория отвала шахты „Княгининская” характеризуется трансэлювиальной техногенной фацией (К.1.8), трансэлювиально-аккумулятивной техногенной фацией (К.1.3, К.1.2). Результаты экологической оценки данной территории приведены в табл. 1.15.

Таблица 1.15

**Оценка степени кислотности почвы территории,
прилегающей к отвалу шахты „Княгининская”**

№ п/п	Точка отбора	Место отбора	Показатели			
			расстояние от основания отвала, м	рН	характеристика кислотности	группа
1	К.1.2	низ шлейфа	25	2,90	сильнокислая	I
2	К.1.3	10 м от т.2	15	2,96	сильнокислая	I
3	К.1.8	30 м вверх от основания	-30	3,55	сильнокислая	I

На основании табл. 1.15 можно сделать вывод, что почвы трансэлювиально-техногенной фации и трансэлювиально-аккумулятивной техногенной фации катены характеризуются I группой кислотности, сильнокислыми почвами (рН менее 4,5).

При изучении рН почвогрунтов на территории отвала шахты „Матросская” выбраны два профиля наблюдений. Первый входил в зону трансэлювиальной техногенной фации (М.1.2, М.1.3), затем переходил в трансэлювиально-аккумулятивную техногенную фацию (М.1.4) и заканчивался

трансаккумулятивной техногенной фацией (М.1.5). Второй представлял трансэлювиальную техногенную фацию (М.3.1А, М.3.2Б, М.3.5 А) и (контроль) – трансэлювиальную фацию (М.3.1К, М.3.1КЧ, М.3.4К1, М.3.5К1). Результаты оценки степени кислотности почв представлены в табл. 1.16.

Таблица 1.16

**Степень кислотности почвы территории, прилегающей
к отвалу шахты „Матросская”**

№ п/п	Точка отбора	Место отбора	Показатели			
			расстояние от основания отвала, м	рН	характеристика кислотности	группа
1	М.1.2	подножие отвала	5	3,76	сильнокислая	I
2	М.1.3	нанос в травостое	20	3,59	сильнокислая	I
3	М.1.4	дно траншеи	25	7,20	нейтральная и слабощелочная	VI
4	М.1.5	ил в траншее перед водоотстойником	30	5,10	кислая	III
5	М.3.1А	нанос в ложбине	30	4,12	сильнокислая	II
6	М.3.1К1	контроль 20 метров от М.3.1 А	30	7,15	нейтральная и слабощелочная	VI
7	М.3.1К1Ч	контроль	30	7,10	нейтральная и слабощелочная	VI
8	М.3.2 Б	около промоины	140	5,10	кислая	III
9	М.3.4 Б, А	в зоне загрязнения (слева 15 м, справа 10м)	223	5,55	слабокислая	IV
10	М.3.4 К1	40 метров от границы загрязнения	220	7,60	нейтральная и слабощелочная	VII
11	М.3.5 А	в середине зоны загрязнения	305	6,70	нейтральная и слабощелочная	VI
12	М.3.5К1	на расстоянии 100 метров ниже М.3.4 К1	310	7,65	нейтральная и слабощелочная	VII

Первый профиль наблюдений в начале характеризуется I группой кислотности почв – сильнокислой. Ей соответствует трансэлювиальная техногенная фация катены. Трансэлювиально-аккумулятивная техногенная фация имеет VI группу кислотности – слабощелочную. Изучаемый первый профиль заканчивается трансаккумулятивной техногенной фацией с III группой кислотности – кислой.

Второй профиль наблюдений представлен II, III и VI группой кислотности почв. Увеличение кислотности наблюдается к основанию отвала.

Почвы на контрольных участках характеризуются VI и VII группами кислотности – нейтральной и слабощелочной.

Таким образом, терриконовая порода характеризуется сильнокислой реакцией среды (рН 2,90–4,31), пробы почв в зоне шлейфа выноса с террикона имеют рН 3,70–5,10; пробы почв на прилегающих к отвалам территориях имеют рН 4,12–5,55; пробы почв в зоне воздушного переноса породы (на расстоянии до 850 метров от террикона) имеют рН 6,85–7,56.

Согласно Ю.А. Привезенцеву [15], при значениях рН от 6,5 до 8,5 вода пригодна для жизни рыб и водных растений, а при более низких или высоких значениях опасна.

В табл. 1.17 представлены результаты оценки пригодности воды из водоемов, примыкающих к исследуемым терриконам, для жизни живых организмов.

Таблица 1.17

**Оценка пригодности воды для жизни рыб и водных растений
(по водородному показателю)**

№ п/п	Шифр отбора	Принадлежность отвала, к которому примыкает водоем	Площадь водоема, м ²	Классификация водоемов	рН	Оценка экологической ситуации (6,5 – 8,5 норма)
1	Д.1.7	шахта „Дуванная”	15000	большой пруд	6,40	опасная
2	Д.1.4.	шахта „Дуванная”	<100	блюдце воды	4,00	опасная
3	К.1.1	шахта „Княгининская”	7383	большой пруд	3,70	опасная
4	М.1.6	шахта „Матросская”	338	маленький пруд	3,85	опасная

Из представленных в табл. 1.17 данных можно сделать вывод, что все примыкающие к шахтным отвалам водоемы являются опасными для жизни рыб и водных растений.

Согласно гигиеническим требованиям к использованию сточных вод и их осадков для орошения и удобрения произведем оценку пригодности воды для орошения [16].

Оценка пригодности воды по содержанию солей проводится по формуле:

$$\frac{C \cdot J \cdot HB(50)}{(J + P) \cdot 2000} < 1, \quad (1.6)$$

где C – количество солей, мг-экв/дм³;

J – средневзвешенная по севообороту оросительная норма нетто, 325 мм;

$HB(50)$ – наименьшая влагоемкость слоя почвы 0 – 50 см, 190 мм;

P – среднемноголетние используемые растениями атмосферные осадки 473 мм.

Активность ионов водорода сточных вод должна находиться в пределах 6,0 – 8,5 дифференцированно с учетом pH почвы [16]:

< 6,0 – pH оросительной воды 6,5 – 8,5;

> 8,0 – pH оросительной воды 6,0 – 7,5.

Результаты расчетов сведены в таблице 1.18.

Таблица 1.18

Оценка пригодности воды водоемов, прилегающих к отвалам, для орошения

№ п/п	Место отбора пробы	Значения SO_4^{2-} , мг/дм ³	Расчетный коэффициент по SO_4^{2-} (норма<1)	Оценка пригодности по SO_4^{2-}	Значение pH (норма 6,0 -8,5)	Оценка пригодности по pH
1	Д.1.7	524,2	0,42<1	пригодна	6,40	пригодна
2	Д.1.4	1661,3	1,33>1	не пригодна	4,00	не пригодна
3	К.1.1	1371,2	1,10>1	не пригодна	3,70	не пригодна
4	М.1.6	1463,4	1,18>1	не пригодна	3,85	не пригодна

На основании табл. 1.18 можно сделать вывод, что по содержанию солей и водородному показателю для орошения пригодна вода в водоеме, который находится на расстоянии 860 метров от отвала шахты „Дуванная”, остальные источники не пригодны для орошения.

1.3.2. Оценка содержания сульфат-ионов в терриконовой породе, почвенном покрове и водоемах прилегающей к отвалам территории

Определение сульфат-иона в водной вытяжке из отвальной породы и почвы проводилось согласно общепринятым методикам [17].

Таблица 1.19

Содержание сульфат-ионов образцов породы и почв территории, прилегающей к отвалу шахты „Дуванная”

№ п/п	Точка отбора	Место отбора	Показатели		
			расстояние от основания отвала, м	SO ₄ ²⁻ , г/кг	превышение от ПДК (160 мг/кг), раз
1	Д.1.1	склон отвала	-	14,7	91,8
2	Д.1.2	ил у подножия отвала	3	12,0	74,9
3	Д.1.3	ил ближе к водотоку	5	7,5	46,8
4	Д.1.4	вода из водотока у отвала	7	1661,3*	-
5	Д.1.5	дно водотока в балке	250	2,2	13,8
6	Д.1.6	ил перед прудом	650	12,5	78,1
7	Д.1.9	вода из пруда	860	524,3*	-
8	Д.2.1	склон отвала	-	7,9	49,3
9	Д.2.2	образец почвы с поля	20	0,4	2,5
10	Д.2.3	образец почвы с поля	100	0,2	1,3
11	Д.2.4	образец почвы с поля	200	0,5	3,1
12	Д.2.5	образец почвы с поля	400	0,4	2,5
13	Д.2.6	образец почвы с поля	750	0,2	1,3

* - значения SO₄²⁻ в воде даны в мг/дм³.

На основании данных, представленных в табл. 1.19, можно сделать вывод, что концентрация водорастворимого (подвижного) сульфат-иона (SO₄²⁻) от отвала к пруду колеблется в пределах от 14,6 г/кг (порода) до 12,4 г/кг (ил перед прудом). Минимальное значение SO₄²⁻ (2,2 г/кг) зафиксировано на дне балки. Полученные данные свидетельствуют о миграции SO₄²⁻ на прилегающую территорию водным путем. Содержание сульфат-иона в агроландшафте колеблется от 0,5 до 0,20 г/кг. Максимальное превышение от нормы (160 мг/кг) составляет 91 раз (СанПин 42-128-4433-87) [18].

Таблица 1.20

Результаты анализа сульфат-ионов образцов породы и почв прилегающей территории (отвал шахты „Княгининская”)

№ п/п	Точка отбора	Место отбора	Показатели		
			расстояние от основания отвала, м	SO ₄ ²⁻ , г/кг	превышение от нормы (160 мг/кг), раз
1	К.1.0	вода из пруда около террикона	20	1371,2*	-
2	К.1.2	низ шлейфа	25	6,195	38,7
3	К.1.3	10 м от т. К.1.2	15	8,690	54,3
4	К.1.8	склон отвала	30 м по склону	6,595	41,2

*- значения SO₄²⁻ в воде, мг/дм³

Исходя из данных, представленных в табл. 1.20, можно сделать вывод, что концентрация водорастворимого сульфат-иона (SO₄²⁻) вдоль промоины меняется в пределах от 8,69 до 6,195 г/кг.

Таблица 1.21

Результаты анализа содержания (SO₄²⁻) в образцах породы и почв прилегающей территории (отвал шахты „Матросская”)

№ п/п	Точка отбора	Место отбора	Показатели		
			расстояние от основания отвала, м	SO ₄ ²⁻ , г/кг	превышение от ПДК (160 мг/кг), раз
1	М.1.1	склон отвала	-3	23,20	145
2	М.1.2	подножие отвала	5	15,80	98,7
3	М.1.3	нанос в травостое	20	6,80	42,5
4	М.1.4	дно траншеи	25	5,30	33,1
5	М.1.5	ил в траншее перед отстойником	30	8,70	54,4
6	М.1.6	вода из отстойника	30	1463,4*	-
7	М.3.1А	нанос в ложбине	30	1,60	10
8	М.3.1К1	контроль 20 м от М.3.1 А	30	0,29	1,8
9	М.3.1К1Ч	контроль	30	0,10	0,6
10	М.3.2Б	около промоины	140	0,99	6,2
11	М.3.4БА	в зоне загрязнения (слева 15 м, справа 10 м)	223	32,98	206,1
12	М.3.4 К1	40 м от границы загрязнения	220	не обнаружено	-
13	М.3.5 А	в середине зоны загрязнения	305	2,40	15
14	М.3.5К1	100 м ниже М. 3.4 К1	310	0,03	0,2

На основании данных, представленных в табл. 1.21, можно сделать вывод, что содержание водорастворимого (подвижного) сульфат-иона (SO_4^{2-}) от основания террикона (23,2 г/кг) до илового отложения в траншее перед водоотстойником (8,7 г/кг) уменьшается, но при этом имеет очень высокое значение – в 54 раза больше предельно допустимой концентрации SO_4^{2-} в почве (160 мг/кг). На территории агроландшафта, в зоне выноса породы (М.3.4БА) содержание SO_4^{2-} в почве характеризуется максимальным значением (32,98 г/кг) и превышает предельно допустимую концентрацию в 206 раз. В контрольных (чистых) точках показания колеблются от 0,29 г/кг до 0,03 г/кг.

Согласно полученным нами данным была оценена экологическая ситуация по загрязнению сульфат-ионами прилегающих к терриконам поверхностных вод. Экологическая ситуация оценивалась с помощью методик [18-19].

Таблица 1.22

**Экологическая оценка качества
поверхностных вод по показателям солевого состава**

№ п/п	Место отбора пробы	Расстояние от основания отвала до кромки воды, м	Значения SO_4^{2-} в местах отбора мг/дм ³ (ПДК-500мг/дм ³)	Экологическая ситуация
1	Д.1.7	860	524,2	плохая
2	Д.1.4	7	1661,3	плохая
3	К.1.1	20	1371,2	плохая
4	М.1.6	30	1463,4	плохая

Представленные данные табл. 1.22 свидетельствуют о том, что экологическая ситуация по загрязнению сульфат-ионами прилегающих к терриконам поверхностных вод оценивается как „плохая”.

1.4. Пространственные закономерности изменения удельной гамма-активности почвогрунтов на прилегающей к отвалам территории

Радиоэкологическая обстановка в горнопромышленных регионах Луганской области в значительной степени определяется деятельностью угольных шахт, где имеет место неминуемое облучение техногенно-усиленными источниками естественного происхождения и происходит радиоактивное загрязнение окружающей среды радионуклидами уранового, ториевого рядов [20].

Значительная часть естественной радиоактивности пород в отвалах связана с радиоизотопами (радионуклидами) тяжелых элементов, которые образуют три радиоактивных семейства – урана, актиния и тория.

В ненарушенных горных породах в каждом радиоактивном семействе наблюдается состояние радиоактивного равновесия, при котором активность каждого члена данного семейства одинакова. В отвалах радиоактивное равновесие нарушается вследствие разной миграционной подвижности различных элементов, образующих радиоактивные семейства [21].

При выветривании сульфидсодержащих пород, которое сопровождается повышением температуры, серная кислота, образующаяся при окислении пирита, переводит первичные урановые минералы в подвижную форму, то есть в раствор. При этом они переходят в раствор в виде сульфатов четырех- и шестивалентного урана. $U(SO_4)_2$ в присутствии сульфата окисного железа в кислой среде немедленно окисляется до шестивалентного: $U^{4+} + 2Fe^{3+} \rightarrow U^{6+} + 2Fe^{2+}$ или, если эту же реакцию изобразить в виде солей: $UO_2SO_4 + 2FeSO_4 + 2H_2SO_4$ [3, 22].

Происходит нарушение радиоактивного равновесия, характеризующееся повышением ионизирующего излучения. Нами выполнена оценка гамма-фона и гамма-активности породы и почв на прилегающей территории; изучены энергетические спектры гамма-лучей и определены радиоактивные изотопы, ответственные за активность породы; произведено сравнение результатов на различной дальности от основания отвалов.

Для измерений был использован сцинтилляционный метод регистрации гамма-излучения [23]. Чувствительным элементом детектора является кристалл йодистого натрия (NaI) размером 63х63мм. Световые вспышки регистрировались фотоэлектронным умножителем типа ФЭУ-82, сигналы с которого подавались на пересчетное устройство и многоканальный амплитудный анализатор. Для уменьшения фона детектор был окружен свинцовой защитой толщиной 2,5 см.

Время измерения активности составляло 1 мин. Фон определялся в начале (фон 1) и в конце измерений (фон 2). Объектами измерений на территории отвала шахты „Дуванная” выступили порода и почвы, расположенные в северо-восточном направлении от отвала на расстоянии 0 м (Д.2.1), 20 м (Д.2.2), 100 м (Д.2.3), 200 м (Д.2.4), 400 м (Д.2.5), 750 м (Д.2.6). Особенностью данных образцов является их нахождение на элювиальной фации катены. Миграция частиц породы на данном участке осуществляется воздушным путем. Результаты измерений представлены в табл. 1.23.

Таблица 1.23

**Гамма-активность фона, породы и прилегающих почв
(отвал шахты „Дуванная”)**

№.	Фон	Пробы почвы и отвальной породы					
		Д.2.1	Д.2.2	Д.2.3	Д.2.4	Д.2.5	Д.2.6
1	612	771	729	766	756	775	773
2	639	813	837	740	765	769	795
3	594	842	834	835	786	853	751
4	598	810	844	829	769	767	783
5	565	746	779	774	778	715	728
6	548	794	788	757	741	803	739
7	557	738	781	766	744	802	754
8	580	841	772	822	762	785	731
9	586	802	779	737	792	744	793
$n_{cp} \pm \sqrt{n_{cp}}$	587± 24	795± 28	794± 28	781± 28	766± 28	779± 28	761± 28

Гамма-активность образцов с учетом фона определялась по формуле [24]:

$$a = \left(\frac{n}{t} - \frac{N_f}{t_f} \right) \pm \sqrt{\left(\frac{\sqrt{N}}{t} \right)^2 + \left(\frac{\sqrt{N_f}}{t_f} \right)^2}, \quad (1.7)$$

где n – гамма-активность образца;

N_f – гамма-активность фона;

t – экспозиция образца, с;

t_f – экспозиция фона, с.

Удельная гамма-активность образцов определялась по формуле (1.8):

$$A=a/m, \quad (1.8)$$

где a – гамма-активность образцов с учетом фона;

m – масса образцов породы.

Ниже представлены точки измерений на территории отвала шахты „Княгининская”:

К.1.2 – низ шлейфа выноса породы на расстоянии 25 м от отвала;

К.1.3 – нанос в виде лапы на расстоянии 15 м от террикона;

К.1.8 – порода в промоине на склоне (32 м от основания отвала).

Выбранный участок характеризуется склоновой трансэлювиальной фацией катены. Результаты измерений гамма-активности фона, породы и почв представлены в табл. 1.24.

Таблица 1.24

Гамма-активность фона и породы отвала шахты „Княгининская”

№ пробы	Фон 1	Место учета			Фон 2
		К.1.2	К.1.3	К.1.8	
1	613	825	802	794	642
2	633	800	736	787	651
3	674	808	738	842	652
4	586	797	749	735	636
5	660	760	791	805	644
6	690	776	740	779	597
7	682	763	816	763	613
8	631	724	787	724	623
9	565	720	824	720	628
$n_{cp} \pm \sqrt{n_{cp}}$	637±25	775±28	776±28	772±28	632±25

Выбранный участок характеризуется трансэлювиальной фацией катены.

М.1.1 – порода со склона отвала; М.3.1А – нанос в ложбине в зоне выноса промоины (40 м от основания отвала); М.3.1К1 – контроль (чистый участок) в 40 метрах от основания отвала; М.3.2Б – участок возле промоины (140 м от промоины); М.3.4БА – зона загрязнения в центре между двумя промоинами

(223 м от террикона); М.3.4К1 – контроль. Результаты измерений гамма-активности фона, породы и почв представлены в табл. 1.25.

Таблица 1.25

Гамма-активность фона, породы и почв прилегающей территории (отвал шахты „Матросская”)

№ п/п	Фон	Место учета					
		М.1.1	М.3.1А	М.3.1К1	М.3.2Б	М.3.4БА	М.3.4К1
1	547	946	813	820	858	747	782
2	613	876	800	815	790	793	732
3	588	903	803	819	740	816	756
4	589	875	781	790	764	763	727
5	583	898	785	730	736	764	700
6	592	888	792	784	817	736	720
7	670	801	780	796	742	768	817
8	565	798	787	805	770	795	739
9	554	832	763	818	793	755	693
$n_{cp} \pm \sqrt{n_{cp}}$	589±24	869±30	789±28	797±28	779±28	771±28	741±27

Результаты расчета удельной гамма-активности породы и почв представлены на рис. 1.8. При изучении результатов, полученных для элювиальной фации катены северо-восточной экспозиции, установлено, что удельная гамма-активность уменьшается при удалении от террикона. Активность образцов имеет низкое значение. На участке склоновой трансэлювиальной фации катены (рис. 1.8, б) удельная гамма-активность растет от низа шлейфа выноса до породы на склоне, разница составляет 8,1 Бк/кг. Зона трансэлювиальной фации катены (рис. 1.8, в) характеризуется уменьшением удельной гамма-активности с 17,2 Бк/кг (порода на склоне отвала) до 8,5 Бк/кг (почва на расстоянии 310 м от отвала).

Таким образом, в различных угольных районах выявлена разная удельная гамма-активность образцов породы. Удельная активность всех проб выше фонового значения, но при этом не превышает предельно допустимого значения для строительных материалов, которое составляет 370 Бк/кг.

Следующим этапом была попытка идентификации гамма-радиоактивных элементов в образцах. Анализировалась терриконовая порода. Градуировка гамма-спектрометра производилась при помощи изотопных

источников Cs^{137} и Co^{60} . В спектре породы К.1.2 был обнаружен небольшой пик, соответствующий энергии 1,6 МэВ. Его можно было трактовать как парный пик изотопа Th^{232} . Энергетическое разрешение спектрометра в этой области составляло примерно 10 %, т.е. указанная область перекрывается фоновым излучением элемента K^{40} , неизбежно присутствующим в строительных материалах.

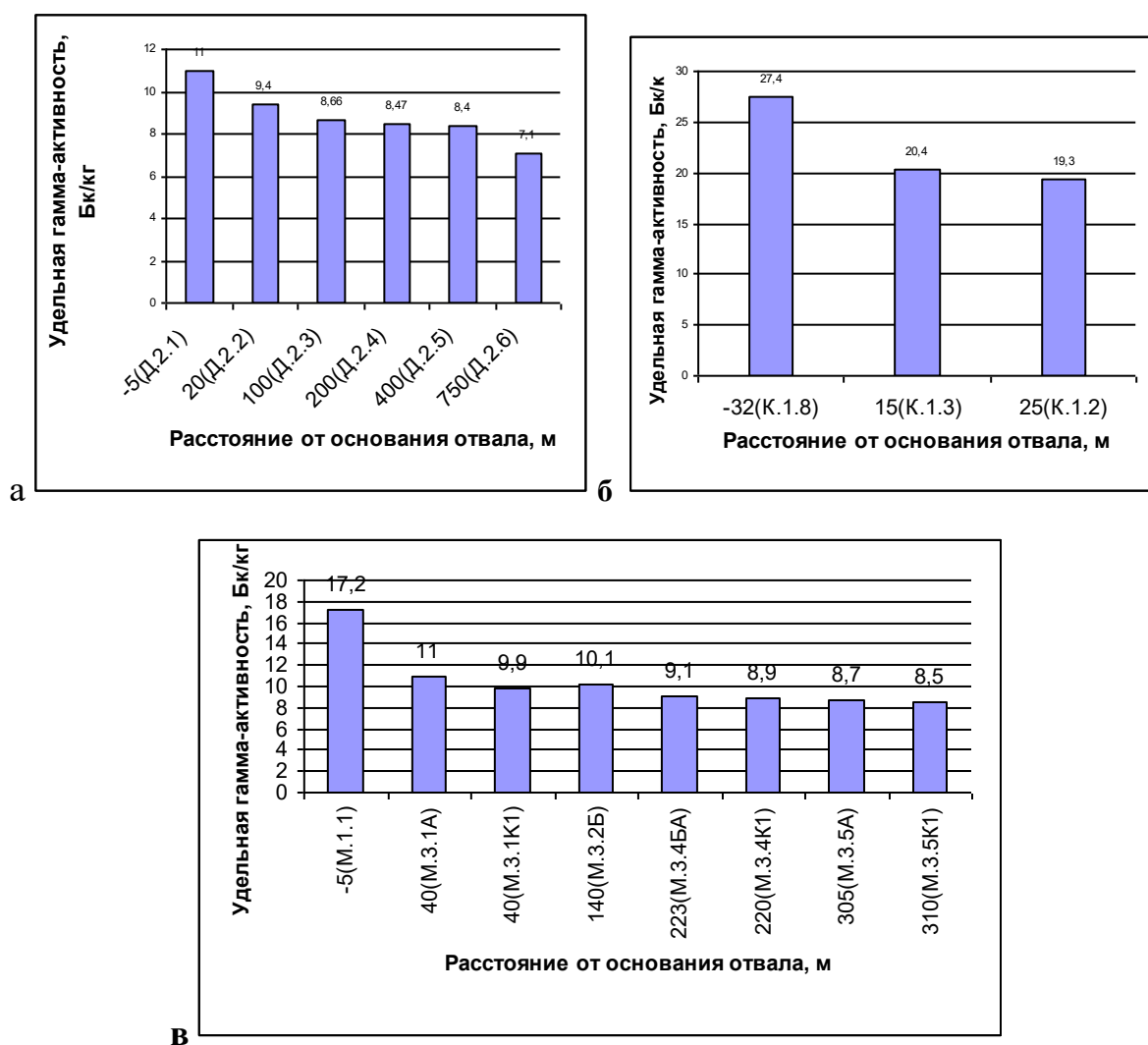


Рис. 1.8. Гистограмма распределения удельной гамма-активности породы и почв от террикона на прилегающую территорию: а – отвал шахты „Дуванная”; б – отвал шахты „Княгининская”; в – отвал шахты „Матросская”

Проведены измерения альфа-активности указанных образцов породы. Измерения проводились сцинтилляционным радиометром, чувствительным элементом которого служил тонкий слой сернистого цинка $\text{ZnS}(\text{Ag})$.

Эффективность регистрации радиометром α -излучения источника на

основе плутония Pu^{239} ($E_\alpha=5,15$ МэВ) в геометрии эксперимента составляла 15%. Время регистрации альфа-частиц источника составляло 1 минуту, время регистрации фона и породы - 5 минут.

Произведенные измерения показали, что альфа-активность породы и почв, прилегающих к терриконам, находится на уровне фона.

Согласно полученным результатам наблюдается тенденция увеличения удельной гамма-активности от прилегающей территории к террикону. Также выявлено, что в различных угольных районах наблюдается разная удельная гамма-активность породы. Установлено, что удельная активность всех проб превышает фоновое значение, но в то же время не превышает предельно допустимого значения для стройматериалов, которое составляет 370 Бк/кг.

Если умножить полученную удельную гамма-активность на массу типичного террикона (840 тыс. т), то полученное значение активности всего террикона составит порядка 1 Кюри.

Присутствия изотопа Cs^{137} в исследованных образцах не обнаружено. По нашему мнению, превышение над гамма-фоном обусловлено содержанием в исследуемых образцах Th^{232} , других тяжелых элементов и продуктов их распада. Наибольший вклад в фон дает изотоп K^{40} .

Альфа-активность породы и почв, прилегающих к терриконам, находится на одном уровне с фоном, т.е. заметного испускания альфа-частиц из анализируемых образцов не выявлено [24, 25].

1.5. Определение интенсивности загрязнения прилегающей к отвалам территории тяжелыми металлами

Отвалы угольных шахт относятся к экологически неблагоприятным объектам Донбасса. Попадая в терриконы, породы карбона испытывают значительные преобразования. Это связано с процессами выветривания, когда скальные, прочные породы разрушаются и превращаются в полурыхлые и рыхлые. Выветривание пород сопровождается изменением их минерального и

химического состава. Значительная часть компонентов пород выщелачивается водными растворами и мигрирует в окружающую среду, локализуясь на различных барьерах в почвах, растительном покрове, в грунтах зоны аэрации и в водовмещающих породах. Тяжелые металлы относятся к числу наиболее распространенных и опасных загрязнителей экологической среды. Существует опасность загрязнения почв избыточным количеством тяжелых металлов.

Нами изучена экологическая опасность тех же объектов, которые были исследованы по водородному показателю и количеству сульфат-иона.

Содержание химических элементов в породе терриконов, образцов почв и воды в водоемах определялось с помощью эмиссионного спектрального анализа по методике ИМР (Симферополь) спектрографом СТЭ-1 [26].

Оценка экологической ситуации в породе отвалов и в пробах почв проводилась путем сравнения фактических значений концентраций тяжелых металлов с кларком, ПДК валовой формы, ПДК подвижной формы по методике, разработанной Институтом почвоведения и агрохимии им. А.Н. Соколовского Украинской академии аграрных наук [16]. Результаты оценок экологических ситуаций представлены в табл. 1.26.

На основании данных, представленных в табл. 1.26 и Приложении А, можно сделать следующий вывод.

Порода отвалов и пробы почв в зоне шлейфа выноса с терриконов, а также в зоне аэрации и водонасыщения загрязнены тяжелыми металлами. Подвижные формы таких тяжелых металлов, как хром, никель, свинец, медь содержатся в породе и в почве в повышенных концентрациях. Экологическая ситуация по их содержанию характеризуется как кризисная и предкризисная.

Нами также осуществлены отборы проб воды из водоёмов, примыкающих к исследуемым терриконам. По полученным данным произведена экологическая оценка. Результаты сведены в табл. 1.27.

В табл. 1.27 представлена оценка качества вод прудов и водотоков, вплотную примыкающих к отвалу. Вода в примыкающих водоемах загрязнена

тяжелыми металлами. Подвижные формы таких тяжелых металлов, как титан, марганец, цинк, хром, никель, свинец, медь содержатся в воде в повышенных концентрациях. Экологическая ситуация в воде характеризуется как плохая и удовлетворительная [27].

Таблица 1.26

Оценка экологической ситуации по загрязнению тяжелыми металлами почвогрунтов территорий, прилегающих к отвалам шахт „Дуванная”, „Княгининская” и „Матросская”

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
трансэлювиально-аккумулятивная техногенная фация катены							
Cr	100- 150	1,33 - 2	благоп.-удовл.	1,5 - 1	удовл.-предкр.	5 - 7,5	криз.
	45 - 30						
Co	3 - 10	0,4-1,25	благоп.	0,06 - 0,2	благоп.	0,24 - 0,8	благоп.
	1,2 - 4						
Ni	20	0,5	благоп.	0,24	благоп.	1	удовл.
	4						
Cu	30	1,5	благоп.	0,55	удовл.	5	криз.
	15						
Zn	50	1	благоп.	0,5	удовл.	0,65	благоп.
	15						
Pb	10 - 30	1 - 3	благоп.-удовл.	0,31 - 0,94	благоп.-удовл.	3,5 - 10,5	криз.-катастр.
	7 - 21						
трансаккумулятивная техногенная фация катены							
Cr	100 - 150	1,33 - 2	благоп.-удовл.	1 - 1,5	удовл.-предкр.	5 - 7,5	криз.
	30 - 45						
Co	5 - 10	0,6-1,25	благоп.	0,1 - 0,2	благоп.	0,4 - 0,8	благоп.
	2 - 4						
Ni	20 – 50	0,5-1,25	благоп.	0,24 - 0,59	благоп.-удовл.	1 - 2,5	благоп.-криз.
	4 - 10						
Cu	30	1,5	благоп.	0,55	удовл.	5	криз.
	15						
Zn	50 - 100	2 - 1	благоп.-удовл.	0,5 - 1	удовл.	0,65 - 1,3	благоп.-предкриз.
	15 - 30						
Pb	30 - 50	3 - 5	удовл.-предкриз.	0,94 - 1,56	удовл.-предкриз.	10,5 - 17,5	катастр.
	21 - 35						

Таблица 1.27

**Экологическая оценка качества поверхностных вод
арен терриконовых ландшафтов**

Элементы	Вода у подножья террикона шахты „Дуванная” (г. Суходольск)			Вода из пруда возле отвала шахты „Княгининская” (г. Красный луч)			Вода из пруда возле отвала шахты „Матросская” (г. Лисичанск)		
	мг/дм ³	ПДК мг/дм ³	экологи- ческая оценка	мг/дм ³	ПДК мг/дм ³	экологи- ческая оценка	мг/дм ³	ПДК мг/дм ³	экологи- ческая оценка
Pb	-	0,03	-	0,0036	0,03	хорошая	0,0040	0,03	хорошая
Cu	0,058	1	плохая	0,0178	1	удовлетв.	0,2613	1	удовлетв.
Ti	0,413	0,1	плохая	0,0713	0,1	плохая	2,613	0,1	плохая
V	0,017	0,1	плохая	0,0071	0,1	удовлетв.	0,0261	0,1	удовлетв.
Mn	12,4	0,1	плохая	0,3567	0,1	удовлетв.	5,9500	0,1	плохая
Ni	0,124	0,1	плохая	0,0036	0,1	хорошая	3,92	0,1	плохая
Zn	0,248	1	плохая	0,0713	1	удовлетв.	2,61	1	удовлетв.
Sr	1,653	7	удовлетв.	0,7133	7	плохая	0,7933	7	удовлетв.

На основании полученных нами результатов предлагаем распределить исследованные нами типичные терриконовые ландшафты на следующие таксоны: класс, род, вид.

Класс определяется по кислотно-щелочным условиям вод (рН):

1 класс – рН<7 кислая среда; 2 класс – рН=7 нейтральная среда; 3 класс – рН>7 щелочная среда.

Род определяется как часть катены: 1 род – трансэлювиально-терриконовый; 2 род – трансэлювиальный естественного склона; 3 род – аквальный.

Вид определяется по способности частиц определенного размера мигрировать в ландшафтах: 1-й вид - легко перемещаемые (частицы размером 1-0,05 мм), 2-й вид – средне перемещаемые (0,05 – 0,01 мм), 3-й вид – трудно перемещаемые (0,01 – 0,001 мм).

Результаты исследований приведены в табл. 1.28.

Таблица 1.28

Типология объектов по таксонометрическим параметрам

Объекты	Класс			Род			Вид		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Отвал шахты „Матросская”	+			+		+	+	+	
Отвал шахты „Княгининская”	+			+		+	+	+	
Отвал шахты „Дуванная”	+			+	+	+	+	+	

На основании данных, представленных в табл. 1.28, можно сделать вывод, что все исследуемые объекты по кислотно-щелочным условиям относятся к 1 классу ($\text{pH} < 7$ кислая среда); отвалы шахт „Матросская”, „Княгининская” 1 и 3 рода, отвал шахты „Дуванная” представлен тремя (1, 2, 3) родами; по способности перемещения частиц исследуемые объекты представлены 1 и 2 видом (основные мигранты частицы размерами $> 0,01$).

Выводы по разделу

1. Установлено, что эрозионные процессы на терриконах сразу же после их отсыпки устойчиво характеризуются значительным размером – около 154 т/га в год. Разработанный способ позволяет по космическим снимкам отвалов определять многолетний смыв породы с терриконов.

2. Порода отвалов и прилегающая к ним территория характеризуются сильнокислой и кислой реакцией среды (pH 2,90–4,31); почвы в зоне шлейфа выноса с терриконов – pH 3,70–5,10. Пробы почв в зоне аэрации и водонасыщения на прилегающей территории характеризуются pH 4,12–5,55; стоки с отвалов имеют сильнокислую реакцию среды (pH 3,70–4,35).

3. Концентрация водорастворимого (подвижного) сульфат-иона (SO_4^{2-}) превышает предельно допустимую концентрацию почвы (160 мг/кг) более чем в 206 раз, в отвальной породе колеблется от 23,2 г/кг до 6,16 г/кг; в почвах в зоне шлейфа выноса с терриконов – от 15,8 г/кг до 6,2 г/кг; в пробах почв в зоне аэрации и водонасыщения на прилегающей территории - в пределах от

32,98 г/кг до 0,99 г/кг; в пробах почв в чистой контрольной зоне - до 0,1 г/кг; в зоне воздушного переноса терриконовой породы на расстояние до 700 метров от основания террикона - в пределах от 1,00 г/кг до 0,41 г/кг.

4. Полученные данные свидетельствуют о значительном загрязнении подвижными сульфат-ионами прилегающей к терриконам территории. В кислых отвалных породах (рН 4,0–5,5) минералы, содержащие марганец, цинк, хром, свинец и другие элементы, подвергаются растворению серной кислотой и мигрируют с поверхностным стоком на прилегающую территорию, при этом находятся в формах, доступных растениям, а их концентрация достигает токсического уровня.

5. Экологическая ситуация по загрязнению прилегающих к терриконам поверхностных вод сульфат-ионом оценивается как плохая (>500 мг/дм³). Оценка пригодности воды по содержанию солей и водородному показателю для орошения показала, что все пруды, за исключением находящегося на расстоянии 860 метров, являются не пригодными для орошения. Вода в примыкающих водоемах насыщена тяжелыми металлами. Подвижные формы таких металлов, как титан, марганец, цинк, хром, никель, свинец, медь содержатся в воде в повышенных концентрациях. Экологическая ситуация по их содержанию в воде характеризуется как плохая и удовлетворительная.

6. Согласно полученным результатам наблюдается тенденция увеличения удельной гамма-активности от прилегающей территории к терриконам. Удельная активность всех проб превышает фоновое значение, но не превышает допустимое значение для стройматериалов, составляющее 370 Бк/кг. Присутствие изотопа Cs^{137} в исследованных образцах не обнаружено. Превышение над гамма-фоном обусловлено содержанием в образцах Th^{232} и других тяжелых элементов и продуктов их распада. Наибольший вклад в фон дает изотоп K^{40} . Полученное значение активности одного из типичных терриконов составляет 1 Кюри.

2. ОЦЕНКА ИНТЕНСИВНОСТИ ПРОЦЕССОВ ДЕФЛЯЦИИ ПОВЕРХНОСТИ ТЕРРИКОНОВ И ОТЛОЖЕНИЯ ВЫНОСИМОЙ ПОРОДЫ НА ПРИЛЕГАЮЩЕЙ ТЕРРИТОРИИ

2.1. Закономерности процесса дефляции поверхности породных отвалов

Для того чтобы получить количественные показатели выноса породы с отвалов в результате дефляции, были проведены эксперименты с помощью разработанной нами аэродинамической 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 [28].

Недостатком данной аэродинамической установки являются большие размеры и громоздкость, обусловленная использованием циклона-пылеуловителя с воздухопроводом, что делало невозможным использование установки в экспедиционных условиях. Поэтому была разработана более компактная установка. В ней 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 используется стандартная колонка почвенных сит с различным диаметром ячейки, благодаря чему повысилась информативность исследований. Установка стала компактнее, в ней используется менее мощный двигатель, что в совокупности дало возможность применять установку в экспедиционных условиях непосредственно на изучаемых объектах с использованием образцов ненарушенной структуры вместо привозных образцов.

Устройство предложенной аэродинамической установки [29] поясняется схематическим изображением (рис. 2.1). Установка содержит рабочую камеру 1, воздухопроводы 2 и 3, компрессор 4, пылеуловитель 5.

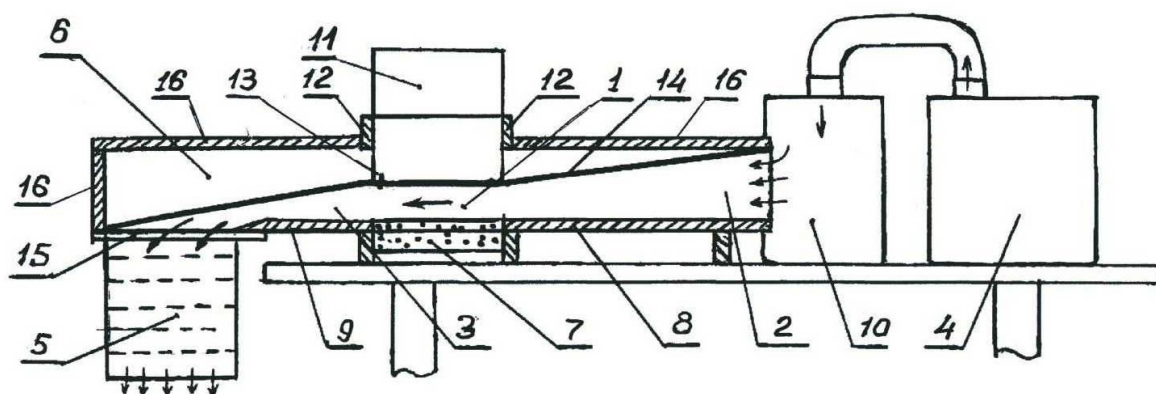


Рис. 2.1. Лабораторная аэродинамическая установка

Установка изготовлена из двух листов оргстекла 6, между которыми (с разрывом для размещения кюветы 7 длиной 160 мм 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 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 10, 5, 3, 2, 1, 0,5, 0,25, 0,1 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 >10 , $10-5$, $5-3$, $3-2$, $2-1$, $1-0,5$, $0,5-0,25$, $0,25$, 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; 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 можно применить двигатель бензокосы.

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, что позволяет 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. 2.2.

Для моделирования процесса ветровой эрозии на терриконах в лабораторных условиях была использована отвальная порода со склона плоского отвала бывшей шахты им. П. Л. Войкова.

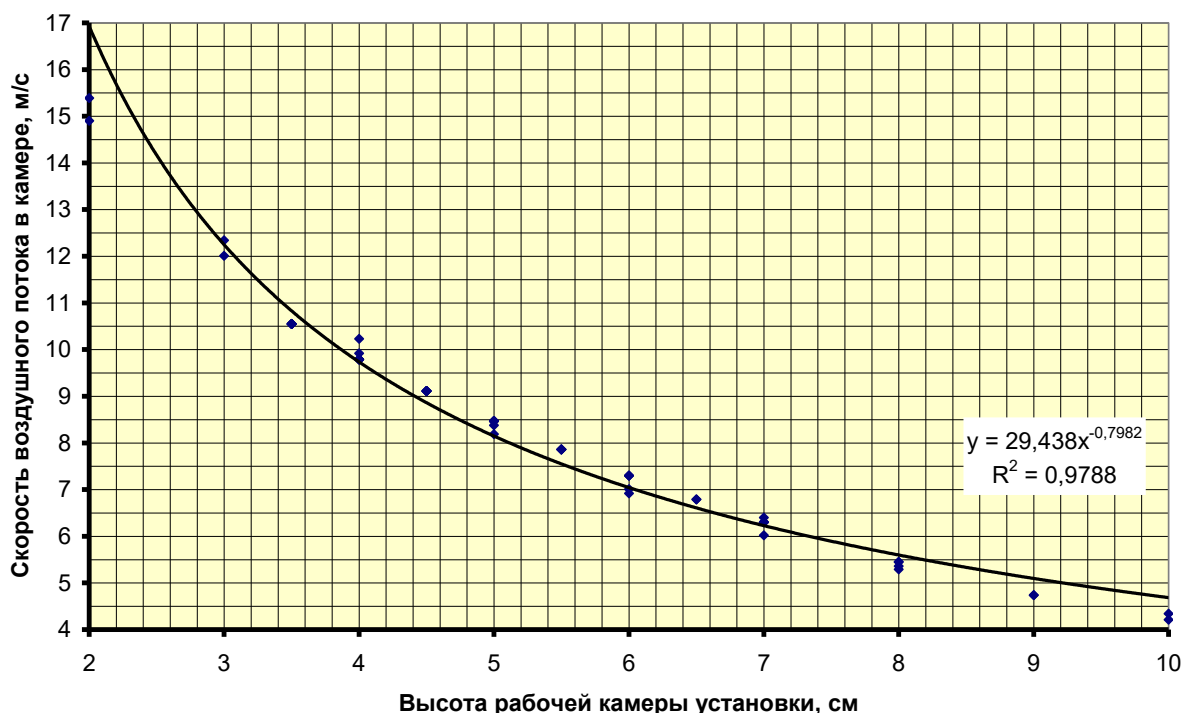


Рис. 2.2. Тарировочная кривая зависимости средней скорости воздушного потока в рабочей камере аэродинамической установки от ее высоты

Алгоритм перехода от результатов, полученных в лабораторных условиях, к естественным условиям

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 [30]:

$$V_z = V_{10} \frac{\ln\left(\frac{Z}{Z_0}\right)}{\ln\left(\frac{10}{Z_0}\right)},$$

где Z_0 , м - параметр шероховатости, равный для однородной поверхности, покрытой слоем частиц одинакового размера δ 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.

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

Значение переходного коэффициента зависит от высоты рабочей камеры и размера частиц, слагающих исследуемую поверхность, поэтому были выполнены вспомогательные расчеты для его определения. Результаты представлены в табл. 2.1. Для облегчения практического применения результатов расчетов составлена номограмма (рис. 2.3), которая позволяет рассчитать, какую скорость потока надо создать в камере, чтобы имитировать поток заданной скорости на высоте 10 м и, наоборот, получить значения скорости ветра в естественных условиях (на высоте 10 м), соответствующие значениям скорости воздушного потока, созданного в аэродинамической установке.

Таблица 2.1

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

Высота над дном камеры Z , см	Параметр шероховатости Z_0 , мм (в числителе); диаметр частиц δ , мм (в знаменателе)									
	$\frac{0,00001}{0,0003}$	$\frac{0,0001}{0,003}$	$\frac{0,001}{0,03}$	$\frac{0,003}{0,09}$	$\frac{0,006}{0,175}$	$\frac{0,01}{0,3}$	$\frac{0,03}{0,9}$	$\frac{0,06}{1,8}$	$\frac{0,1}{3}$	$\frac{0,2}{6}$
0,1	0,556	0,500	0,429	0,387	0,357	0,333	0,276	0,234	0,200	0,149
0,5	0,633	0,580	0,528	0,494	0,469	0,450	0,402	0,368	0,340	0,298
1	0,667	0,625	0,572	0,540	0,519	0,500	0,457	0,426	0,400	0,362
2	0,700	0,663	0,614	0,586	0,566	0,550	0,511	0,484	0,460	0,426
5	0,744	0,712	0,672	0,647	0,630	0,616	0,583	0,560	0,540	0,51
10	0,778	0,750	0,714	0,693	0,679	0,666	0,638	0,618	0,600	0,574

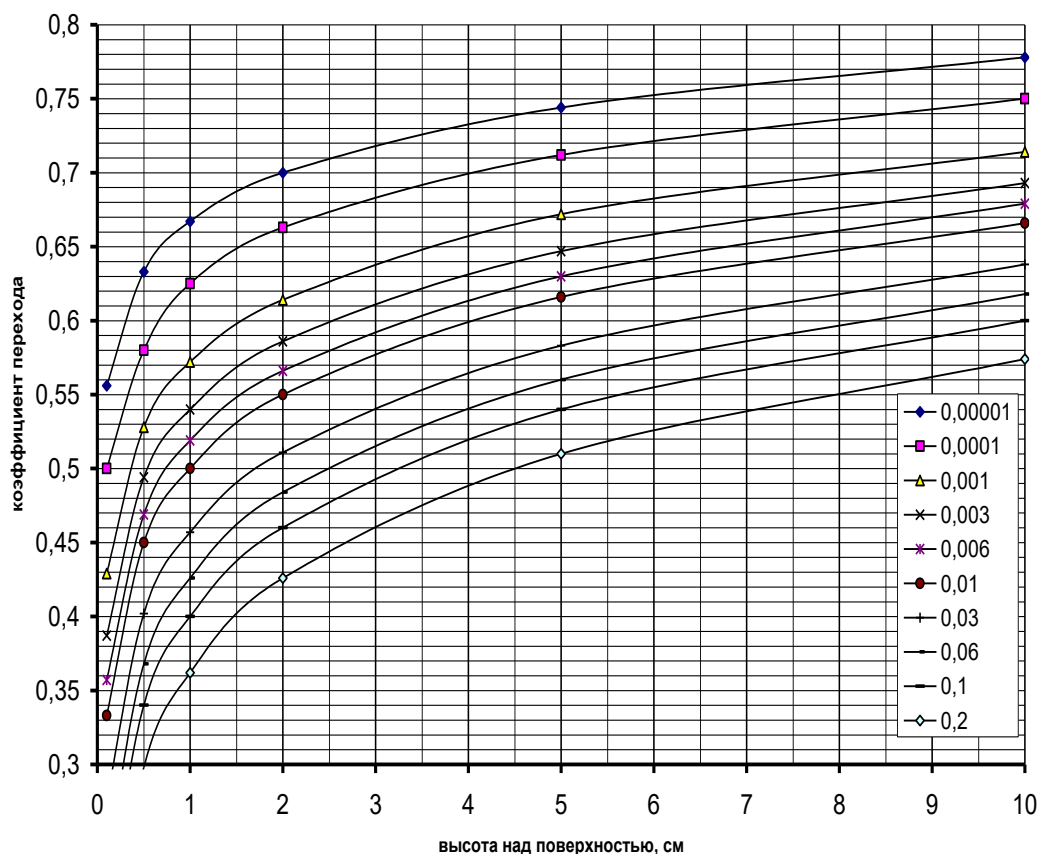


Рис. 2.3. Номограмма перехода от скорости воздушного потока на высоте флюгера к заданной высоте над подстилающей поверхностью

Получено двухфакторное уравнение переходного коэффициента, пригодное для использования в компьютерной программе:

$$K_{10} = (0,0057 \ln Z_0 + 0,0999) * \ln H - 0,0395 \ln Z_0 + 0,3106$$

Для перехода от скорости ветра на высоте 10 м к скорости на большей высоте рассчитаны коэффициенты, представленные в табл. 2.2.

Таблица 2.2

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

Высота над землей Z, м	Параметр Z ₀ , мм (в числителе); диаметр частиц δ, мм (в знаменателе)				
	<u>0,0033</u> 0,1	<u>0,01</u> 0,3	<u>0,033</u> 1	<u>0,1</u> 3	<u>0,33</u> 10
10	1,00	1,00	1,00	1	1,00
30	1,07	1,08	1,09	1,10	1,11
50	1,11	1,12	1,13	1,14	1,16
70	1,13	1,14	1,15	1,17	1,19
100	1,15	1,17	1,18	1,20	1,22

Следует, однако, 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. 2.4. Поэтому, построив предварительно ряд графиков распределения скорости по высоте камеры (эпюр скоростей) при различной ее высоте и различной шероховатости образца, рассчитали коэффициенты перехода от осредненной скорости потока в камере к скорости на высоте ее осевой линии (табл. 2.3). Значения скоростей, приведенных в таблице, выражены в относительных единицах – их отношении к скорости ветра на высоте флюгера. Значения коэффициента мало зависят от параметра шероховатости, нет явно выраженной их зависимости от высоты камеры и, соответственно, от скорости воздушного потока в ней, их среднее значение равно 1,02. Таким образом, в практических расчетах коэффициентом можно пренебречь.

Таблица 2.3

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_0 , мм	Скорость потока в относительных единицах		Среднее значение коэффициента $K_{0,5}$
			осредненная по высоте V_{cp}	на высоте оси камеры $V_{0,5}$	
3	1,5	0,1-0,003	0,406-0,548	0,431-0,569	1,032
5	2,5	0,1-0,003	0,476-0,588	0,479-0,600	1,013
7	3,5	0,1-0,003	0,501-0,608	0,507-0,621	1,014
10	5	0,1-0,003	0,533-0,635	0,539-0,646	1,017

Зависимость интенсивности дефляционного выноса различных фракций породы от скорости ветра

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

размера с поверхности насыпного образца, находящегося в несвязном состоянии, от скорости воздушного потока.

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 кювету повторно взвешивали и определяли потерю массы в результате дефляции.

В ходе опытов с каждой фракцией породы в рабочей камере поэтапно увеличивали скорость воздушного потока от 3,2 до 33,5 м/с. Несмотря на наличие тарировочной кривой в каждом опыте дополнительно контролировали среднюю скорость воздушного потока в камере путем определения времени наполнения полиэтиленовой оболочки объемом 250 л.

Полученные средние по высоте камеры значения скорости ветра приводили к ее значению на высоте оси камеры, используя табл. 2.4. Затем с помощью номограммы (рис. 2.3) приводили полученные уточненные значения скорости к ее значению на высоте 10 м. Промежуточные и итоговые результаты опытов представлены в табл. 2.4.

Таблица 2.4

Результаты опытов по моделированию ветровой эрозии породы

№ опы- та	Высота камеры Н _к , см	Масса образца, г		Потеря массы Δm, г	Интенсив- ность дефляции		Расход воздуха Q, л/с	Скорость потока, м/с	
		до опыта, m ₁	после опыта, m ₂		г/мин	т/га·ч		средняя в камере	на высоте 10 м
фракция 5 - 7 мм									
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
фракция 2 – 3 мм									
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

Продолжение табл. 2.4

<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>									
1	11,0	242,20	241,95	0,25	0,25	24,7	25,3	5,1	8,5
2	10,0	241,95	241,90	0,05	0,05	4,9	23,4	5,9	10,0
3	9,0	241,90	241,20	0,70	0,70	69,1	24,8	6,1	10,5
4	8,0	241,20	239,47	1,73	1,73	170,7	23,8	6,6	11,6
5	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
<i>фракция 0,1 – 0,25 мм</i>									
1	11,0	239,45	238,91	0,54	0,54	53,30	19,87	4,0	7,5
2	10,0	238,91	238,75	0,32	0,32	31,58	19,22	4,3	8,1
3	9,0	238,75	238,51	0,48	0,48	47,38	18,38	4,5	8,7
4	8,0	238,51	237,98	1,06	1,06	104,6	18,12	5,0	9,9
5	7,0	237,98	237,33	1,3	1,30	128,3	17,61	5,6	11,2
6	6,0	237,33	235,32	4,02	4,02	396,8	15,32	5,7	11,7
7	5,0	235,32	229,35	11,94	11,94	1179	13,48	6,0	12,8
8	4	239,36	210,06	58,6	58,60	5784	11,69	6,5	14,4
9	3	244,68	190,92	107,52	107,52	10612	21,51	9,6	22,5
<i>фракция менее 0,1 мм</i>									
1	11,0	240,55	240,48	0,14	0,14	13,8	19,2	3,9	5,9
2	10,0	240,48	240,44	0,08	0,08	7,90	19,67	4,4	6,7
3	9,0	240,44	240,40	0,08	0,08	7,90	19,53	4,8	7,5
4	8,0	240,40	240,35	0,1	0,1	9,87	19,62	5,5	8,5
5	7,0	240,35	240,33	0,04	0,04	3,95	19,83	6,3	10,1
6	6,0	240,33	240,27	0,12	0,12	11,84	19,69	7,3	11,9
7	5,0	240,27	240,10	0,34	0,34	33,56	19,38	8,6	14,3
8	4	240,10	239,59	1,02	1,02	100,7	18,42	10,2	17,5
9	3	239,59	238,54	2,1	2,1	207,3	16,85	12,5	22,1

На основании данных построен график зависимости интенсивности выноса частиц различного размера от скорости ветра, регистрируемой на метеостанциях (рис. 2.5).

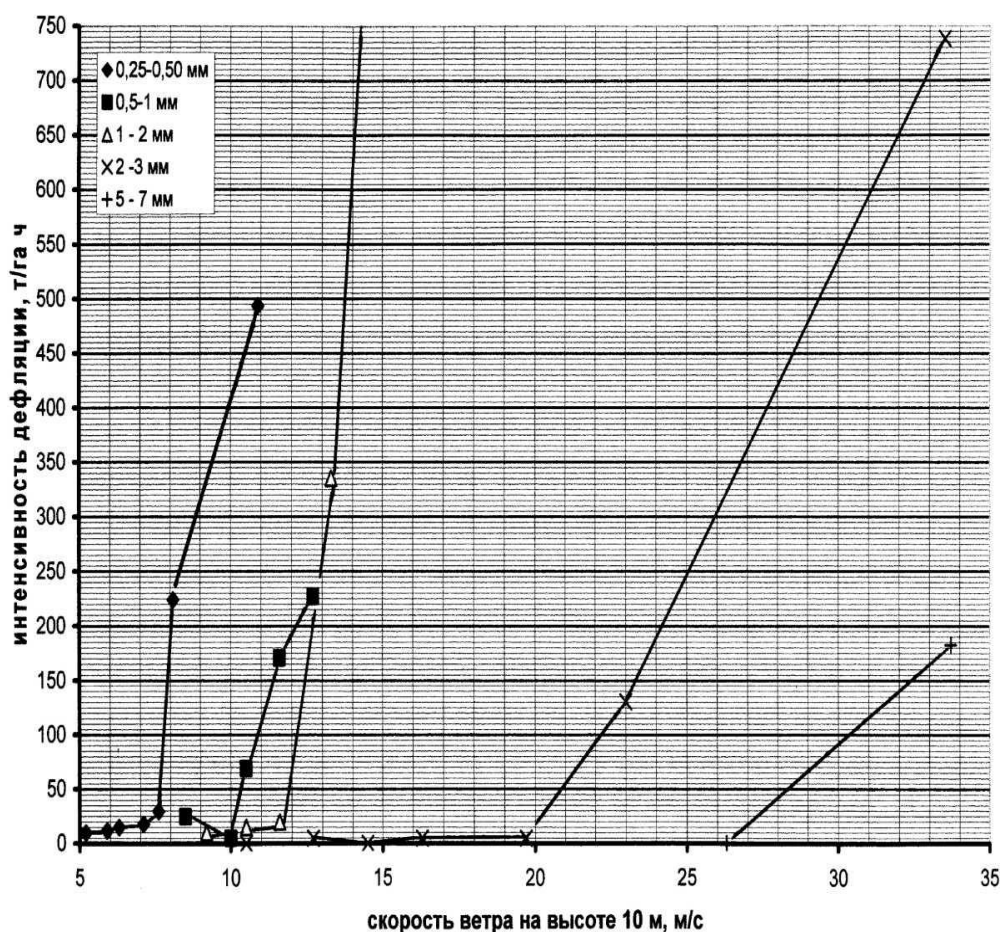


Рис. 2.5. Эмпирическая зависимость интенсивности дефляционного выноса различных фракций терриконовой породы от скорости ветра

Эксперименты подтвердили закономерности, полученные в результате исследований У. Чепила [31] и Г. П. Глазунова [32], выполненных в США и в России для различных почв. Как отмечает Л.Ф. Смирнова [33], У.Чепил выделил два предела критических скоростей: нижний, при котором начинается перемещение самых подвижных частиц (слабая дефляция) и верхний, при котором перемещается большая часть почвенных частиц (сильная эрозия).

Наши исследования, выполненные для отвальной породы, позволили получить обе критические скорости в зависимости от среднего размера частиц различных фракций породы и показали, что вынос частиц любого размера начинается при некотором значении скорости потока ($V_{кр1}$) и характеризуется вначале плавным, а затем резким возрастанием при достижении верхней критической скорости $V_{кр2}$ (табл. 2.4).

Как видим, для фракций отвалной 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. Соотношение между скоростями изменяется от 1,27 до 1,52, а в среднем равно 1,4, что соответствует обобщенным данным, полученным Л.Ф.Смирновой [33]. Как видим в табл. 2.5, наименьшие значения обеих критических скоростей имеют место для частиц породы размером 0,25-0,5 мм, а при уменьшении или увеличении размера частиц обе скорости становятся больше. Эта необычная, казалось бы, закономерность характерна, как свидетельствуют исследования [31, 33, 34 и др.], и для почвенных частиц, но минимум скоростей имеет место при размере частиц 0,1 мм. Однако в нашем случае частицы размером менее 0,1 мм тоже имеют отличительную особенность – наименьший вынос при второй критической скорости, причем весьма внушительной – 22,1 м/с.

Л.Ф. Смирнова [33] объясняет эту закономерность тем, что между мелкими частицами действуют поверхностные силы сцепления, и кроме того они находятся в вязком ламинарном приповерхностном слое воздуха высотой 0,05 см, в котором нет турбулентности.

Таблица 2.5

Показатели дефляционной опасности различных фракций породы

Показатели	Фракции породы, мм						
	<0,1	0,1-0,25	0,25-0,5	0,5-1	1-2	2-3	5-7
$V_{кр1}$, м/с	5,89	7,47	5,2	8,5	9,2	10,5	26,3
$d_{кр1}$, т/га·ч	13,82	53,3	9,9	24,7	9,9	4,9	0
$V_{кр2}$, м/с	14,34	9,85	7,6	10,5	11,7	19,7	не установлена
$d_{кр2}$, т/га·ч	33,56	104,62	29,6	69,1	19,7	4,9	не установлена
$V_{макс}$, м/с	22,08	22,5	10,9	12,8	15,2	33,5	33,7
$d_{макс}$, т/га·ч	207,27	10612	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.

Как свидетельствует табл. 2.4, 2.5, дефляционный вынос породы при больших скоростях ветра характеризуется катастрофическим размером – до 10612 т/га ч.

Как можно предположить, в реальных условиях 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 и становится менее податливой к дефляции.

Зависимость интенсивности дефляции поверхности отвальной породы в различных состояниях от скорости ветра.

Следующим этапом исследований стала работа с образцами терриконовой породы не разделенной на фракции.

Наполнялись кюветы различными способами: 1) с разравниванием поверхности без уплотнения; 2) с разравниванием и механическим уплотнением; 3) с разравниванием без уплотнения, но с чередованием увлажнения и последующего высыхания на протяжении 10 дней; 4) с разравниванием, уплотнением и чередованием увлажнения и высыхания; 5) с уплотнением и увлажнением в результате ударного действия капель.

Целью способов 3-5 была имитация естественного процесса формирования связности отсыпаемой на отвал породы.

Полученные образцы испытывались в аэродинамической установке при различных скоростях воздушного потока. Результаты опытов приведены в табл. 2.6.

Таблица 2.6

Условия проведения опытов со смешанными образцами и их результаты

№ опыта	Высота камеры Н _к , см	Масса образца, г		Потеря массы Δm, г	Интенсивность выноса		Расход воздуха Q, л/с	Скорость потока	
		До опыта, m ₁	После опыта, m ₂		г/мин	т/га·ч		в камере V, м/с	на высоте 10 м
Сцементированный образец									
2	9	254,40	254,38	0,02	0,02	1,97	19,19	4,74	8,2
3	8	254,38	254,37	0,01	0,01	0,99	19,05	5,29	9,3
4	7	254,37	254,37	0,00	0,00	0,00	18,97	6,02	10,8
5	6	254,37	254,35	0,02	0,02	1,97	18,93	7,01	12,9
6	5	254,35	254,19	0,16	0,16	15,79	18,42	8,19	15,5
7	4	254,19	253,85	0,34	0,34	33,56	17,86	9,92	19,64
8	3	253,85	251,49	2,36	2,36	232,93	16,22	12,01	24,6
9	2	251,24	239,76	11,48	11,48	1133,1	13,85	15,39	33,7
Уплотненный образец									
2	9	261,25	261,23	0,02	0,02	1,97	19,2	4,74	8,2
3	8	261,23	261,23	0	0	0,00	19,28	5,36	9,5
4	7	261,29	261,23	0,04	0,04	5,92	20,16	6,40	11,5
5	6	261,23	261,20	0,03	0,03	2,96	18,69	6,92	12,7
6	5	261,20	261,17	0,03	0,03	2,96	18,85	8,38	15,8
7	4	261,17	260,84	0,33	0,33	32,57	18,41	10,23	20,0
8	3	260,84	258,83	2,01	2,01	198,4	16,66	12,34	25,3
9	2	258,83	243,58	15,25	15,25	1505,2	13,41	14,90	32,6
Несцементированный, неуплотненный образец									
2	10	268,59	268,55	0,04	0,04	3,95	19,61	4,36	7,46
3	9	268,55	268,48	0,07	0,07	6,91	19,35	4,78	8,39
4	8	266,69	266,44	0,25	0,25	24,68	19,04	5,29	9,3
5	7	266,44	266,25	0,19	0,19	18,75	19,03	6,04	10,9
6	6	266,25	265,76	0,49	0,49	48,36	18,95	7,02	12,9
7	5	265,76	264,68	1,08	1,08	106,60	18,56	8,25	15,7
8	4	264,68	261,64	3,04	3,04	300,05	17,04	9,47	19,5
9	3	261,64	258,36	3,28	3,28	323,74	14,95	11,07	22,8
10	2	258,36	254,18	4,18	4,18	412,57	11,59	12,88	28,4
Сцементированно-уплотненный образец (1 повторность)									
1	8	264,05	264,00	0,05	0,017	1,678	19,05	5,45	9,6
2	7	264,00	263,89	0,11	0,037	3,652	18,97	6,3	11,3
3	7	263,89	263,80	0,09	0,03	2,961	18,97	6,3	11,3
4	7	263,80	263,75	0,05	0,017	1,678	18,97	6,3	11,3
6	6	263,70	263,60	0,10	0,03	2,961	18,93	7,3	13,4
7	6	263,60	263,54	0,06	0,02	1,974	18,93	7,3	13,4
8	5,5	263,54	263,45	0,09	0,09	8,883	18,68	7,86	14,7
9	5	263,45	263,43	0,02	0,02	1,974	18,42	8,47	16,0
10	4,5	263,43	263,43	0,00	0,00	0,000	18,14	9,11	17,5
11	4	263,43	263,22	0,21	0,21	20,727	17,86	9,79	19,1
12	3,5	263,22	262,75	0,47	0,94	92,778	17,04	10,55	21,1

Сцементированно-уплотненный образец (2 повторность)									
13	5,5	262,75	262,73	0,02	0,02	1,974	18,68	7,86	14,7
14	5	262,73	262,71	0,02	0,02	1,974	18,42	8,47	16,0
15	4,5	262,71	262,64	0,07	0,07	6,909	18,14	9,11	17,5
16	4	262,64	262,54	0,10	0,10	9,870	17,86	9,79	19,1
17	3,5	262,54	262,22	0,32	0,64	63,168	17,04	10,55	21,1
Сцементированно-уплотненный образец (3 повторность)									
18	5	262,22	262,18	0,04	0,04	3,948	18,42	8,47	16,0
19	4,5	262,18	262,14	0,04	0,04	3,948	18,14	9,11	17,5
20	4	262,14	262,06	0,08	0,08	7,896	17,86	9,79	19,1
21	3,5	262,06	261,93	0,13	0,26	25,662	17,04	10,55	21,1

Расчет скорости ветра на высоте флюгера выполнялся с использованием уравнения (2.4), в котором параметр шероховатости z_0 рассчитывался по формуле, разработанной Ю.И.Васильевым [34]:

$$z_0 = (0,0055d_e + 0,004)d_e^{0,4}, \quad (2.5)$$

где d_e – эквивалентный (средневзвешенный по массовой доле фракций) диаметр частиц породы, равный в нашем случае 3 мм. Поэтому $z_0 = 0,03$. Полученные зависимости интенсивности выноса частиц породы с поверхности образцов представлены графически на рис. 2.6, 2.7.

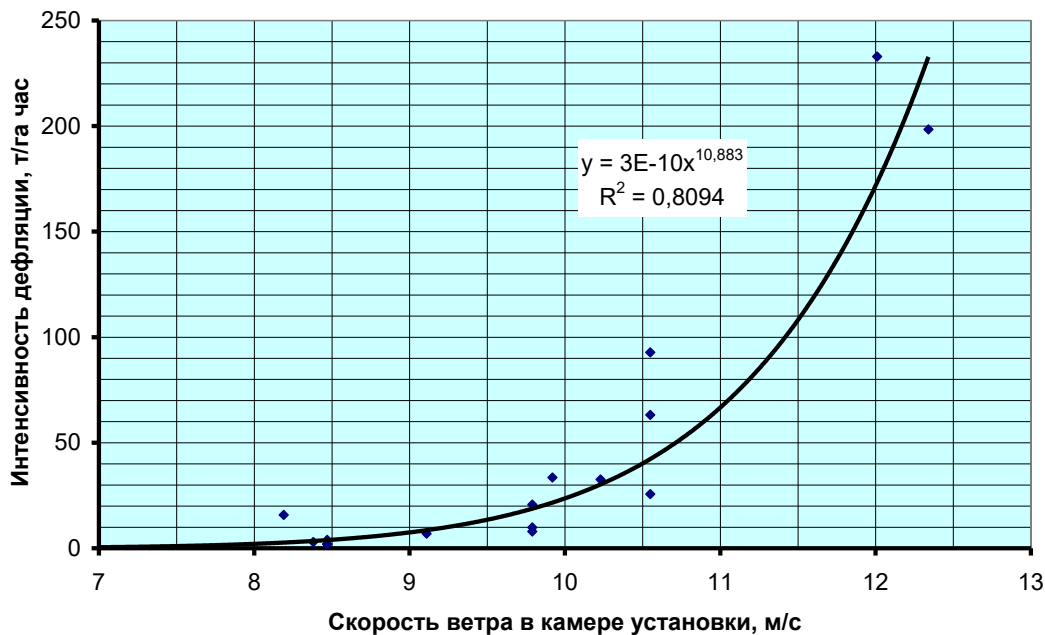


Рис. 2.6. Зависимость интенсивности выноса породы в результате дефляции от скорости ветра в приземном слое

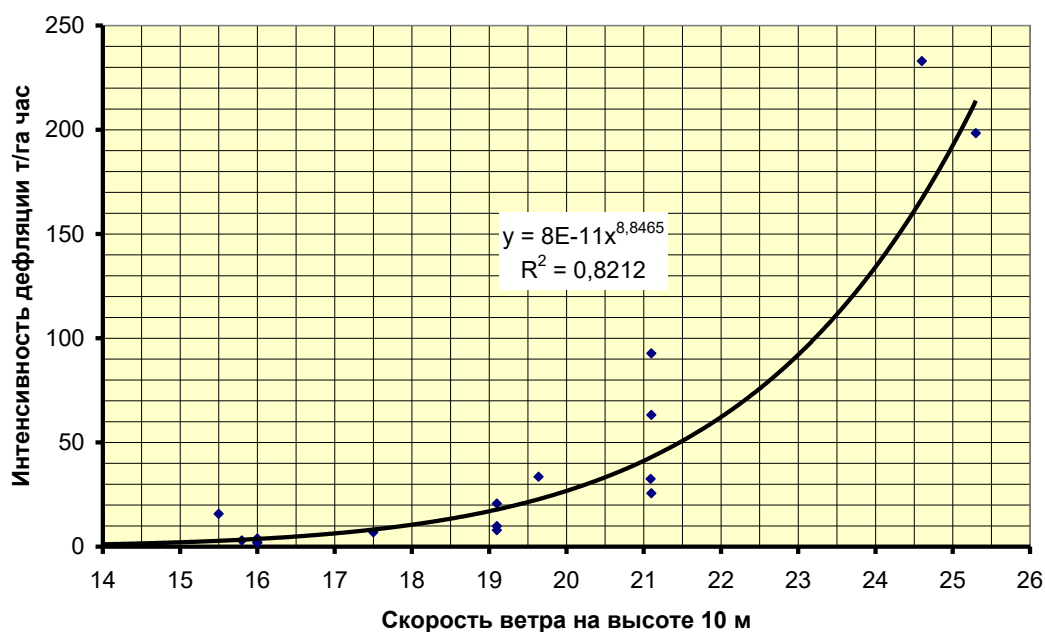


Рис. 2.7. Зависимость интенсивности выноса породы в результате дефляции от скорости ветра на высоте флюгера

Для выявления различий в выносе частиц различного размера был проанализирован фракционный состав исследуемой породы и вынесенного материала, отложившегося на ситах установки (табл. 2.7, рис. 2.8).

Таблица 2.7

Фракционный состав породы в вариантах опыта

№ опыта	Порода	Ед. изм	Σ	Содержание фракций							
				<0,1	0,1-0,25	0,25-0,5	0,5-1	1 - 2	2 - 5	5 - 10	>10
1. Опыт со сцементированным образцом	В кассете до опыта	г	98,62	2,44	1,22	1,77	3,71	32,69	44,86	11,34	0,59
		%	100	2,47	1,24	1,79	3,76	33,15	45,49	11,50	0,60
	после опыта	г	84,18	2,12	1	1	2,8	28,91	38,21	9,78	0,36
		%	100	2,52	1,19	1,19	3,33	34,34	45,39	11,62	0,43
	на ситах	г	14,44	0,32	0,22	0,77	0,91	3,78	6,65	1,56	0,23
		%	100	2,22	1,52	5,33	6,30	26,18	46,05	10,80	1,59
2. Опыт с уплотненным образцом	В кассете до опыта	г	106,2	9,61	6,34	8,05	7,54	25,88	32,22	16,21	0,35
		%	100	9,05	5,97	7,58	7,10	24,37	30,34	15,26	0,33
	В кассете после опыта	г	88,38	8,02	5,15	6,71	6,09	21,74	26,79	13,53	0,35
		%	100	9,07	5,83	7,59	6,89	24,6	30,31	15,31	0,4
	на ситах	г	17,82	1,59	1,19	1,34	1,45	4,14	5,43	2,68	0
		%	100	8,92	6,68	7,52	8,14	23,23	30,47	15,04	0

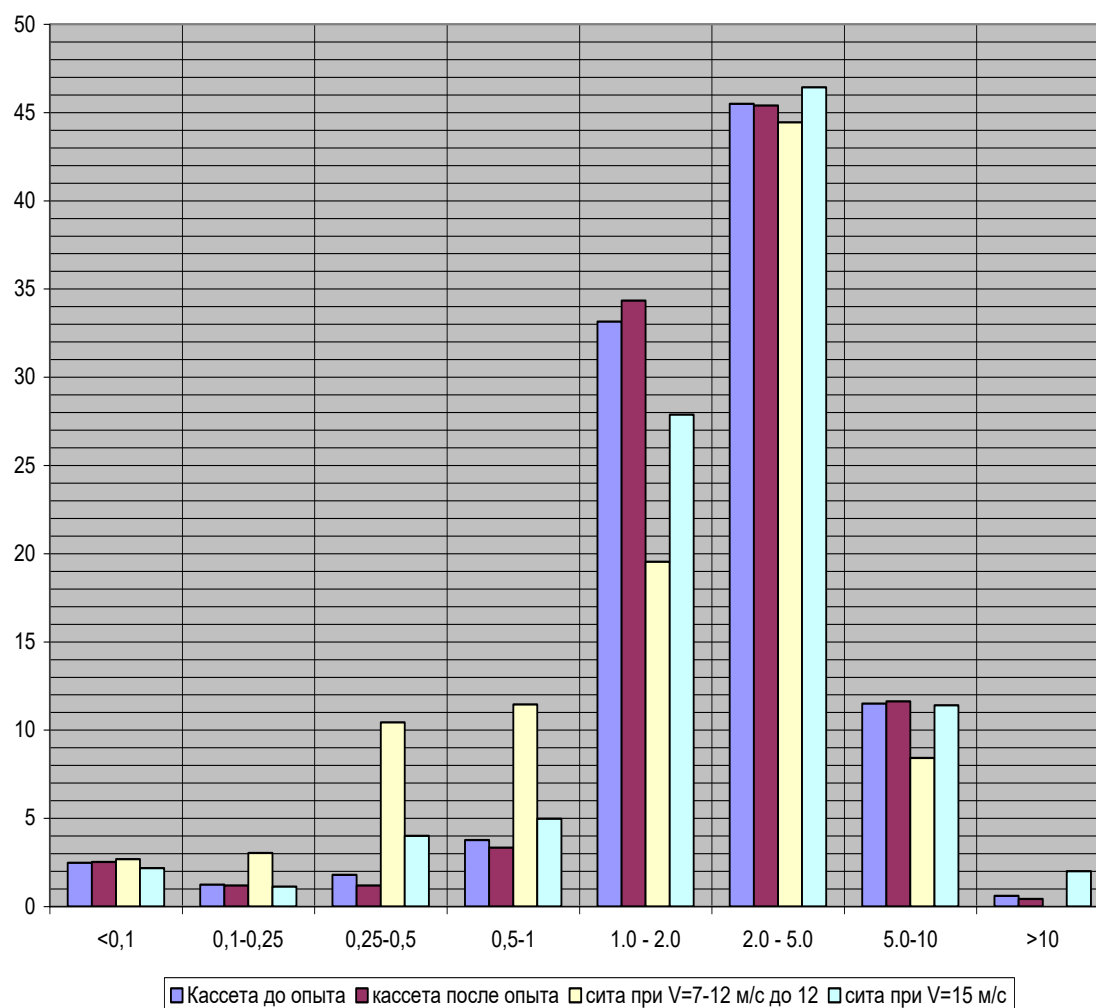


Рис. 2.8. Содержание различных фракций в исследуемых образцах породы до, после опыта и в выносимом из них материале

Различия во фракционном составе породы, выносимой при разных скоростях, показаны в табл. 2.8.

Таблица 2.8
Различия во фракционном составе выносимой породы от скорости ветра

Порода		Ед. изм	Σ	Содержание фракций							
				<0,1	0,1-0,25	0,25-0,5	0,5-1	1-2	2-5	5-10	>10
В кассете до опыта		%	100	2,47	1,24	1,79	3,76	33,15	45,49	11,50	0,60
В кассете после опыта		%	100	2,52	1,19	1,19	3,33	34,34	45,39	11,62	0,43
на ситах	При скорости потока в камере от 7 до 12 м/с	%	100	2,69	3,03	10,44	11,45	19,53	44,44	8,42	0
	При скорости 15,4 м/с	%	100	2,18	1,13	4,01	4,97	27,87	46,43	11,41	2,00

Сравнение фракционного состава образцов до и после их продувки в установке с составом выносимого материала показывают, что при дефляции породы наблюдается увеличение доли фракций размером менее 1 мм в выносимом материале по сравнению с исходным содержанием, т.е. эти фракции выносятся более активно, чем другие и названы в литературе «эрозионными» [34]. С фракциями крупнее 1 мм происходит снижение доли их выноса.

Так, если содержание «эрозионных» и «неэрозионных» фракций в породе было соответственно 9,26 и 90,74% (соотношение 1 : 9,8), то после опытов со скоростью потока в камере от 7 до 12 м/с в выносимом материале оно равнялось соответственно 27,61 и 72,39% (соотношение 1 : 2,62).

Разработка методики расчета дефляционного выноса породы за расчетные периоды времени и полученные количественные показатели выноса породы с отвалов

Как известно из литературных источников [32, 35, 36], ветровая эрозия породы начинается при некоторой начальной скорости и активизируется по мере ее возрастания. Вышеописанные исследования подтвердили эту закономерность. Однако скорость ветра существенно варьирует в течение суток, месяца, сезона и года, а с ней варьирует и вынос породы. Можно установить зависимость интенсивности выноса частиц породы с террикона от скорости ветра, но практически невозможно прогнозировать скорость ветра даже на ближайший месяц, не говоря о ее варьировании по суткам месяца и по часам.

Выход из этого, казалось бы, непреодолимого затруднения был найден в виде специального разработанного нами алгоритма.

Путем расчетов, выполненных на основании атласа [37], может быть составлена таблица повторяемости ветров различной скорости за многолетний период по ближайшей к исследуемым отвалам метеостанции для месяцев года, его сезонов и года в целом (табл. 2.9, 2.10). В нашем случае были взяты данные МС «Сватово» за 15 лет.

Таблица 2.9

Повторяемость ветров с различной скоростью за 15 лет и в среднем за год по месяцам (метеостанция Сватово)

Интервалы скоростей ветра, их средние значения и повторяемость											Общее число измере- ний
Интервал, м/с	0-1	2-3	4-5	6-7	8-9	10-11	12-13	14-15	16-17	18-20	
Среднее, м/с	0,5	2,5	4,5	6,5	8,5	10,5	12,5	14,5	16,5	19	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Январь											
За 15 лет	430	639	485	211	74	12	4	1	4		1860
Среднее	28,7	42,6	32,3	14,1	4,93	0,8	0,267	0,067	0,267		124
Февраль											
За 15 лет	378	545	422	232	72	21	13	8	3	1	1695
Среднее	25,2	36,3	28,1	15,5	4,8	1,4	0,867	0,533	0,2	0,067	113
Март											
За 15 лет	473	623	418	221	78	23	13	3	8		1860
Среднее	31,5	41,5	27,9	14,7	5,2	1,53	0,867	0,2	0,533		124
Апрель											
За 15 лет	435	632	423	201	71	27	4	3	4		1800
Среднее	29	42,1	28,2	13,4	4,73	1,8	0,267	0,2	0,267		120
Май											
За 15 лет	553	649	419	183	39	10	4	2		1	1860
Среднее	36,9	43,3	27,9	12,2	2,6	0,67	0,27	0,13		0,07	124
Июнь											
За 15 лет	639	689	327	107	25	8	1	1	3		1800
Среднее	42,6	45,9	21,8	7,1	1,67	0,53	0,07	0,07	0,2		120
Июль											
За 15 лет	660	689	349	123	28	5	2		4		1860
Среднее	44	45,9	23,3	8,2	1,87	0,33	0,13		0,267		124
Август											
За 15 лет	766	683	275	107	19	4	3	2	1		1860
Среднее	51,1	45,5	18,3	7,1	1,27	0,27	0,2	0,13	0,067		124
Сентябрь											
За 15 лет	744	595	309	110	29	7	5		1		1800
Среднее	49,6	39,67	20,6	7,33	1,93	0,47	0,333		0,067		120
Октябрь											
За 15 лет	677	624	348	154	33	9		9	3	3	1860
Среднее	45,1	41,6	23,2	10,3	2,2	0,6		0,6	0,2	0,2	124
Ноябрь											
За 15 лет	458	586	394	226	73	40	11	4	8		1800
Среднее	30,5	39,1	26,3	15,1	4,87	2,67	0,733	0,267	0,533		120
Декабрь											
За 15 лет	425	690	482	190	49	9	8	4	3		1860
Среднее	28,3	46,0	32,1	12,7	3,27	0,6	0,53	0,267	0,20		124

Таблица 2.10

Повторяемость ветров с различной скоростью за 15 лет и в среднем за год по сезонам

Интервалы скоростей ветра, их средние значения и повторяемость											Общее число измере- ний
Интервал, м/с	0-1	2-3	4-5	6-7	8-9	10-11	12-13	14-15	16-17	18-20	
Среднее, м/с	0,5	2,5	4,5	6,5	8,5	10,5	12,5	14,5	16,5	19	
Сезон	Зима										
За 15 лет	1464	1876	1390	634	195	42	25	13	10	1	5416
Среднее	82,2	124,9	92,5	42,3	13	2,8	1,664	0,87	0,67	0,067	361
Сезон	Весна										
За 15 лет	1461	1904	1257	605	185	60	21	8	12	1	5520
Среднее	97,4	126,9	84	40,3	12,53	4	1,404	0,54	0,80	0,067	368
Сезон	Лето										
За 15 лет	2065	2061	951	337	72	17	6	3	8		5520
Среднее	137,7	137,3	63,4	22,4	4,81	1,13	0,4	0,2	0,54		368
Сезон	Осень										
За 15 лет	1879	1807	1037	492	135	56	16	13	12	3	5460
Среднее	125,2	120,37	70,1	32,73	9	3,74	1,066	0,87	0,8	0,200	364
	За год										
За 15 лет	6869	7648	4635	2068	587	175	68	37	42	5	21916
Среднее	442,5	509,5	310	137,7	39,3	11,7	4,53	2,47	2,81	0,334	1461

Полученные данные (табл. 2.9, 2.10) предлагается интерпретировать следующим образом: ежедневно на метеостанции скорость ветра измеряется через 6 часов, т.е. 4 раза. За месяц (кроме февраля) производится 120 или 124 измерения, за 15 лет ежемесячно производится от 1800 до 1860 измерений (в феврале 1695). За каждый из четырех сезонов года за 15 лет - от 5416 до 5460 измерений, за все 15 лет общее количество измерений составило 21916.

Количество случаев попадания значения скорости в каждый из интервалов в диапазоне от 0 до 20 м/с за месяц, сезон, год на протяжении 15 лет является абсолютным значением их повторяемости. Отнесение этого количества к общему количеству измерений за тот или иной период является относительной повторяемостью или вероятностью.

Для определения среднемноголетней интенсивности выноса породы за тот или иной период надо знать количество случаев той или иной скорости ветра за этот период в среднем за время наблюдений, в данном случае за 15

лет. Поэтому месячное количество случаев за время наблюдений делилось на 15.

Зная среднегодовую повторяемость определенного значения ветра за каждый месяц, можно определить суммарную продолжительность ветра с данным значением скорости за месяц, сезон и год в целом. Она рассчитывается путем умножения продолжительности периода, характеризуемого одним измерением (6 часов), на среднегодовую абсолютную повторяемость данного ветра за месяц, сезон и год в целом.

Зная зависимость интенсивности выноса породы от скорости ветра (рис. 2.6) и продолжительность ветров различной силы за тот или иной расчетный период, можно определить и общую массу породы, выносимой за данный период. Результаты расчета представлены в табл. 2.11, в которой данные о повторяемости ветров, взятые из табл. 2.9, переведены в продолжительность ветров различной силы и рассчитан вынос породы при каждой скорости ветра, а затем общий вынос породы за каждый сезон.

По расчету потенциальный вынос породы за год с одного гектара площади отвала составляет 156,9 т, а с одного квадратного метра 15,7 кг. Реальная интенсивность выноса породы может быть меньше расчетной потенциальной, поскольку в зимнее время порода часто бывает покрыта снегом и находится в мерзлом – «сцементированном» состоянии. Без учета зимних месяцев интенсивность выноса уменьшается до 116,7 т/га год. Факторами, снижающими интенсивность выноса, являются также выпадение осадков при ветре большой силы, наличие промоин, растительности.

Продолжительность выпадения осадков надо вычесть из продолжительности каждого ветра. После прекращения дождя увлажненное состояние почвы также сдерживает вынос породы, однако незначительное время, поскольку первые миллиметры поверхности очень скоро иссушаются сильным ветром, а каждый миллиметр - это 15 т породы на 1 га.

Таблица 2.11

**Расчетное среднегодовое количество породы, выносимой ветром с
отвалов за сезоны и год**

Средние скорости ветра и масса выносимой при них породы										
Средняя скорость ветра, м/с	0,5	2,5	4,5	6,5	8,5	10,5	12,5	14,5	16,5	19
Интенсивность выноса, т/га час	0	0	0	0	0,01	0,09	0,41	1,52	4,76	16,6
Сезон	Зима									
Продолжительность, час	493	750,6	555,6	253,8	78	16,8	10,02	5,25	4,04	0,40
Вынос т/га	0	0	0	0	0,78	1,51	4,11	7,98	19,23	6,64
Всего										40,25
Сезон	Весна									
Продолжительность, час	584	761,4	502,8	241,8	74,0	24	8,46	3,26	4,83	0,405
Вынос т/га					0,74	2,16	3,47	4,96	23,99	6,72
Всего										42,04
Сезон	Лето									
Продолжительность, час	828	823,8	380,4	134,4	28,86	6,78	2,4	1,2	3,24	0
Вынос т/га					0,29	0,61	0,98	1,82	15,42	0
Всего										19,12
Сезон	Осень									
Продолжительность, час	751	723	415,2	197,4	54	22,44	6,36	5,19	4,77	1,19
Вынос т/га					0,54	2,02	2,61	7,89	22,71	19,75
Всего										55,52
	Всего за год									
Продолжительность, час					234,9	70,02	27,24	14,90	16,88	2,00
Вынос, т/га					2,35	6,3	11,17	22,65	81,35	33,11
Всего, т/га										156,9

На основании данных фракционного состава эродирующей породы может быть рассчитана масса различных фракций, выносимых с единицы площади поверхности отвала за год (табл. 2.12).

Таблица 2.12

Массовая доля различных фракций в выносимой с отвала породе

Фракции, мм	<0,1	0,1-0,25	0,25-0,5	0,5-1	1-2	2-5	5-10	>10	Сумма
Содержание, %	2,69	3,03	10,44	11,45	19,53	44,44	8,42	0	100
Масса, кг/м ² год	0,422	0,476	1,639	1,798	3,066	6,977	1,322	0	15,7

2.2. Математическая модель процесса загрязнения территории, окружающей породные отвалы, продуктами дефляции их поверхности

Для оценки экологической опасности процесса дефляции поверхности породных отвалов для прилегающей территории недостаточно знать общее количество продуктов дефляции, выносимых в окружающую среду, важно знать также, как они распределяются на территории. Для прогнозирования процесса загрязнения территории и результатов управления им необходима математическая модель этого процесса.

Согласно общепринятым представлениям процедура разработки математических моделей различных процессов состоит из следующих этапов [38]: разработка содержательной модели, на основании которой, путем ее формализации, строится математическая модель; второй этап состоит в изучении модели или, иначе говоря, решении поставленной математической задачи; третий этап – интерпретация математической модели. В третий этап может входить и контроль правильности (верификация) модели на основе сравнения результата с другими известными фактами, в частности с экспериментальными данными [38].

По мнению А.Г. Иваненко [39], созданию математической модели (в ходе системного анализа экологических объектов и процессов) предшествует создание абстрактной или вербальной модели, получаемой благодаря индуктивной и дедуктивной абстракции результатов исследования реальной действительности. Вербальная модель формализуется с помощью математических методов, вследствие чего и получается математическая модель. Таким образом, можно сделать вывод о тождественности понятий «содержательная модель» и «вербальная модель» и необходимости их разработки для решения поставленных в данном исследовании задач.

Содержательную модель процесса загрязнения прилегающей к отвалам территории продуктами дефляции отвальной породы можно представить в виде нижеследующих тезисов.

1. В результате процесса дефляции породы в реальных условиях от поверхности террикона отрываются частицы различного размера и под действием силы динамического давления воздуха переносятся ветром в горизонтальном направлении – в сторону прилегающей территории. Под действием силы тяжести они одновременно двигаются и в вертикальном направлении вниз (падают). В итоге, под действием равнодействующей двух сил, частицы движутся по некоторой наклонной траектории.

2. Процесс загрязнения территории можно рассматривать как состоящий из совокупности множества процессов выноса порций породы определенной массы, зависящей от скорости ветра, с элементарных участков поверхности, расположенных на различной высоте, и переноса этих порций по траекториям различной формы и длины, определяемой размером частиц, скоростью ветра и высотой расположения участков.

3. Поскольку расстояние, на котором отлагается каждая частица является функцией многих переменных (высоты, с которой она выносится, скорости ветра на данной высоте, времени падения частицы, которое зависит от высоты падения и ее диаметра), отложение частиц, характеризующихся значительной вариабельностью по диаметру, происходит по сложному закону распределения в широком спектре расстояний.

4. Этот закон можно охарактеризовать функцией плотности отложения по расстоянию от террикона. Плотность загрязнения территории на концентрических окружностях, удаленных на разное расстояние от подножия отвала, определяется путем деления массы породы, отлагающейся на данном расстоянии, на длину каждой окружности с радиусом, равным сумме радиуса основания R и расстояния от подножия до окружности L .

5. Необходимо также учитывать такой фактор, как неравная повторяемость ветров разных направлений, приводящая к неравномерности распределения плотности загрязнения по длине окружностей.

*Формализация математической модели ветрового переноса и отложения
продуктов дефляции поверхности отвала на прилегающей территории*

Для оценки последствий дефляционного выноса породы с поверхности терриконов для окружающей среды необходимо оценить плотность отложения загрязняющих частиц на различном расстоянии от отвалов.

Интенсивность выноса породы, как было установлено ранее, зависит от скорости ветра и приобретает заметный размер при достаточно высоких ее значениях.

Дальность переноса частиц породы зависит от скорости их горизонтального перемещения v_z , равной скорости ветра, а также от продолжительности падения частиц (t , с) при отсыпке отвала или частиц, вынесенных с него при дефляции.

Таким образом, дальность переноса равна:

$$L = v_z * t . \quad (2.1)$$

Время падения частиц t зависит от скорости их падения v_{π} и высоты H , с которой происходит их вынос.

Известно, что падение тел происходит с переменной скоростью, нарастающей от нуля до некоторого значения, после чего движение становится равномерным, так как любые падающие тела подвержены действию двух сил – силы тяжести $F_m = mg$ и силы сопротивления воздуха F_c . Сила сопротивления не постоянна и зависит от скорости падения, а также от площади поперечного сечения тела, его формы [40]:

$$F_c = C * \rho_{\text{вх}} v_{\pi}^2 * \frac{F}{2}, \quad (2.2)$$

где C – коэффициент, зависящий от формы тела, для шарообразных тел принимаемый равным 0,5;

v_{π} – скорость падения;

$\rho_{\text{вх}}$ – объемная масса воздуха, равная 1,3 кг/м³;

F – площадь поперечного сечения, равная $\pi D^2/4$;

D – диаметр тела.

Таким образом,

$$F_c = \frac{0,5 * \rho_{\text{ex}} * v_{\pi}^2 * \pi * D^2}{4} = \frac{\rho_{\text{ex}} v_{\pi}^2 * \pi * d^2}{8}. \quad (2.3)$$

Сила тяжести определяется по формуле:

$$F_T = m * g = \rho_{\text{ч}} * V * g = \rho_{\text{ч}} * \pi * D^3 * \frac{g}{6}, \quad (2.4)$$

где $\rho_{\text{ч}}$ – объемная масса твердой фазы породы (плотность ее частиц),

V – объем тела (частицы породы).

В результате наших опытов, проведенных с терриконовой породой, установлено, что $\rho_{\text{ч}} = 2,0 \text{ т/м}^3$.

Результирующая сила, действующая на частицу, равна векторной разности силы тяжести и силы сопротивления. В то же время она равна ma , где a – ускорение падения частицы. Так как $m = \rho_{\text{ч}} \pi d^3/6$, можно записать:

$$a * \rho_{\text{ч}} * \pi * \frac{D^3}{6} = g * \rho_{\text{ч}} * \pi * \frac{D^3}{6} - \rho_{\text{ex}} v_{\pi}^2 * \pi * \frac{D^2}{8}. \quad (2.5)$$

Деля обе части на $\rho_{\text{ч}} \pi D^3/6$, получаем:

$$a = g - \frac{\left(\rho_{\text{ex}} v_{\pi}^2 * \pi * \frac{D^2}{8} \right)}{\left(\rho_{\text{ч}} * \pi * \frac{D^3}{6} \right)} = g - \frac{0,75 * v_{\pi}^2 * \frac{\rho_{\text{ex}}}{\rho_{\text{ч}}}}{D}. \quad (2.6)$$

При установившемся равномерном движении $a = 0$, поэтому можно записать следующее равенство:

$$g - \frac{0,75 * v_{\pi}^2 * \left(\frac{\rho_{\text{ex}}}{\rho_{\text{ч}}} \right)}{D} = 0, \quad (2.7)$$

откуда можно получить формулу установившейся скорости:

$$v_{\text{уст}} = \left(\frac{4 * g * D * \left(\frac{\rho_{\text{ч}}}{\rho_{\text{ex}}} \right)}{3} \right)^{0,5}. \quad (2.8)$$

Данное уравнение без вывода приводится и в работе [40], согласно которой оно справедливо для тел диаметром более 1 мм, для которых роль вязкого трения воздушной среды незначительна.

Для тел диаметром менее 0,1 мм вязкость воздуха приобретает существенное значение, поэтому частицы диаметром 0,01 - 0,1 мм, например, капельки тумана, падают со скоростью, пропорциональной квадрату их диаметра. Это возможно, только если сила сопротивления описывается формулой Стокса, из которой автор работы [40] выводит выражение для скорости осаждения капель:

$$v_0^{(c)} = \frac{1}{18} D^2 \frac{\rho}{\eta} g, \quad (2.9)$$

где $\eta \approx 1,8 \cdot 10^{-5}$ кг/м·с при $T = 300$ К.

Для капелек диаметром $0,1 \text{ мм} \leq D \leq 1 \text{ мм}$ не работает ни формула Стокса, ни формула Ньютона [40].

Уравнение скорости падения частиц для этого интервала, выведенное нами путем интерполяции между крайними числами интервалов менее 0,1 мм и более 1 мм имеет вид:

$$v_{\text{уст}} = -5,104D^2 + 9,9256D - 0,3315 \dots\dots\dots(2.10)$$

Ускорение движения тела является первой производной его скорости по времени, поэтому полученное уравнение можно представить так:

$$\frac{\partial v}{\partial t} = g - \frac{0,75 * v_{\pi}^2 \left(\frac{\rho_{\text{ex}}}{\rho_{\text{ч}}} \right)}{D}. \quad (2.11)$$

$$\partial v = g * \partial t - \left(\frac{0,75 * \left(\frac{\rho_{\text{ex}}}{\rho_{\text{ч}}} \right)}{D} \right) * \partial t. \quad (2.12)$$

Получаем дифференциальное уравнение, которое решаем для частиц диаметром 0,01; 0,05; 0,1; 0,25; 0,5; 1; 2; 3; 5; 7 и 10 мм путем подбора,

используя алгоритм, воплощенный в аппарат программы Excel. Пример расчета для частиц размером 5 мм и его результат показаны в табл. 2.13 и на рис. 2.9.

Полученные зависимости (табл. 2.14) связывают со временем, прошедшим от начала падения, скорость падения частиц размером ≥ 1 мм и пройденный ими путь. Значения этих показателей для частиц размером $\leq 0,1$ мм рассчитаны с использованием формулы 2.9. Для частиц промежуточного интервала (0,25 и 0,5 мм) показатели рассчитаны по уравнению (2.10).

Таблица 2.13

**Решение дифференциального уравнения падения частиц
в табличной форме (на примере частиц диаметром 5 мм)**

Время от начала падения t , с	Приращение времени Δt , с	Приращение скорости ΔV , м/с	Мгновенная скорость падения V , м/с	Средняя скорость за период Δt V_{cp} , м/с	Приращение длины пути ΔH , м	Пройденный путь H , м
0			0			0
0,1	0,1	0,981	0,981	0,491	0,0491	0,049
0,2	0,1	0,972	1,9526	1,467	0,147	0,196
0,3	0,1	0,944	2,896	2,425	0,242	0,438
0,4	0,1	0,899	3,796	3,346	0,335	0,773
0,5	0,1	0,840	4,636	4,216	0,422	1,194
0,6	0,1	0,771	5,407	5,022	0,502	1,697
0,7	0,1	0,696	6,103	5,755	0,575	2,272
0,8	0,1	0,617	6,720	6,412	0,641	2,913
0,9	0,1	0,540	7,261	6,990	0,699	3,612
1	0,1	0,467	7,727	7,494	0,749	4,362
1,1	0,1	0,398	8,125	7,926	0,793	5,154
1,2	0,1	0,337	8,462	8,294	0,829	5,984
1,3	0,1	0,282	8,744	8,603	0,860	6,844
1,4	0,1	0,235	8,979	8,861	0,886	7,730
1,5	0,1	0,194	9,173	9,076	0,908	8,638
1,6	0,1	0,160	9,333	9,253	0,925	9,563
1,7	0,1	0,131	9,464	9,398	0,940	10,503
1,8	0,1	0,107	9,571	9,517	0,952	11,454
1,9	0,1	0,087	9,658	9,614	0,961	12,416

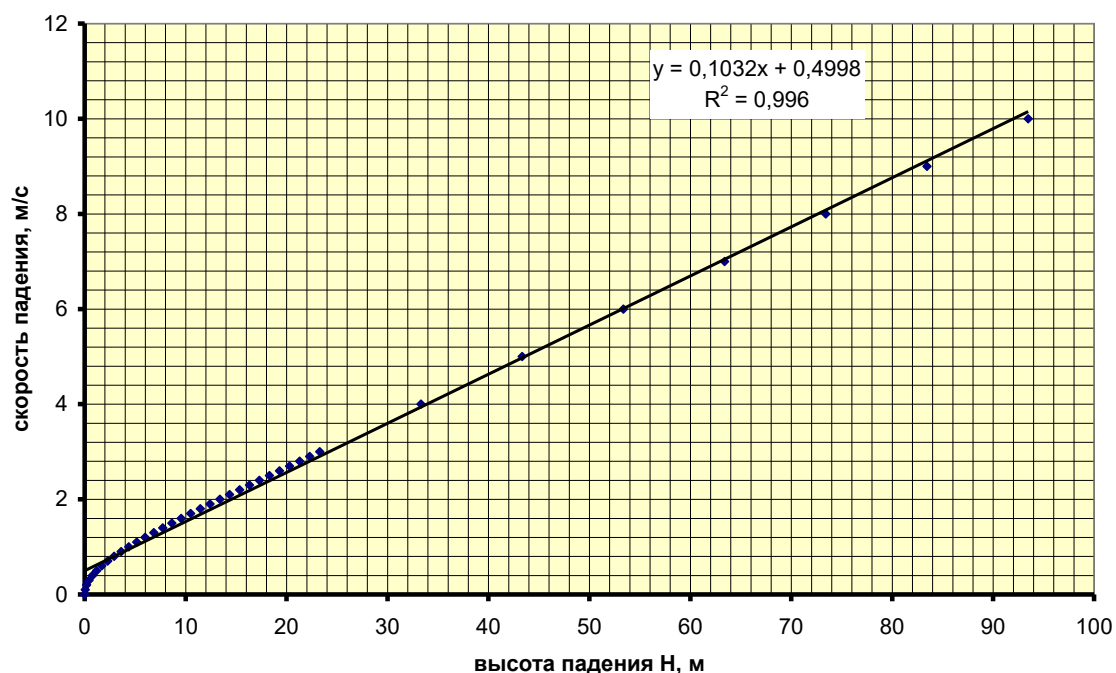


Рис. 2.9. Зависимость продолжительности падения частиц размером 5 мм от высоты падения

Таблица 2.14

Зависимость установившейся скорости падения частиц и времени их падения от высоты падения и диаметра

Диаметр частицы D, мм	Скорость равномерного падения, м/с	Продолжительность ускоренного падения, с	Высота ускоренного падения, м	Уравнение времени падения	Коэфф. корреляции
10	14,20	5,0	15	$t = 0,0695H + 0,746$	0,982
7	11,87	4,5	10	$t = 0,0882H + 0,567$	0,990
5	10,03	4,0	8	$t = 0,1032H + 0,500$	0,996
3	7,77	3,0	5	$t = 0,1483H + 0,271$	0,996
2	6,35	2,0	4	$t = 0,1609H + 0,322$	0,997
1	4,49	1,5	2	$t = 0,2248H + 0,249$	1,0
0,5	3,36	1,33	2,33	$t = 0,43H$	1,0
0,25	1,83	0,7	0,60	$t = 0,90H$	1,0
0,1	0,61	0,5	0,15	$t = 1,64H$	1,0
0,05	0,152	0,0	0,0	$t = 6,58H$	1,0
0,01	0,006	0,0	0,0	$t = 165H$	1,0

Как видим по данным в табл. 2.14, коэффициенты при H и свободные члены уравнений изменяются в зависимости от диаметра частиц. Были получены уравнения этих зависимостей, что позволило вывести

двухфакторное уравнение (2.13) зависимости времени падения частиц от высоты падения H и их диаметра D (при $D \geq 1$ мм):

$$t = 0,233D^{-0,5}H + 0,22D^{0,484} . \quad (2.13)$$

При $D \leq 0,1$ мм уравнение времени имеет вид:

$$t = 0,0163D^{-2}H . \quad (2.14)$$

При $0,1 \text{ мм} < D < 1 \text{ мм}$ уравнение времени имеет вид:

$$t = 0,235D^{-0,875}H . \quad (2.15)$$

После подстановки уравнений (2.13 – 2.15) в уравнение (2.1) удалось получить трехфакторное уравнение расстояния, на котором отложится частица определенного диаметра D , вынесенная ветром определенной скорости v_z с определенной высоты H :

$$\text{При } D \geq 1 \text{ мм} \quad L = v_z \cdot (0,233D^{-0,5}H + 0,22D^{0,484}). \quad (2.16)$$

$$\text{При } D \leq 0,1 \text{ мм} \quad L = v_z \cdot (0,0163D^{-2}H). \quad (2.17)$$

$$\text{При } 0,1 \text{ мм} < D < 1 \text{ мм} \quad L = v_z (0,236D^{-0,875}H) . \quad (2.18)$$

Эти уравнения были использованы для определения зависимости плотности загрязнения территории, прилегающей к отвалам, от расстояния до их подножия.

Расчет универсальной функции плотности отложения породы требует составления системы дифференциальных уравнений и их совместного решения, что является весьма сложной задачей, поэтому был разработан алгоритм расчета зависимости плотности отложения частиц от расстояния для конкретных случаев (рис. 2.10), реализованный с помощью программного аппарата программы Excel и позволяющий получать искомую функцию суммарной плотности отложения для различных исходных данных.

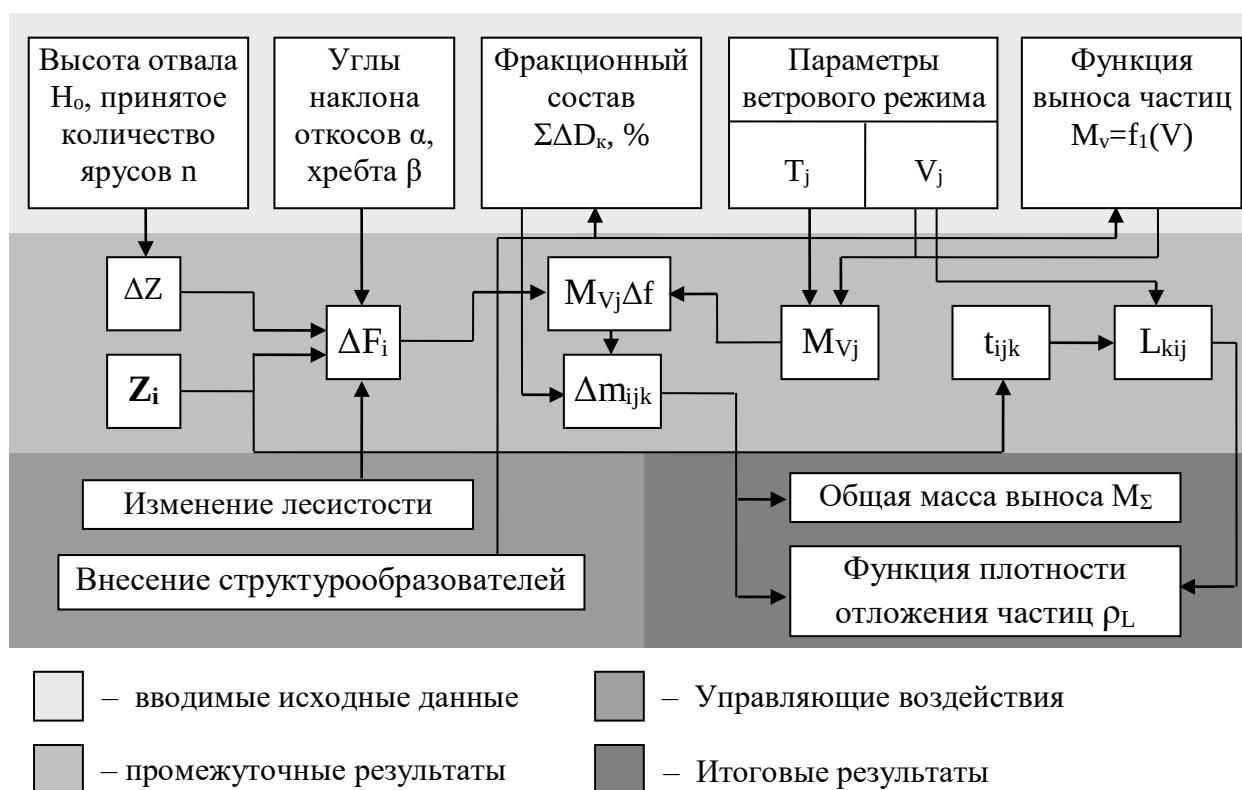


Рис. 2.10. Блок-схема модели загрязнения территории продуктами дефляции поверхности терриконов

При разработке алгоритма были сделаны следующие упрощения:

1. Вместо множества всех возможных значений скорости ветра были приняты дискретные значения, соответствующие середине стандартных интервалов (градаций), принятых в отчетности метеостанций.

2. Вынос частиц рассчитывается не для каждой точки отвала по его высоте, а с ярусов высотой ΔZ .

3. Вынос частиц рассматривается не для каждого возможного их размера, а для стандартных интервалов их диаметра (фракций): $<0,1$; $0,1-0,25$; $0,25-0,50$; $0,50-1$; $1-2$; $2-5$; $5-10$ и >10 мм.

Для практического применения алгоритма расчета плотности отложения вынесенных частиц породы на различных расстояниях от каждого конкретного отвала с присущим ему набором параметров размера, формы, породного состава, облесенности, местных метеорологических условий необходимо знать:

1. Площадь поверхности каждого из ярусов отвала.
2. Зависимость удельной интенсивности выноса частиц породы (массы частиц, выносимых за единицу времени с единицы площади поверхности яруса) от скорости ветра.
3. Суммарную за месяц, сезон и год продолжительность ветра с каждым из принятых дискретных значений его скорости.

Поскольку условия 2 и 3 являются уже решенными нами ранее, остается решить условие 1.

Каждому интервалу скорости ветра соответствует своя масса породы, выносимой за год с единицы площади отвала. Зная площадь каждого высотного яруса и фракционный состав породы, можно рассчитать массу частиц каждой фракции, выносимых с поверхности яруса.

Каждая фракция породы характеризуется своим интервалом расстояний от отвала $L_{Dmin} - L_{Dmax}$, в котором происходит отложение ее массы M_ϕ . Зная эту массу и длину интервала, можно рассчитать линейную плотность отложения, равную

$$M''_\phi = \frac{M_\phi}{L_{Dmax} - L_{Dmin}}, \text{ т/м}. \quad (2.19)$$

Фракционный состав породы терриконов определяется в результате сухого просеивания породы и в компьютерной программе может быть выражен дифференциальной или интегральной функцией плотности распределения в зависимости от диаметра $P_D = f(D)$, а для простоты – в виде гистограммы процентного содержания фракций размером менее 0,1; 0,1-0,25; 0,25-0,5; 0,5-1; 1-2; 2-3; 3-5; 5-7; 7-10 и более 10 мм или в форме соответствующей таблицы.

Зависимость показателей площади поверхности отвалов от их параметров

Для выполнения первого из трех вышеназванных условий реализации алгоритма расчета плотности отложения загрязняющих частиц на различных

расстояниях были установлены зависимости площадных показателей породных отвалов различной формы от его высоты и параметров формы.

Показатели площади поверхности конического отвала в общем случае
Пространственная схема конического отвала - террикона в аксонометрии показана на рис. 2.11.

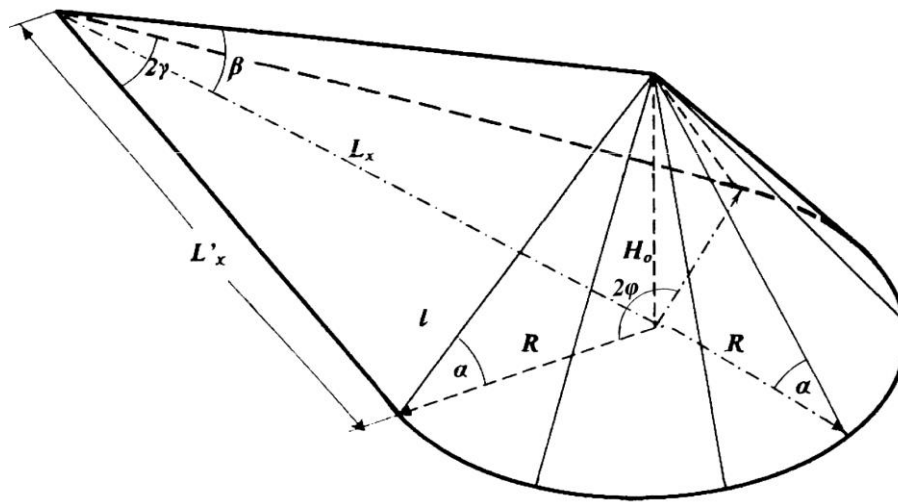


Рис. 2.11. Террикон в аксонометрии

Основание любого террикона имеет каплевидную форму, сочетающую в себе окружность с центром в вершукке террикона и удлиненную треугольную часть, соответствующую его хвостовой части.

Основными параметрами террикона являются его высота H_o , радиус основания R , длина хвостовой части L_x , угол наклона боковой поверхности отвала к горизонтальной поверхности α и угол наклона хребта (ребра) β .

Взаимосвязь радиуса отвала и его высоты можно выразить уравнениями:

$$R = H_o * \operatorname{ctg} \alpha \text{ и } H_o = R * \operatorname{tg} \alpha.$$

Длина хвостовой части L_x связана с высотой террикона и радиусом его основания выражениями:

$$L_x = H_o * \operatorname{ctg} \beta, \quad L_x = R * \operatorname{tg} \alpha * \operatorname{ctg} \beta,$$

а отношение $L_x/R = \operatorname{tg} \alpha * \operatorname{ctg} \beta$.

Угол при вершине треугольной части основания террикона 2γ можно найти из выражения:

$$\sin \gamma = R/L_x = \operatorname{ctg} \alpha * \operatorname{tg} \beta : 2\gamma = 2\arcsin(\operatorname{ctg} \alpha * \operatorname{tg} \beta).$$

Угол между двумя радиусами, отделяющими округлую лобовую часть основания от треугольной хвостовой

$$2\varphi = 360^\circ - 180 - 2\gamma = 180 - 2\gamma = 180 - 2\arcsin(\operatorname{ctg} \alpha * \operatorname{tg} \beta),$$

а длина дуги округлой части основания равна:

$$360 - 2\varphi = 360^\circ - (180 - 2\gamma) = 180 + 2\gamma = 180 + 2\arcsin(\operatorname{ctg} \alpha * \operatorname{tg} \beta).$$

Длина дуги округлой части основания террикона составляет

$100(180 + 2\arcsin(\operatorname{ctg} \alpha * \operatorname{tg} \beta))/360 = 0,278(180 + 2\arcsin(\operatorname{ctg} \alpha * \operatorname{tg} \beta))\% =$
 $= (50 + 0,556\arcsin(\operatorname{ctg} \alpha * \operatorname{tg} \beta))\%$ от длины окружности с радиусом R , то есть и площадь округлой части основания террикона составляет такую же долю от площади круга с радиусом R .

Длина дуги лобовой части, выраженная через R и H_o , равна:

$$\begin{aligned} L_{\text{лоб}} &= 2 * \pi * R * (0,50 + 0,00556 * \arcsin(\operatorname{ctg} \alpha * \operatorname{tg} \beta)) = \\ &= 2 * \pi * H_o * \operatorname{ctg} \beta * (0,50 + 0,00556 * \arcsin(\operatorname{ctg} \alpha * \operatorname{tg} \beta)). \end{aligned}$$

Площадь проекции склонов округлой части $F''_{\text{окр}}$ равна

$$F''_{\text{окр}} = (50 + 0,556 * \arcsin(\operatorname{ctg} \alpha * \operatorname{tg} \beta)), \% \text{ от площади круга с радиусом } R, \text{ т.е.}$$

$$F''_{\text{окр}} = (50 + 0,556 * \arcsin(\operatorname{ctg} \alpha * \operatorname{tg} \beta)) * \pi * R^2 = (50 + 0,556 * \arcsin(\operatorname{ctg} \alpha * \operatorname{tg} \beta)) * \pi * (H_o * \operatorname{ctg} \alpha)^2.$$

Площадь проекции склонов хвостовой части равна:

$$\begin{aligned} F''_{\text{хв}} &= \frac{2 * R * (L_x * \cos \gamma)}{2} = R * L_x * \cos \gamma = H_o * \cos \gamma * \operatorname{ctg} \beta * H_o * \operatorname{ctg} \alpha = \\ &= H_o^2 * \cos \gamma * \operatorname{ctg} \beta * \operatorname{ctg} \alpha = H_o^2 * \cos(\arcsin(\operatorname{ctg} \alpha * \operatorname{tg} \beta)) * \operatorname{ctg} \beta * \operatorname{ctg} \alpha. \end{aligned}$$

Суммарная площадь основания отвала равна:

$$\begin{aligned} F_{\text{осн}} &= F''_{\text{окр}} + F''_{\text{хв}} = (0,50 + 0,00556\arcsin(\operatorname{ctg} \alpha * \operatorname{tg} \beta)) * \pi * H_o^2 * \operatorname{ctg} \alpha^2 + H_o^2 * \\ &\quad * \cos(\arcsin(\operatorname{ctg} \alpha * \operatorname{tg} \beta)) * \operatorname{ctg} \beta * \operatorname{ctg} \alpha = H_o^2 * \\ &\quad * ((0,50 + 0,00556 * \arcsin(\operatorname{ctg} \alpha * \operatorname{tg} \beta)) * \pi * \operatorname{ctg} \alpha^2 + \cos(\arcsin(\operatorname{ctg} \alpha * \operatorname{tg} \beta)) * \operatorname{ctg} \beta * \operatorname{ctg} \alpha). \end{aligned}$$

Длина подножия отвала равна:

$$L_{\text{осн}} = L_{\text{лоб}} + 2 * L'_x = L_{\text{лоб}} + 2 * L_x * \cos \gamma = 2 * \pi * H_o * \operatorname{ctg} \alpha * \\ * [0,50 + 0,00556 * \arcsin(\operatorname{ctg} \alpha * \operatorname{tg} \beta)] + 2 * H_o * \operatorname{ctg} \beta * \cos[\arcsin(\operatorname{ctg} \alpha * \operatorname{tg} \beta)] = \\ = H_o * (\pi * \operatorname{ctg} \alpha * (1 + 0,0111 * \arcsin(\operatorname{ctg} \alpha * \operatorname{tg} \beta)) + 2 * \operatorname{ctg} \beta * \cos(\arcsin(\operatorname{ctg} \alpha * \operatorname{tg} \beta))).$$

Поскольку склоны лобовой и хвостовой частей имеют одинаковый угол наклона, близкий к углу естественного откоса и равный α , площадь боковой поверхности можно вычислить по площади ее проекции, т.е. по площади основания. Площадь боковой поверхности террикона равна:

$$F_{\text{б.п.}} = \frac{F_{\text{осн}}}{\cos \lambda} = \\ = \frac{((0,50 + 0,00556 * \arcsin(\operatorname{ctg} \alpha * \operatorname{tg} \beta)) * \pi * H_o^2 * \operatorname{ctg} \alpha^2 + H_o^2 * \cos(\arcsin(\operatorname{ctg} \alpha * \operatorname{tg} \beta)) * \operatorname{ctg} \alpha * \operatorname{tg} \beta)}{\cos \alpha} \cdot (2.20)$$

Показатели площади типичного конического отвала

Наиболее часто угол α , соответствующий углу естественного откоса породы, равен 37° , а $\beta = 19^\circ$. В этом типовом случае пользование формулами упрощается, так как между параметрами отвала устанавливаются постоянные соотношения, выражаемые различными коэффициентами.

Так, $R = 1,327H_o$; $H_o = 0,754R$; $L_x = 2,904H_o = 2,19R$, $L''_x = 2,58H_o = 1,95R$.

Угол $\gamma = \arcsin(\operatorname{ctg} \alpha * \operatorname{tg} \beta) = 27,2^\circ$, $2\gamma = 54,4^\circ$.

Угол $2\varphi = 125,6^\circ$; $\varphi = 62,8^\circ$, угол дуги округлой части основания террикона равен $234,4^\circ$, а доля его от окружности составляет $65,1\% = 0,65$.

Длина дуги лобовой части $L_{\text{лоб}} = 4,08R = 5,42H_o$.

Длина периметра хвостовой части $L_{\text{хв}} = 2L'_x = 3,9R = 5,17H_o$.

Площадь округлой части основания $F_{\text{лоб}} = 0,65\pi R^2 = 2,042R^2 = 3,6H_o^2$,
а площадь треугольной - хвостовой части $F_{\text{хв}} = 1,948R^2 = 3,43H_o^2$.

Таким образом, установлено, что:

суммарная площадь основания отвала $F_{\text{осн}} = 3,99R^2 \approx 4R^2 = 7,03H_o^2$;

длина подножия отвала $L_{\text{осн}} = 5,42H_o + 5,17H_o = 10,6H_o = 8R$;

площадь боковой поверхности отвала $F_{\text{б.п.}} = 8,8H_o^2 = 5R^2$.

Показатели площади типичного террикона со срезанной вершиной.
 После срезания вершины террикон приобретает вид, представленный на рис. 2.13.

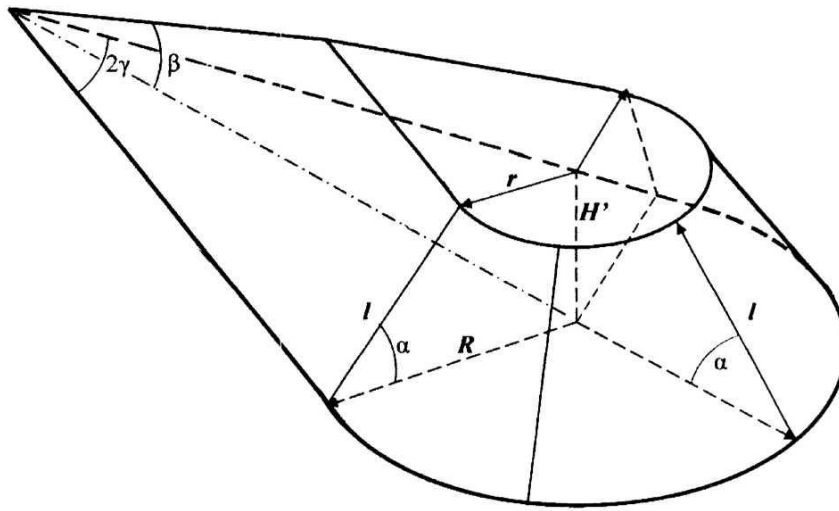


Рис. 2.12. Схема террикона со срезанной вершиной в аксонометрии

Площадь всей поверхности такого отвала будет складываться из площади боковой поверхности и площади верхнего основания. Они будут зависеть от площади основания и высоты отвала после срезания вершины.

Площадь боковой поверхности по формуле усеченного конуса равна:

$$F_{б.н.} = l(L_{осн} + l_{осн})/2,$$

где $L_{осн}$ и $l_{осн}$ - длины периметров нижнего и верхнего оснований террикона, равные для типового террикона $8R$ и $8r$;

l – длина образующей боковой поверхности, $l = H'/\sin 37^\circ = 1,662H'$;

H' – высота террикона после срезания вершины.

R и r – радиусы нижнего и верхнего оснований отвала.

Таким образом,

$$F_{б.н.} = 8(R + r)H'/2\sin 37^\circ = 6,65H'(R + r).$$

Для практического применения удобно выразить радиус верхнего основания r через R , используя соотношение $r/R = (H-H')/H$, из которого:

$$r = R(H-H')/H,$$

где $H' = R\tg\alpha$ – высота несрезанного террикона с радиусом основания R .

Следовательно,

$$r = \frac{(H - H') * R}{H} = \frac{(R * \operatorname{tg} \alpha - H') R}{R * \operatorname{tg} \alpha} = \frac{(R * \operatorname{tg} \alpha - H')}{\operatorname{tg} \alpha} = R - H' \operatorname{ctg} \alpha, \text{ тогда}$$

$$F_{\text{б.н.}} = 6,65 * H' * (R + R - H'' * \operatorname{ctg} \alpha) = 6,65 * H' * (2 * R - H'' * \operatorname{ctg} \alpha) =$$

$$= 6,65 * H' * (2 * R - H'' * 1,327) = 13,3 * R * H' - 8,83 * H'^2.$$

Площадь верхнего основания типичного террикона $F_{\text{в.о.}} = 4r^2$,
а полная площадь поверхности отвала

$$F_n = 4 * r^2 + 13,3 * R * H' - 8,83 * H'^2.$$

Таким образом, стали известны зависимости, связывающие площадь боковой поверхности терриконов с их высотой. Однако наиболее важно знать, как зависит площадь ярусов поверхности терриконов заданной высоты от их высоты над землей.

Площадь яруса боковой поверхности высотой ΔZ , расположенного между отметками $Z_1 = Z - \Delta Z/2$ и $Z_2 = Z + \Delta Z/2$ со средней линией, расположенной на высоте Z , можно определить по формуле:

$$F_{\text{б.п.}Z} = l(L_{\text{осн}Z1} + L_{\text{осн}Z2})/2,$$

где l – отрезок образующей между уровнями Z_1 и Z_2 ,

$$l = \Delta Z / \sin 37^\circ = 1,66 \Delta Z:$$

$$L_{\text{осн}Z1} = 10,6 * \left(H - \left(Z - \frac{\Delta Z}{2} \right) \right),$$

$$L_{\text{осн}Z2} = 10,6 * \left(H - \left(Z + \frac{\Delta Z}{2} \right) \right),$$

$$F_{\text{б.п.}Z} = 1,66 * \Delta Z * \left(10,6 * \left(H - \left(Z - \frac{\Delta Z}{2} \right) \right) + 10,6 * \left(H - \left(Z + \frac{\Delta Z}{2} \right) \right) \right) =$$

$$= 1,66 * 10,6 * \Delta Z * \left(H - \left(Z - \frac{\Delta Z}{2} \right) + H - \left(Z + \frac{\Delta Z}{2} \right) \right) = 17,6 * \Delta Z * (H - Z).$$

Таким образом, были получены уравнения зависимости удельной площади и площади яруса эродирующей боковой поверхности с заданным интервалом высот от высоты расположения осевой линии яруса на терриконе заданной высоты, т.е. все условия реализации алгоритма были решены.

2.3. Компьютерные реализации математической модели процесса загрязнения территории породой, выносимой ветром с отвалов

За период существования отвала он проходит две стадии: стадию отсыпки (формирования), когда его высота и показатели площади непрерывно нарастают до проектных значений, и стадию существования в сформированном виде, когда его параметры не меняются или меняются сравнительно медленно в результате оползней и разрушения поверхности эрозионными процессами. Загрязнение прилегающей территории продуктами деятельности ветра в каждой из двух стадий имеет свои особенности, рассмотренные ниже.

2.3.1. Прогнозирование годового дефляционного выноса породы со сформированных отвалов и ее отложения на территории

Расчет плотности отложения частиц по разработанному алгоритму начинается с ввода исходных данных на лист №1 «Исходные данные» компьютерной программы, использующей аппарат продукта Excel (табл. 2.15).

Исходными данными расчета являются:

высота отвала H , углы откоса α и ребра террикона β , принятые скорости ветра, фракционный состав породы.

После ввода данных на первом листе автоматически производятся такие промежуточные расчеты: $ctga$, $tg\beta$, $ctg\beta$, $ctga*tg\beta$, $arcsin(ctga*tg\beta)$, $cos(arcsin(ctga*tg\beta))$, $sina$ и $f(\alpha, \beta)$.

Для расчета необходим выбор количества ярусов, на которые разбивается поверхность террикона. В данном примере реализации алгоритма принято фиксированное количество ярусов n , равное 10.

Содержание листа 1 «Исходные данные»

Вводимые исходные параметры	Значение параметра	Промежуточные расчеты		Результат
Высота террикона H , м	85	Рadiany		
Кол-во ярусов n	10			
α , град	37	0,6458	$ctga$	1,327
β , град	19	0,3316	$tg\beta$	0,344
Доля фракций 0,01-0,1 от общего объема, %	2,69		$ctg\beta$	2,904
Доля фракций 0,1-0,25 от общего объема, %	3,03		$ctga*tg\beta$	0,457
Доля фракций 0,25-0,5 от общего объема, %	10,44		$arcsin(ctga*tg\beta)$	27,190
Доля фракций 0,5-1 от общей массы, %	11,45		$cos(arcsin(ctga*tg\beta))$	0,889
Доля фракций 1-2 от общей массы, %	19,53		$sina$	0,602
Доля фракций 2-5 от общей массы, %	44,44		$f(\alpha, \beta)$	10,594
Доля фракций 5-10 от общей массы, %	8,42		Продолжительность ветра T_j , час/год	
Скорость ветра V_1 , м/с	8,5		235	
Скорость ветра V_2 , м/с	10,5		70	
Скорость ветра V_3 , м/с	12,5		27,2	
Скорость ветра V_4 , м/с	14,5		14,9	
Скорость ветра V_5 , м/с	16,5		16,9	
Скорость ветра V_6 , м/с	19		2	

Согласно алгоритму (рис. 2.10) последовательно рассчитываются и заносятся в соответствующие столбцы и строки листа №2 (приложение Б, табл. Б.1) нижеследующие показатели:

1) в столбце 1 последовательно отображаются номера ярусов n_i , начиная от нижнего;

2) в столбце 2 отображается высота ярусов ΔZ , рассчитываемая по формуле:

$$\Delta Z = H/n, \text{ м};$$

3) в столбце 3 отображается высота расположения центральной линии

ярусов Z_i :

$$Z_i = \left(\frac{H}{n} \right) * (n_i - 0,5);$$

4) в столбце 4 воспроизводится площадь каждого из ярусов:

$$F_{\delta.n.Z_i} = \frac{(H - Z_i) * f(\alpha, \beta) * \Delta Z}{\sin \alpha},$$

где

$$f(\alpha, \beta) = (\pi * \operatorname{ctg} \alpha * (1 + 0,0111 * \arcsin(\operatorname{ctg} \alpha * \operatorname{tg} \beta))) + 2 \operatorname{ctg} \beta * \cos(\arcsin(\operatorname{ctg} \alpha * \operatorname{tg} \beta));$$

5) в столбце 5 с листа №1 «Исходные данные» автоматически переносятся значения скоростей ветра V_j ;

6) в столбце 6 автоматически рассчитывается годовой вынос породы M_{Vj} с единицы площади отвала от ветра j -й скорости по формуле, полученной в пункте 2.5.3:

$$M_{Vj} = 8 * 10^{-11} * V_j^{8,8465} * T_j,$$

где T_j – продолжительность ветра j -й скорости за год;

7) в столбце 7 производится расчет годового выноса породы $M_{Vj\Delta f_i}$ с каждого (i -го) яруса площадью Δf_i при скорости ветра V_j :

$$M_{Vj\Delta f_i} = M_{Vj} * F_{\delta.n.Z_i};$$

8) для каждого (k -го) диаметра частиц породы D_k и всех средних высот ярусов поверхности отвала Z_i в столбцах 8, 13, 18, 23, 28, 33, 38 и 43 рассчитывается время падения частиц $t_{i,k}$ по формулам (3.12, 3.13)

9) в столбцах 9, 14, 19, 24, 29, 34, 39 и 44 производится расчет дальности падения частиц $L_{i,j,k}$ по формуле:

$$L_{i,j,k} = V_j * t_{i,k};$$

10) по граничным значениям дальности падения частиц каждой фракции автоматически подсчитывается среднее расстояние их падения (столбцы 10, 15, 20, 25, 30, 35 и 40):

$$L_{i,j,k}cp = \frac{V_j * (t_{i,k-1} + t_{i,k})}{2};$$

11) в столбцах 11, 16, 21, 26, 31, 36 и 41 воспроизводится доля каждой фракции $\Delta D_k, \%$ в общей массе породы, а в столбцах 12, 17, 22, 27, 32, 37, 42 автоматически выполняется расчет массы $\Delta m_{i,j,k}$ каждой фракции породы (ΔD_k), выносимой с каждого высотного участка (Z_i) при каждой скорости ветра (V_j).

$$\Delta m_{i,j,k} = Mv_{j\Delta fi} * \Delta D_{k\%};$$

12) полученные значения $\Delta m_{i,j,k}$ и $L_{i,j,k}cp$ автоматически переносятся на лист №3, где они располагаются в сгруппированном виде для каждой из фракций породы;

13) на листе №4 данные с листа №3 путем использования команды «сортировка текста» перестраиваются в порядке возрастания расстояния $L_{i,j,k}cp$ без учета принадлежности к фракциям;

14) для заданных интервалов расстояний 0-20, 20-40,...180-200, 200-250, 250-300,... 500-600, 600-700,...1100-1200 м автоматически подсчитываются суммарные количества отложившейся породы $\Sigma \Delta m_{i,j,k}$ и определяется плотность ее отложения (в тоннах на метр расстояния от террикона) – делением суммарной массы на длину интервала выноса породы. Полученные плотности отложения породы условно привязаны к серединам интервалов с известной удаленностью от начала отсчета (табл. 2.16);

15) с помощью функции «мастер диаграмм» программы Excel строится график и определяется уравнение функции плотности (рис. 2.13).

Поскольку положение точки отрыва частиц от поверхности террикона и перехода их в движение по ниспадающей траектории различается в плане в зависимости от высоты точки отрыва и ее расположения относительно линии основания, началом пути – линией старта – принята линия, проходящая через центр террикона перпендикулярно к направлению ветра.

Расчет плотности отложения породы на различных расстояниях

Границы интервала выноса	Длина интервала выноса, м	Среднее расстояние отложения $L_{cp}\Delta$, м	Суммарная масса отлагающихся частиц $\Sigma\Delta m_i$, т	Плотность отложения частиц ρ , кг/га
0-20	20	14	55,07	321991
20-40	20	30	80,35	212591
40-60	20	51	54,91	85684
60-80	20	71	44,79	50341
80-100	20	90	20,87	18401
100-120	20	110	12,95	9326
120-140	20	129	9,692	5972
140-160	20	150	7,863	4183
160-180	20	172	4,671	2164
180-200	20	187	1,986	844
200-250	50	224	8,357	1188
250-300	50	275	3,876	448
300-350	50	326	3,375	329
350-400	50	379	1,805	152
400-450	50	426	1,933	144
450-500	50	488	0,601	39,2
500-600	100	547	1,070	31,3
600-700	100	645	1,832	45,2
700-800	100	751	0,849	18,0
800-900	100	849	0,287	5,37
900-1000	100	964	0,120	1,98
1000-1200	200	1094	0,022	0,161
1200-1400	200	0	0,000	0
1400-1600	200	1556	0,112	0,571
1600-2000	400	1805	0,228	0,502
2000-2500	500	2210	1,144	1,648
2500-3000	500	2594	0,099	0,121
3000-3500	500	3216	0,915	0,906
3500-4000	500	3787	0,380	0,320
4000-4500	500	3929	0,554	0,449
4500-5000	500	4558	0,866	0,604
5000-6000	1000	5221	1,153	0,352
6000-7000	1000	6509	0,690	0,169
7000-8000	1000	7558	0,771	0,162
8000-9000	1000	8798	0,530	0,096
9000-10000	1000	9441	0,073	0,012
10000-11000	1000	10251	0,416	0,065
11000-12000	1000	8591	0,716	0,133
12000-15000	3000	12716	0,381	0,016

Как видно из полученных данных, отложение частиц начинается с расстояния 13 м и наиболее интенсивно происходит в зоне до 20 м. Однако фактически это отложение происходит на поверхность отвала. Поэтому началом отложения частиц на прилегающей территории следует считать расстояние, превышающее радиус основания отвала R , равный $1,33H$. В этом примере это 66 м. Таким образом, в расчет функции плотности отложения частиц этот отрезок нельзя включать.

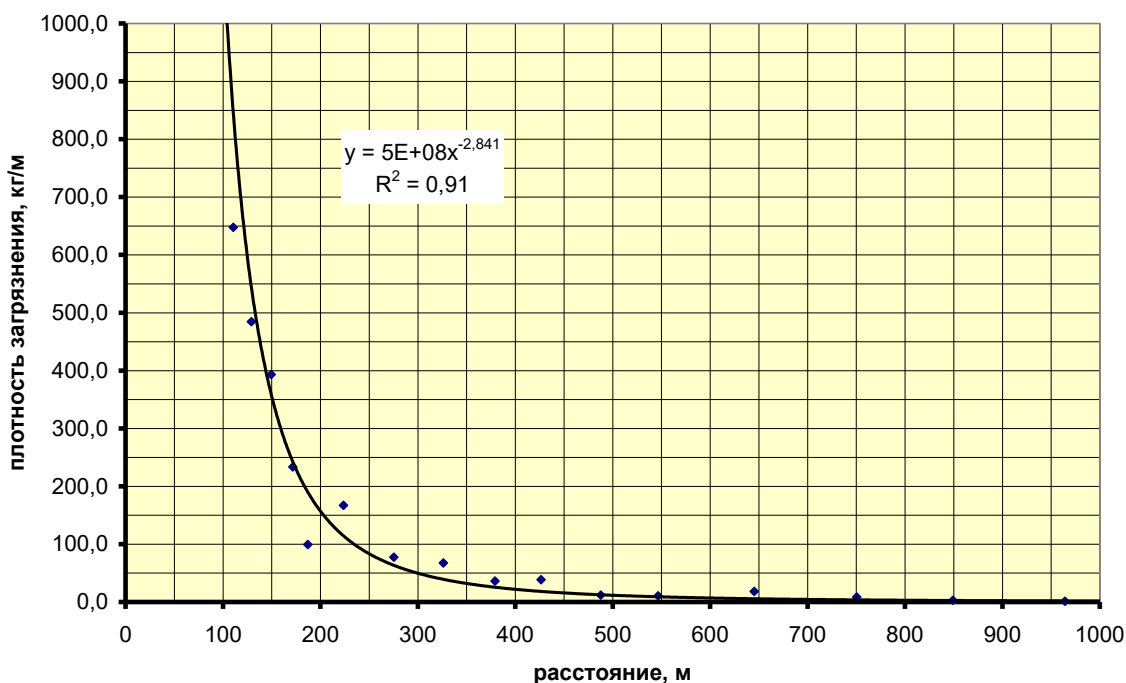


Рис. 2.13. Зависимость плотности отложения частиц породы от расстояния до отвала с пропорциональной шкалой оси ординат

Анализ результатов показывает, что частицы крупнее 5 мм при любой скорости ветра практически полностью отлагаются в пределах поверхности отвала. Более мелкие частицы частично отлагаются на поверхности, а при большей скорости выносятся за ее пределы: частицы 2 мм – при скорости более 12,5 м/с; 1 мм и менее выносятся при любой дефляционно опасной скорости.

Полученная функция плотности отложения частиц для интервала расстояния от 100 до 1000 м имеет вид:

$$\rho_L = 5 * 10^8 L^{-2,841}.$$

Характер линии показывает, что на расстоянии от 66 до 100 м линейная плотность загрязнения резко снижается от максимального значения до 1100 кг/м. В дальнейшем на отрезках 200, 300, 500, 800 и 1000 м плотность снижается до 150, 50, 11, 3 и 1,6 кг/м.

Эту плотность можно назвать линейной, т.к. она отражает зависимость общей массы отлагающихся частиц (на единице расстояния) от удаленности от центра террикона без учета того, что на самом деле отложение происходит на всей площади, окружающей террикон.

Площадная плотность в тоннах на 1 м² зависит от линейной плотности и площади кольца, на котором происходит отложение частиц. Если считать форму полосы отложения кольцеобразной, то ее площадь

$$F_k = 2\pi L * 1_m, \text{ м}^2.$$

Уравнения зависимости площадной плотности отложения породы получаем путем деления значений линейной плотности для выделенных интервалов из табл. Б.4 на площадь соответствующих полос и расчетом зависимости полученных значений от удаленности полос от террикона.

График зависимости в логарифмическом масштабе показан на рис. 2.14.

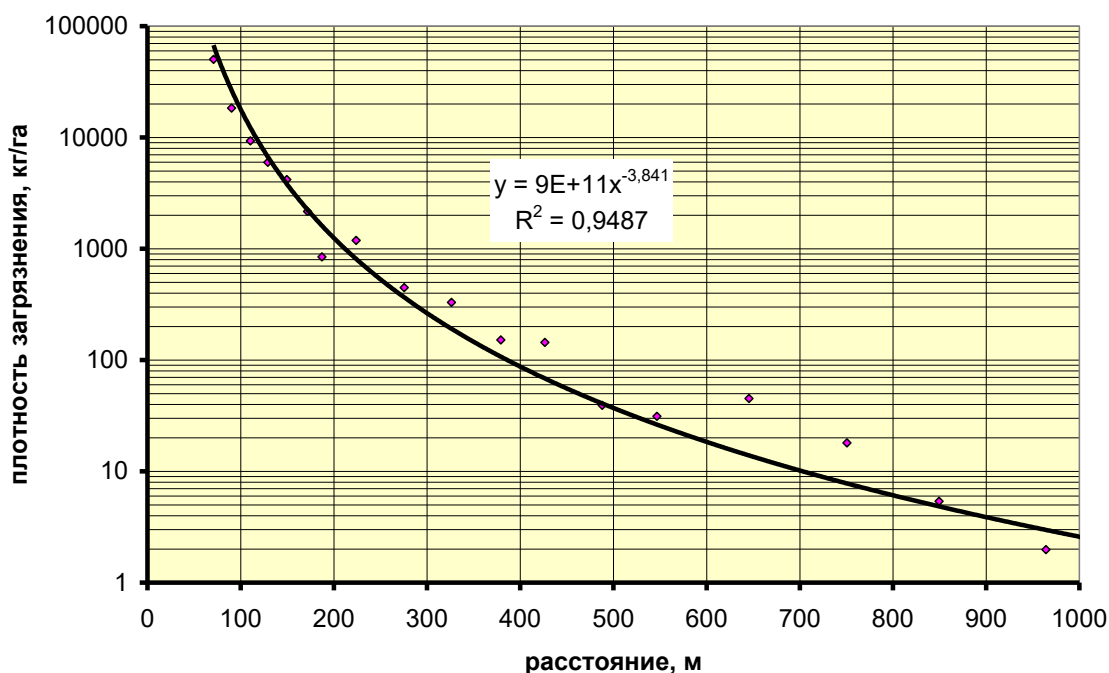


Рис. 2.14. Изменение плотности годового загрязнения породой прилегающей к отвалу территории в зависимости от расстояния до него

На основании полученного уравнения плотности можно произвести зонирование территории, прилегающей к отвалу, в виде концентрических окружностей с разной степенью загрязнения.

1. В зоне от подножия отвала до 100 м плотность загрязнения превышает 18 т/га;
2. В зоне 100-200 м плотность снижается от 18 до 1,4 т/га;
3. В зоне 200-300 м - от 1400 до 230 кг/га;
4. В зоне 300-500 м - от 230 до 35 кг/га;
5. В зоне 500-700 м - от 35 до 10 кг/га;
6. В зоне 700-1000 м - от 10 до 2,5 кг/га.

Как показали расчеты, частицы размером 0,01 мм и менее, выносимые с самого нижнего яруса ветрами со значением дефляционно опасной скорости от 8,5 до 19 м/с, начинают откладываться с расстояния от 3,46 км до 7,74 км, а с самого верхнего яруса высотой 47,5 м – с расстояния от 65,8 до 147,1 км. Коэффициент кратности дальности отложения частиц высоте, с которой они выносятся, в указанном интервале скоростей изменяется от 1390 до 3100. Однако центр тяжести массы отлагающихся частиц размером от 0,01 до 0,1 мм находится ближе и удален от центра отвала на расстояние от 353 м до 15 км в зависимости от высоты оси яруса и скорости ветра.

Для того чтобы учесть такой фактор, как неравномерность распределения плотности по длине концентрических колец, связанную с неравной повторяемостью ветров различных направлений, надо разделить окружности на 8 секторов по 45°: С, СВ; В, ЮВ, Ю, ЮЗ, З, СЗ, направления осевых линий которых противоположны румбам учетных направлений ветра: Ю, ЮЗ; З, СЗ, С, СВ, В, ЮВ и имеют азимуты 0°, 45°, 90°, 135°, 180°, 225°, 270°, 315°.

В каждом секторе плотность загрязнения корректируется коэффициентом, учитывающим среднегодовую повторяемость ветров противоположного румба.

Для рассматриваемого примера на основании данных, взятых из [37] для метеостанции «Сватово», установлены коэффициенты неравномерности отложения загрязняющих частиц по 8 румбам (табл. 2.17).

Как видим, интенсивность отложения наиболее усиливается в южном и

северо-западном секторах, поэтому эти секторы являются наиболее опасными экологически для элементов ландшафта; наименее экологически опасными являются юго-западный и северо-восточный секторы.

Таблица 2.17

**Коэффициенты неравномерности отложения загрязняющих частиц
в зависимости от румба направления**

Румбы ветра	С	СВ	В	ЮВ	Ю	ЮЗ	З	СЗ
Повторяемость, %	16,4	8,8	12,2	16,8	14,6	8,6	11,6	11
Румбы направлений выноса частиц	Ю	ЮЗ	З	СЗ	С	СВ	В	ЮВ
Коэффициенты неравномерности отложения частиц по направлениям	1,31	0,70	0,98	1,34	1,17	0,69	0,93	0,88

По данным работы [41], после проведения рекультивации отвалов пыление покрытой лесом поверхности терриконов полностью прекращается. Таким образом, облесение или создание защитного травянистого покрова можно рассматривать как фактор управления процессом ветровой эрозии на отвалах угольных шахт. Для прогнозирования массы выносимых с отвала частиц породы с учетом защитного действия насаждений разработанный алгоритм должен быть дополнен данными об относительной площади насаждений на каждом высотном ярусе.

Таким образом, с помощью разработанного алгоритма можно управлять распределением отлагающихся частиц на различных расстояниях от отвала, высаживая насаждения на той или иной высоте отвала.

2.3.2. Расчет многолетнего загрязнения территории породой, отнесенной ветром в период отсыпки отвала

Экологическая опасность терриконов должна оцениваться не только по интенсивности загрязнения территории (за один год), но и по многолетнему выносу породы – за период формирования отвала и после окончания отсыпки.

В период отсыпки, кроме переноса с поверхности отвала продуктов ветровой эрозии, происходит также загрязнение прилегающей территории пылью, выносимой из породы в момент опрокидывания вагонетки и при падении очередной порции породы на верхушку формируемого отвала.

Разработанный алгоритм расчета функции плотности загрязнения территории продуктами дефляции можно применить и к определению загрязнения территории в период отсыпки отвала. При этом учитывается, что в течение нескольких лет идет отсыпка породы с вершины растущего террикона из вагонеток, поднимающихся к вершине по рельсам, уложенным на гребне хвостовой части. Падающая порода подвергается действию ветра, и в наибольшей степени – ее мелкие фракции. В этом случае нет дефляционного отрыва частиц – все падающие частицы просто подхватываются ветром, даже при небольшой его скорости.

За пределы отвала будут выноситься только те частицы, для которых наклон траектории падения будет больше 37° . Определяется этот наклон по соотношению скорости равномерного падения к скорости ветра. То есть это соотношение должно быть более чем $\operatorname{tg}37^\circ = 0,754$. К примеру, для частиц размером более 5 мм со скоростью свободного падения более 12,9 м/с вынос будет иметь место только при скорости ветра более 21 м/с, которая практически не встречается. Таким образом, такие частицы не выносятся с отвала.

Однако от скорости ветра, а также от высоты падения и диаметра частиц зависит дальность переноса частиц каждого размера по ранее установленным закономерностям.

Следовательно, необходимо знать не только современный фракционный состав породы терриконов, но и состав отсыпаемой породы.

Предполагая, что отсыпка отвала идет непрерывно на протяжении многих лет, можно найти зависимость высоты террикона от времени,

прошедшего от начала его отсыпки.

Зная полную высоту террикона H_o , объем его находим по формуле:

$$V_T = \frac{F_{осн} H_o}{3}.$$

Как было установлено ранее, $F_{осн} = 7,05H_o^2$, поэтому

$$V_T = \frac{7,05H_o^3}{3} = 2,35H_o^3, \text{ откуда } H_o = (V_T/2,35)^{1/3}.$$

Объем террикона растет по линейному закону: $V_T = v_t * t$,

где v_t – скорость отсыпки, т.е. количество пустой породы, отсыпаемой на террикон за единицу времени (сутки, месяц или год);

t – время от начала отсыпки (в сутках, месяцах, годах).

Таким образом, высота террикона изменяется во времени по закону:

$$H_t = \left(\frac{v_t t}{2,35} \right)^{\frac{1}{3}}.$$

При высоте террикона 50 м его объем будет равен 293750 м³.

Если скорость отсыпки, например, будет равна 10000 м³/год, то через 5 лет высота отвала будет равна 27,6 м, через 10 лет – 34,8 м, через 15 лет – 39,8 м, через 20 лет – 43,8 м, через 25 лет – 47,2 м, через 30 лет – 50,2 м.

Среднюю скорость отсыпки можно определить, зная окончательную высоту отвала и фактическую продолжительность его отсыпки T , лет.

$$v_t = V_T / T = \frac{7,05H_o^3}{3T} = 2,35H_o^3 / T.$$

В таком случае закон изменения высоты отвала во времени примет вид:

$$H_t = H_o(t/T)^{1/3}$$

Годовое загрязнение будет происходить за счет отброса ветром мелких частиц из падающей породы и за счет дефляционного выноса частиц с поверхности формирующегося отвала.

Для применения выше представленной компьютерной реализации модели для расчета многолетнего загрязнения территории породой, относимой ветром при отсыпке отвала, она была несколько преобразована:

1) увеличилось количество расчетных значений скорости ветра: в их число включены 0,5; 2,5; 4,5 и 6,5 м/с;

2) в качестве массы породы, выносимой за год всеми ветрами с каждого яруса M_{dfi} , была взята годовая масса отсыпаемой породы, равная скорости отсыпки v_t , умножаемая в дальнейшем на продолжительность Δt_i приращения высоты отвала на высоту яруса ΔZ , то есть от высоты H_{i-1} до H_i ;

3) масса породы, относимая ветром каждой из расчетных скоростей, определяется по уравнению:

$$Mv_{jdfi} = v_t * \Delta t_i * (T_j / 8760),$$

где 8760 – количество часов в году.

Для определения Δt_i в компьютерном алгоритме может быть использована зависимость времени отсыпки от высоты растущего отвала: $t = 2,35H_t^3/v_t$, из которой $\Delta t_i = 2,35(H_i^3 - H_{i-1}^3)/v_t$, или $\Delta t_i = T(H_i^3 - H_{i-1}^3)/H_o^3$.

График зависимости плотности многолетнего загрязнения территории от расстояния до террикона в логарифмическом масштабе показан на рис. 2.15. На рис. 2.16. показано изменение плотности загрязнения в зоне до 1 км.

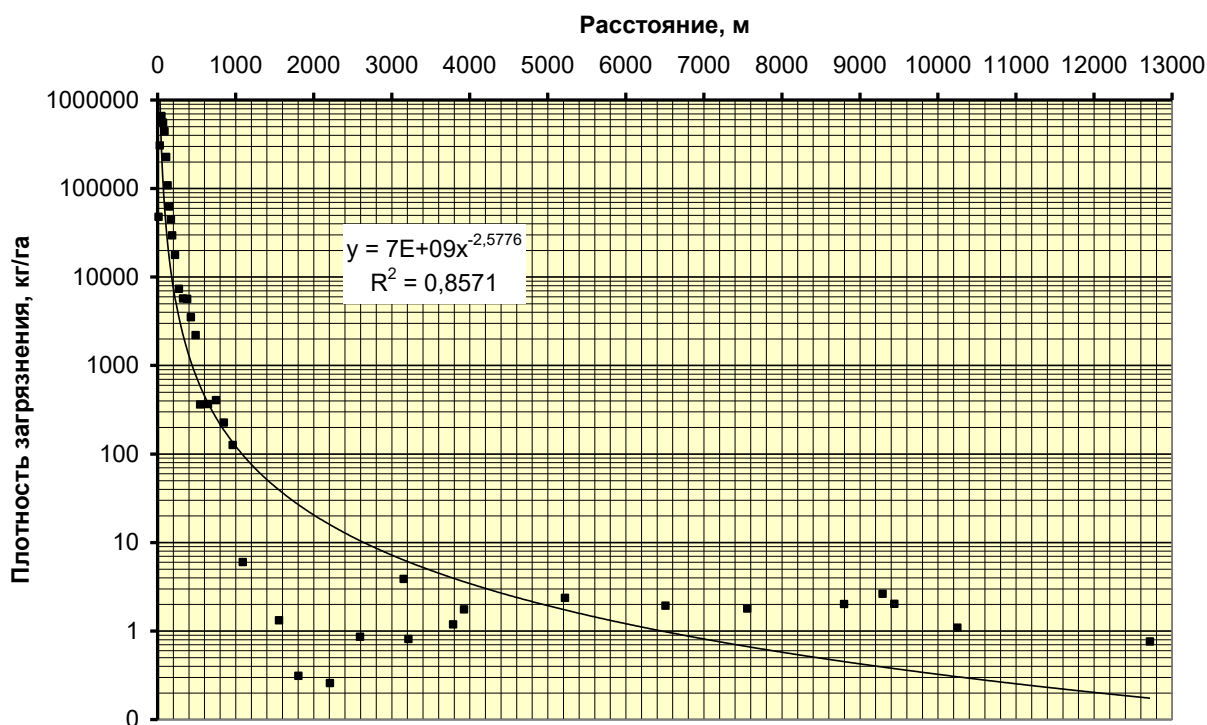


Рис. 2.15. Изменение плотности многолетнего загрязнения территории в пределах всего расчетного шлейфа породы, относимой ветром за период отсыпки отвала

Как видим, шлейф загрязнения характеризуется вначале спадом плотности отложения частиц в интервале расстояний до 2000 м, затем подъемом в интервале до 4000 м, а до конца шлейфа (13 км) его плотность изменяется мало.

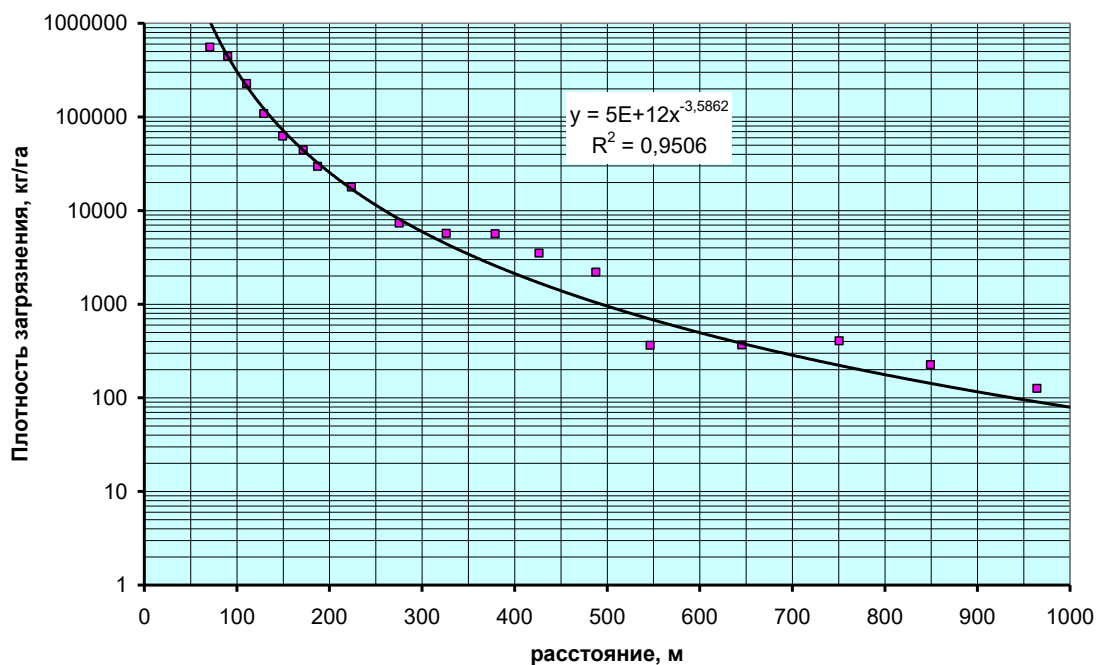


Рис. 2.16. Изменение плотности многолетнего загрязнения территории в пределах зоны до 1 км

Как видим, многолетнее загрязнение территории, происходящее во время отсыпки среднего террикона высотой 50 м, многократно превышает ее годовое загрязнение продуктами дефляции. Так в зоне от подножия отвала до 100 м плотность загрязнения превышает 300 т/га; в зоне 100-200 м плотность снижается от 300 до 25 т/га; в зоне 200-300 м – от 25 до 6 т/га; в зоне от 300 м до конца санитарно-защитной зоны (500 м) плотность снижается до 1000 кг/га; а в зоне до 925 м она превышает 100 кг/га.

Следует отметить, что полученные количественные показатели загрязнения могут существенно изменяться в зависимости от фракционного состава породы и прежде всего от содержания дефляционных частиц размером менее 1 мм. Однако разработанная компьютерная программа позволит рассчитать эти показатели в каждом конкретном случае.

2.3.3. Расчет многолетнего дефляционного загрязнения территории породами, выносимой с отвалов в период их формирования

Для расчета многолетнего дефляционного выноса породы с растущего отвала учитывается время существования каждого яруса и средняя площадь яруса за это время.

Расчет многолетнего выноса породы $Mv_{j\Delta t_i}$ с каждого (i -го) яруса при скорости ветра V_j производится по формуле:

$$Mv_{j\Delta t_i} = Mv_j * F_{\text{б.н.Зир}} * T_i,$$

где Mv_j – годовой вынос породы с единицы площади отвала, рассчитываемый по формуле, полученной в пункте 2.5.3;

$F_{\text{б.н.Зир}}$ – средняя площадь яруса за время T_i от начала его формирования до окончания отсыпки отвала.

Время T_i в компьютерной программе рассчитывается по формуле:

$$T_i = T - \sum \Delta T_i ;$$

а средняя за время отсыпки отвала площадь боковой поверхности каждого яруса – по формуле:

$$F_{\text{б.н.Зир}} = F_{\text{б.н.Зи}} * k_{Zi} ,$$

где $F_{\text{б.н.Зи}}$ – предельная площадь каждого из ярусов при достижении полной высоты отвала;

k_{Zi} – переводной коэффициент, рассчитываемый на дополнительном листе программы с помощью специально разработанного алгоритма. Как показало исследование алгоритма, этот коэффициент мало изменяется в зависимости от полной высоты отвала и для ярусов 1- 10 уменьшается от 0,734 до 0,5.

Выводы по разделу

1. В результате лабораторного моделирования ветровой эрозии установлена зависимость интенсивности выноса частиц породы с единицы площади от скорости ветра в приземном слое, которая в сочетании с

разработанными алгоритмом перехода от показателей дефляции породы в лабораторных условиях к натурным и методикой расчета продолжительности ветров заданной силы в условиях конкретной местности позволила установить, что в результате воздействия ветра на терриконы Луганской области потенциальный годовой вынос породы достигает 156,9 тонн с каждого гектара их поверхности.

3. Полученная математическая модель процесса загрязнения прилегающей к отвалам территории продуктами дефляции позволяет оценить степень загрязнения территории за весь период от начала его отсыпки и годовую интенсивность загрязнения территории после окончания отсыпки.

4. Разработанная модель позволяет прогнозировать вид функции плотности отложения частиц в зависимости от доли лесных насаждений на каждом высотном ярусе террикона, то есть дает инструмент управления интенсивностью загрязнения различных зон прилегающей территории увеличением лесистости на соответствующих высотных ярусах террикона.

3. ПОВЫШЕНИЕ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ОТВАЛОВ ПУТЕМ СОЗДАНИЯ НА ИХ ПОВЕРХНОСТИ «КИОТСКИХ ЛЕСОВ»

3.1. Расчет депонирования углекислого газа из атмосферы лесонасаждениями терриконов угольных шахт

Увеличение концентрации парниковых газов в атмосфере Земли и связанное с этим изменение климата планеты на сегодняшний день является одной из основных глобальных экологических проблем, получившей название «парниковый эффект» [42].

Примерно 80% массы парниковых газов приходится на диоксид углерода (CO_2), в связи с чем вопросу снижения концентрации углекислого газа в атмосфере уделяется особое внимание [43].

Одним из способов снижения концентрации углекислого газа в атмосфере в рамках выполнения положений Киотского протокола является сохранение лесов, улучшение их структуры, повышение производительности, содействие рациональным методам ведения лесного хозяйства, облесению и лесовозобновлению на устойчивой основе [44].

Первый зачетный период по выполнению странами условий Киотского протокола назначен на 2008 – 2012 гг. Свои обязанности страны могут выполнить за счет применения мер по снижению выбросов в атмосферу парниковых газов и увеличения стока углерода в наземные лесные экосистемы [42].

Использование лесов как важного элемента процесса депонирования углерода и долгосрочной его консервации в компонентах фитомассы дает возможность добиться многостороннего эффекта: депонировать излишек углерода, повысить ресурсно-энергетический потенциал страны и значительно улучшить рекреационно-защитные функции окружающей природной среды.

Лесные экосистемы мира участвуют в углеродном балансе, ежегодно депонируя углекислый газ в размере 1,8-2,9 млрд т, что эквивалентно 0,5-0,8

млрд т абсорбированного углерода. Снижение площади лесов ведет к увеличению концентрации углекислого газа в атмосфере, увеличение – к снижению [42].

По данным Государственного комитета лесного хозяйства Украины, показатель лесистости в стране составляет 15,6%, при том, что в большинстве стран Европы норма – 20%. Леса на Украине расположены очень неравномерно – большая часть сосредоточена на западе страны – в Карпатах и Полесье. Коэффициент лесистости значительно колеблется – от 1,2% в Запорожской области до 51% в Закарпатье [45, 46]. Наиболее распространенные в стране породы деревьев – сосна, дуб, бук, ель, береза, ясень, граб. Хвойные леса занимают 42% территории, в том числе 33% – сосновые; 43% лиственных лесов составляют дуб и бук [45 – 47]. Имеющиеся данные о лесах Украины позволяют сделать вывод о том, что она - лесодефицитная страна. В соответствии с этим Указом Президента Украины № 995/2008 от 04.11.2008 «О некоторых мероприятиях, касающихся охраны и возобновления лесов и зеленых насаждений» провозглашается необходимость создания благоприятных условий для эффективной охраны, надлежащей защиты, рационального использования и возобновления лесов, обеспечение сохранности и расширение площадей зеленых насаждений.

В Украине, вследствие высокой распаханности территории, существует проблема нехватки свободных территорий для увеличения площади лесов. Для создания в рамках Киотского протокола углерододепонирующих лесов предпочтительно использовать территории непригодные для сельскохозяйственного производства и незанятые лесом в течение последних 50 лет [48].

В Донбассе решением этой проблемы может стать использование для создания лесов поверхности отвалов угольных шахт, тем более что угледобывающие предприятия в этом тоже могут найти выгоду. Они обязаны восстановить качество арендованных ими земель до первоначального

состояния, однако не заинтересованы в проведении рекультивации отвалов, так как такие работы являются убыточными [49]. Создание «киотских» углерододепонирующих лесов на терриконах может помочь шахтам решить эту проблему, так как само государство заинтересовано в расширении покрытых лесом площадей.

Проводя рекультивацию отвалов, в частности ее биологический этап, можно тем самым фактически создавать «киотские» леса, которые позволят получить необходимый сток углерода из атмосферы в наземные экосистемы и могут быть профинансированы из бюджета.

Поэтому большой научный и практический интерес представляют исследования возможности использования лесонасаждений рекультивированных отвалов угольных шахт в качестве углерододепонирующих лесов.

3.1.1. Оценка запасов углерода, величин его годового депонирования и баланса на озелененных терриконах угольных шахт

Метод оценки бюджета углерода лесонасаждений на терриконах угольных шахт. В целях исследования возможностей создания «киотских» лесов на терриконах угольных шахт в первую очередь необходимо выполнить оценку запасов углерода и величин его годового депонирования на терриконах с ранее выполненным этапом биологической рекультивации. Для этого следует рассмотреть методики, позволяющие осуществлять расчет величин запасов и бюджета углерода применительно к лесонасаждениям терриконов.

Сегодня для расчета величины депонирования углерода лесами широко применяются две метода: аллометрический [50, 51] и конверсионно-объемный [52 – 56]. Известны также модификации данных методов [57, 58], которые не получили широкого распространения.

Конверсионно-объемный метод в настоящее время признается наиболее удобным при оценке бюджета углерода разнообразных лесных

систем [55, 59]. Суть этого метода состоит в использовании конверсионных коэффициентов для перевода запаса стволовой древесины (M , m^3) в фитомассу (Ph , т), а затем в углерод (CPh , т) [52, 53, 55, 56]. Как правило, для оценки запасов древесины на исследуемой территории выбирается «среднее» модельное дерево для каждой породы и группы возраста, что позволяет снизить трудоемкость использования этого метода и при этом получать вполне удовлетворительные результаты. В то же время такой подход может давать значительные погрешности при определении запасов углерода на относительно небольших площадях лесонасаждений. Важным этапом в конверсионно-объемном методе является выбор конверсионных коэффициентов, которые в общем случае зависят от древесной породы, возрастной группы, а также географического положения. Применительно к Украине соответствующие данные представлены в относительно малом количестве работ [60–63] и не могут быть использованы для изучения запасов и годового бюджета углерода в лесонасаждениях терриконов ввиду оставленных без внимания исследователей используемых при рекультивации древесных пород. В то же время в Российской Федерации накоплена обширная информация по конверсионным коэффициентам для определения фитомассы различных лесных экосистем [53–55, 64]. При этом указанные коэффициенты для основных лесообразующих пород были дифференцированы для трех ландшафтных подзон России: северной, средней и южной [51, 65]. В частности, при определении депонирования углерода в лесах Беларуси [52], а также Волгоградской области [51], которая находится на той же широтной полосе, что и Луганская и Донецкая области, использовались данные, полученные для южной ландшафтной подзоны России. Поэтому указанные данные можно применять и при исследованиях «киотских» лесов на территории Донбасского региона.

Метод подеревной аллометрии предполагает пересчет древостоя по ступеням толщины и замеры высот деревьев на пробных площадях. Получая распределение числа деревьев по их диаметру, а также зависимость высоты

деревьев от диаметра, используют аллометрические уравнения, связывающие указанные таксационные параметры деревьев с фитомассой разных фракций и частей деревьев: ствол (древесина и кора), ветви, корни, листва, генеративные органы, надземная часть и др. Определенные для пробных площадей данные затем корректируются пропорционально общей площади насаждений, а пересчет величины фитомассы в углерод осуществляется при помощи специальных коэффициентов [50]. Работа на пробных площадях делает метод подеревной аллометрии более трудоемким, чем конверсионно-объемный. Аллометрические уравнения, по сути, представляют собой уравнения регрессии, полученные на основе статистической обработки данных множества деревьев той или иной древесной породы. Сама экспериментальная методика определения фитомассы разных частей дерева, на основе которой и определяются коэффициенты аллометрических уравнений, достаточно сложна и трудоемка [56]. Поэтому создание базы данных для аллометрических уравнений представляет определенные трудности, и сегодня определены коэффициенты уравнений лишь для нескольких древесных пород [50]: сосны, ели, березы и осины. К преимуществам метода подеревной аллометрии следует отнести его большую точность за счет использования перечислительной таксации на пробных участках.

На основе анализа используемых методик расчета бюджета углерода лесонасаждений можно сделать вывод о том, что для озелененных терриконов ввиду их относительно небольшой площади рационально применять аллометрический метод, как обеспечивающий большую точность проведения расчетов. В то же время отсутствие коэффициентов аллометрических уравнений для акации белой не позволяет в полной мере использовать этот метод при проведении исследований насаждений на отвалах угольных шахт. Поэтому в рамках выполняемой работы предлагается использовать несколько модифицированный конверсионно-объемный метод, в котором фитомасса определяется на основе конверсионных коэффициентов, а запас древостоя – уточненным способом, на основе полного перечета и измерения линейных

таксационных характеристик деревьев на пробных площадках, как это осуществляется в методе подеревной аллометрии. С одной стороны, это позволит использовать при расчетах обширную базу данных конверсионных коэффициентов, которая в том числе включает и данные по древесным породам, используемым при выполнении биологического этапа рекультивации терриконов, а с другой – более объективно подойти к оценке запасов древостоя на исследуемых объектах. Согласно методическим рекомендациям Межправительственной группы экспертов по изменению климата (МГЭИК) [66] оценку накопления и бюджета углерода следует проводить по 4 пулам: живой фитомассы, мертвой древесины, подстилки и почвы. Перейдем теперь к описанию предлагаемой модификации конверсионно-объемного метода для оценки запасов и годового бюджета углерода в лесонасаждениях терриконов.

Учитывая, что лесонасаждение террикона может состоять из нескольких древесных пород, будем осуществлять оценку запаса углерода для каждой древесной породы.

Для определения общих запасов углерода в фитомассе k -ой древесной породы при расчетах использовалась формула:

$$CPh_k(t) = M_k(t) \cdot \sum_m k_m Ph_{m,k}, \quad (3.1)$$

где CPh_k – величина запасов углерода в k -ой древесной породе в t -ом году ее роста;

M_k – запасы древесины k -ой древесной породы на терриконе в t -ом году;

$Ph_{m,k}$ ($m = \{d, b, l, r\}$) – конверсионные коэффициенты для k -ой древесной породы, отражающие связь древесных запасов с фитомассой стволовой части ($m = d$), ветвей ($m = b$), листвы ($m = l$) и корней ($m = r$) древесной породы;

$k_d = k_b = 0,5$ и $k_l = k_r = 0,45$ – коэффициенты, характеризующие содержание углерода в фитомассе древесной породы [59].

Отметим, что в соответствии с предлагаемой модификацией

конверсионно-объемного метода формула (3.1) будет использована и для оценки величины запасов углерода в каждой отдельной ступени толщины k -ой древесной породы. Это обеспечит большую точность расчетов, поскольку зачастую конверсионные коэффициенты зависят от линейных таксационных характеристик древостоев, и поэтому подстановка значений «среднего» дерева для той или иной ступени толщины имеет определенное преимущество перед подстановкой значений «среднего» модельного дерева для всего лесонасаждения. В этом случае в (3.1) вместо величин $CPh_k(t)$ и $M_k(t)$ будут фигурировать величины $CPh_{k,j}(t)$ и $M_{k,j}(t)$, отражающие соответственно запасы углерода в фитомассе и древесины k -ой породы в j -ой группе диаметров ствола. При этом величина запасов углерода в фитомассе k -ой древесной породы может быть найдена по уравнению:

$$CPh_k(t) = \sum_j CPh_{k,j}(t) \quad (3.2)$$

Общий запас углерода $CPh(t)$ в фитомассе насаждения будет определяться, как сумма запасов углерода по всем древесным породам, присутствующим в насаждении:

$$CPh(t) = \sum_{k=1}^{NK} CPh_k(t), \quad (3.3)$$

где NK – число древесных пород в насаждении.

Для определения удельных запасов углерода k -ой древесной породы использовалась формула:

$$\left(\frac{CPh(t)}{S} \right)_k = \frac{CPh_k(t)}{S}, \quad (3.4)$$

где S – площадь поверхности террикона.

Конверсионные коэффициенты Ph_m ($m = \{d, b, l, r\}$) зависят от таксационных показателей конкретных древостоев и в общем случае определяются опытным путем, что достаточно трудоемко, или выбираются по данным литературных источников, например, [53 – 55, 64]. На практике, как

правило, используется последний подход. При этом для фракционных конверсионных коэффициентов Ph_m используются регрессионные уравнения, связывающие значения коэффициентов с линейными таксационными характеристиками древостоя, вида

$$Ph_m = f(A, H, D, N, M, SI, RS), \quad (3.5)$$

где A, H, D, N, M – средние значения возраста, высоты, диаметра, густоты (числа стволов), запаса;

SI – класс бонитета;

RS – полнота древостоя.

На основании величины запаса углерода в фитомассе насаждений рассчитываются запасы углерода в пулах мертвой древесины, подстилки и почвы. Для этого используются специальные конверсионные коэффициенты.

Так, запас углерода в мертвой древесине зависит от возраста насаждения и для k -ой древесной породы насаждения в t -ый год ее роста может быть найден по формуле [66]

$$CD_k(t) = CPh_k(t) \cdot Ph_{kd,k}(t), \quad (3.6)$$

где $CD_k(t)$ – запас углерода в мертвой древесине k -ой древесной породы в t -ый год ее роста;

$Ph_{kd,k}(t)$ – конверсионный коэффициент для расчета запаса углерода мертвой древесины k -ой древесной породы с возрастом t лет. Общий запас углерода по пулу мертвой древесины $CD(t)$ будет определяться по аналогичной (3.3) формуле

$$CD(t) = \sum_{k=1}^{NK} CD_k(t). \quad (3.7)$$

По пулу подстилки, согласно методологии МГЭИК, запасы и бюджет углерода в последней могут оцениваться для площадей, находящихся в переходе от одного состояния со стабильным запасом подстилки к другому [66, 67]. Поэтому запас углерода по пулу подстилки оценивается лишь для первых 20 лет существования насаждения [66]. Это в полной мере

соответствует и рекультивированным терриконикам, на поверхности которых в первые годы после проведения лесной рекультивации осуществляется формирование новой экосистемы, включающей почву, подстилку и пр. Запас углерода по пулу подстилки определяется суммарным объемом углерода, поглощенного подстилкой за предшествующий период времени. При этом для определения величины годового депонирования углерода подстилкой используется уравнение [66]:

$$BLS(t) = \frac{1}{S} \frac{\Delta CL(t)}{\Delta t} = \sum_{k=1}^{NK} p_k KL_k, \quad (3.8)$$

где $BLS(t)$ – удельный годовой бюджет углерода по пулу подстилки в насаждении в t -ый год ее роста;

$CL(t)$ – запас углерода в пуле подстилки;

KL_k – величина удельного годового поглощения углерода пулом подстилки для породы k ;

$$p_k = n_k / \sum_{i=1}^{NK} n_i - \text{доля по составу } k\text{-ой породы, } n_k - \text{число деревьев } k\text{-ой}$$

породы в насаждении.

Что касается запаса углерода по пулу почвы, то последний оценивается лишь в том случае, если насаждение создавалось на пахотных землях [66]. Учитывая, что поверхности терриконов к таковым не относятся, поглощение углерода почвой принималось равным нулю.

Таким образом, для определения общих запасов углерода в насаждении по трем пулам (фитомассы, мертвой древесины и подстилки) на t -ом году роста деревьев будет использоваться выражение

$$C(t) = CPh(t) + CD(t) + c_l \cdot S \cdot t \cdot BLS(t), \quad (3.9)$$

$$\text{где } c_l = \begin{cases} 1, & \text{если } 0 < t \leq 20 \text{ лет} \\ 0, & \text{если } t > 20 \text{ лет} \end{cases}.$$

Для оценки годового бюджета углерода в лесонасаждении терриконика применялось выражение

$$\frac{\Delta C(t)}{\Delta t} = \frac{\Delta CPh(t)}{\Delta t} + \frac{\Delta CD(t)}{\Delta t} + c_l \cdot S \cdot BSL(t). \quad (3.10)$$

Удельные величины запасов $\frac{C(t)}{S}$ и годового депонирования углерода

$\frac{1}{S} \frac{\Delta C(t)}{\Delta t}$ будут определяться отношением выражений (3.9) и (3.10)

соответственно к площади поверхности террикона.

Рассмотрим слагаемые уравнения баланса (3.10). Для определения годовых объемов депонирования углерода (бюджета углерода) $\frac{\Delta CPh(t)}{\Delta t}$ по пулу фитомассы использовалась формула

$$\frac{\Delta CPh(t)}{\Delta t} = \sum_{k=1}^{NK} \left[\frac{\Delta M_k(t)}{\Delta t} \cdot \sum_m k_m Ph_{m,k} \right], \quad (3.11)$$

отражающая динамику изменения запасов древесины в насаждении за период Δt лет. Такие данные могут быть получены на основе периодической инвентаризации созданных лесонасаждений на отвалах угольных шахт. При этом рекомендуется использование шага по времени $\Delta t = 1$ год [66]. Для первого года существования насаждения накопления углерода фитомассы в предшествующие периоды времени полагается равными нулю. Возможно осуществление расчетов и при большем промежутке времени между последовательными инвентаризациями, для чего в формуле (11) используется линейная интерполяция исходных данных.

И в конечном итоге для оценки величины годового депонирования углерода пулом мертвой древесины насаждений применяется формула

$$\frac{\Delta CD(t)}{\Delta t} = \frac{CPh_k(t) \cdot Ph_{kd,k}(t) - CPh_k(t - \Delta t) \cdot Ph_{kd,k}(t - \Delta t)}{\Delta t}. \quad (3.12)$$

При этом для первого года существования насаждения предшествующие накопления углерода фитомассы считаются равными нулю.

Таким образом, для определения величин запасов углерода и его

годового депонирования в лесонасаждениях терриконов угольных шахт необходимо выполнение таких этапов:

1. Закладка пробных площадей на исследуемом терриконе. На каждом пробном участке осуществляется перечет деревьев по ступеням толщины, замеры высот, определяется класс бонитета, рассчитываются средние высоты для каждой ступени толщины.
2. Расчет объемного запаса стволовой древесины для каждой ступени толщины каждой древесной породы лесонасаждения по формуле.
3. Перерасчет объемного запаса стволовой древесины в фитомассу, а затем в запас углерода древесных пород лесонасаждения для каждой ступени толщины по формуле (3.1). Для этого необходимо определиться со значениями конверсионных коэффициентов $Ph_{m,k}$, получаемыми на основе математических моделей или обработки эмпирической информации.
4. Определение запаса углерода в фитомассе насаждения по формуле (3.3), а на его основе запасов углерода по пулам мертвой древесины и подстилки, по формулам (3.7, 3.8), а также общего запаса углерода в лесонасаждении как суммы запасов по всем пулам.
5. Расчет величины годового депонирования углерода в лесонасаждении по формуле (3.10), для чего используются значения запасов углерода по данным измерений таксационных характеристик деревьев в предыдущие периоды времени с выполнением шагов 1-4.
6. При необходимости перерасчет полученных величин запаса углерода и его годового депонирования в удельные, приведенных к площади 1 га.

3.1.2. Исследование таксационных показателей лесонасаждений на терриконах и динамика их изменения с течением времени

Важным этапом в оценке показателей депонирования углерода лесонасаждениями терриконов является определение запаса древесных пород в лесонасаждении, а также динамики его изменения со временем. В свою очередь запас древесины зависит от линейных таксационных характеристик деревьев – их диаметра и высоты. Для определения последних необходимо

проводить таксацию лесонасаждений.

Несомненно, что наиболее достоверные результаты может обеспечить сплошной пересчет деревьев. Однако при проведении пересчета на таких объектах, как терриконы, данная задача может потребовать достаточно много затрат труда и времени. Это связано с такими факторами, как относительно большая площадь поверхности террикона для проведения сплошного пересчета деревьев (20000...100000 м²), большое число произрастающих деревьев (10000...50000 и более), крутизна склонов, густота растительности, что осложняет свободное перемещение по поверхности террикона, и др. Поэтому при таксации лесонасаждений на терриконах рационально использовать методы частичного пересчета [68].

Большое распространение при инвентаризации лесонасаждений получил метод случайной выборки пробных площадей [68], который и использовался в этой работе. Суть его заключается в том, что на исследуемом участке лесонасаждений выбирают пробные площадки круглой, квадратной или прямоугольной формы. На указанных площадках осуществляют пересчет деревьев, дающих распределение деревьев по ступеням толщины. При этом, согласно [68], при учете деревьев в средневозрастных насаждениях, где большинство их имеет диаметр до 20 см, в рамках проведения научных исследований рекомендуется устанавливать ступени толщины 2 см. Помимо этого, для каждой ступени толщины при помощи эклиметра измеряется высота двух-трех деревьев, на основании чего определяется среднее значение для этой ступени толщины. Сопоставив площади отдельных таксационных участков и характеризующих их пробных площадок, обобщают полученные результаты измерений на указанные участки лесонасаждения.

В целях определения запасов углерода были проведены измерения линейных таксационных характеристик деревьев в лесонасаждении на уже рассмотренном в диссертационной работе отвале шахты п. Сутоган Луганской области. Отметим, что хотя лесонасаждения на этом отвале следует отнести к смешанным, абсолютно преобладающей древесной породой является акация белая. Помимо акации, при озеленении на вершине было высажено несколько десятков саженцев груши обыкновенной и абрикоса обыкновенного, которые произрастают на компактной территории и не образуют смешанных участков с

акацией белой. Однако по абсолютному соотношению количества деревьев акации белой с прочими древесными породами, произрастающими на терриконе, последние при проведении расчетов можно не принимать во внимание. Поэтому оценка таксационных характеристик лесонасаждения на исследуемом отвале проводилась только для деревьев акации белой.

Для удобства проведения измерений, а также дальнейшего анализа полученных результатов вся поверхность террикона была разбита на четыре участка (экспозиции), соответствующих северному, западному и южному склонам, а также вершине. На каждом склоне отбиралось по три пробных площадки, которые закладывались в наиболее характерных местах лесонасаждения. Пробные площадки имели форму квадрата с длиной стороны 5 м. Меньшая густота насаждений, а также удобный доступ к деревьям на вершине отвала, на большей площади ее поверхности позволил осуществить полный подеревный учет, а полученные результаты затем экстраполировались на оставшуюся площадь вершины. Это обеспечило получение более точных результатов оценки запасов древесины на вершине отвала. Непосредственно обмер диаметров стволов деревьев осуществлялся при помощи рулетки и мерной вилки. При этом на высоте груди (1,3 м от шейки корня) метром измерялась длина окружности ствола дерева и отмечалась затем в форме перечетной ведомости, в которой для каждой ступени диаметра были отмечены также соответствующие им длины окружностей. Такой подход позволяет произвести замер диаметра ствола дерева в один прием, вместо того чтобы дважды осуществлять замер толщины по двум взаимно перпендикулярным направлениям при помощи мерной вилки. Согласно методике пересчета для каждой ступени толщины осуществлялось также измерение высоты двух-трех деревьев при помощи эклиметра.

Непосредственно измерения таксационных характеристик акации белой на отвале шахты п. Сутоган осуществлялись в апреле 2011 г. и, по сути, отражают параметры деревьев по итогам роста в 2010 г. Перейдем теперь к рассмотрению результатов измерений. На рис. 3.1 приведена схема террикона, на которой показаны границы экспозиций (северный, южный, западный склоны и вершина), отмечены места закладки пробных площадок и области

полного подервного учета. Площади экспозиций, а также площади пробных площадок приводятся в табл. 3.1.

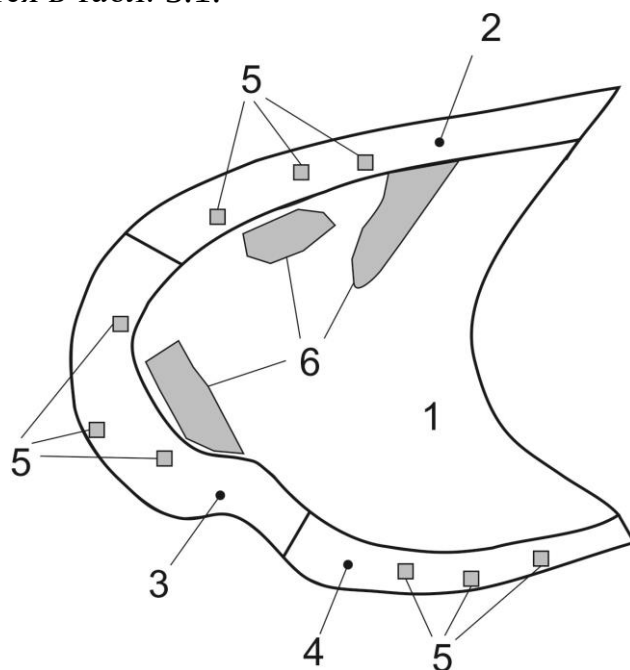


Рис. 3.1. Схема мест закладки пробных площадок и области полного подервного учета на терриконе шахты п.Сутоган: 1 – вершина; 2 – северный, 3 – западный, 4 – южный склоны; 5 – места закладки пробных площадок; 6 – области полного подервного учета

Таблица 3.1

Площади пробных площадок на терриконе шахты п.Сутоган

Экспозиция	Площади пробных участков, м ²	Площадь экспозиции, м ²
Северный склон	75	6250
Западный склон	75	8400
Южный склон	75	6750
Плоская вершина	3900	31180
Весь террикон	4125	52580

Результаты замеров линейных таксационных характеристик акации белой по экспозициям террикона, а также их обобщение на поверхность всего террикона сведены в табл. 3.2.

Отметим, что различия в высоте наблюдались не только у деревьев с разной толщиной ствола, но также имели место и у деревьев равных диаметров, произрастающих на различных экспозициях террикона. Поэтому в табл. 3.2 приведены как характерные высоты деревьев по группам диаметров для каждой из экспозиций, так и усредненные значения высот акации белой по группам диаметров в целом по террикону.

Представленные в табл. 3.2 результаты измерений могут быть непосредственно использованы для определения запаса углерода в пуле зеленой массы деревьев акации белой. В то же время для оценки величины годового депонирования углерода (бюджета углерода) необходимо иметь данные о таксационных характеристиках деревьев в предыдущие годы роста, полученные, как правило, путем проведения периодической инвентаризации. Учитывая, что ранее таксация лесонасаждений на исследуемом терриконе не осуществлялась, для оценки линейных таксационных характеристик деревьев акации белой в предыдущие периоды роста воспользуемся регрессионной моделью, связывающей радиальный прирост деревьев акации белой с погодными факторами (3.13):

$$r_{t-1} = (r_t - \alpha_2 \cdot w_t - \alpha_3) / \alpha_1. \quad (3.13)$$

Регрессионное уравнение (3.13) было использовано для восстановления данных о радиальных размерах деревьев акации белой, произрастающей на исследуемом терриконе, в предыдущие годы роста. В табл. 3.3 приведены усредненные значения радиусов деревьев в каждой ступени толщины в 2010 г., а также рассчитанные значения хода радиального роста указанных деревьев в предшествующие годы.

Таблица 3.2

Таксационная характеристика насаждений акации белой на терриконе шахты п. Сутоган

Экспозиция	Параметр	Диаметры деревьев, см										Общее число деревьев, шт.
		4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	
Сев.	кол-во деревьев на проб. уч-ках	23	20	17	2	3	2	1	1	1	-	
	кол-во деревьев на экспозиции	1917	1667	1417	167	250	167	83	83	83	-	5834
	высота деревьев	5	5	6	6	7	7	7	8	8	-	
Зап.	кол-во деревьев на проб. уч-ках	4	7	9	7	1	1	2	1	1	-	
	кол-во деревьев на склоне	448	784	1008	784	112	112	224	112	112	-	3696
	высота деревьев	3	4	6	6	7	7	8	8	8	-	
Южн.	кол-во деревьев на проб. уч-ках	17	16	10	2	3	1	2	1	1	-	
	кол-во деревьев на склоне	1530	1440	900	180	270	90	180	90	90	-	4770
	высота деревьев	3	4	5	6	7	8	8	10	11	-	
Верш.	кол-во деревьев на проб. уч-ках	48	99	159	147	110	56	34	7	6	1	
	кол-во деревьев на склоне	384	791	1271	1175	879	448	272	56	48	8	5332
	высота деревьев	4	5	6	6	7	7	8	8	8	9	
Весь террикон	кол-во деревьев	4279	4682	4596	2306	1511	817	759	341	333	8	19632
	высота деревьев	3,28	4,34	5,78	6	7	7,12	8	8,7	9,08	9	

Таблица 3.3

Динамика радиального роста акации белой на отвале шахты п. Сутоган

Ступени толщины, см	Усредненные значения радиусов деревьев, мм		
	2010 г.	2009 г.	2008 г.
2-4	15	12,88	10,85
4-6	25	23,66	22,48
6-8	35	34,44	34,10
8-10	45	43,86	42,90
10-12	55	54,33	53,86
12-14	65	62,83	60,71
14-16	75	73,04	71,13
16-18	85	83,24	81,54
18-20	95	93,45	91,96
20-22	105	103,65	102,38

Отметим, что основной целью проведения описываемых здесь расчетов было получение оценочных значений годового изменения запаса древесины, а на его основе и годового бюджета углерода, что позволит судить об эффективности выращивания «киотских» лесов на отвалах. Поэтому регрессионное уравнение (3.13) использовалось для восстановления динамики радиального роста деревьев для временного периода два года, на основе чего определялась величина среднегодового изменения запасов древесины на отвале.

Помимо полученных данных о диаметрах стволов, еще одной величиной, необходимой для оценки запасов древесины акации белой в предыдущие годы роста, является средняя высота деревьев в каждой ступени толщины, а также ее изменение за исследуемый период. Для этого использовались данные подеревного учета, проведенного весной 2011 г. и отражающего таксационные характеристики древостоя за 2010 г., а также результаты измерений линейных таксационных характеристик отдельных деревьев акации белой, осуществленных методом случайной выборки в 2006 г. Для того чтобы определить средний рост деревьев в каждой ступени толщины за период 2008-2009 гг., использовалась линейная интерполяция. Измеренные

(2010 г., 2006 г.) и интерполированные (2008-2009 гг.) средние высоты деревьев акации белой (в метрах) на терриконе шахты п.Сутоган в зависимости от ступени толщины сведены в табл. 3.4.

Таблица 3.4

Средние высоты стволов акации белой на терриконе шахты п. Сутоган, м

Год	Ступени толщины (средние диаметры), см									
	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22
2010	3,28	4,34	5,78	6	7	7,12	8	8,7	9,08	9
2009	3,16	4,18	5,59	5,78	6,75	6,87	7,71	8,38	8,75	8,67
2008	3,04	4,03	5,39	5,57	6,5	6,6	7,42	8,07	8,42	8,35
2007	2,92	3,87	5,2	5,35	6,25	6,34	7,13	7,75	8,09	8,02
2006	2,8	3,71	5	5,13	6	6,08	6,84	7,43	7,76	7,69

Полученные и приведенные в табл. 3.3, 3.4 данные по распределению деревьев акации белой по ступеням толщины стволов, высоте деревьев, а также динамике роста древостоя использовались для определения общего запаса древесины на терриконе, а также его изменения за период 2008 – 2010 гг. Отметим, что способ вычисления общего запаса по ступеням толщины стволов является наиболее точным [68]. При этом общий запас древесины акации белой (*r.b.* – *robinia pseudoacasia*) в t -ом году $M_{r.p.}(t)$ на терриконе определялся как сумма запасов древесины по каждой ступени толщины, обчисланных для t -ого года:

$$M_{r.p.}(t) = \sum_{i=1}^{NS} n_i^t \cdot \bar{V}_i^t, \quad (3.14)$$

где NS – количество ступеней толщины;

$\bar{V}_i^t$ – объем «среднего» дерева в i -ой ступени толщины в t -ом году.

В практике лесной таксации общепринятым является определение объема дерева при помощи видовых чисел [68]. Видовое число представляет собой отношение объема дерева или его части к объему цилиндра, имеющего

высоту, равную высоте дерева, и основание, равное площади сечения ствола, взятой на той или иной высоте (h) в нижней части ствола [68]. В соответствии с этим объем ствола «среднего» дерева в i -ой ступени толщины будет равен:

$$\bar{V}_i^t = f \cdot V_{c,i}^t, \quad (3.15)$$

где f – видовое число;

$$V_{c,i}^t = \pi \cdot \left(\frac{r_i + r_{i+1}}{2} \right)^2 h_i^t \quad (3.16)$$

$V_{c,i}^t$ – объем эквивалентного цилиндра со средним радиусом i -ой ступени толщины ствола $(r_i + r_{i+1})/2$ и высотой h_i^t , равной средней высоте деревьев акации белой i -ой ступени толщины ствола в t -ом году (см. табл. 3.4).

Отметим здесь, что в технике таксационных вычислений на территории бывшего СССР и, как следствие, стран СНГ наибольшее распространение получили так называемые «старые» видовые числа, для которых площадь сечения дерева измеряется на высоте груди ($h = 1,3$ м). Для определения видовых чисел используются специальные таблицы, а также разного рода зависимости как универсального типа, так и разработанные для отдельных древесных пород. Так, известны формулы, связывающие видовые числа для таких распространенных древесных пород, как сосна, ель, береза, осина с коэффициентом формы [68]. В то же время, для большинства древесных пород с успехом может быть применена такая зависимость, связывающая видовое число с высотой дерева [68]:

$$f = \frac{1}{b+1} \left(\frac{1}{1-h/H} \right)^b, \quad (3.17)$$

где b – показатель степени уравнения $y^2 = Ax^b$, характеризующего форму продольного сечения ствола и выбираемый, как правило, равным 1, что соответствует форме параболоида второго порядка.

Выражения (3.14) – (3.17) и использовались для определения запасов древесины акации белой на терриконе. Величины запасов за выбранный для исследований период 2008 – 2010 гг. по ступеням толщины приведены в табл. 3.5, а также представлены в графическом виде на рис. 3.2.

Таблица 3.5

**Запасы древесины акации белой на отвале шахты п.Сутоган
в период 2008-2010 гг.**

Ступени толщины стволов, см	Общий запас древесины, м ³			Удельный запас древесины, м ³ /га		
	2010 г.	2009 г.	2008 г.	2010 г.	2009 г.	2008 г.
4	8,22	8,24	8,41	1,56	1,57	1,60
6	28,48	27,60	26,80	5,42	5,25	5,10
8	65,95	64,47	63,49	12,54	12,26	12,08
10	56,18	54,34	52,00	10,69	10,34	9,89
12	61,72	61,18	61,77	11,74	11,63	11,75
14	47,23	45,33	42,11	8,98	8,62	8,00
16	64,06	60,80	53,10	12,18	11,56	10,10
18	39,58	38,16	34,72	7,53	7,26	6,60
20	50,03	47,64	42,63	9,51	9,06	8,11
22	1,46	1,41	1,20	0,28	0,27	0,23
Σ	422,91	409,18	386,23	80,43	77,82	73,46

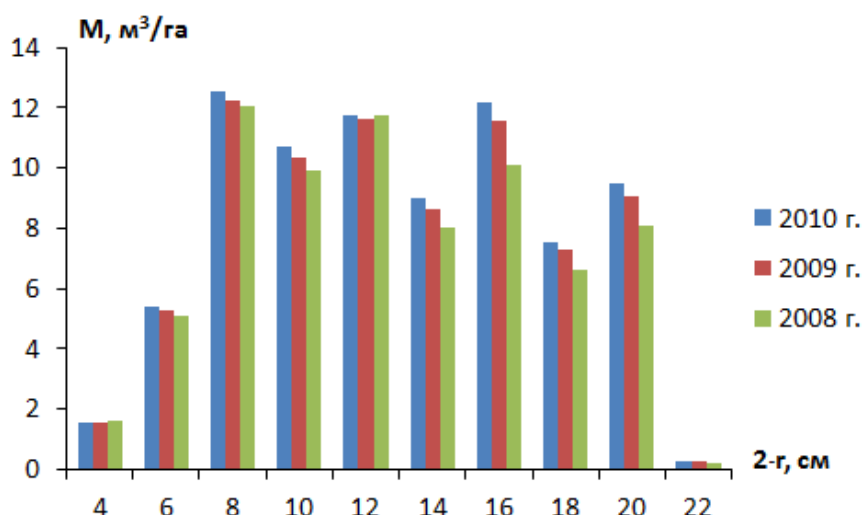


Рис. 3.2. Распределение запасов древесины акации белой на отвале шахты п. Сутоган по ступеням толщины стволов деревьев

Как видно из представленных результатов, наибольшие запасы древесины на исследуемом отвале сосредоточены в деревьях со средним диаметром стволов 8...20 см, составляющих наибольшую группу по численности. Удельный запас древесины по результатам инвентаризации 2010-2011 гг. составляет 80,43 м³/га. Прирост запасов древесины в 2010 г. в расчете на площадь поверхности террикона – 2,61 м³/га, в 2009 г. – 4,93 м³/га. Полученные результаты находятся в хорошем соответствии с таблицей хода роста полных белоакациевых древостоев, представленных в информационной

системе [28], согласно которой величина запасов древостоев возрастом 20...30 лет II класса бонитета составляет 25...90 м³/га, III класса бонитета – 25...59 м³/га; изменения запасов 4,45...4,56 м³/(га год) и 3,15...3,45 м³/(га год) для насаждений II и III классов бонитетов соответственно.

3.1.3. Оценка величин запасов и годового депонирования углерода

Одним из ключевых моментов в оценке величин запасов и годового бюджета углерода является выбор конверсионных коэффициентов фитомасса/запас. При оценке использованы значения коэффициентов, полученные Центром по проблемам экологии и продуктивности лесов РАН, которые приводятся в программах расчета запасов углерода на локальном и региональном уровнях, представленных в открытом доступе [29], а также в работах [14, 25, 26, 30]. Согласно указанным источникам для определения фракционных конверсионных коэффициентов для фракций фитомассы акации белой используется уравнение

$$Ph_{m,r.p.} = a_{m,r.p.} \cdot d^{b_{m,r.p.}} \cdot h^{c_{m,r.p.}}, \quad (3.18)$$

где $Ph_{m,r.p.}$ – конверсионный коэффициент для фракций $m = \{b, l, r\}$;

$a_{m,r.p.}, b_{m,r.p.}, c_{m,r.p.}$ – параметры уравнения для расчета конверсионного коэффициента фракции f ; h, d – средние высота (м) и диаметр (см) стволов древесной породы соответственно.

Значение конверсионного коэффициента для углерода фитомассы ствола, а также параметры уравнения (3.18) для определения коэффициентов фитомассы ветвей, листвы и корней акации белой приводятся в табл. 3.6.

Таблица 3.6

Конверсионные коэффициенты для углерода различных фракций фитомассы акации белой

Фракция	$Ph_{d,r.p.},$ т/м ³	$Ph_{m,r.p.} = a_{m,r.p.} \cdot d^{b_{m,r.p.}} \cdot h^{c_{m,r.p.}},$ т/м ³		
		$a_{m,r.p.}$	$b_{m,r.p.}$	$c_{m,r.p.}$
Ствол ($m=d$)	0,632			
Ветви ($m=b$)		0,567	-0,346	-0,243
Листва ($m=l$)		0,677	-0,926	-0,388
Корни ($m=r$)		0,577	-1,273	0,965

Значения коэффициентов для расчета запаса углерода мертвой древесины акации белой $Ph_{kd,r.p.}(t)$ в зависимости от возраста древостоя t были взяты из работы [71] как для прочих твердолиственных пород, в свою очередь найденные с использованием математической модели [72], и приводятся в табл. 3.7. Отметим, что согласно [72] оценка поглощения углерода пулом мертвой древесины справедлива только в том случае, если не проводятся хозяйственные мероприятия по расчистке лесных насаждений от захламленности и не осуществляется изъятие отмирающей части древостоя на хозяйственные нужды.

Отношение запаса углерода мертвой древесины к углероду фитомассы лесонасаждений акации белой в зависимости от возраста древостоя (безразмерный коэффициент) приводится в табл. 3.7.

В соответствии с приведенными значениями конверсионных коэффициентов, согласно методике, были осуществлены расчеты запасов и динамики изменения углерода в лесонасаждениях отвала шахты п. Сутоган в период 2008 – 2010 гг. Соответствующие результаты приводятся в табл. 3.8, а также на рис. 3.3.

Таблица 3.7

**Коэффициенты для расчета запаса углерода мертвой древесины
акации белой**

Возраст, лет	$Ph_{kd,r.p.}$	Возраст, лет	$Ph_{kd,r.p.}$	Возраст, лет	$Ph_{kd,r.p.}$	Возраст, лет	$Ph_{kd,r.p.}$
1	0,008	11	0,083	21	0,090	31	0,098
2	0,016	12	0,084	22	0,091	32	0,098
3	0,025	13	0,084	23	0,092	33	0,099
4	0,033	14	0,085	24	0,092	34	0,099
5	0,041	15	0,086	25	0,093	35	0,100
6	0,049	16	0,087	26	0,094	36	0,101
7	0,058	17	0,087	27	0,095	37	0,101
8	0,066	18	0,088	28	0,095	38	0,102
9	0,074	19	0,089	29	0,096	39	0,103
10	0,082	20	0,090	30	0,097	40	0,103

Таблица 3.8

Запасы углерода в лесонасаждениях отвала шахты п. Сутоган

Показатели запаса углерода	Год учета		
	2008	2009	2010
в фитомассе, т	191,31	202,44	210,04
в отмершей древесине, т	17,79	19,05	19,95
в подстилке, т	44,80	44,80	44,80
Общий запас углерода, т	253,91	266,50	274,80
Удельное содержание углерода, т/га	40,17	42,60	44,17

Выполненные расчеты показали, что запасы углерода в лесонасаждениях озелененного отвала шахты п.Сутоган по состоянию на 2010 г. составили 274,8 т, в том числе в фитомассе – 210,05 т, мертвой древесины – 19,95 т, подстилке – 44,8 т. Удельное значение содержания углерода в лесонасаждениях составило 44,17 т/га. Годовое депонирование углерода составило 1,58 т/(га•год) в 2010 г., 2,39 т/(га•год) в 2009 г. и 2,53 т/(га•год) в 2008 г. (рис. 3.3). Указанные значения коррелируют с данными таблиц роста белоакациевых насаждений III класса бонитета в природных экосистемах.

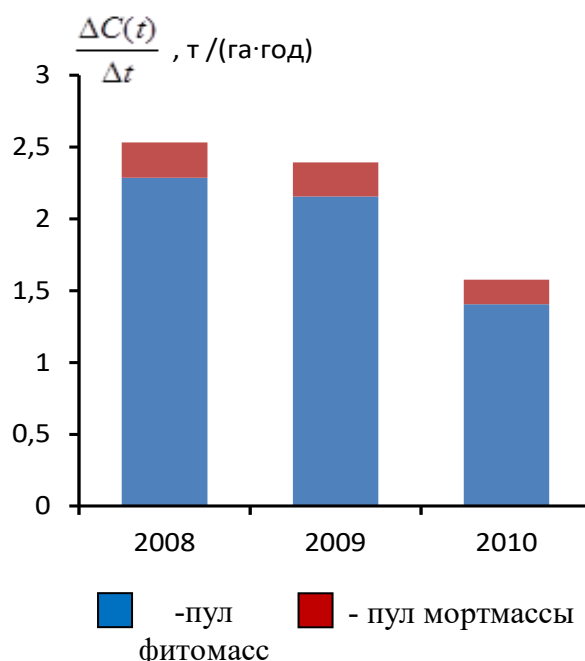


Рис. 3.3. Динамика величин депонирования углерода по двум пулам (2008 – 2010 гг.)

Отметим, что полученные значения годового депонирования углерода

в целом превышают таковые у лиственных пород, таких как береза, осина, тополь и др., приводимых в работах [59, 73], что, однако, определяется рядом условий, включая класс бонитета и возрастную структуру древостоев, а непосредственное сравнение с белоакациевыми насаждениями невозможно ввиду того, что последние не исследовались по пулам и потокам углерода. В то же время, согласно таблицам роста белоакациевых насаждений [69], прирост молодняка и средневозрастных деревьев осуществляется достаточно интенсивно, и для насаждений III класса бонитета возрастом 20...30 лет, к которым и относятся лесонасаждения исследуемого террикона, текущий прирост фитомассы составляет 3,76...3,9 т/(га год). Отметим здесь также среднюю величину годового прироста древесины на 1 га в Луганской области, равную 3,1 м³ [74]. Учитывая, что в углерод согласно [42] переходит 0,45...0,5 фитомассы, указанные значения вполне соответствуют полученным результатам по величине годового депонирования углерода.

Таким образом, лесная рекультивация терриконов, помимо действий, направленных на снижение вредного их воздействия на прилегающие территории, обеспечивает дополнительный эффект, связанный с поглощением углерода. При этом оправданным является использование при лесной рекультивации в качестве основной древесной породы акации белой, что обусловлено высокой биологической продуктивностью этой породы, обеспечивающей при высадке на терриконах годовое депонирование углерода на уровне 1,58 т/(га год) и более.

Известно, что на территории Донбасса расположено около 1500 отвалов угольных шахт, занимающих площадь более 10 тыс. га. (расчетное значение площади их поверхности составило 10814,8 га). Эта величина значительно меньше площади покрытых лесной растительностью земель Украины, которая, по данным 2002 г., составляет 9399,6 тыс. га [75]. Однако известно, что леса на Украине расположены очень неравномерно – большая часть сосредоточена на западе страны – в Карпатах и Полесье [45, 47, 74, 75]. Поэтому в лесодефицитном Донбассе создание лесонасаждений на площади более 10 тыс. га, к тому же выведенных из сельскохозяйственного оборота,

имеет большое значение. В частности, в Луганской области показатель лесистости составляет 11,5 %, тогда как оптимальный показатель – 16 % [74], для чего требуется дополнительно создать более 120 тыс. га лесных насаждений. В [74] отмечается, что для этого необходимо увеличить ежегодные объемы посадок минимум до 8 тыс. га. Однако сегодня объемы создания лесных культур в области еще далеки от оптимальных показателей, что связано в том числе с определенными сложностями выделения земель для создания лесонасаждений. В этой связи особенно актуальным является озеленение непригодных для сельскохозяйственной деятельности земель. В табл. 3.9 приводятся данные по динамике лесовосстановления и создания защитных лесонасаждений в Луганской области, по данным [74]. Как видно, объемы создания лесонасаждений на непригодных для сельскохозяйственной деятельности землях в 2008 г. составили всего 2875 га. Поэтому использование для этих целей поверхности терриконов может на несколько лет решить проблему выделения выведенных из сельскохозяйственного оборота земель для создания защитных и «киотских» лесонасаждений.

Таблица 3.9

Динамика лесовосстановления и создания защитных лесонасаждений в Луганской области, га [33]

Параметр	Год				
	2000	2005	2006	2007	2008
Лесовосстановление, лесоразведение на землях лесного фонда, га	1725	4023	4514	5327	4182
Создание защитных лесонасаждений на непригодных для с/х землях, га	321	22	3455	3910	2875
Создание полезащитных лесополос, га	90	11	6	0	0

Прогнозирование величины предполагаемой абсорбции углерода лесонасаждениями терриконов. Согласно методическим указаниям МГЭИК [66], а также [71] расчет величин запасов углерода можно осуществлять в прогнозном режиме. В этом случае информация о динамике таксационных показателей древостоев выбирается из таблиц хода роста лесных насаждений. Учитывая, что согласно проведенным в диссертационной работе исследованиям белоакациевые насаждения на поверхностях отвалов угольных шахт по

большей части имеют III класс бонитета, для осуществления прогнозных расчетов использовались обобщенные таблицы хода роста полных белоакациевых древостоев III класса бонитета, приведенные в [69]. Поскольку данные в [69] представлены с шагом 5 лет, динамика изменения запасов древесины приводилась к шагу 1 год при помощи линейной интерполяции. Пулы и потоки углерода при этом рассчитывались согласно описанной выше методике для временного периода, равного 30 годам роста лесонасаждений. Полученные результаты по запасам углерода в белоакациевых насаждениях, приведенных к площади 1 га, сведены в табл. 3.10.

Таблица 3.10

Прогнозируемая динамика запасов углерода в белоакациевых насаждениях

Год роста	Запас древесины, м ³ /га	Изменение запаса, м ³ /га за год	Средний диаметр стволов, см	Средняя высота стволов, м	Запас углерода в фито-массе, т/га	Запас углерода в пуле мерт-вой древе-сины, т/га	Запас углерода в пуле подстилки, т/га	Запас углерода в насажде-нии, т/га
5	1,00	0,00	1	0,5	1,18	0,05	2,13	3,36
6	1,21	0,21	1,08	0,80	1,34	0,07	2,56	3,96
7	1,64	0,42	1,16	1,10	1,75	0,10	2,98	4,84
8	2,27	0,64	1,24	1,40	2,39	0,16	3,41	5,95
9	3,12	0,85	1,32	1,70	3,24	0,24	3,83	7,31
10	3,00	1,06	1,40	2,00	3,09	0,25	4,26	7,60
11	4,30	1,30	1,78	2,36	3,95	0,33	4,69	8,96
12	5,84	1,54	2,16	2,72	4,93	0,41	5,11	10,45
13	7,62	1,78	2,54	3,08	6,02	0,51	5,54	12,06
14	9,64	2,02	2,92	3,44	7,23	0,61	5,96	13,80
15	11,00	2,26	3,3	3,8	7,89	0,68	6,39	14,96
16	13,44	2,44	3,74	4,18	9,23	0,80	6,82	16,85
17	16,05	2,62	4,18	4,56	10,63	0,93	7,24	18,80
18	18,85	2,79	4,62	4,94	12,10	1,06	7,67	20,83
19	21,82	2,97	5,06	5,32	13,63	1,21	8,09	22,94
20	25,00	3,15	5,50	5,70	15,25	1,37	8,52	25,14
21	28,22	3,22	5,94	6,06	16,84	1,52	8,52	26,88
22	31,52	3,30	6,38	6,42	18,45	1,68	8,52	28,65
23	34,89	3,37	6,82	6,78	20,07	1,85	8,52	30,43
24	38,34	3,45	7,26	7,14	21,70	2,00	8,52	32,22
25	42	3,52	7,7	7,5	23,43	2,18	8,52	34,13
26	45,51	3,51	8,08	7,80	25,08	2,36	8,52	35,96
27	49,00	3,49	8,46	8,10	26,71	2,54	8,52	37,77
28	52,48	3,48	8,84	8,40	28,31	2,69	8,52	39,52
29	55,94	3,46	9,22	8,70	29,89	2,87	8,52	41,28
30	59	3,45	9,6	9	31,24	3,03	8,52	42,79

Были рассчитаны прогнозные значения величин запасов и годового депонирования углерода, который потенциально может быть аккумулирован лесонасаждениями терриконов Донбасса при условии осуществления на них комплексных мероприятий по лесной рекультивации с высадкой в качестве основной древесной породы акации белой. Соответствующие результаты приводятся в табл. 3.11.

Таблица 3.11

Прогнозные значения величин запасов и годового депонирования углерода терриконирами Донецкой и Луганской областей

Год роста	Запас углерода, тыс. т.	Депонирование углерода, тыс. т. год ⁻¹	Год роста	Запас углерода, тыс. т.	Депонирование углерода, тыс. т. год ⁻¹
5	36,36	-	18	225,28	21,97
6	42,86	6,50	19	248,06	22,78
7	52,29	9,43	20	271,89	23,83
8	64,38	12,09	21	290,69	18,81
9	79,09	14,72	22	309,81	19,12
10	82,23	3,13	23	329,12	19,31
11	96,91	14,68	24	348,40	19,28
12	113,03	16,12	25	369,06	20,66
13	130,46	17,43	26	388,92	19,85
14	149,28	18,82	27	408,47	19,55
15	161,82	12,54	28	427,45	18,98
16	182,24	20,42	29	446,47	19,02
17	203,31	21,07	30	462,81	16,34

Согласно результатам прогноза, средняя величина годового депонирования углерода лесонасаждениями терриконов составляет 17,06 тыс. т С год⁻¹, а общее содержание углерода в белоакациевых насаждениях по прошествии 25 лет после их высадки составит более 0,462 млн т. Полученное значение достаточно мало по сравнению с общей массой депонированного углерода в фитомассе основных древесных пород Украины, которая по состоянию на 01.01.2002 г. составляет 640,8 млн т. [75]. Однако в этом случае корректно сравнивать полученное значение с массой депонированного углерода отдельных древесных пород. Примером могут быть природные насаждения свежей дубово-грабовой растительности, с общим содержанием

депонированного углерода, превышающим 5,4 млн. т, а также ее насаждения искусственного происхождения, депонированного углерода в которой, по данным [43], содержится около 255 тыс. т углерода. Это вполне соизмеримо с полученными прогнозными результатами по содержанию депонированного углерода в лесонасаждениях акации белой на терриконах Донбасса. Поэтому учитывая такие факторы, как большую дисперсию плотности углерода, аккумулированной в фитомассе лесонасаждений различных регионов Украины; практически отсутствие на территории Украины насаждений акации белой, древесная порода которой отличается хорошей продуктивностью; использование для посадок на поверхностях терриконов, т.е. земель, выведенных из сельскохозяйственного оборота, создание белоакациевых насаждений на поверхности отвалов угольных шахт может являться одним из рациональных способов создания «киотских» лесонасаждений с одновременным улучшением экологического состояния прилегающих к терриконам территорий, что позволит снизить концентрацию парниковых газов (в частности, углекислого газа) в атмосфере.

3.2. Целенаправленное переформирование конических отвалов в плоские

Создание углерододепонирующих лесонасаждений на поверхностях отвалов угольных шахт зачастую связано со значительными трудовыми и временными затратами при проведении горнотехнического и биологического этапов рекультивации. Обусловлено это тем, что терриконы конической формы имеют крутые склоны ($35...40^\circ$) и значительную высоту (50...100 м), поэтому их озеленение выполняется преимущественно ручным способом. Принимая во внимание, что увеличение площади лесонасаждений за счет использования поверхностей терриконов предполагает, что рекультивация последних должна носить массовый характер, достаточно важным является разработка и внедрение способов повышения эффективности рекультивационных мероприятий путем снижения их трудоемкости, а также увеличения площади поверхности отвалов, благоприятных для высадки и

произрастания лесонасаждений (плоских участков или участков с небольшим углом наклона). В этой связи большое внимание следует уделять выполнению горнотехнического этапа рекультивации как наиболее сложному, и в тоже время допускающему использование машин и механизмов. Причем зачастую в ходе выполнения горнотехнического этапа рекультивации осуществляется переформирование конических отвалов в плоские, что и рассматривается в этом разделе.

Переформирование (перепрофилирование) конических породных отвалов в плоские (рис. 3.4) на практике применяется в целях снижения негативного воздействия отвалов на прилегающую среду (снижения уровня водной и ветровой эрозии), ликвидации очагов горения и охлаждения породы, увеличения объемов складирования породы в функционирующих шахтных комплексах, а также облегчения проведения последующих работ по озеленению отвала (снижение высоты отвала, уменьшение водной эрозии) [76 – 78]. Вместе с тем при переформировании увеличивается площадь основания породного отвала, что ведет к дополнительному изъятию земли из оборота и зачастую оказывается невозможным ввиду расположения отвала на территории населенного пункта. Кроме того, применяемые методы переформирования не учитывают в полной мере дальнейшего использования площади поверхности переформированных отвалов для создания лесонасаждений, призванных снизить уровень экологической опасности отвалов. Так, при переформировании образуются крутые неустойчивые откосы ($35...40^0$), на которых протекают эрозионные процессы [77]. Выполаживание склонов в большинстве случаев проводится до угла 30^0 . Для дальнейшей высадки лесонасаждений на склонах отвала необходимо формировать террасы: ручным способом (микротеррасы), что достаточно трудоемко, либо механизированном. В последнем случае извлекаемый почвогрунт смещается ниже по склону террикона, при этом формируются склоны террас с еще большим углом наклона ($30...40^0$), которые являются неустойчивыми и также подвержены эрозии. В другом случае отвальная порода транспортируется за пределы отвала, что ведет к дополнительным

материальным затратам, а также ставит проблему дальнейшей утилизации вывозимой породы. По указанным причинам применяемые методы переформирования приводят к значительному снижению эффективности проведения рекультивационных мероприятий.

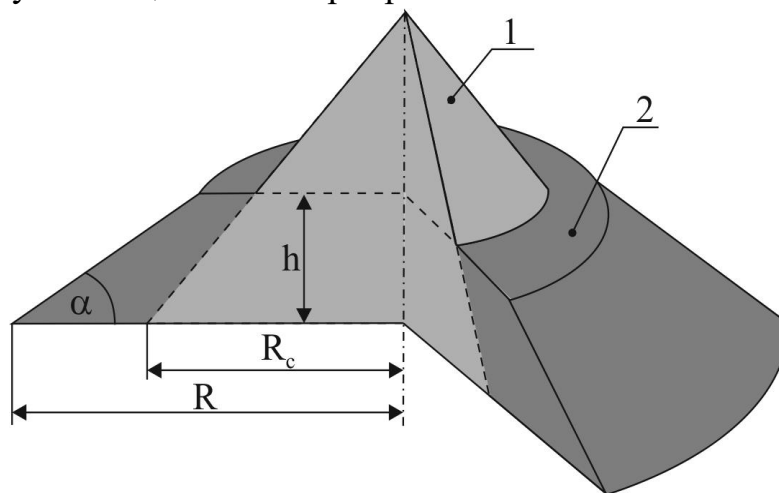


Рис. 3.4. Схема переформирования конического отвала (1) в плоский (2)

R_c – усредненный радиус основания исходного (конического) отвала,
 R , h , α – усредненный радиус основания, высота и угол наклона склонов
 переформированного отвала

Решая поставленные задачи, предлагается механизированный метод переформирования конических отвалов в плоские с формированием каскада террас в целях дальнейшей высадки на их поверхности углерододепонирующих лесонасаждений. Суть метода заключается в том, что при перепрофилировании конического отвала выполняется выполаживание откосов до $15...20^\circ$. В дальнейшем осуществляется формирование широких террас (шириной $3...4$ м), при этом смещаемая порода будет формировать откосы с углом, близким к естественному, т.е. $30...40^\circ$. Указанные мероприятия будут обеспечивать повышение коэффициента использования площади поверхности для высадки углерододепонирующих лесонасаждений, способствовать улучшению условий их произрастания, а также улучшать условия проведения работ по рекультивации в целом.

В то же время ввиду ограниченности территорий не всегда существует возможность выполаживания откосов до угла $15...20^\circ$ [77]. Однако зачастую при переформировании могут быть использованы малоценные земли,

прилегающие к отвалу. К таким землям могут относиться земли со старыми шахтными строениями на уже недействующих шахтных комплексах, а также прочие земли, не имеющие хозяйственной ценности (рис. 3.5). В свою очередь ввиду сложной формы исходного отвала, неоднородного рельефа прилегающих территорий могут возникнуть сложности во время проведения проектных и подготовительных работ по рекультивации отвала, в частности оценки площадей, которые могут быть использованы для переформирования, а также расчета соответствующих отводимым площадям параметров отвала и формируемых на его склонах террас: высоты отвала, угла откоса его склонов, площади плоской вершины, количества террас и др. Для этих целей рациональным может являться разработка специализированных расчетных методов, а также соответствующего программного обеспечения, позволяющего осуществлять расчеты на основании данных аэрокосмической съемки (отвалов и прилегающих к ним территорий). В рамках создания геоинформационной системы разработан метод определения геометрических параметров переформируемых отвалов, а также создаваемых на их склонах террас.



Рис. 3.5. Схема использования земель, прилегающих к отвалу, для переформирования: 1 – контур конического (исходного) отвала; 2 – контур переформированного отвала

Рассмотрим, в первую очередь, расчет высоты переформированного отвала. Параметры исходного (конического) отвала, в частности, площадь основания отвала S , а также объем породы в отвале V , могут быть определены на основании данных аэрокосмической съемки. Объем V исходного отвала наряду с площадью территории, которую предполагается использовать для переформирования (например, см. контур 2 на рис. 3.5), а также угол выполаживания откосов переформированного террикона α являются исходными данными при проведении расчетов.

Так, определяя при помощи геоинформационной системы площадь территории, которую предполагается использовать для переформирования, т.е., по сути, основание переформированного террикона с площадью S_1 и переходя в дальнейших расчетах к модели усеченного конуса (см. рис. 4), получим значение усредненного радиуса основы отвала $R = \sqrt{S_1/\pi}$. Тогда можно получить выражение для определения объема V_p переформированного отвала:

$$V_p = \frac{1}{3} \pi h \left[(R - h \cdot \operatorname{ctg} \alpha)^2 + (R - h \cdot \operatorname{ctg} \alpha) \cdot R + R^2 \right], \quad (3.19)$$

где h – высота отвала после его переформирования.

Значение h можно получить исходя из тождества объема исходного отвала объему переформированного отвала, т.е. $V \equiv V_p$. Подставляя вместо V_p выражение (19) и перенося все слагаемые в левую часть, приходим к уравнению для определения высоты отвала после его переформирования:

$$V - \frac{1}{3} \pi h \left[(R - h \cdot \operatorname{ctg} \alpha)^2 + (R - h \cdot \operatorname{ctg} \alpha) \cdot R + R^2 \right] = 0. \quad (3.20)$$

Уравнение (3.20) нелинейно относительно h , и его решение не может быть получено аналитическим путем в элементарных функциях. Поэтому для решения уравнения применялись численные методы, в частности метод половинного деления [79].

В свою очередь после определения h площадь плоской вершины террикона S_2 определяется так:

$$S_2 = \pi(R - h \cdot \operatorname{ctg} \alpha)^2. \quad (3.21)$$

Перейдем теперь к определению геометрических параметров террас, которые будут формироваться на склонах перепрофилированного отвала. К таковым следует отнести ширину террасы B , ширину l и Δh высоту модуля (т.е. участок склона, который включает полотно террасы с насыпными и выемочными откосами, угол откоса террас β , а также расстояние между модулями a (рис. 3.6).

При проведении расчетов будем полагать, что вырезаемая и перемещаемая при формировании террас отвальная порода смещается ниже полотна террасы, тем самым происходит формирование выемки, составляющей полотно формируемой террасы и насыпи, образующей откос террасы. Внутренний и внешние углы откоса террасы полагаются одинаковыми и равными β (как правило, равными естественному углу откоса – $35...40^\circ$). Тогда полагая, что ширина террасы B (обычно устанавливаемая в диапазоне $3...5$ м [77]), угол откоса склонов отвала α и высота отвала h , а также расстояние между террасами являются известными (задаются в качестве исходных данных, либо измеряются на переформированном отвале), требуется определить высоту модуля Δh , а также максимальное количество террас, которые могут быть сформированы на склонах переформированного отвала.

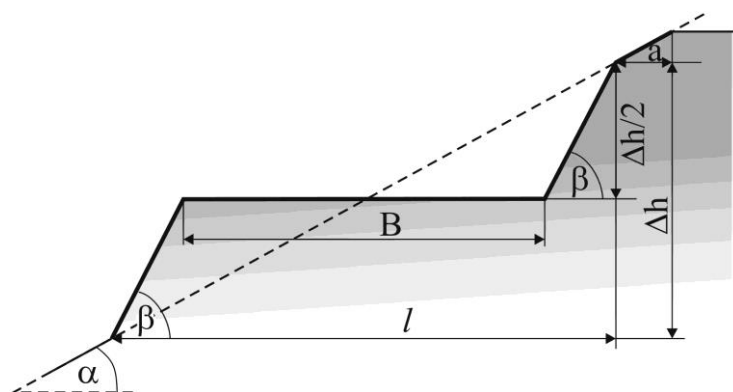


Рис. 3.6. Схема модуля к расчету параметров террасирования склонов террикона: a – расстояние между модулями, α – угол уклона переформированного террикона, Δh – высота модуля, l – ширина модуля, B – ширина террасы, β – угол откосов террасы

Введем отрезок c , представляющий проекцию откоса (внутреннего или внешнего) на полотно террасы, $c = \Delta h / 2 \cdot \operatorname{ctg} \beta$, а также отрезок $b = B / 2 = a \cdot \operatorname{ctg} \alpha - c$, представляющий собой половину ширины полотна террасы. Теперь можно получить

$$\Delta h / 2 = b / (\operatorname{ctg} \alpha - \operatorname{ctg} \beta) \quad (3.22)$$

Подставляя в последнее выражение для b , получим окончательную формулу для определения высоты формируемой террасы:

$$\Delta h = B / (\operatorname{ctg} \alpha - \operatorname{ctg} \beta) \quad (3.23)$$

В свою очередь количество террас n_t , которые могут быть сформированы на склонах переформированного террикона, определяют, исходя из высоты модуля Δh и расстояния между модулями a :

$$n_t = h / (\Delta h + \operatorname{tg} \alpha \cdot a) \quad (3.24)$$

Полезным также может оказаться расчет площади террас, которые могут быть использованы для высадки углерододепонирующих лесонасаждений. Так, площадь полотна каждой i -ой террасы ($i = 1 \dots n_t$ и отсчитывается от основания отвала) может быть определена как

$$S_i^0 = 2\pi r_i B \quad (3.25)$$

где $r_i = R_2 + [h - (i - 0,5)\Delta h - (i - 1)\operatorname{tg} \alpha \cdot a] \cdot \operatorname{ctg} \alpha$ – расстояние между центром i -ой террасы и центром отвала; R_2 – радиус верхнего основания отвала. Тогда площадь всех террас может быть найдена так

$$S_t = \sum_{i=1}^{n_t} S_i^0 \quad (3.26)$$

В качестве примера осуществления расчетов геометрических параметров переформирования конического отвала в плоский, а также параметров террас, формирующихся на его склонах, рассмотрим отвал, аэрокосмический снимок которого приведен на рис. 3.5.

Исходные данные, а также результаты расчетов сведены в табл. 3.12.

Расчет геометрических параметров переформирования конического отвала и террасирования его склонов

Исходный отвал:	
Площадь основания	35000 м ²
Площадь поверхности	40400 м ²
Высота	61 м
Объем породы	710960 м ³
Переформированный отвал:	
Площадь основания	53093 м ²
Высота	24 м
Площадь верхнего основания	9900 м ²
Количество террас	8
Площадь террас	17668 м ²

Приведенные результаты расчетов показывают, что увеличение площади, занимаемой отвалом, в ~1,5 раза (при этом усредненный радиус основы увеличивается со 105,5 до 130 м) способно обеспечить значительный экологический эффект, а также оптимизировать проведение дальнейших работ по рекультивации отвала. Так, высота отвала снизится более чем в 2,5 раза (с 61 до 24 м), что позволит значительно уменьшить площадь прилегающих к террикону территорий, подверженных пылевому загрязнению. Кроме того, в отличие от конического отвала, крутизна склонов которого делает невозможным его озеленение (или требует создания микротеррас, нарезаемых ручным способом), переформирование отвала в плоский с созданием на его склонах каскада террас обеспечит создание более 27,5 тыс. м² горизонтальных участков (верхнее основание и полотна террас), благоприятных для создания лесонасаждений, что составляет приблизительно половину от площади, занимаемой отвалом.

Выводы

1. Создание белоакациевых насаждений на поверхности отвалов угольных шахт может являться одним из рациональных способов создания «киотских» лесонасаждений с одновременным улучшением экологического состояния

прилегающих к терриконам территорий, что позволит снизить концентрацию парниковых газов (в частности, углекислого газа) в атмосфере.

2. Предложен метод переформирования конических отвалов горной породы в плоские с формированием на склонах каскада устойчивых ступенчатых террас, позволяющий повысить эффективность проведения дальнейших рекультивационных работ за счет увеличения площади поверхности отвала, пригодных для создания углерододепонирующих лесонасаждений, а также обеспечения устойчивости склонов отвала и террас и снижения эрозионных процессов.

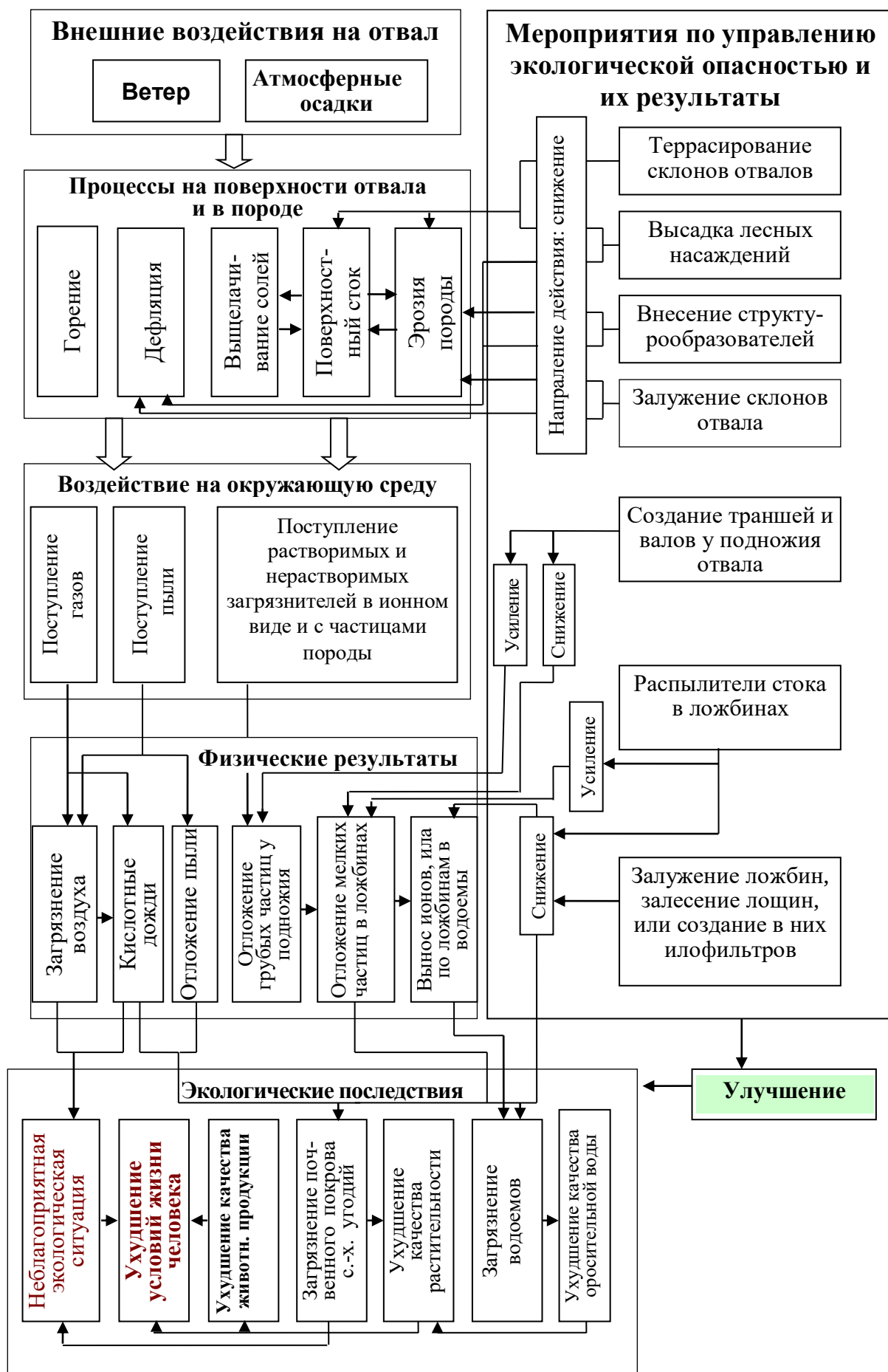
3. Разработан расчетный метод определения геометрических параметров переформирования конических отвалов в плоские, а также создаваемых на их склонах террас, позволяющий совместно с результатами обработки аэрокосмических снимков отвалов оптимизировать выполнение подготовительного этапа рекультивации путем выбора основных параметров переформирования, включая площадь отвала, его высоту, количество и площадь формируемых террас, удовлетворяющих местным условиям и другим поставленным критериям.

4. ПОВЫШЕНИЕ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ПОРОДНЫХ ОТВАЛОВ ПУТЕМ ИХ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ В КАЧЕСТВЕ ОБЪЕКТОВ НАЦИОНАЛЬНОЙ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ СЕТИ

4.1. Общая схема формирования экологической опасности отвалов и анализ возможных способов управления ею

Обобщая литературные данные и результаты собственных исследований, предлагаем следующую схему формирования экологической опасности породных отвалов и способах управления ею (рис. 4.1). Помимо известных мероприятий, направленных на снижение интенсивности эрозии на отвалах: террасирование склонов отвалов, высадка лесных насаждений на широких террасах или микротеррасах, внесение структурообразователей в верхний слой породы, залужение склонов отвалов; а также мероприятий, направленных на локализацию породы в механической защитной зоне, таких как создание траншей и валов у подножия отвала, схема включает и новые элементы. Это создание распылителей стока в ложбинах, залужение ложбин, залесение лощин или создание в них илофильтров. Эти элементы известны как мероприятия по борьбе с водной эрозией почв в агроландшафтах, но в практике борьбы с вредным воздействием эрозионных процессов на отвалах на окружающую среду ранее не применялись.

Характерной особенностью рельефа Донбасса является преобладание в его рельефе склоновых земель [107]. В Луганской области 55% земель имеют уклон свыше 1° , при котором начинает формироваться первичная гидрографическая сеть в виде ложбин. Согласно ГОСТ 17.5.3.04-83 для формирования отвалов отводятся преимущественно неудобья – балки, овраги и т. д., то есть земли с явно выраженным уклоном поверхности. Известно, что с увеличением крутизны склона сеть ложбин сгущается [107]. Поэтому можно заключить, что ложбины всегда имеются поблизости от террикона или проходят прямо под ним.



4.1. Блок-схема формирования экологической опасности отвалов и управления ею

Известно также, что в ложбинах происходит концентрация поверхностного стока и активизируется эрозионный процесс [107]. Частицы породы и растворенные загрязняющие вещества, выносимые с отвала в случае разрушения траншей и валов у его подножия или при отсутствии этих сооружений, очень скоро оказываются в ложбинах, и дальнейшее их перемещение в ландшафте происходит исключительно по ним. Из ложбин наносы попадают в балки, а затем в пруды или речную сеть. Как показали исследования С.Г. Воробьева (разд. 1), вынос породы с отвала происходит стабильно даже в маловодные годы, когда в полях эрозия не происходит. Исходя из этого, на наш взгляд, можно заключить, что в такие годы смытый материал отлагается в ложбинах и накапливается. В годы многоводные накопленный в ложбинах материал должен, по нашему мнению, залпово выноситься в окружающую среду далеко за пределы охранной зоны. При наличии около отвалов, как это есть в 56% случаев, пашни [7], загрязненная почва из ложбин под действием вспашки, культивации, боронования распространяется сельскохозяйственными орудиями далеко в стороны. Факт подобного загрязнения почвенного покрова и вызванного им угнетенного состояния растительности подтверждается исследованиями ВНУ им. В.Даля [7]. Устройство поперечных перемычек (распылителей стока) в ложбинах усиливает процесс аккумуляции наносов [107], поэтому применительно к ложбинам, проходящим в зоне выноса загрязнителей с отвала, оно будет препятствовать продольному перемещению частиц породы вдоль их тальвегов. Препятствовать поперечному распространению загрязнителей, на наш взгляд, возможно только путем выведения ложбин из пашни и применения такого известного [83] приема как залужение ложбин. Оно одновременно является и противоэрозионным мероприятием для сельхозугодий, препятствуя размыванию дна ложбин концентрированными потоками воды.

Анализируя вывод С.Г. Воробьева о подвижности самых мелких фракций породы (разд. 1), можно предположить, что залужение и лесная мелиорация ложбин и лощин не сможет в достаточной мере способствовать

осаждению этих частиц. Однако предлагаемое нами использование по новому назначению этих известных в эрозиоведении приемов будет препятствовать размыванию загрязненных отложений прежних лет и их выносу в гидрографическую сеть, то есть является одним из инструментов управления экологической опасностью отвалов. В многоводные годы помимо выноса загрязненных отложений со дна незалуженных ложбин происходит эрозия загрязненных в результате отложения продуктов как эрозии, так и дефляции отвальной породы почв на прилегающей к отвалам территории, а также вынос продуктов эрозии в ложбины и лощины и дальнейшая миграция загрязнителей в водоемы. В этом случае растительный покров на дне ложбин и лощин будет способствовать локализации в них загрязнителей, вынесенных с отвала как в результате эрозии, так и не менее активной дефляции, и резкому снижению их выноса в водоемы.

Анализ достоинств и недостатков предлагаемых мероприятий позволяет сделать вывод, что для наиболее полно и эффективно задача управления экологической опасностью отвалов, формируемой эрозией их поверхности решается путем облесения отвалов.

4.2. Последовательность создания экологической сети с включением в нее терриконов

В последние годы в мире происходит становление стратегии экологической организации территории. В разных странах она получила различные наименования – «Национальный траст» (Великобритания), «Национальная экологическая сеть» (Нидерланды), «Сеть развития природы» (Франция), «Сеть диких земель» (США). Однако вне зависимости от названий, процедура экологической организации территории практически всюду понимается как конструирование ее экологического каркаса [80].

Наша страна, одна из немногих в СНГ, также активно занимается созданием Национальной экологической сети, определение которой дано в статье 16 Закона «Об экологической сети Украины» №1864-IV от 24.06.04:

«...целостная территориальная система, которая создается с целью улучшения условий для формирования и возобновления окружающей среды, повышения природно-ресурсного потенциала территории Украины, сохранения ландшафтного и биологического разнообразия, мест обитания и произрастания ценных видов животного и растительного мира, генетического фонда, путей миграции животных ...» [81].

Отдельная составная часть экосети, имеющая признаки пространственного объекта – определенную площадь, границы, характеристики и т.п., называется «*объектом экосети*» [81].

К «*структурным элементам*» экосети относятся ключевые, соединительные, буферные и восстанавливаемые территории. *Ключевые территории* обеспечивают сохранение наиболее ценных и типичных для этого региона компонентов ландшафтного и биологического многообразия. Это территории наибольшей концентрации генетического, видового, экосистемного и ландшафтного многообразия, то есть территории важного биологического и экологического значения. *Соединительные территории (экокоридоры)* соединяют между собой ключевые территории, обеспечивают миграцию животных и обмен генетического материала. *Буферные территории* обеспечивают защиту ключевых и соединительных территорий от внешних влияний. *Восстанавливаемые территории* обеспечивают формирование пространственной целостности экосети, для них должны быть выполнены *первоочередные меры по воссозданию первичного естественного состояния*.

В концепции экосети Украины, разработанной Ю.Р. Шеляг-Сосонко с соавторами [82, 83] помимо «природных ядер» и «экологических коридоров» вводится понятие «*интерактивных*» участков, ответвляющихся от ядер и коридоров и выполняющих функцию распространения их влияния на окружающую среду.

На рис.4.2. представлена схема ландшафтных экологических коридоров Национальной экологической сети Украины [83]. Как видим, основным видом

экокоридоров НЭС Украины являются долины средних и больших рек, и они не формируют достаточно густую и разветвленную сеть, особенно в восточной и южной частях страны.

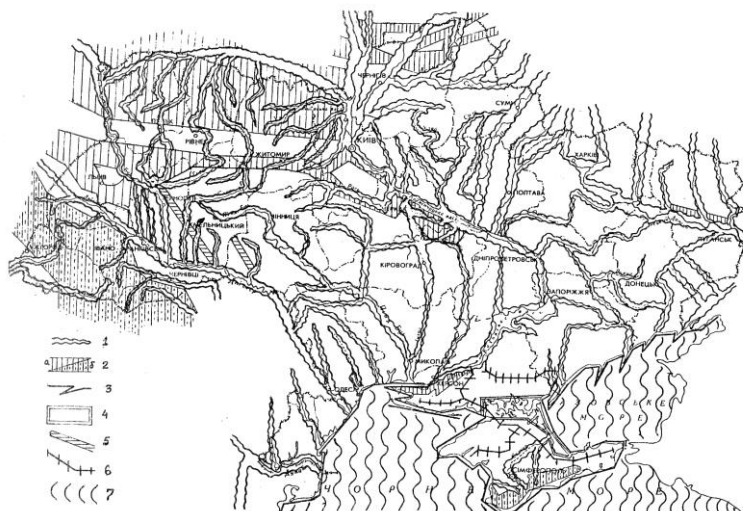


Рис.4.2. Ландшафтные экокоридоры Украины [83]:

- 1 – речно-долинные; 2 – лесные: а) равнинные, б) горные;
- 3 – прибрежно-морские; 4 – суходольно-соленоозерный (сивашский);
- 5 – магистрально-водоканальные; 6 – акваториально-морские

Различают биосферный, континентальный, национальный, региональный (областной) и локальный уровни экосетей. Ключевым является региональный, поскольку он обеспечивает формирование реальной территориальной системы экосети [84]. Проектирование экосети осуществляется путем разработки региональных схем экосети областей, а также местных схем экосети административных районов [85].

Для обеспечения единого подхода к разработке региональных и местных схем экосети в Министерстве охраны окружающей природной среды Украины в 2009 году были утверждены «Методичні рекомендації щодо розроблення регіональних та місцевих схем екомережі» [86]. В них дается состав и содержание документации по схеме экосети, этапы выполнения работ по ее разработке, научные критерии выбора территорий для включения в состав структурных элементов экосети и т.д.

Схему экосети рекомендуется разрабатывать с использованием геоинформационной системы (ГИС). Рекомендованный состав графических

материалов к проекту схемы экосети: ландшафтная карта территории и схема ее землеустройства; схема территорий, *относительно использования которых установлено ограничение* (охранных зон, зон санитарной охраны и зон особого режима использования земель); картосхема экосетей.

Работы, связанные с разработкой схемы экосети, делятся на два этапа.

Первый этап: а) подготовительные работы (сбор необходимой информации); б) подготовка научного обоснования относительно включения территорий в экосеть; в) определение *статуса нанесенных территорий* (принадлежности к тем или иным структурным элементам экосети); г) разработка предварительной схематической карты экосети; д) определение территорий и объектов *перспективного включения* в схему экосети.

Второй этап: на основе результатов первого этапа осуществляется нанесение на картографические материалы структурных элементов экосети.

Критерии выбора территорий экосети такие [86]. В состав *ключевых* территорий, в первую очередь, включаются объекты природного заповедного фонда; места пребывания или роста видов животного и растительного мира, занесенных в Красную книгу Украины.

Площадь ключевых территорий может быть разной, но не менее 500 га. В случае, когда площадь меньше установленного критерия, она *определяется в соответствии с научными рекомендациями*.

По своему значению ключевые территории делят на три группы:

а) отличающиеся разнообразием или уникальностью биоты; б) территории, на которых хорошо сохранились естественные ландшафты, имеющие национальную или региональную ценность; в) *преобразованные ландшафты*, имеющие значительную природную и историко-культурную ценность.

Давая оценку последней группе, можно, вероятно, отнести к ней и хорошо залесенные отвалы, на которых за долгие годы сформировалось большое видовое разнообразие уникальной флоры и фауны, представляющие поэтому большой интерес для науки. Примером таких отвалов являются терриконы 1-2 и 11 шахты «Смолянка» в Донецке, облесенные в 1969-1970 гг.

сотрудниками кафедры лесных культур УСХА (ныне Национальный университет биоресурсов и природопользования), а также облесенные сотрудниками Луганского аграрного университета и Института охраны почв отвалы шахты М.Л. Рухимовича (г. Лисичанск) и шахты им. XIX партсъезда (п. Сутоган Перевальского района Луганской обл.).

Очень важным, на наш взгляд, является п. 2 «Рекомендаций...» [86], по которому в Степной зоне, где естественный растительный покров почти полностью уничтожен, предписывается включать в экосеть *«каждый участок с растительностью, близкой к естественной»*. Выбор ключевых территорий рекомендуется осуществлять с учетом не только современного состояния биоты, а и *возможностей ее восстановления* в будущем.

Это указание говорит в пользу включения в экосеть отвалов как с достаточно, так и недостаточно развитым растительным покровом – с перспективой их естественного и искусственного облесения и залужения.

Главным критерием выбора территории под *экологический коридор* согласно [86] является возможность обеспечения ею миграционной функции. Задачей экокоридоров является, в частности, служить укрытием для животных. Они должны иметь места, *пригодные для отдыха и питания мигрирующих животных*. По территориальной целостности различают сплошные и *островные* экокоридоры. Возобновление экологических связей между природными территориями может осуществляться как естественными, так и искусственными путями – посадкой леса, залужением прибрежных полос вдоль рек и т.п. [86].

Восстановительные территории создаются в составе экосети с целью последующего ее развития. Это потенциальный резерв, за счет которого возможно увеличить в будущем площадь ключевых и соединительных территорий. К ним относятся территории, на которых *«необходимо и возможно возобновить естественный растительный покров»*, осуществить репатриацию видов растений и животных [86].

Более того рекомендации указывают, что в состав восстановительных

территорий экосети включаются, кроме прочих, территории деградированных участков, такие как карьеры и *породные отвалы*.

Последнее указание напрямую свидетельствует, что предложение о включении терриконов в региональную или местную экосеть имеет законные основания на реализацию.

Анализируя все вышеизложенные критерии выбора структурных элементов экосети, можно заключить, что восстанавливаемые территории не единственно возможный статус терриконов в экосети. Также они могут служить как интерактивные участки экокоридоров, а при надлежащем научном обосновании, вероятно, и как ключевые территории или интерактивные участки ключевых территорий. Для определения статуса нужна соответствующая система критериев.

Примером региональной экологической сети является экологическая сеть Луганской области, разработанная НИИ прикладной экологии ВНУ им. В. Даля в рамках Региональной целевой программы развития экологической сети Луганской области на 2010-2020 гг., утвержденной решением областного совета от 3.12.2009 г. № 32/19 [87]. На рис. 4.3. показана ее концептуальная схема.

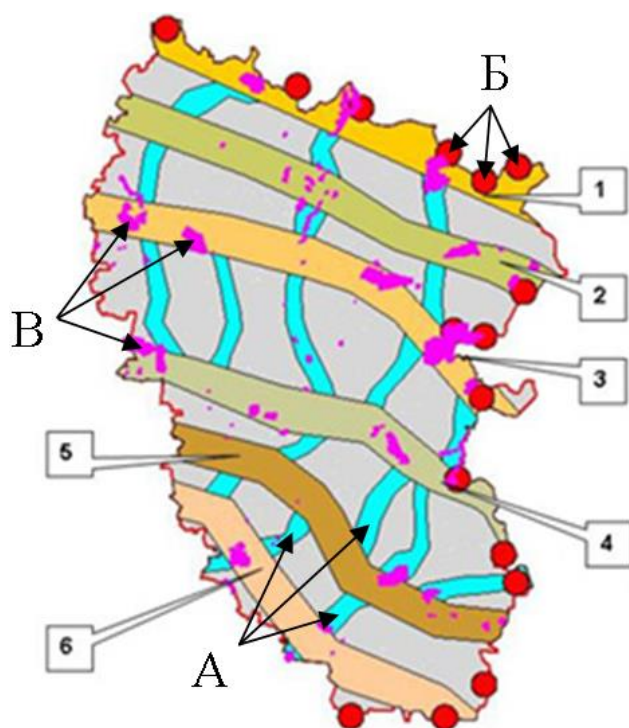


Рис. 4.3. Концептуальная схема экосети Луганской области [87]

А – меридиальные экологические коридоры, расположенные по долинам рек;
Б – межгосударственные ключевые территории;
В – естественно-заповедные территории

Коридоры экологической сети Луганской области расположены в соответствии с широтными коридорами Национальной экосети Украины: Галицко-слободскому национальному экокоруидору соответствуют:

1 – Троицко-Меловской, 2 – Покровско-Беловодский, 3 – Сватовско-Городищанский; Северскодонецкому национальному экокоруидору: 4 – Северскодонецкий; Степному национальному экокоруидору соответствуют: 5 – Северо-Донецкий; 6 – Южно-Донецкий и меридиальные экологические коридоры, расположенные по долинам рек.

Как видим, региональная экосеть, как и национальная, не производит впечатление достаточной густоты экокоруидоров.

По мнению В.П. Форощука, площадь коридоров и ядер экосети Луганской области должна составлять 1572,8 тыс. га [88]. Но на данный момент земли природно-заповедного, лесного, водного фондов, оздоровительного, рекреационного и историко-культурного назначения, деградированные земли, пастбища и сенокосы составляют 71,4% от требуемой площади [88].

Поэтому недостающие в экосети Луганской области площади нами предлагается восполнить путем использования поверхности отвалов угольных шахт, выведенных из эксплуатации [89, 90].

Анализ разработанной схемы (рис. 4.1) позволяет сделать очень важный вывод: предлагаемый комплекс мероприятий делает терриконы практически готовыми структурными элементами экосети, поскольку способствует не только их охранной функции для животных, птиц и растительных видов, но функции миграционной, привязывая отвалы к экологическим коридорам.

Таким образом, включение породных отвалов угольных в схему региональной экосети способно способствовать как формированию более полной и разветвленной экосети в условиях Донбасса, так и резкому снижению их экологической опасности.

Идея использования отвалов горнодобывающей промышленности в составе структурных элементов региональной экологической сети впервые

была высказана А.Г. Шапарем в 2004 г. [91]. Позднее, в 2005 году, Л.Г. Зубова с соавторами исследовала возможность использования терриконов как объектов национальной экосети путем расселения на частично рекультивированном отвале шахты «Центральная» ш/у «Луганское» краснокнижных видов растительности [92].

В последние годы возник ряд предложений по созданию местной экологической сети г. Донецка [93-95], который отличается наибольшим в Донбассе количеством шахтных отвалов в городской черте. Не горящих, пригодных к использованию в качестве восстанавливаемых территорий отвалов здесь 48. В качестве экокоридоров планируется использовать гидрографическую сеть Донецка, представленную р. Кальмиус с притоками и 4 малыми реками – Бахмутка, Дурная, Богодухова, Осоковая. Использование речных долин в качестве экокоридоров НЭС предлагается и в работе [96].

Однако в приведенных литературных источниках не рассматриваются технические аспекты привязки отвалов к сети речных экокоридоров. В Донбассе, где многие отвалы находятся в черте населенных пунктов, этот вопрос требует поиска своего решения. Актуальность вопроса поясняется и результатами исследований С.Г. Воробьева [7], из которых следует, что только 9% отвалов находятся в непосредственной близости от элементов речной сети, 34% отдалены от них на расстояние до 500 м, остальные 57% отдалены более чем на 500 м.

Согласно работам [97] и [86], структурные элементы местной экосети должны быть привязаны к единой системе координат с отражением названия, площадей, границ. Исходя из этого, *если использовать в качестве дополнительных территорий отвалы угольных шахт, необходимо иметь географические координаты, площади и границы всех терриконов области.*

Далее представляем обобщенное схематическое описание существующей последовательности создания региональной или местной экосети для условий Донбасса и новое предлагаемое звено (рис. 4.4).



Рис. 4.4. Место предлагаемой экспертной системы в создании Национальной экологической сети

Существующая система:

- разработка проекта (схемы) областной экосети на основании принятых в 2004 гг. закона и рекомендаций [81, 85, 86];
- вынос специалистами-землеустроителями проекта в натуру;
- осуществление мероприятий по созданию экосети.

Новое предлагаемое звено имеет такие составляющие:

- теоретическое (научное) обоснование использования поверхности отвалов угольных шахт как дополнительных площадей для создания локальной экосети Луганской области;
- экспертная оценка экологической опасности терриконов и их пригодности к использованию в составе НЭС с выбором пригодных, условно пригодных и непригодных объектов;
- разработка мероприятий для повышения пригодности условно пригодных объектов и снижения экологической опасности непригодных к использованию в составе НЭС;
- вынос специалистами-землеустроителями проекта локальной экосети с включенными поверхностями отвалов угольных шахт в натуру;
- осуществление мероприятий по созданию экосети.
- мониторинг экологических результатов осуществления мероприятий

4.3. Обоснование технической возможности использования отвалов угольных шахт в экологической сети

Проблемой для создания местных экологических сетей в густонаселенных промышленных районах степной зоны является недостаточное количество участков с естественной древесной и травянистой растительностью. А имеющиеся лесные участки по причине близкого расположения селитебных территорий испытывают большую рекреационную нагрузку, характеризуются различной степенью деградированности и поэтому не являются надежным убежищем для животных и птиц. На участках со степной растительностью нет условий для сохранения ценных видов растительности по причине сбора населением и выпаса скота. Именно

поэтому целесообразным является использование здесь в качестве элементов местной экосети поверхности породных отвалов.

Техническая возможность создания местной экосети рассмотрена нами в работе [90] на примере участка территории Первомайского района Луганской области, показанном на рис. 4.5.



Рис. 4.5. Формирование местной экологической сети с использованием терриконов [90]

На участке площадью 967 га, окаймленном жилой застройкой городов Первомайск, Кировск, Теплогорск и Стаханов, имеются такие участки: 1 – обособленный лесной массив – природное ядро площадью 296 га; 2 – река Лугань с притоками (3), выполняющая функцию сети экологических коридоров, связывающих территорию с крупнейшим экологическим коридором восточной части Украины – долиной реки Северский Донец. На участке имеются 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 двух из них (9 и 10).

Вовлечение отвалов в местную экосеть осуществляется таким образом

(рис. 4.4). Активизируют самозарастание и выполняют искусственное облесение терриконов 4-10 по одному из известных способов, например, по [98-100], а также высаживают кустарниковую растительность в сочетании с залужением в виде полос шириной 30-50 м в ложине 11 между отвалом 4 и р. Лугань 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 посадкой кустарников придает участкам 11 и 12 свойства экологических коридоров, связывающих новые природные ядра 4 – 6 с экологическими коридорами в виде долины р. Луганки и поймы р. Северский Донец. Площадь облесенных участков увеличится с 30% до 38,4%,8 , т.е. на 8,4% или на 75 га. Дополнительная площадь является особо ценной для сохранности представителей дикой флоры и фауны в непосредственной близости от населенных пунктов, 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.

Как видим в приведенном примере, экологическими коридорами здесь являются долины рек, протекающих поблизости от терриконов. Однако, как было раньше указано, только 9% отвалов в Луганской области находятся в непосредственной близости с речной сетью. На это имеются объективные причины. По запасам водных ресурсов Луганская область относится к недостаточно обеспеченным. Водные ресурсы области – это прежде всего 96

рек общей протяженностью 3173,5 км, в том числе одна большая – Северский Донец, семь средних – Айдар, Деркул, Лугань, Красная, Полная, Кундрючья, Миус и 88 малых. Плотность речной сети в Луганской области равна 0,12 км/км² [101]. При площади области 26517 км² это означает, что средняя удаленность рек друг от друга равна 8,33 км. Этого явно недостаточно для использования элементов речной сети для использования в качестве коридоров, как это часто предлагается. Расчленение территории всей гидрографической сетью в Луганской области – балочной и речной варьирует от 0,85 до 1,7 км/км² [101]. Удаленность элементов гидрографической сети при этом равна 1,18- 0,59 км. Это в 7-14 раз меньше, чем взаимная удаленность только элементов речной сети.

Следовательно, можно сделать предложение о включении в схемы местных экологических сетей в качестве экокоридоров имеющейся балочной сети. Балочная сеть имеет повсеместное распространение в Донбассе и характеризуется наличием луговой и древесной растительности, которая может служить достаточным укрытием для обитающих и мигрирующих животных.

Анализ большого количества космических фотоснимков породных отвалов подтвердил правомерность этого предложения. Например, на космическом фотоснимке территории к юго-востоку от Алчевска (рис. 4.6) отчетливо видно, что балочная сеть отличается от прилегающей территории более темным зеленым цветом, присущим древесной растительности.

Балочная сеть характеризуется намного большей разветвленностью, чем речная, однако и она не всегда расположена достаточно близко от породных отвалов. В этом случае для связи отвалов с экокоридорами необходимо использование более мелких элементов первичной гидрографической сети – лощин и ложбин, как было показано на рис. 4.5. Как было отмечено ранее, ложбины всегда присутствуют рядом с отвалами или отходят прямо от них.



Рис. 4.6. Терриконы как потенциальные ядра и балочная сеть как экологические коридоры местной экологической сети

4.4. Обоснование системы возможных решений для управления экологической безопасностью терриконов путем их включения в схему экологической сети и критериев их принятия

Исходя из правовой предопределенности [86] места породных отвалов в экологической сети как восстанавливаемых территорий в экосеть, на наш взгляд, могут быть включены все негорящие отвалы. Горящие и предрасположенные к возгоранию отвалы могут быть охарактеризованы как «непригодные» к включению в экосеть, хотя со временем этот статус может измениться. Все остальные отвалы являются «пригодными», но, в отличие от других территорий, получающих статус «восстанавливаемых», должны как можно скорее подвергнуться озеленению, поскольку являются источником повышенной экологической опасности.

Учитывая ограниченность бюджетных средств, которые могут быть затрачены на облесение отвалов, необходимо иметь предельно тщательно обоснованную последовательность начала озеленительных работ с учетом:

1) степени готовности отвалов к вовлечению в экосеть, зависящей от степени залесенности отвала, делающей их либо сразу готовыми к вовлечению в нее со статусом более высоким, чем «восстанавливаемые (резервные) территории», либо с временным статусом последних, которые назовем поэтому «условно готовыми» (к более высокому статусу); 2) экологической опасности отвалов и актуальности ее снижения путем облесения или использования других мероприятий; 3) необходимости создания экокоридоров для связывания отвалов с местной экологической сетью.

Решение всех этих вопросов требует, во-первых, наличия источников получения достаточной и достоверной информации об отвалах и состоянии их поверхности (мониторинг экологического состояния территории), во-вторых, методологической базы обработки этой информации; в-третьих, четкой системы всех возможных вариантов принимаемых решений; а в-четвертых, методической базы для принятия решений проектировщиками.

Система последовательных решений по управлению экологической безопасностью терриконов путем их использования как объектов национальной экосети может включать такие блоки:

I) отнесение террикона к одной из трех предложенных категорий по степени возможности их вовлечения в проектируемую экосеть: «пригодный», «условно пригодный», «непригодный»;

II) оценка необходимости проведения дополнительных работ для привязки пригодных и условно пригодных отвалов как ядер экосети к остальным элементам проектируемой и существующей экосети и экокоридоров: «да» или «нет»;

III) выбор состава работ для привязки отвала как ядра экосети к экокоридорам (варианты: создание древесных, кустарниковых лесных полос и лесных насаждений впритык к отвалам, создание насаждений на дне ложбин и лощин или их залужение);

IV) ранжирование «условно пригодных» отвалов по очередности вовлечения в экосеть путем лесомелиорации – в зависимости от степени их облесенности (главный признак) и необходимости привязки к сети

экокоридоров (дополнительный признак), обуславливающих различную затрату средств, и от степени их опасности, обуславливающей получаемый экологический эффект (предотвращенный экологический ущерб);

V) выбор мероприятий для снижения опасности непригодных к вовлечению в экосеть терриконов (тушение горящих – полное или очаговое, создание ловчей траншеи, совмещенной с валом, у подножия террикона или гидротехнических противоэрозионных сооружений в ложбинах стока);

VI) выбор схемы оптимального размещения лесных насаждений на терриконах с целью минимизации затрат («полное» или «частичное» облесение; если «частичное», то выбор высотного яруса для размещения насаждений или схемы чередования облесенных и необлесенных участков).

Предлагаемые критерии принятия решений по вышеназванным блокам:

Блок I

1. Критерием непригодности террикона к использованию в экосети является наличие горящих участков.

2. Основным критерием полной пригодности терриконов к вовлечению в экосеть является их облесенность выше устанавливаемого экспертом предела (ориентировочно не менее 50-80%), дополнительным – наличие связи хотя бы с одним экологическим коридором.

3. Критерием условной пригодности является облесенность не ниже установленного предела (ориентировочно 50-30%).

Блок II. Критериями необходимости привязочных работ являются:

1. Отсутствие ближе устанавливаемого экспертом предела (ориентировочно 20-50 м) элементов, способных выполнять функции экокоридоров: лесных полос или насаждений (кроме плодовых); залуженных или закустаренных ложбин, лощин или отвершков балок; крутосклонов, предназначенных под облесение; пашни, выводимой под залужение).

2. Отсутствие растительности в примыкающих к отвалам ложбинах.

Блок III. Критериями выбора состава привязочных работ являются:

1. Вид потенциально пригодных к использованию элементов ландшафта.

2. Наличие сельскохозяйственных угодий, нуждающихся в дополнительных полевых защитных или противоэрозионных насаждениях.

3. Наличие ложбин, нуждающихся в залужении или размещении в них кольматирующих лесонасаждений.

4. Возможность получения экологического и экономического эффекта от мероприятий.

Блок IV. Критерием присвоения ранга очередности вовлечения в экосеть условно пригодных отвалов должен стать комплексный показатель эколого-экономической эффективности, учитывающий затраты на их облесение и (как дополнительный признак) затраты на привязку отвалов к сети экокоридоров, а также получаемый экологический эффект от облесения и дополнительно, если он есть, от привязки отвалов к сети экокоридоров в виде предотвращенных потерь почвы.

Экологический эффект способно дать залужение ложбин, предотвращающее (согласно рис. 4.1) распространение загрязнителей по полю и сокращающее вынос мелких частиц породы в водоемы.

Блок V. Критерий – максимальный эколого-экономический эффект создаваемых сооружений.

Блок V.

1. Критерием выбора яруса для размещения сплошных насаждений является минимизация экологического ущерба от загрязнения продуктами ветровой эрозии в наиболее уязвимых зонах прилегающей к отвалам территории. Расчет ущерба осуществляется с помощью «функции отклика» снижения плотности загрязнения на различном расстоянии от террикона на увеличение степени облесенности того или иного его яруса. Функцию отклика можно получить на основании разработки математической модели процесса загрязнения территории продуктами ветровой эрозии.

2. По аналогии с полевосаженными лесными полосами для экономии средств предлагается размещать насаждения на терриконе полосно. Для снижения водной эрозии лучше располагать лесные полосы в несколько рядов поперек склона на террасах или микротеррасах. Для снижения выноса загрязняющих частиц ветром будет достаточно высадка деревьев одиночными рядами вдоль склона – в промоинах. Возможно сочетание поперечносклонового и вдольсклонового размещения рядов деревьев с оставлением квадратных полей между ними.

Список критериев может быть расширен, допускается и индивидуальный экспертный подход к каждому отвалу.

Для помощи проектировщикам в принятии наиболее правильных,

объективных и экономичных решений из числа предложенных на основании разработанной системы критериев необходима экспертная система.

В обобщенном виде ее структуру можно представить так:

1. Блок получения необходимой информации об объекте;
2. Блок обработки информации, оценки степени пригодности отвала к вовлечению в экосеть и выбора дополнительных мероприятий для этого;
3. Блок оценки экологической опасности отвалов;
4. Блок подбора необходимых мероприятий;
5. Блок оценки затрат на дополнительные мероприятия;
6. Блок оценки эколого-экономической эффективности затрат на эти мероприятия и ранжирования отвалов по очередности вовлечения в экосеть.

В развернутом виде структура предложенной экспертной системы представлена на рис. 4.7.

Работа эксперта должна заключаться в выборе объекта для его дальнейшего анализа, в запуске программного обеспечения с целью подготовки необходимых данных и их обработки, в выборе мероприятий по вовлечению отвалов в экосеть, поскольку эта ответственная работа (блок 4) полностью зависит от профессиональной подготовки эксперта.

Первоочередной процедурой для ранжирования отвалов (блок 6) является оценка экологической опасности отвалов (блок 3), необходимая для расчета эколого-экономической эффективности мероприятий по вовлечению отвалов в экосеть. Она может быть оценена по массе загрязнителей, выносимых с отвалов в результате эрозии и дефляции, а также по характеру распределения загрязнителей по территории.

Оценка эколого-экономического эффекта мероприятий должна осуществляться на основании стандартной методики на основании составления технологических карт с учетом действующих нормативов затрат на земляные и облесительные работы и нормативов оценки экологического ущерба от действия различных видов загрязнителей на различные элементы ландшафта. Назначение экспертной системы в этом – количественная оценка объемов озеленительных работ и помощь в правильной оценке состояния поверхности отвала и наличия связи с существующей экосетью.

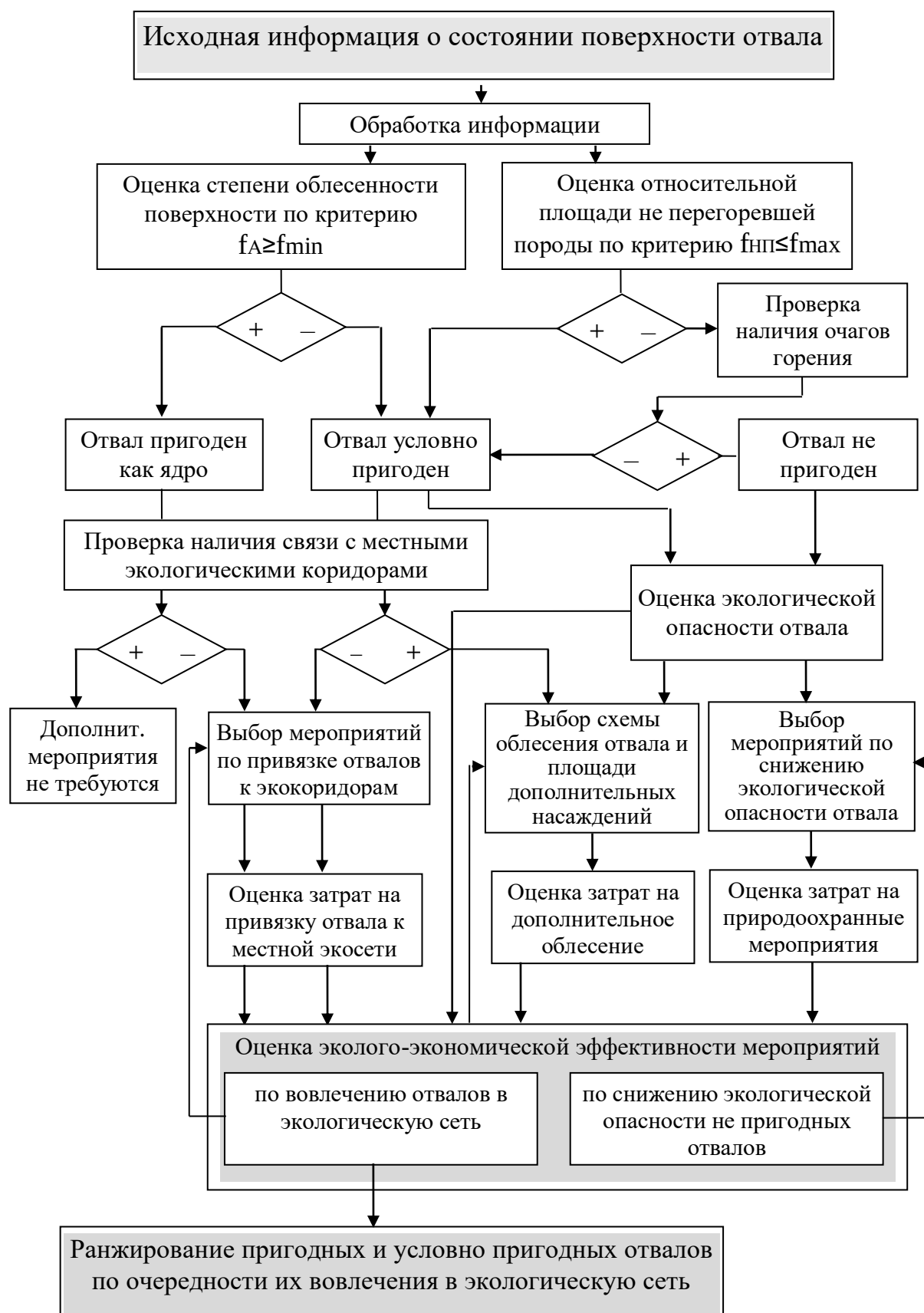


Рис. 4.7. Блок-схема системы экспертных решений по управлению экологической безопасностью терриконов путем их использования как объектов Национальной экологической сети и критериев их принятия

4.5. Разработка алгоритма распознавания аэрокосмических снимков для получения информации об экологическом состоянии терриконов

Начальным этапом оценки терриконов как объектов НЭС является получение информации о степени облесенности и относительной площади участков с неперегоревшей породой. Источником такой информации могут быть аэрокосмические снимки. Для их компьютерного распознавания был разработан специальный алгоритм, аналогом которого явился способ оценки поверхности почв путем сравнения фототонов (яркости) трех аддитивных цветов изображения по 256-уровневой цветовой шкале RGB с эталонными снимками, предложенный С. Г. Воробьевым [7, 102]. Для повышения точности распознавания в качестве признаков идентификации нами были предложены коэффициенты относительной яркости цветов (K_R , K_G и K_B), получаемые путем деления фототонов на их среднее арифметическое.

Первым этапом предложенного алгоритма, основанного на применении нового комплекса известных программных продуктов, является получение фотоснимка террикона с помощью программного сервера Google Earth. Для облегчения поиска нужного отвала нами была составлена база данных о координатах 280 терриконов. Эта работа осуществлялась с использованием электронных топографических карт угледобывающих районов Луганской области масштаба 1:100000. Карты открывали с помощью программы OziExplorer, терриконы отыскивали на них визуально. Путем наведения курсора были получены координаты их центра. Предварительно карты были откалиброваны, т.е. привязаны к системе географических координат, используя программу OziExplorer (рис. 4.8 – 4.10).

Координаты центра террикона позволяют с помощью программы «Google Earth» найти их на соответствующем космическом снимке и получить космические снимки отвала с прилегающей территорией или без нее.

Фрагмент базы данных о координатах терриконов показан в табл. 4.1.

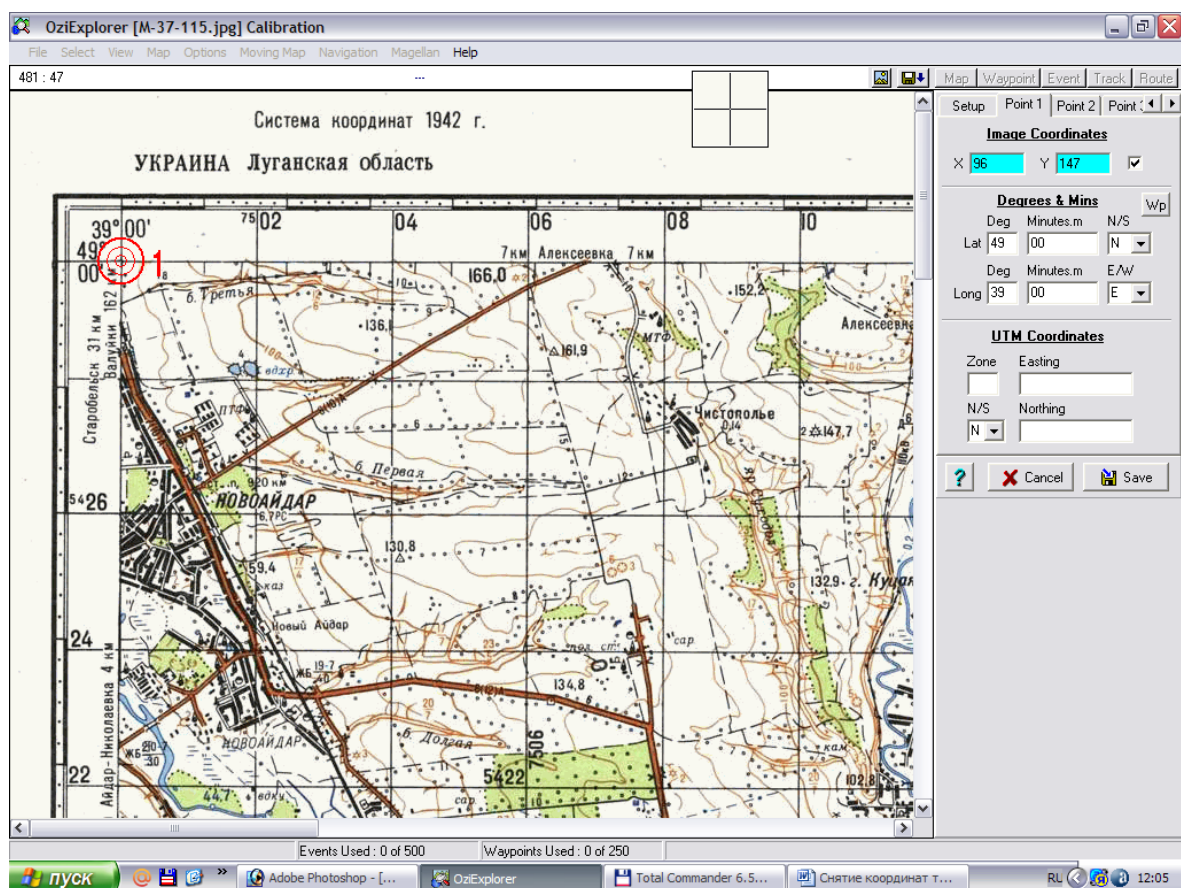


Рис. 4.8. Калибровка топографической карты

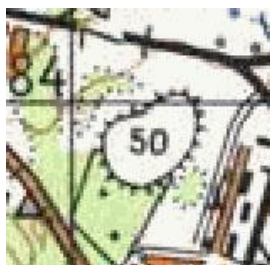


Рис. 4.9. Вид террикона на топографическом плане

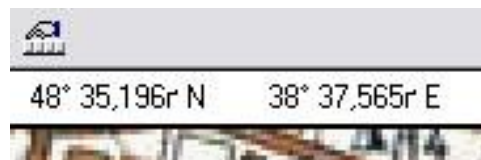


Рис. 4.10. Отображение координат террикона

После получения космического снимка отвала с помощью программы Adobe Photoshop осуществляется преобразование полученного изображения в три монохромные изображения красного (R), зеленого (G) и голубого (B) цветов, а затем в дополнение к прототипу происходит преобразование монохромных изображений в цифровые матрицы с использованием программы TNT. Полученные матрицы преобразуются в таблицы Microsoft Excel, что позволяет выполнить с ними математические действия, в результате которых получаются матрицы коэффициентов k_R , k_G , k_B и

производится сравнение полученных коэффициентов с граничными значениями.

Таблица 4.1

Географические координаты терриконов Луганской области

п/п №	Координаты центра, градусы и минуты		Высота террикона Н, м	п/п №	Координаты центра, градусы и минуты		Высота террикона Н, м
	широта	долгота			широта	долгота	
1	2	3	4	1	2	3	4
Карта М 37 – 101 «Рубежное»				Карта М 37 – 127 «Луганск»			
1	49°00,703	38°17,548	20	1	48°33,008	39°15,269	20
2	49°00,224	38°23,872	-	...	...	...	...
Карта М 37 – 113 «Лисичанск»				6	48°24,569	39°08,036	-
1	48°58,718	38°18,110	82	Карта М 37 – 128 «Суходольск»			
...	...	...	...	1	48°23,710	39°39,542	15
8	48°42,564	38°29,221	23	...	...	...	...
Карта М 37 – 114 «Золотое»				5	48°23,058	39°44,588	-
1	48°56,000	38°37,940	-	Карта М 37 – 138 «Красный Луч»			
2	48°44,495	38°38,224	30	1	48°19,719	38°33,839	50
Карта М 37 – 125 «Артемовск»				2	48°17,329	38°35,570	35
1	48°33,798	38°00,346	-	...	...	...	...
3	48°32,232	38°23,395	-	42	48°00,762	38°43,370	40
...	...	...	...	Карта М 37 – 139 «Антрацит»			
8	48°21,003	38°04,862	-	1	48°17,867	39°02,389	15
Карта М 37 – 126 «Стаханов»				...	...	...	...
1	48°39,654	38°38,271		9	48°01,761	39°19,508	-
2	48°39,125	38°37,077		Карта М 37 – 140 «Свердловск»			
...	...	...	...	1	48°19,954	39°43,152	50
142	48°21,773	38°45,732	20	...	...	...	...
				14	48°01,379	39°55,343	12

Путем автоматизированного решения системы неравенств получают матрицу баллов, соответствующих тем или иным количественным или качественным признакам. Далее ячейки таблицы автоматически окрашиваются в различные цвета, и она визуализируется на экране в виде картограммы, на которой ячейки с одинаковым значением признака сливаются в единые контура, а площадь одинаковых контуров определяется автоматически путем подсчета числа ячеек с одинаковым баллом.

Предварительно с помощью программы Adobe Photoshop были проведены исследования космических снимков ряда терриконов. Путем

наведения точечного курсора на произвольные точки 82-х характерных участков трех видов (участков с растительным покровом зеленого цвета различных оттенков; участков с перегоревшей породой, имеющих различные оттенки красного, желтого, бурого цветов; и участков с неперегоревшей породой с оттенками серого цвета) были установлены интервалы варьирования коэффициентов фототонов цветов каждого из трех характерных состояний поверхности. Анализ непересекающихся частей интервалов позволил установить, что участки с перегоревшей породой различных оттенков распознаются двумя условиями $K_R \geq 1,05$ $K_G < 0,97$; участки с неперегоревшей породой тремя: $K_R < 1,1$; $K_G < 1,03$; $K_G \geq 0,97$, участки с различными видами растительности одним условием: $K_G \geq 1,03$.

Эти условия, занесенные в алгоритм, позволяют преобразовать исходное изображение отвала в картограмму (рис. 4.11), на которой участки с перегоревшей породой окрашены красным цветом, облесенные – зеленым цветом, а участки с неперегоревшей породой – серым (в черно-белом воспроизведении рисунка это соответственно три градации серого цвета от более темного оттенка к более светлому).

Теперь представляется возможным автоматизированно осуществить подсчет количества зеленых, красных и серых ячеек в числовом и процентном видах (рис. 4.12).

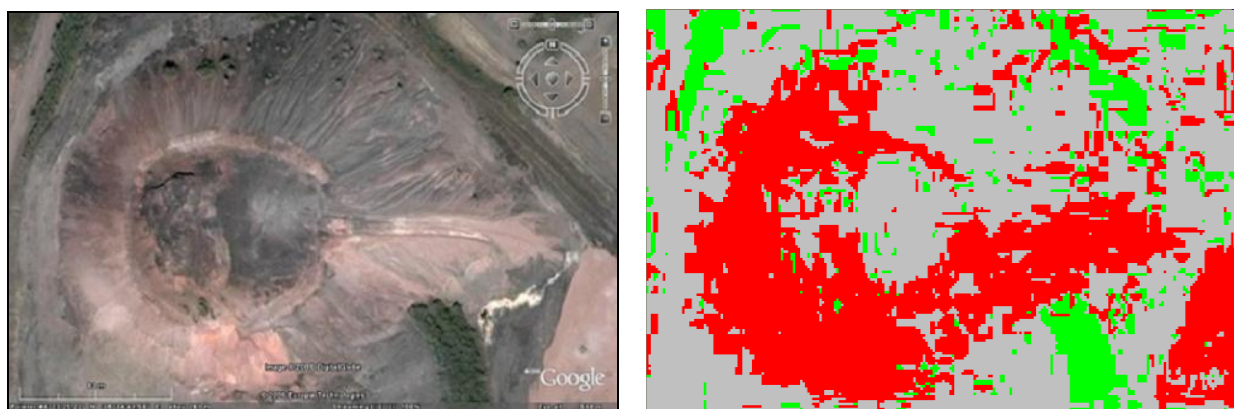


Рис. 4.11. Исходное и преобразованное в картограмму изображения отвала

	A	C	D
1		количество	площадь, %
2	Сумма ячеек окрашенных в зеленый цвет (древесная растительность)	3999	16,53%
3	Сумма ячеек окрашенных в красный цвет (перегоревшая порода)	17951	74,20%
4	Сумма ячеек окрашенных в серый цвет (неперегоревшая порода)	2242	9,27%
5	Сумма ячеек всех цветов	24192	100,00%

Рис. 4.12. Вид итоговой таблицы соотношения площадей характерных диагностических участков

Значение этого расчета состоит в том, что он дает возможность оценить степень защищенности поверхности отвала растительностью, что является составной частью как разработанного алгоритма экспертной системы оценки экологической опасности отвала (рис. 4.7), так и его пригодности к использованию в качестве элемента НЭС.

4.6. Обоснование прикладных подходов к диагностированию теплового состояния поверхности отвалов

Горение отвалов способствует формированию на прилегающей территории особо неблагоприятной экологической ситуации. Кроме того, оно препятствует как самозарастанию отвалов, так и проведению на них озеленительных работ с целью подавления других экологически неблагоприятных проявлений. Для защиты территории от поступления продуктов экологически опасных процессов эрозии и дефляции приходится применять мероприятия не на самом отвале, а у его основания – создание траншеи с валом, которые затрудняют проникновение на него животных и препятствуют функционированию отвалов как элементов экосети.

Очаги горения чаще всего находятся в пределах участков с неперегоревшей породой, которая обычно имеет серый цвет различных оттенков, а сами участки лишены растительности. Соответственно наличие растительности является признаком отсутствия горения породы на участке.

Но нельзя утверждать обратное, что серый цвет отвала свидетельствует о наличии очагов горения на отвале. Их может там и не быть.

Поскольку горение обычно происходит под поверхностью отвала, диагностирование возможного наличия горения в диапазоне видимой части солнечного спектра очень затруднено и практически невозможно.

В НИИГД разработана методика наземного дистанционного контроля теплового состояния породных отвалов с использованием тепловизоров, воспроизводящих инфракрасное изображение объекта на экране и термоизображение на магнитном носителе с дальнейшей его обработкой на ПЭВМ [103]. В зависимости от температуры породы ученые различают три зоны: с температурой пород, превышающей температуру воздуха от 30 до 120°C, от 120 до 260°C и выше 260°C. Кроме наземных методов, для решения задач обнаружения и мониторинга угольных пожаров в Украине разрабатываются методы дистанционного зондирования Земли из космоса [104, 105].

Поэтому одним из видов данных в базе экспертной системы должна быть информация о породных отвалах в виде их снимков в инфракрасном спектре. Эти данные необходимы для определения состояния породных отвалов на предмет их горения (теплового состояния). Известно, что все тела, имеющую температуру выше абсолютного нуля, имеют внутреннюю энергию и излучают ее, следствием чего является уменьшение температуры тела. Участки поверхности террикона с повышенной вследствие горения температурой излучают энергию более активно.

В отличие от излучения отраженной солнечной радиации инфракрасное тепловое излучение характеризуется намного меньшей интенсивностью, поэтому для установления очагов горения на породных отвалах важно иметь космические или наземные снимки, сделанные в строго определенном интервале инфракрасной части спектра, характеризующейся конкретными значениями длины волны. Это необходимо для того, чтобы разогретый участок имел на снимке наибольшую яркость. Поэтому для расчета границ

необходимого интервала спектра были выполнены нижеследующие расчеты, основанные на применении функции Планка и законов Вина [106].

Известно, что произведение абсолютной температуры излучаемого тела T и длины волны λ_M , на которую приходится максимум излучения, есть величина постоянная (закон Вина).

$$\lambda_M T = 2897 \text{ мкм} \cdot \text{К}.$$

Из этой формулы при заданном значении температуры участка поверхности террикона (0, 50, 100, 200, 300°C) рассчитываем длину волны, на которую приходится максимум излучения, а максимальное значение энергии излучения горящих участков – энергии, приходящейся на данную длину, находим по функции Планка.

Задавая следующие значения температуры участков: 0, 50, 100, 200, 300°C и переводя их в значения шкалы Кельвина, мы получили соответствующие значения длины волны λ_M : 10,6; 8,97; 7,77; 6,12; 5,06 мкм.

Для облегчения нахождения границ интервалов был построен вспомогательный график (рис. 4.13) и выведено уравнение, связывающее температуру поверхности участка $t^\circ\text{C}$ и длину волны в микрометрах λ , на которую приходится максимальная плотность энергии излучения:

$$\lambda = 4 \cdot 10^{-5} t^2 - 0,0315 t + 10,526.$$

Таким образом, для получения наиболее ярких снимков очагов горения с температурой от 80 до 300°C нужны снимки, сделанные в инфракрасном диапазоне от 8,3 до 5 мкм. Кроме того, функция позволяет определить температуру наиболее ярких участков по значению середины интервала длины волны съемки.

Известен способ наземной диагностики нагретых участков на поверхности терриконов в зимнее время, основанный на визуально заметном таянии снежного покрова [98]. Поэтому, вероятно, возможно применять для выявления отвалов с очагами горения и обычные космические снимки в видимой части спектра, снятые в зимнее время при наличии снежного

покрова. На разогретых участках снежный покров не будет создавать сплошной покров, или его совсем не будет вследствие таяния.

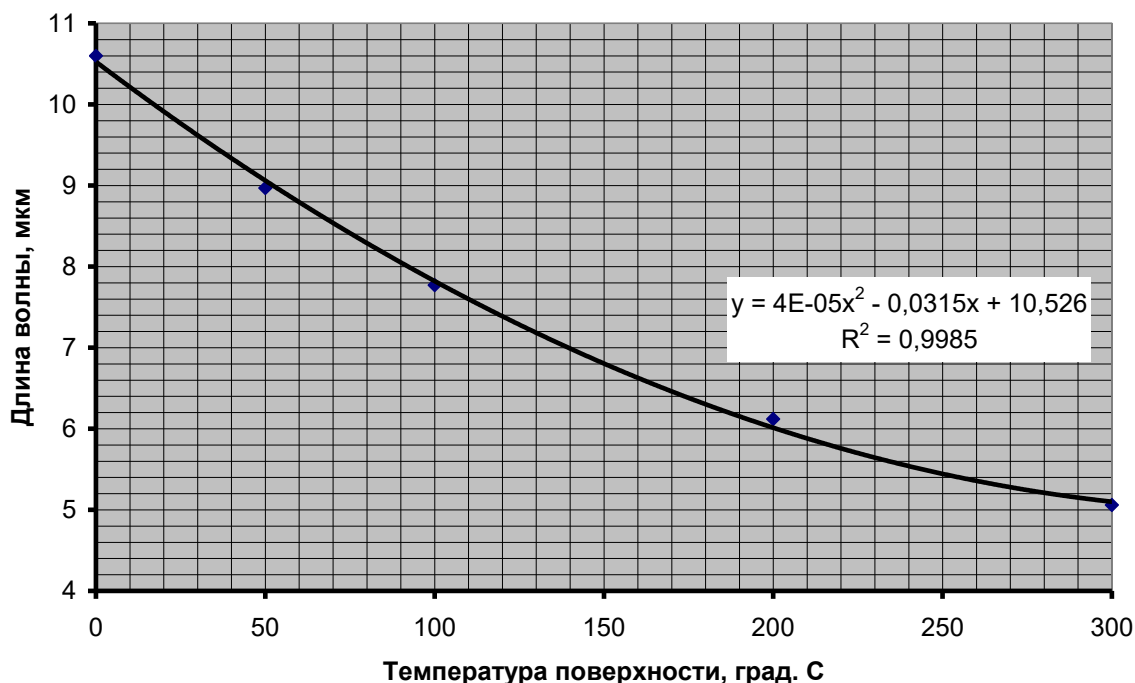


Рис. 4.13. График зависимости длины волны теплового излучения, на которую приходится наибольшая плотность излучения

Выводы по разделу

1. Управление экологическим состоянием отвалов угольных шахт путем проведения предприятиями горнодобывающей промышленности лесной рекультивации поверхности терриконов сегодня почти не осуществляется. Поэтому необходимы новые виды мотивации для решения проблемы повышенной экологической опасности терриконов путем их облесения. Одним из них, помимо создания «киотских» лесов, может стать их вовлечение в структуру региональных и местных экологических сетей, которое предусматривается законодательством, но еще не реализовано в региональных схемах экосети.

2. Вовлечение отвалов в экосеть не должно ограничиваться чисто механическим нанесением их территорий на картосхему экосети, а учитывая

их чрезвычайную экологическую опасность, должно сопровождаться разработкой и незамедлительным внедрением проектов облесения их поверхности и прилегающей территории; причем учитывая большое количество имеющихся отвалов, необходимо с целью наиболее рационального расходования средств установить и наиболее экономически оправданную очередность вовлечения отвалов в экосеть.

3. Для решения многочисленных вопросов, возникающих при разработке региональных схем экосети с участием в их структуре породных отвалов, может быть использована экспертная система, базирующаяся на разработанной блок-схеме системы экспертных решений по управлению экологической опасностью терриконов и критериев их принятия.

4. Для анализа пригодности отвалов угольных шахт в качестве объектов НЭС возможно использование алгоритма распознавания аэрокосмических снимков для получения информации об экологической опасности и безопасности терриконов.

Список использованных источников

- 1.Панов Б.С. Модель самовозгорания породных отвалов угольных шахт Донбасса / Б.С.Панов, Ю.А.Проскурня // Межвузовский научный тематический сборник «Геология угольных месторождений». – Екатеринбург, 2002 - с.274-281.
- 2.Артамонов В. Н., Кузык И. Н. Оценка влияния породных отвалов шахт Центрального Донбасса на окружающую среду / Міжнародна науково-технічна конференція "Сталий розвиток гірничо-металургійної промисловості", 18-22 травня 2004 року. –Кривий Ріг.т.1 - с.351-354.
- 3.Смирный М.Ф. Экологическая безопасность терриконовых ландшафтов Донбасса: Монография / М.Ф. Смирный, Л.Г. Зубова, А.Р. Зубов. – Луганск: изд-во ВНУ им. В. Даля, 2006. – 232 с.
- 4.Заславский М.Н. Эрозиоведение / Заславский М.Н. – М.: Высшая школа, 1983. – 320 с.
- 5.Зубов А.Р. Динамика интенсивности эрозионных процессов на терриконах / А.Р. Зубов, Л.Г. Зубова, С.Г. Воробьев // Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля. – 2009. – № 1 (131). – Ч. 2. – С. 30 – 34.
- 6.Воробьев С.Г. Водная эрозия на терриконах Луганской области / С.Г. Воробьев // Гідрологія, гідрохімія, гідроекологія: матеріали четвертої Всеукраїнської наукової конференції. –Луганськ, 2009. – С. 21 – 24.
- 7.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.
- 8.Патент на корисну модель України № 36884. Спосіб обліку виносу продуктів водної ерозії з териконів / Зубов О.Р., Зубова Л.Г., Воробйов С.Г.; власник СНУ ім. В. Даля. – № u200807071; опубл. 10.11.2008, Бюл. №21.
- 9.Вадюнина А.Ф. Методы исследования физических свойств почв / А.Ф. Вадюнина, З.А. Корчагина. – [3-е изд.]. – М.: Агропромиздат, 1986. – 416 с.
- 10.Домская А.С. Восстановление ландшафтов, сформировавшихся в результате промышленного освоения города Краснодона / А.С. Домская // Прикладна екологія. Збірник наукових праць Східноукраїнського національного університету імені В. Даля. – Луганськ: вид-во СНУ. – 2009. – №1. – С. 53 – 58.
- 11.Зубова Л.Г. Воздействие угольной промышленности на естественные ландшафты Донбасса / Л.Г. Зубова, А.Н. Пахомов // Проблеми ландшафтного різноманіття України: Збірник наукових праць.– К., 2000.– С. 185 – 187.
- 12.Зубова Л.Г. Воздействие горнодобывающей промышленности на подземные и поверхностные воды Донбасса / Л.Г. Зубова , И.В. Бабич // Збірник наукових праць Луганського сільськогосподарського інституту. – 1999. – №4 (11). – С. 47 – 50.
- 13.Поверхневі, підземні та зворотні води. Методика виконання вимірювань водневого показника (рН) електрометричним методом. МВВ № 81/12-0317-06. – Київ: УкрНИИЭП, 2006. – 12 с.

14. Крупномасштабное агрохимическое и радиологическое обследование почв сельскохозяйственных угодий Беларуси: метод. указания / [В.В. Барашенко, И.Д. Шмигельская, М.В. Рак и др.]. – Минск: Хата, 2001. – 60 с.
15. Привезенцев Ю.А. Выращивание рыб в малых водоемах / Привезенцев Ю.А. – М.: Колос, 2000. – 128 с.
16. Санитарные правила и нормы: Гигиенические требования к использованию сточных вод и их осадков для орошения и удобрения. СанПиН 2.1.7.573-96. – М.: Минздрав России, 1997. – 54 с.
17. Почвы. Метод определения ионов сульфата в водной вытяжке. ГОСТ 26426-85. – М.: Изд-во стандартов, 1985. – 7 с.
18. Медведєв В.В. Земельні ресурси України / В.В. Медведєв, Т.М. Лактіонова. – К.: Аграрна наука, 1998. – 148 с.
19. Санитарные правила и нормы охраны поверхностных вод от загрязнения СанПиН № 4630–88. – М.: Минздрав СССР, 1988. – 59 с.
20. Гречка В.А. Результаты измерений радиационной активности отходов угледобывающих предприятий и тепловых электростанций / В.А. Гречка, С.Г. Воробьев // Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля. – 2006. – № 6 (100). – Ч. 2. – С. 109 – 111.
21. Ковда В.А. Почвоведение / под ред. В.А. Ковды, Б.Г. Розанова. – М.: Высшая школа, 1988. – 400 с.
22. Щербина В.В. Основные черты геохимии урана / [В.В. Щербина, Г.Б. Наумов, Е.С. Макаров и др.]; под. ред. А.П. Виноградова. – М.: Изд-во Акад. Наук СССР, 1963. – 352 с.
23. Курс физики: практикум / [Бабич И.Л., Гриценко Ю.И., Мартынюк А.В. и др.]; под. ред. Д.А. Городецкого. – Киев: Вища школа, 1992. – 399 с.
24. Воробьев С.Г. Определение удельной гамма-активности пород шахтных отвалов / С.Г. Воробьев, В.Г. Кудленко // Вісник Кременчуцького державного політехнічного університету імені Михайла Остроградського. – 2008. – № 6/2008 (53). – Ч. 1. – С. 120 – 123.
25. Воробьев С.Г. Радиационный фон отвалов некоторых угольных шахт Луганской области / С.Г. Воробьев, С.В. Креденцер, В.Г. Кудленко // Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля. – 2009. – № 8 (138). – Ч. 2. – С. 35 – 38.
26. Атомно-емісійний спектральний аналіз проб гірських порід, ґрунтів та вугілля. Методика виконання вимірювання масової частки хімічних елементів способом поперемінного фотографування спектрів. МВВ 41-10-003-2003. – Київ: Геометрологія, 2003. – 22 с.
27. Воробьев С.Г. Влияние отвалов угольных шахт на экологическое состояние водоемов и рек в Луганской области / С.Г. Воробьев, А.Р. Зубов // Вода – источник жизни на Земле: сб. ст. II Всеукр. молод. научн. конф. – Луганск, 2008. – С. 33 – 36.
28. Кузнецов М. С. Эрозия и охрана почв : учебник, 2-е издание/ Кузнецов М. С., Глазунов Г. П. – М.: МГУ «Колос», 2004. – С. 168–169.
29. Патент на корисну модель України № 53815 Аеродинамічна установка для моделювання процесу вітрової ерозії ґрунтів та гірських порід , Бюл. № 20,

25.10.2010 р.

30. Кузнецов М. С. Эрозия и охрана почв : учебник, 2-е издание/ Кузнецов М. С., Глазунов Г. П. – М.: МГУ «Колос», 2004. – С. 168–169.
31. Chepil W.S. Dynamics of wind erosion: III The transport capacity of the wind. - Soil Sci., 1945, v. 60, № 6, - p.475-480.
32. Глазунов Г.П. Теория ветровой эрозии почвы : автореф. дис. на получение науч. степени докт. биол. наук : спец. 03.00.27 «Почвоведение» / Глазунов Г.П. – Москва, 2004. - 36 с.
33. Смирнова Л.Ф. Ветровая эрозия почв / Л.Ф.Смирнова.- М.: Изд-вл Моск. ун-та, 1985.- 136 с.
34. Васильев Ю.И. Противодефляционная устойчивость почв Северного Кавказа / Ю.И.Васильев.- Волгоград, 1997.- 188 с.
35. Волкова Ю.В. Скорость начала трогания и транспорт частиц грунта при ветровой эрозии почв : автореф. дис. на получение науч. степени канд. техн. наук : спец. 06.01.02 «Мелиорация, рекультивация и охрана земель»/Волкова Ю.В.-С.-Петербург, 2002.- 16 с.
36. Прогноз возможных потерь почвы от ветровой эрозии в Степной зоне Украины / Методические указания [Можейко Г.А. и др.].– Харьков: Институт почвоведения и агрохимии им. А.Н.Соколовского, 1993. – 84 с.
37. Атлас природных условий и естественных ресурсов Украинской ССР. – Гл. Управление геодезии и картографии при Совмине СССР. – М., 1978.
38. Мышкис А.Д. Элементы теории математических моделей / Мышкис А.Д. – М.: КомКнига, 2007. – 192 с.
39. Іваненко О.Г. Математичне моделювання гідроекологічних систем / Іваненко О.Г. – Одеса.: Екологія, 2007. – 144 с.
40. Митрофанов А. Полеты в струе и наяву / А. Митрофанов // Квант. – Москва, 1991. – № 9. – С. 2–10.
41. Ступин А.Б., Аревадзе И.Ю. Оценка геодинамического состояния, прогнозирование и управление геоэкологической безопасностью породных отвалов/ Вісник СумДУ. Серія «Технічні науки», №2 2008 с. 106-109.
42. Загрязнение атмосферы: Проблемы круговорота углерода в эколого-экономических системах [Электронный ресурс] / БГ-Знание.Ру. - Электрон. дан., 2011.- Режим доступа: <http://bg-znание.ru/article.php?nid=33601>, свободный. – Загл. с экрана.
43. Лось Н.М. Лісові екосистеми центрального полісся в контексті запобігання зміни клімату / Н.М. Лось // Науковий вісник НЛТУ України: Збірник наукових праць.– 2010.– Вип. 20.1 – С. 47-51.
44. Киотский Протокол к Рамочной Конвенции организации объединенных наций об изменении климата, 1998. – 26 с.
45. Листопад О. Лесное право на Украине и возможности общественности в охране леса / О. Листопад // Лесной бюллетень. – 2000. – № 15, сентябрь. – С. 18-21.
46. Бобко А. Лесопользование: социальная необходимость и экологическая целесообразность / А. Бобко // Экономика Украины. – 2001, №3.- С.75-81.

- 47.Звіт про стан навколишнього природного середовища Луганської області у 2006 році / Державне управління охорони навколишнього природного середовища в Луганській області. – Луганськ, 2007. – 184 с.
- 48.Сибирский экологический центр. Степная программа: Международная угроза степям России [Электронный ресурс]. – Электрон. дан., 2009. - Режим доступа: <http://sibecocenter.ru/stepbull.htm?articleID=73>, свободный. – Загл. с экрана.
- 49.Весел Н.Н. Усовершенствование технологии открытых горных работ в режиме землесбережения / Н.Н. Весел, Е.Н. Мормуль. – Днепропетровск: Наука і освіта, 2008. – 268 с.
- 50.Аллометрические уравнения для фитомассы по данным деревьев сосны, ели, березы и осины в европейской части России / А.И. Уткин, Д.Г. Замолотчиков, Т.А. Гульбе, Я.И. Гульбе // Лесоведение. – 1996. - № 6. – С. 36-46.
- 51.Определение запасов углерода насаждений на пробных площадях: сравнение аллометрического и конверсионно-объемного методов / А.И. Уткин, Д.Г. Замолотчиков, Г.Н. Коровин и др. // Лесоведение. – 1997. - № 5. – С.51-65.
- 52.Уткин А.И. Методы определения депонирования углерода фитомассы и нетто-продуктивности лесов (на примере республики Беларусь) / А.И. Уткин, Д.Г. Замолотчиков, А.А. Пряжников // Лесоведение. – 2003.- № 1. – С. 48-57.
- 53.Замолотчиков Д.Г. Коэффициенты конверсии запасов насаждений в фитомассу для основных лесобразующих пород России / Д.Г. Замолотчиков, А.И. Уткин, О.В. Честных // Лесная таксация и лесоустройство. – 2003. – Выпуск 1(32). – С. 119-127.
- 54.Замолотчиков Д.Г. Показатели конверсии запасов насаждений в первичную продукцию для основных лесобразующих пород России / Д.Г. Замолотчиков, А.И. Уткин, О.В. Честных // Лесная таксация и лесоустройство. – 2003. – Выпуск 1(32). – С. 128-130.
- 55.Замолотчиков Д.Г. Конверсионные коэффициенты фитомасса/запас в связи с дендрометрическими показателями и составом древостоев / Д.Г. Замолотчиков, А.И. Уткин, Г.Н. Коровин // Лесоведение. – 2005. – № 6. – С. 73-81.
- 56.Щепашенко Д.Г. Биологическая продуктивность и бюджет углерода лиственных лесов северо-востока России / Д.Г. Щепашенко, А.З. Швиденко, В.С. Шалаев.– М.: Изд-во Моск.гос.ун-та леса, 2008.– 296 с.
- 57.Определение запасов углерода по таксационным показателям древостоев: метод поучастковой аллометрии /А.И. Уткин, Д.Г. Замолотчиков, Т.А. Гульбе и др. // Лесоведение.– 1998.- № 2.– С. 38-53.
- 58.Технология оценки компонентов углеродного баланса лесов Украины с использованием данных зондирования Земли из космоса / Л.М. Атрошенко, В.В. Богомоллов, И.Ф. Букша и др. // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса: Физические основы, методы и технологии мониторинга окружающей среды, потенциально опасных явлений и объектов.

Сборник научных статей. Выпуск 6. Том II. – М.: ООО «Азбука-2000», 2009. – С.497-505.

59. Вклад лесов Бурятии в баланс стока и эмиссии углерода / А.К. Тулохонов, С.Д. Пунцукова, Н.А. Скулкина, Ю.А. Кузнецов // География и природные ресурсы. – 2006, № 2. – С. 41-48.

60. Лакида П.І. Фітомаса лісів України / П.І. Лакида. – Тернопіль: Збруч, 2002. – 256 с.

61. Пастернак В.П., Букша І.Ф. Методичні підходи до моніторингу динаміки вуглецю у лісових екосистемах / В.П. Пастернак, І.Ф. Букша // Науковий вісник Українського державного лісотехнічного університету. – 2004. – Вип. 14.2. – С. 177-181.

62. Лакида П.І. Динаміка депонованого вуглецю в лісостанах України / П.І. Лакида // Науковий вісник Українського державного лісотехнічного університету. – 2004. – Вип. 14.5. – С. 140-143.

63. Миклуш С.І. Загальна фітомаса рівнинних букових насаджень України / С.І. Миклуш, Ю.С. Миклуш // Науковий вісник Національного лісотехнічного університету України. – 2009. – Вип. 19.4. – С.16-21

64. Уткин А.И. Биологическая продуктивность лесных экосистем. Компьютерная база данных / А.И. Уткин, Я.И. Гульбе, Т.А. Гульбе, Л.С. Ермолова. – М.: ИЛ РАН, ЦЭПЛ РАН, 1994.

65. Леса России как резервуар органического углерода биосферы / А.И. Уткин, Д.Г. Замолотчиков, О.В. Честных и др. // Лесоведение. – 2001. – № 5. – С. 8-23.

66. Руководящие указания по эффективной практике для землепользования, изменений в землепользовании и лесного хозяйства. Программа МГЭИК по национальным кадастрам парниковых газов. МГЭИК, 2003.

67. Честных О.В. Запасы углерода в подстилках лесов России / О.В. Честных, В.А. Лыжин, А.В. Кошкарлова // Лесоведение. – 2007. – № 6. – С. 114-121.

68. Анучин Н.П. Лесная таксация / Н.П. Анучин. – М.: Лесная промышленность, 1977. – 512 с.

69. Швиденко А. СД-РОМ «Леса и лесное хозяйство России» [Электронный ресурс] / А. Швиденко, Д. Щепаченко, Я. МакКаллум, С. Нильссон // Международный институт прикладного системного анализа и Российская Академия наук. – Лаксенбург, Австрия, 2007. – Режим доступа: http://www.iiasa.ac.at/Research/FOR/forest_cdrom, свободный. – Загл. с экрана.

70. Расчет поглощения углерода лесными насаждениями, создаваемыми в результате проектной деятельности по облесению и лесовосстановлению. Вариант расчета в режиме последовательных инвентаризаций. [Программное обеспечение] : Версия 1.0. / Центр по проблемам экологии и продуктивности лесов (ЦЭПЛ) РАН. – М.: Справочно-информационный интернет-портал ЦЭПЛ РАН, 2009. – Режим доступа: <http://www.cepl.rssi.ru/carbondoc/local/loc1.xls>, свободный. – Загл. с экрана.

71. Методика информационно-аналитической оценки бюджета углерода лесных насаждений на локальном уровне [Электронный ресурс] / Центр по проблемам экологии и продуктивности лесов (ЦЭПЛ) РАН. – М.: Справочно-

- информационный интернет-портал ЦЭПЛ РАН, [2009?]. – Режим доступа: <http://www.cepl.rssi.ru/carbondoc/local/local1.doc>, свободный.
- 72.Замолодчиков Д.Г. Пул углерода крупных древесных остатков в лесах России: учет влияния пожаров и рубок / Д.Г. Замолодчиков // Лесоведение. – 2009, № 4. – С. 3-15.
- 73.Замолодчиков Д.Г. Динамика пулов и потоков углерода на территории лесного фонда России / Д.Г. Замолодчиков, А.И. Уткин, Г.Н. Коровин, О.В. Честных // Экология. – 2005, № 5. С. 323-333.
- 74.Луганщина – край турботи та надії: Річний звіт про стан навколишнього природного середовища в Луганській області у 2008 році. / Державне управління охорони навколишнього природного середовища в Луганській області. – Луганськ, 2009. – 126 с.
- 75.Лакида П.І. Перспективи використання біомаси лісів України для біоенергії / П.І. Лакида, Р.Л. Василишин // Лісове господарство, лісова, паперова і деревообробна промисловість: міжвід. наук.-техн. зб. – Львів: НЛТУ України. – 2006. – Вип. 30. – С. 225-228.
- 76.Кузык И.Н. Прогнозирование изменения параметров конических породных отвалов при перепрофилировании / И.Н. Кузык // Наукові праці УкрНДМІ НАН України. – 2010. - № 7. – С. 159 – 165.
- 77.Методические рекомендации по защитно-мелиоративному озеленению породных отвалов. – Донецк: ЦБНТИ Минуглепрома Украинской ССР, 1980. – 25 с.
- 78.Формирование критериев экологической опасности породных отвалов шахт / И.Н. Кузык, В.Н. Артамонов, А.М. Камуз, В.Л. Чудновец // Проблеми екології. - № 1-2. – 2009. – С. 28-34.
- 79.Калиткин Н.Н. Численные методы: Учебное пособие.- М.: Наука, 1978.– 512 с.
- 80.Колбовский Е. Ю. Изучаем ландшафты России. – Ярославль: Академия развития, 2004.–288 с.
- 81.Закон Украины «Об экологической сети Украины» №1864-IV от 24.06.04.
- 82.Розбудова екомережі України/ [наук. ред. Ю. Р. Шеляг-Сосонко].– К., 1999.
- 83.Шеляг-Сосонко Ю. Р. Концепция, методы и критерии создания экосети Украины / Шеляг-Сосонко Ю. Р., Гродзинский М. Д., Романенко В. Д.– К.: УкрФитосоциоцентр.– 2004.– 143 с.
- 84.Вакаренко Л. П. Екомережа України: ідеологія створення та шляхи формування / Л. П. Вакаренко, Д. В. Дубина, Ю. Р. Шеляг-Сосонко // Чорноморський ботанічний журнал, 2005.– Т. 1.– №1 (2005).– С.60–65.
- 85.Формування регіональних схем екомережі : методичні рекомендації [за ред.. Ю.Р. Шеляг-Сосонко].– К.; Фітосоціоцентр, 2004.– 71 с.
- 86.Методичні рекомендації щодо розроблення регіональних та місцевих схем екомережі: [Електронний ресурс]. Режим доступу: ecoternopil.gov.ua/data/metodrek
- 87.Регіональна цільова програма розвитку екологічної мережі Луганської області на 2010-2020 рр. Луганськ: рішення Обласної Ради № 32/19 від 03.12.2009.
- 88.Форощук В.П. Методические аспекты формирования локальной

- экологической сети Луганской области/ В.П. Форощук// Экологическая безопасность территорий – приоритетное направление деятельности органов местного самоуправления и исполнительной власти: тезисы докладов Международной научно-практической конференции.– Луганск, 2010 г.– С. 192–195.
89. Ульшин В.А. Отвалы угольных шахт как объекты национальной экологической сети / В.А. Ульшин, А.А., Зубов А.А. // Уголь Украины. – Київ. – 2010.– № 3. – С. 28-31.
90. 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.
91. Шапарь А. Г. Принципы и особенности создания экологической сети в горнодобывающих регионах Украины / А. Г. Шапарь, О. А. Скрипник // Теория и практика металлургии, 2004. – № 5 (43). – С. 87–90.
92. Зубова Л. Г. Використання териконів вугільних шахт в якості елементів Національної екологічної сітки України / Л. Г. Зубова, О. Р. Зубов, О. Дмитрієва // Збірник наукових праць Луганського НАУ. Серія Біологічні науки. – Луганськ: Елтон-2, 2005. – № 52 (75).– С. 77–81.
93. Лактионова В. С. Аспекты проектирования экологической сети Донецкой области как фактора сохранения природных и социально-экологических ресурсов региона / В. С. Лактионова, Р. Г. Синельщиков. // Энерго- и ресурсосберегающие технологии в Украине: материалы Всеукраинского конкурса защиты экологических проектов. – Черкассы, 2006.
94. Попченко Д. С. Обоснование необходимости создания экологической сети г. Донецка / Д.С. Попченко, В.Н. Артамонов // Охорона навколишнього середовища та раціональне використання природних ресурсів: матеріали XX Всеукраїнської наукової конференції аспірантів і студентів.– Донецьк: ДонНТУ, 2010.
95. Поволоцкая И. В. Озеленения прилегающих территорий породных відвалів – засіб покращення навколишнього середовища / И. В. Поволоцкая // Сучасні проблеми екології та геотехнології : матеріали VII Міжнародної конференції студентів, магістрів та аспірантів. – Житомир, ЖДТУ.– 2010.
96. Коржик В. До питання долинно-річкових коридорів національної екомережі / Віталій Коржик // Збірник наукових праць Чернівецького національного університету ім. Ю. Федьковича, 2007.– С. 154–164.
97. Джос А. Н. Геоинформационное обеспечение разработки схем местной экосети / А. Н. Джос // тезисы докладов Международной научно-практической конференции: «Экологическая безопасность территорий – приоритетное направление деятельности органов местного самоуправления и исполнительной власти. – Луганск, 2010 г. – С.205–207.
98. Попа Ю. Н. Технология биологической консервации терриконигов угольных шахт Донбасса / Ю. Н. Попа.– К.: Издательство УСХА, 1991.– 26 с.
99. Патент на корисну модель № 25148 Україна, МПК А01В 79/02. Спосіб рекультивзації териконів/ О.Р.Зубов, Л.Г.Зубова; Заявл. 29.03.2007; Опубл. 25.07.2007, Бюл. № 11.- С. 4.

100. 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.
101. Фисуненко О. П. Природа Луганской области / О. П. Фисуненко, В. И. Жадан. – Луганский гос. пед. ин-т им. Т.Г.Шевченко. – Луганск, 1994. – 234с.
102. Патент на корисну модель 38586 Україна, МПК (2006) E21C 41/00 Спосіб визначення стану ґрунту, схильного до деградації / С.Г. Воробйов.; Заявл. 21.07.2008, Опубл. 12.01.2009, Бюл. №1
103. Пашковский П. С. Контроль теплового состояния породных отвалов/ Пашковский П. С., Попов Э. А., М. А. Яремчук// Уголь Украины. – 2000. – №7. – С. 27–29.
104. Бусыгин Б. С. Выявление тепловых аномалий по данным съемки сканера ASTER / Б. С. Бусыгин, И. Н. Гаркуша, Е. П. Зацепин // Наукові праці ДонНТУ: Серія гірн.-геол., 2010. – Вип. 12. – С. 73–81.
105. Бусыгин Б. С. Мониторинг состояния терриконов Донбасса по данным мультиспектральных космических съемок / Б. С. Бусыгин, Е. Л. Сергеева // Науковий вісник НГУ, 2011. – № 2. – С. 39–44.
106. Школьный Є. П. Фізика атмосфери: Підручник. – К.: КНТ, 2007. – 508 с.
107. Зубов О.Р. Формирование эрозионно-устойчивых агроландшафтов в бассейне Северского Донца (монография) А.Р.Зубов, И.Г.Зыков, А.Г.Тарарико ГНУ ВНИАЛМИ, Волгоград, 2010, 240 с.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

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 190 публикаций, из них пять монографий, два учебных пособия, 30 авторских свидетельств и патентов на изобретения и полезные модели. Основные направления исследований – изучение закономерностей эрозионно-гидрологических процессов на водосборах, развитие научных и прикладных основ формирования устойчивых агроландшафтов.

Зубова Лилия Григорьевна - профессор кафедры гидрометеорологии Восточноукраинского национального университета им. В. Даля, доктор технических наук, профессор. Руководит подготовкой аспирантов и соискателей. Имеет более 190 публикаций, из них пять монографий, два учебных пособия, 26 авторских свидетельств и патентов на изобретения и полезные модели. Научные исследования связаны с экологической безопасностью отвалов угольных шахт Донбасса.

Воробьев Сергей Германович – доцент кафедры прикладной физики, кандидат технических наук. Автор более 20 научных работ, в т.ч. 2 монографий и 3 патентов на полезные модели. Научные исследования связаны с вопросами повышения экологической безопасности терриконовых ландшафтов Донбасса.

Зубов Антон Алексеевич закончил аспирантуру Восточноукраинского национального университета им. В. Даля. Подготовил к защите кандидатскую диссертацию по специальности 21.06.01 – «Экологическая безопасность». Автор более 20 научных работ, в т.ч. 2 монографий и 4 патентов на полезную модель. Научные исследования связаны с изучением вопросов создания экспертной системы оценки терриконов как объектов Национальной экологической сети.

Харламова Алина Вадимовна закончила аспирантуру Восточноукраинского национального университета им. В. Даля. Подготовила к защите кандидатскую диссертацию по специальности 21.06.01 – «Экологическая безопасность». Автор 20 научных работ, в т.ч. 2 монографий и 3 патентов на полезные модели. Научные исследования связаны с изучением экологического состояния фитоценозов рекультивированных терриконов и разработкой мероприятий по их улучшению.

Наукове видання

ЗУБОВ Олексій Ремович
ЗУБОВА Лілія Григорівна
ВОРОБІЙОВ Сергій Германович
ЗУБОВ Антон Олексійович
ХАРЛАМОВА Аліна Вадимівна

ПІДВИЩЕННЯ ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ ПОРОДНИХ ВІДВАЛІВ ВУГІЛЬНИХ ШАХТ

(російською мовою)

Редактор	З.І.Андропова Л.В. Бугокова
Техн. редактор	Т.М. Дроговоз
Оригінал-макет	О.В. Котова

Підписано до друку 15.05.2012
Формат 60×84^{1/16} Папір типограф. Гарнітура Times.
Друк офсетний. Умов. друк. арк. 10,0. Обл.-вид. арк. 11,1.
Тираж 100 екз. Вид. № 2160. Замов № 39. 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.ua. **http://snu.edu.ua**

Надруковано ФОП Котова О.В.
91022, м. Луганськ, вул. Сент-Етьєнівська, 40