

УДК 630*237.9:631.618

UDK 630*237.9:631.618

**ХАРАКТЕРИСТИКА СУБСТРАТОВ В
ПРОМЫШЛЕННЫХ ОТВАЛАХ КУРСКОЙ
МАГНИТНОЙ АНОМАЛИИ ПОСЛЕ
ЗЕМЛЕВАНИЯ**

**SUBSTRATES DESCRIPTION INDUSTRIAL
EMBANKMENT OF KURSK MAGNETIC
ANOMALY AFTER COVERING IT WITH A
BLACK SOIL LAYER**

Трещевская Элла Игоревна
к.с.-х.н., доцент

Treshchevskaya Ella Igorevna
Cand.Agr.Sci., associate professor

Тихонова Елена Николаевна
к.б.н., доцент

Tikhonova Elena Nikolaevna
Cand.Biol.Sci., associate professor

Трещевская Светлана Викторовна
аспирант
*Воронежская государственная лесотехническая
академия, Воронеж, Россия*

Treshchevskaya Svetlana Viktorovna
postgraduate student
Voronezh State Forestry Academy, Voronezh, Russia

В статье приводится характеристика двухслойных субстратов в отвалах КМА после землевания. Сделан вывод о непригодности этого способа повышения плодородия субстратов для лесной рекультивации

The description of the 2-layers' substrates at KMA dumps after covering it with a black soil layer is given. It has been concluded, that this method of substrates fertility increasing is not suitable for a forest recultivation

Ключевые слова: РЕКУЛЬТИВАЦИЯ, ОТВАЛ, ВСКРЫШНЫЕ ПОРОДЫ, ПЕСЧАНО-МЕЛОВАЯ СМЕСЬ, ЗЕМЛЕВАНИЕ, СЛОИСТЫЕ СУБСТРАТЫ, ПЛОДОРОДИЕ

Keywords: RECULTIVATION, DUMP, MINING ROCKS, SAND-CHALK MIXTURE, COVERING WITH BLACK SOIL LAYER, LAYER SUBSTRATES, FERTILITY

В результате деятельности горнодобывающей промышленности, особенно при открытом способе добычи полезных ископаемых, разрушаются все биологические компоненты ландшафта, происходит коренная перестройка геологического фундамента, возникают техногенные комплексы, характеризующиеся экстремальными условиями для жизни всего живого.

Курская магнитная аномалия (КМА) – самый большой и богатый железорудный бассейн мира, площадь нарушенных земель которого составляет более 30 тыс. га. Экстремальные условия техногенных ландшафтов обуславливают длительный период самовосстановления фитоценозов, особенно на начальных этапах самовосстановительной сукцессии. Одним из важнейших способов предотвращения вредного воздействия горнорудного производства на природу, защиты отвалов от водной эрозии и дефляции является проведение биологической

рекультивации, из которой на крутосклонных отвалах наиболее перспективной следует признать лесную.

В условиях отвально-техногенных ландшафтов ведущими являются эдафические (почвенно-грунтовые) факторы, зависящие от потенциального плодородия пород вскрыши, складированных в отвалы. Проблема состоит в том, что не все породы, складированные в отвалы, являются пригодными для произрастания рекультивационных насаждений. В бассейне КМА до 70 % объема вскрышных пород составляют пески и песчано-меловые смеси, характеризующиеся неблагоприятными для произрастания растений агрохимическими и водно-физическими свойствами.

Повысить плодородие субстратов в промышленных отвалах можно разными способами, одним из которых является землевание. В 1976 г. поверхность гидроотвала Березовый лог Лебединского горно-обогатительного комбината была покрыта плодородным слоем мощностью от 20 до 80 см и более. Поэтому, строение субстратов на гидроотвале носит двухслойный характер: верхний слой представлен глиной или суглинком, а ниже простирается мощный слой песка. Обращает на себя внимание четко выраженное слоистое строение как насыпного плодородного слоя, так и намывтого песка, обусловленное различной степенью увлажнения, структурой, плотностью сложения, включением мело-мергельной крошки.

С увеличением мощности плодородного слоя возрастает количество слоев, которые, начиная с глубины 30 см и ниже, отличаются высокой плотностью, бесструктурностью, отсутствием активных пор, трещиноватостью в сухой период времени, а во влажном состоянии – сильной вязкостью и липкостью. В том случае, когда мощность плодородного слоя небольшая (17-30 см), наблюдается образование сухой прослойки в песке на контакте с тяжелым суглинком. Намытая песчано-меловая смесь характеризуется увеличением влажности с глубиной и

изменением окраски, от светло-серой до сизо-серой.

По гранулометрическому составу нанесенный плодородный слой в основном представлен легкими глинами легкими иловато-крупно-пылеватыми или крупно-пылевато-иловатыми. Реже встречаются слои, относящиеся к тяжелым суглинкам иловато-крупно-пылеватым. По классификации Качинского Н.А. [2] эти субстраты могут быть отнесены к легким и средним глинам. Каких-либо перераспределений в содержании отдельных фракций в этом слое не зафиксировано.

Намытый песчано-меловой субстрат представлен среднезернистыми песками, на долю которых приходится от 47 до 58 %. Примесь меловой крошки в отдельных слоях резко увеличивает содержание частиц во фракции «физическая глина» размером менее 0,01 мм, достигающей 11-13 %, в результате чего эти субстраты могут быть отнесены к супесям. В других слоях субстрат представлен рыхлыми и связными песками.

Результаты валового химического состава субстратов на гидроотвале свидетельствует о значительной неоднородности в содержании оксидов обоих слоев (табл. 1).

Таблица 1 – Валовой химический состав субстратов гидроотвала

Субстрат	Глубина, см	% на прокаленную навеску							
		SiO ₂	P ₂ O ₃	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	P ₂ O ₅	SO ₃
Плодородный слой	0-10	71,03	20,27	4,62	1,26	1,36	0,58	0,11	0,59
	10-20	74,89	18,51	2,54	0,80	1,42	0,30	0,09	0,64
	50-60	69,93	22,19	3,46	2,04	1,05	0,60	0,09	0,61
Песок	60-70	86,07	1,13	11,58	0,43	0,26	0,09	0,05	0,13
	140-150	95,11	0,80	2,37	0,11	0,16	-	0,03	0,07

Тяжелосуглинистый или глинистый гумусированный слой обладает высоким потенциальным плодородием. Что касается характера распределения химических элементов в отдельных слоях, то он обусловлен неодинаковой смесью почвы из различных генетических горизонтов

чернозема типичного. Намытые субстраты отличаются резким возрастанием количества кремнезема и, напротив, обеднением всеми остальными оксидами [3]. Обращает внимание значительная примесь карбонатных мело-мергельных пород; содержание СаО возрастает до 11,58 %.

Сопоставление микроэлементного состава субстратов с зональными почвами обнаруживает тенденцию к возрастанию в плодородном слое железа, титана, резкое увеличение никеля, меди и, напротив, сокращение содержания валового марганца (табл. 2). Особенно сильно обедняются марганцем намытые пески, что связано с низким содержанием этого микроэлемента в породах апта, альба и сеномана, из которых сформирован гидроотвал. К причинам пониженного количества марганца в плодородном слое следует отнести условия захоронения снятого чернозема в буртах, в которых господствуют восстановительные процессы, способствующие значительным потерям этого микроэлемента.

Таблица 2 – Микроэлементный состав субстратов гидроотвала

Субстрат (почва)	Глубина, см	Содержание микроэлементов, мг/кг				
		Ti	Mn	Ni	Cu	Fe
Плодородный слой	0-10	4380	450	34	42	41000
	50-60	5800	400	19	51	21000
Песок	90-100	100	10	0,2	0,9	3500
Чернозем типичный	0-10	3989-5000	500-1000	6,5-8,0	18-30	6000- 13000
Светло-серая лесная песчаная	0-10	200-400	50-100	1-3	5-10	2500-5000

Плодородный слой характеризуется высоким содержанием гумуса (4,0-4,5 %), значительной емкостью обмена (21-28 мг/экв. на 100 г почвы); среди поглощенных катионов преобладает кальций; рН среды колеблется в пределах 7,2-7,6 (табл. 3). По сравнению с черноземами рядом находящихся угодий насыпной плодородный слой отличается значительно

Таблица 3 – Химические свойства субстратов гидроотвала

№ раз-ре-за	Суб-страт (поч-ва)	Глубина, см	Гумус, %	Азот, %	C:N	Емкость обмена, мг/100 г				рН водной	Элементы питания, мг/100 г		
						Ca	Mg	H	сумма		N	K	P
1	плод. слой	0-13	3,51	0,09	39	19,6	0,3	1,2	21,1	7,1	4,8	6,4	4,2
		13-17	4,19	0,09	46	18,0	1,2	1,1	20,3	7,2	3,3	8,4	2,0
	песок	17-28	0,14	0,01	13	2,1	1,3	0,0	3,4	7,8	-	1,7	0,8
		90-100	0,01	0,00	4	2,0	0,7	0,0	2,7	7,7	-	0,8	0,4
2	плод. слой	0-10	4,38	0,18	24	21,3	2,0	1,4	24,7	7,6	3,6	7,1	2,6
		15-20	3,71	0,08	46	19,7	1,9	1,7	23,3	7,0	3,6	6,4	2,9
		25-35	3,94	0,09	44	22,0	2,3	1,2	25,5	7,6	2,8	8,0	1,9
	песок	40-60	0,11	0,01	14	1,9	0,5	0,0	2,4	8,0	0,0	2,1	0,0
		90-100	0,04	0,00	40	2,2	0,7	0,0	2,9	7,9	0,0	1,6	0,0
		100-150	0,00	0,00	-	3,4	0,0	0,0	3,4	8,1	0,0	1,9	0,0
3	плод. слой	0-10	4,38	0,12	36	28,6	4,8	2,3	35,7	7,2	4,6	8,3	2,0
		10-20	4,99	0,17	29	30,3	3,2	1,0	34,5	7,4	5,0	12,0	4,8
		30-40	3,71	0,16	23	29,7	4,0	1,0	34,7	7,4	2,1	14,0	2,6
		50-60	3,71	0,08	46	36,4	3,6	0,2	40,2	7,4	2,3	9,0	3,0
	песок	60-70	0,34	0,00	170	4,4	0,4	0,0	4,8	8,0	0,0	2,6	0,7
		90-100	0,01	0,00	-	3,1	0,2	0,0	3,3	8,0	0,0	2,6	0,0
		100-150	0,00	0,00	-	3,1	0,6	0,0	3,7	8,1	0,0	0,9	0,4
черно зем тип.	0-10	7,8	0,53	14	32,1	3,4	1,7	37,2	7,0	11,2	7,1	9,8	
	10-20	7,7	0,48	16	30,7	4,2	1,6	36,5	7,0	7,3	11,0	8,7	
	40-50	5,3	0,40	13	28,4	2,1	2,4	32,9	7,0	5,2	4,3	6,4	

меньшим количеством биологически важных питательных элементов: обменным калием, подвижным фосфором и легкогидролизуемым азотом.

Многолетнее хранение снятой черноземной массы в буртах оказало существенное влияние на состав органического вещества. Потери азота привели к отношению C:N, колеблющемуся от 23 до 46, в то время как в зональных почвах это отношение не превышает 16. Намытая песчаная смесь обладает рядом отрицательных химических свойств. Наряду с высокими показателями рН, песчаные субстраты очень бедны органическим веществом, азотом и другими элементами.

Анализ структурного состава плодородного слоя показал, что он в верхней части отличается значительной распыленностью, о чем свидетельствует сумма фракций от 0,5 до 0,25 и менее 0,25 мм, достигающая 36-42 % (табл. 4). С глубиной резко увеличивается содержание крупных комков (более 10 мм) при одновременном сокращении ценных структурных фракций размером от 7 до 1 мм, количество которых уменьшается до 7-14 %. Резко выраженная распыленность плодородного слоя и сильная глыбистость на глубине 30-60 см являются результатом не только длительного его хранения в буртах, но и механического способа отсыпки и разравнивания тяжелыми машинами.

Агрегатный состав плодородного слоя характеризуется иными значениями, нежели структурный состав. При мокром просеивании резко преобладает фракция размером менее 0,25 мм, указывая на низкую водопрочность структурных комков. Причем, чем крупнее структурные фракции, тем в большей степени они подвергаются размывающему действию воды. Оценка структурного и агрегатного состояния плодородного слоя представлена в виде коэффициента структурности и критерия водопрочности, которые показывают, что нанесенная на поверхность гидроотвала черноземная масса с агрономической точки зрения обладает низкими качествами.

Таблица 4 – Структурный и агрегатный состав плодородного слоя (%)*

№ раз-реза	Глу-бина, см	Структурные фракции и агрегаты, мм						Коеф. структур-ности	Крите-рий водоп-рочности
		>10	10-7	7-1	1-0,5	0,5-0,25	<0,25		
1	0-13	<u>23,18</u> 0,00	<u>26,00</u> 0,84	<u>10,56</u> 1,19	<u>4,29</u> 16,58	<u>11,80</u> 19,42	<u>24,17</u> 61,97	1,11	50
	13-17	<u>30,54</u> 0,00	<u>21,40</u> 0,00	<u>18,52</u> 1,77	<u>6,01</u> 17,00	<u>12,13</u> 32,10	<u>11,40</u> 49,13	1,38	57
3	0-10	<u>21,00</u> 0,00	<u>22,20</u> 0,00	<u>8,50</u> 0,00	<u>5,00</u> 9,93	<u>14,62</u> 12,91	<u>28,68</u> 77,16	1,01	32
	10-20	<u>48,42</u> 0,00	<u>16,16</u> 0,00	<u>1,40</u> 0,93	<u>3,49</u> 13,19	<u>11,40</u> 20,68	<u>19,13</u> 65,80	0,48	42
	30-40	<u>61,44</u> 0,00	<u>17,90</u> 0,00	<u>7,04</u> 2,16	<u>5,50</u> 8,42	<u>7,19</u> 9,28	<u>0,93</u> 80,14	0,60	20
	50-60	<u>58,14</u> 0,00	<u>19,14</u> 0,70	<u>1,34</u> 0,18	<u>5,33</u> 0,79	<u>15,13</u> 23,63	<u>0,92</u> 74,70	0,63	25

*Примечание: в числителе – структурный состав, в знаменателе – агрегатный.

Для определения водопрочности агрегатов был применен метод Андрианова-Качинского. Анализ данных подтверждает низкую водопрочность агрегатов в стоячей воде. В основном все агрегаты распадаются в первые же минуты воздействия на них воды, в результате чего показатель водопрочности составляет от 6,4 до 13,8 %.

Благоприятный физический режим создается благодаря наличию не только макро-, но и микроагрегатов. Анализ данных по микроагрегатному составу свидетельствует о том, что наиболее устойчивы агрегаты размером 0,05-0,01 мм.

С агромелиоративной точки зрения плодородный слой обладает высокой потенциальной возможностью структурообразования. Тем не менее, фактор дисперсности достигает значительных величин – 20-34 % (табл. 5), в то время как для зональных почв он не превышает 10 %.

Фактор структурности характеризует водостойкость агрегатов. Согласно количественным выражениям этого фактора следует признать, что агрегаты нанесенного слоя обладают низкой водоустойчивостью, что подтверждают результаты агрегатного анализа.

Таблица 5 – Микроагрегатный состав плодородного слоя

№ раз-реза	Глу-бина, см	Содержание фракций, % при диаметре частиц, мм						Фак-тор дис-перс-ности, %	Фак-тор струк-турности, %	Гран. пок. струк-турности, %
		1-0,25	0,25-0,05	0,05-0,01	0,01-0,005	0,005-0,001	<0,001			
1	0-13	11,02	22,12	44,26	7,20	9,94	5,46	20	80	73
	13-17	0,81	26,42	44,81	10,60	8,04	9,32	29	71	60
2	0-10	1,55	31,49	45,11	5,93	7,07	8,85	25	75	93
	15-20	0,66	28,52	42,27	7,79	10,72	10,04	33	70	85
	25-30	4,62	33,67	35,14	9,74	8,25	8,58	25	75	95
3	0-10	1,34	26,67	35,04	14,78	14,74	7,43	21	79	98
	12-20	0,85	24,97	45,67	11,60	9,35	7,56	28	72	64
	30-40	12,26	13,42	48,90	12,63	2,27	10,52	34	66	80
	50-60	1,02	26,70	44,76	8,34	11,83	7,35	22	78	78

Важным показателем агрофизических свойств является сложение нанесенного слоя, под которым следует понимать его уплотненность или разрыхленность, выражающиеся величинами плотности и общей порозности. Насыпной плодородный слой характеризуется высокой плотностью, колеблющейся от 1,33 до 1,54 г/см³ (табл. 6). По оценочной шкале Качинского Н.А. такие субстраты относятся к очень сильно уплотненным. На больших глубинах в погребенной массе плотность возрастает до 1,50-1,54 г/см³ с одновременным снижением порозности до 39-37 %. В верхних слоях объем пор увеличивается до 42-45 %.

В таблице 6 представлены также водные свойства двухслойных субстратов, показывающие резкие различия в способности поглощать и удерживать воду песчаным субстратом и плодородным слоем. Плодородный слой, характеризующийся высоким содержанием тонких гранулометрических фракций, обладает высокой способностью к поглощению влаги. Гигроскопическая (ГВ) и максимальная гигроскопическая влажность (МГ) достигают соответственно 5,31-7,11 и 7,18-10,00 %.

Таблица 6 – Физические и водные свойства субстратов гидроотвала

№ раз-реза	Субстрат	Глубина, см	Плотность сложения	Плотность твердой фазы	Порозность, %	Водные свойства, %			
						г/см ³		ГВ	МГ
1	плод. слой	0-13	1,37	2,42	43,4	5,31	8,76	13,14	31,60
		13-17	1,42	2,46	42,3	6,79	9,00	13,50	31,94
	песок	17-28	1,52	2,58	41,1	0,64	1,00	1,50	5,82
		40-50	1,49	2,59	42,5	0,41	0,82	1,23	5,90
		90-100	1,60	2,73	41,4	0,29	0,65	0,97	5,90
2	плод. слой.	0-10	1,40	2,43	42,4	6,81	8,40	12,60	38,00
		15-20	1,38	2,45	43,7	5,94	8,19	12,29	38,04
		25-35	1,47	2,41	39,0	6,13	8,37	12,55	34,16
	песок	40-60	1,52	2,54	42,1	0,52	0,84	1,26	7,03
		90-100	1,52	2,60	41,5	0,19	0,41	0,60	6,11
		140-150	1,51	2,57	41,3	0,34	0,70	1,05	6,24
3	плод. слой	0-10	1,33	2,41	44,8	6,64	8,02	12,03	36,31
		10-20	1,50	2,43	38,3	4,98	7,18	10,77	29,80
		30-40	1,50	2,40	37,5	6,00	9,74	14,61	36,00
		50-60	1,54	2,47	37,7	7,11	10,00	15,00	34,18
	песок	90-100	1,57	2,69	41,6	0,59	1,00	1,50	7,00
		140-150	1,56	2,68	41,8	0,20	0,71	1,05	5,90

Величина влажности завядания (ВЗ) имеет довольно высокие значения – 10,77-15,00 %, вследствие чего в насыпном слое невелики запасы продуктивной влаги (ПВ).

Одним из важных свойств техногенных субстратов является их водопроницаемость, от величины которой зависит способность грунтосмесей переводить поверхностный сток во внутрпочвенный и накапливать влагу в отвалах. Определение водопроницаемости методом заливаемых площадок [1] показало, что нанесенный на поверхность гидроотвала плодородный слой вследствие тяжелого гранулометрического состава, очень низкой порозности и агрегатности характеризуется неудовлетворительной водопроницаемостью. Величина ее составляет 28 мм/час (в среднем за 6 часов наблюдений). Водопроницаемость сильно меняется в зависимости от толщины плодородного слоя. Если мощность последнего не превышает 30 см, то уже после 4-го часа наблюдений отмечается резкий скачок в повышении водопроницаемости до 120 мм. Это можно объяснить смыканием фильтрационных вод с подстилающим песком. И, наоборот, при увеличении мощности нанесенного и сильно уплотненного глинистого или тяжелосуглинистого слоя до 80 см происходит постепенное снижение величины водопроницаемости, которая в последние 2 часа (5 и 6) составляет 8-6 мм.

Физико-механические свойства субстратов на откосах отвала, показывающие устойчивость их против размывающего действия воды, разрушения ветром, воздействия корневых систем, отличаются рядом специфических особенностей. Прежде всего, обращает на себя внимание очень высокая твердость плодородного слоя, которая увеличивается с глубиной и на 40-50 см достигает наивысших значений – 36-44 кг/см².

Важным показателем противозэрозийной устойчивости субстратов гидроотвала является сопротивление субстратов сдвигу. Коэффициент сцепления, достигающий в насыпной плодородной массе 0,150 кг/см², в

отличие от аналогичного показателя зонального чернозема типичного ($0,249 \text{ кг/см}^2$), указывает на недостаточно высокое сцепление между частицами плодородного слоя и о высокой степени его подверженности размывающему действию воды. Снижение сцепления обуславливается рядом причин и, прежде всего, разрушением структуры, потерей органических веществ, «старением» гумуса из-за длительного хранения в буртах.

Одним из характерных физико-механических свойств субстратов является их консистенция, под которой понимают степень подвижности частиц, слагающих нанесенную плодородную массу. В период сильного увлажнения отвальных субстратов эта масса приобретает текуче-пластичную консистенцию, которая в виде тонкого слоя начинает течь по поверхности отвала. При таком состоянии число консистенции достигает величин $0,77-1,09$.

Таким образом, одним из ограничивающих факторов двухслойных субстратов является ряд отрицательных физических и физико-механических свойств плодородной массы, лежащей плотным слоем и отличающейся бесструктурностью, высокой плотностью и твердостью, низкой порозностью. Ухудшение комплекса водно-физических свойств при значительной крутизне откосов отвала резко снижает противоэрозионную устойчивость нанесенного плодородного слоя, в результате чего после землевания отвала развивается эрозия чрезвычайно сильной интенсивности. Это приводит к потере питательных веществ и в целом к снижению плодородия двухслойных субстратов. Кроме того складываются неблагоприятные условия для роста и развития растений, т.к. в засушливые периоды влажность верхнего 10-сантиметрового слоя понижается почти до влажности завядания.

Все выше изложенное свидетельствует о том, что покрытие песчаной массы маломощным плодородным слоем вряд ли можно признать удачным

видом мелиорации отвально-техногенных субстратов, подлежащих облесению. Несмотря на высокое содержание в плодородном слое гумуса, биологически важных химических элементов, общие запасы их в 20-40-сантиметровой толще не велики и не могут обеспечить нормального роста и развития древесных пород и кустарников. Увеличение же мощности плодородного слоя до 80 см и более, с одной стороны, приводит к повышению запасов химических элементов в корнеобитаемом слое, а с другой – способствует образованию еще более плотного утрамбованного слоя, который слабо осваивается корнями растений.

Библиографический список

1. Вадюнина А.Ф. Методы исследования физических свойств почв: учеб. пособие. М.: Агропромиздат, 1986. 416 с.
2. Качинский Н.А. Почва, ее свойства и жизнь. М.: Наука, 1975. 294 с.
3. Шаталов В.Г., Одноралов Г.А., Трещевская Э.И. Ландшафтно-геохимический подход к лесной рекультивации песчаных и песчано-меловых отвалов Курской магнитной аномалии // Лесной журнал. 1994. № 4. С. 116-119.