

ОБРАЩЕНИЕ С ЗОЛОШЛАКАМИ**3.5. Направления применения золошлаков энергетических углей****3.5.4. Использование золошлаков для улучшения свойств почв****3.5.4.7. Мониторинг рекультивированных золоотвалов ТЭС**

И.В. Гурина, Н.А. Иванова, П.А. Михеев, Новочеркасская государственная мелиоративная академия, Новочеркасск, Россия

В.Г. Лукьянов, А.Н. Антоненко, Филиал ОАО «ОГК-2» Новочеркасская ГРЭС, Новочеркасск, Россия

АННОТАЦИЯ

Предложена система показателей мониторинга биологической рекультивации, которая включает наблюдения за процессами формирования фитоценоза и за изменениями, происходящими в рекультивационном слое. Приведены результаты мониторинга биологической рекультивации второй секции золоотвала Новочеркасской ГРЭС с использованием предлагаемой системы показателей. За период 2005-2012 гг. установлены успешные рост и развитие растений использованной для залужения травосмеси «спарцет + пырей + кострец», существенное увеличение видового разнообразия растительности, поселение ранее отсутствовавших представителей животного мира. Результаты мониторинга позволили сделать заключение о протекающих положительных процессах, способствующих накоплению органического вещества в рекультивационном слое. Установлено снижение рН, уменьшение содержания тяжёлых металлов в рекультивационном слое, что является положительным фактором, достигнутым в результате выполненной биологической рекультивации.

ВВЕДЕНИЕ

Выведенные из эксплуатации золоотвалы тепловых электростанций занимают значительные территории и оказывают негативное воздействие на окружающую среду. Для ускорения их восстановления и оздоровления экологической обстановки в районах их размещения необходимо проведение биологической рекультивации. Процесс восстановления нарушенных территорий не завершается проведением рекультивационных работ, необходимо проведение мониторинга для прогнозирования изменения состояния восстанавливаемых компонентов нарушенного ландшафта.

На нарушенных землях, как правило, проводится биологический мониторинг, целью которого являются наблюдения за состоянием биоты [1]. Наиболее сложной проблемой мониторинга является выбор параметров наблюдения, которые разрабатываются для отдельных биотических компонентов или определенных уровней их организации [2]. Наблюдения должны проводиться в соответствии со стандартными методиками, критериями и оценками.

Такие исследования проводились на золоотвалах Южноуральской ГРЭС, Верхнетагильской ГРЭС и других после их биологической рекультивации. Выполнялся мониторинг фиторазнообразия, по-

скольку образующиеся растительные сообщества считаются наиболее доступным и информативным компонентом формируемого ландшафта [3].

Однако, помимо развивающихся на рекультивированных территориях растительных сообществ, к средообразующим компонентам ландшафта относят и почвенный покров. Его формирование происходит в результате длительного почвообразовательного процесса. При этом все компоненты ландшафта принимают то или иное участие в образовании почв. Ведущим фактором почвообразования является растительность. В связи с этим, мониторинг, проводимый на рекультивированных землях, в том числе и золоотвалах, должен, помимо исследования процессов формирования фитоценоза, включать и наблюдения за изменениями, происходящими в рекультивационном слое.

ПОКАЗАТЕЛИ МОНИТОРИНГА

Методической основой мониторинга рекультивированных золоотвалов является предлагаемая система показателей, которая предусматривает:

1. Содержание в рекультивационном слое в динамике: нитратного азота; подвижного фосфора; обменного калия; поглощённого натрия; поглощённого кальция; поглощённого магния; рН водной вытяжки; солевого состава в водной вытяжке; органического вещества; тяжёлых металлов; гранулометрический и микроагрегатный состав. Отбор образцов рекультивационного слоя выполняется каждые 3-5 лет. Результаты анализов в динамике позволяют судить о питательном режиме и об изменениях, происходящих в рекультивационном слое.
2. Глубина проникновения корневой системы многолетних трав в динамике. Наблюдения за глубиной проникновения и накоплением массы корневой системы многолетних трав в динамике позволяют судить об отторжении органической массы по горизонтам рекультивационного слоя и о происходящем почвообразовательном процессе. Выполняются ежегодно в начале и в конце вегетационного периода.
3. Рост, развитие и продуктивность многолетней травосмеси, использованной для создания фитоценоза при биологической рекультивации. Наблюдения за ростом, развитием и продуктивно-

стью травосмеси выполняются ежегодно в начале и в конце вегетационного периода. Полученные результаты позволят установить величину биологической массы отторгаемых растительных остатков для пополнения органическим веществом рекультивационного слоя и о процессах гумусообразования в нём.

4. Густота стояния растений многолетней травосмеси в динамике. Наблюдения за густотой стояния растений многолетней травосмеси в динамике позволяют определить выпадение растений конкретных культур и изреживание плотности посевов травосмеси на рекультивированной территории. Выполняются ежегодно в начале и в конце вегетации.
5. Засорённость и типы преобладающих сорных растений. Наблюдения за динамикой засорённости и типами преобладающих сорных растений позволят судить о типах сорняков и о толерантности растений в созданном фитоценозе. Выполняются ежегодно в начале и в конце вегетационного периода.
6. Содержание питательных веществ и тяжёлых металлов в биомассе культивируемой травосмеси. Отбор образцов растительной массы травосмеси на общий анализ, в том числе и на содержание тяжёлых металлов проводится каждые 3-5 лет в конце вегетации. Результаты анализов позволят принять решение об утилизации биомассы за пределами рекультивированного объекта или о пополнении рекультивационного слоя органическим веществом за счёт отторгаемой биомассы растений.
7. Фотосинтетическая деятельность посевов многолетней травосмеси. Наблюдения за фотосинтетической деятельностью посевов в течение периода вегетации позволяют определить, насколько эффективно используется энергия солнечной радиации в условиях рекультивированной территории.

РЕЗУЛЬТАТЫ МОНИТОРИНГА

Предложенная система показателей мониторинга биологической рекультивации была апробирована на второй секции золоотвала Новочеркасской ГРЭС. Биологическая рекультивация второй секции золоотвала с применением технологии фитомелиорации была выполнена в 2004 г. [4]. С 2005 г. и по настоящее время на рекультивированном золоотвале проводится мониторинг [5].

Обследование растительного покрова рекультивированной секции золоотвала, выполненное ранней весной 2012 г., показало, что сохранность посевов травосмеси «эспарцет + пырей + костреца» в среднем составила 68 %. Высота растений эспарцета в среднем составляла 49,0 см, злаков (пырея и костреца) – 58,0 см. Глубина проникновения корневой системы эспарцета в среднем достигала 63,0 см, злаков – 69,0 см. В 2012 г. продолжилось производное расселение эспарцета по рекультивирован-

ной секции с образованием местообитаний с достаточно плотным размещением растений.

Наблюдалось некоторое изреживание посевов травосмеси, особенно на участках, по которым передвигалась техника, однако выпадение культурных растений замещалось появлением сорной растительности, которая свободно расселялась по рекультивированной секции. Засорённость посевов в среднем составляла 25 шт./м², чему способствовал занос семян с рекультивированной в 2011 г. соседней первой секции. К концу вегетации 2012 г. высота растений эспарцета в среднем составляла 85,0 см, а злаков – 90,0 см. Растения травосмеси сформировали мощную корневую систему, что позволило им расти и развиваться в условиях очень засушливого 2012 г. Глубина проникновения корневой системы эспарцета в среднем составляла 66,0 см, пырея и костреца – 72,0 см.

Наиболее высокие показатели продуктивности биомассы травосмеси наблюдались при внесении минеральных удобрений расчётной и повышенной на 30 % дозой. В среднем за 2005-2012 гг. продуктивность биомассы при улучшенном питательном режиме на 22 % превышала показатели, полученные при внесении расчётной дозы удобрений, и на 30,5 % без удобрений. Внесение минеральных удобрений положительно повлияло и на фотосинтетическую деятельность посевов травосмеси. Максимальные значения фотосинтетического потенциала и чистой продуктивности фотосинтеза в среднем за вегетацию наблюдались при внесении повышенной на 30 % дозы минеральных удобрений – 4760,4 тыс. м²/га дн. и 6,5 г/м² сут. соответственно.

В соответствии с порядком проведения мониторинга на второй секции золоотвала выполнялся отбор образцов растительной массы и рекультивационного слоя. Анализы проводились в сертифицированной лаборатории ФГБНУ «РосНИИПМ».

Отбор образцов растительной массы травосмеси «эспарцет + пырей + костреца» осуществлялся в 2008 г. Результаты представлены в таблицах 1 и 2.

Их анализ позволил отметить, что содержание тяжёлых металлов в сухой массе корней значительно превышало их количество в надземной массе. Так, содержание Cu в корнях костреца в 2,4 раза больше, чем в биомассе, Cd – в 2,2 раза, Zn – в 2 раза, Ni – в 3 раза. Установлено, что Pb в биомассе костреца содержалось в 1,6 раза больше, чем в корнях. Растения пырея в корнях содержали тяжёлых металлов в сравнении с биомассой в 2,3 раза больше, лишь содержание Pb в корнях было в 1,2 раза меньше, чем в биомассе. Содержание тяжёлых металлов в корнях эспарцета, аналогично пырею и кострецу, значительно превышало их количество в биомассе. Так, в корнях эспарцета содержалось больше, чем в биомассе Cu – в 1,5, Cd – в 1,3 и Zn – в 2 раза. А вот Pb и Ni в корнях эспарцета было меньше, чем в биомассе соответственно в 3,5 и 1,8 раза. Анализ сухой массы растений на содержание питательных веществ показал, что в биомассе костреца содержалось наименьшее количество NPK в сравнении с пыреем и эспарцетом. Наибольшее со-

держание общего азота было отмечено в биомассе и корнях эспарцета – 1,92 и 1,54 %, что на 0,92 и 0,16 % больше, чем у костреца, и на 0,44 и 0,71 % в сравнении с пыреем.

Результаты микроагрегатного и агрохимического анализа приведены в табл. 3 и 4. Анализ данных, приведённых в табл. 3, позволил установить, что в образцах рекультивационного слоя преобладает фи-

зический песок. По сравнению с показателями микроагрегатного анализа, выполненного в 2008 г., произошло снижение содержания физического песка в горизонтах 0...20 см и 20...40 см на 3,18 и 1,16 % соответственно. Содержание физической глины, напротив, увеличилось: в горизонте 0...20 см на 3,18, в горизонте 20...40 см – на 1,16 %.

Таблица 1. Содержание тяжёлых металлов (валовая форма) в растениях травосмеси

Вид образца	Содержание тяжёлых металлов, мг/кг сухого вещества растения				
	Cu	Cd	Zn	Pb	Ni
Кострец (корни)	4,15	0,24	23,50	0,76	5,50
Кострец (биомасса)	1,70	0,11	11,50	1,23	1,80
Пырей (корни)	5,30	0,11	21,60	0,90	5,60
Пырей (биомасса)	1,85	0,09	7,25	1,10	2,50
Эспарцет (корни)	6,00	0,10	19,40	0,19	4,00
Эспарцет (биомасса)	3,90	0,08	9,60	0,67	7,20

Таблица 2. Содержание питательных веществ в растениях травосмеси

Вид образца	Содержание питательных веществ, %				
	K ₂ O	K	P ₂ O ₅	P	Нобций
Кострец (корни)	1,14	0,95	0,05	0,02	1,38
Кострец (биомасса)	0,53	0,44	нет	нет	1,00
Пырей (корни)	1,01	0,84	нет	нет	0,83
Пырей (биомасса)	2,18	1,81	0,05	0,02	1,48
Эспарцет (корни)	1,17	0,97	0,02	0,01	1,54
Эспарцет (биомасса)	1,59	1,32	0,25	0,11	1,92

Таблица 3. Микроагрегатный состав образцов рекультивационного слоя

Горизонт, см	% содержание фракций, размер фракций, мм						Физический песок	Физическая глина
	>0,25	0,25-0,05	0,05-0,01	0,01-0,005	0,005-0,001	<0,001		
2008 г.								
0-20	–	89,53	8,91	0,40	1,04	0,12	98,44	1,56
20-40	–	1,28	77,00	11,30	9,84	0,58	78,28	21,27
2011 г.								
0-20	–	87,07	8,19	1,65	2,09	1,00	95,26	4,74
20-40	–	34,62	42,50	9,15	10,79	2,94	77,12	22,88

Таблица 4. Результаты агрохимического анализа образцов рекультивационного слоя

Горизонт, см	Азот нитратный, мг/кг	Фосфор подвижный, мг/кг	Калий обменный, мг/кг	Органическое вещество, %	pH
2008 г.					
0-20	0,9	0	200,0	0,07	8,48
20-40	5,0	44,6	48,0	2,69	8,32
2011 г.					
0-20	<2,8	9,0	152,4	0,16	8,29
20-40	<2,8	2,6	159,6	3,23	8,13

Результаты агрохимического анализа, приведённые в табл. 4, показали, что в горизонте 0...20 см рекультивационного слоя увеличилось содержание нитратного азота и подвижного фосфора по сравнению с 2008 г. Установлено снижение содержания обменного калия на 47,6 мг/кг по сравнению с данными 2008 г., что объясняется его использованием растениями. В 2011 г. в горизонте 20...40 см снизилось содержание нитратного азота и подвижного фосфора по сравнению с результатами анализов 2008 г. Образцы содержали повышенные количества обменного калия – в 3,3 раза по сравнению с 2008 г.

Проведённые анализы показали, что на рекультивированной секции золоотвала сохранилась тенденция увеличения содержания органического вещества в субстрате. Так, в 2011 г. в горизонте 0...20 см оно на 0,09 % и в горизонте 20...40 см – на 0,54 % превысило данные 2008 г., что свидетельствует о происходящих положительных процессах.

В 2011 г. продолжилось снижение значений pH: в слое 0...20 см – на 0,16 и в слое 20...40 см – на 0,19. В целом, за период, прошедший с момента первоначального отбора образцов, выполненного до проведения биологической рекультивации золоотвала с использованием разработанной технологии,

одним из элементов которой было внесение минеральных удобрений, произошло уменьшение щёлочности рекультивационного слоя.

Результаты анализов солевого состава водной вытяжки, обменных оснований и содержания тяжёлых металлов в образцах рекультивационного слоя приведены в таблицах 5, 6 и 7.

Результаты анализа солевого состава водной вытяжки позволили отметить, что в 2011 г. отмечалось некоторое увеличение суммы ионов как в горизонте 0...20 см, так и в горизонте 20...40 см, по сравнению с данными 2008 г. (табл. 5). Содержание поглощённого натрия в слое 0...20 см увеличилось по сравнению с результатами 2008 г.

Таблица 5. Результаты анализа солевого состава водной вытяжки рекультивационного слоя

Горизонт, см	Cl ⁻ , г/мг-экв	SO ₄ ²⁻ , г/мг-экв	HCO ₃ ⁻ , г/мг-экв	Ca ²⁺ , г/мг-экв	Mg ²⁺ , г/мг-экв	Na ⁺ , г/мг-экв	K ⁺ , г/мг-экв	Сумма ионов, г	Сухой остаток, г
2008 г.									
0-20	0,002	0,004	0,036	0,010	0,002	0,001	0,001	0,056	0,071
	0,05	0,08	0,60	0,50	0,20	0,02	0,01		
20-40	0,002	0,036	0,036	0,016	0,006	0,002	0,001	0,099	0,113
	0,05	0,77	0,60	0,80	0,50	0,10	0,02		
2011 г.									
0-20	0,004	0,003	0,033	0,013	0,003	0,001	0,002	0,059	0,078
	0,06	0,006	0,56	0,52	0,25	0,021	0,031		
20-40	0,003	0,038	0,034	0,019	0,009	0,003	0,0012	0,102	0,121
	0,059	0,89	0,53	0,86	0,41	0,12	0,024		

Таблица 6. Результаты анализа обменных оснований

Горизонт, см	Содержание, мг-экв / 100 г субстрата		
	Na	Ca	Mg
2008 г.			
0-20	0,36	4,04	1,56
20-40	–	5,48	2,92
2011 г.			
0-20	0,38	4,19	1,61
20-40	–	5,53	3,08

Таблица 7. Содержание тяжёлых металлов в образцах рекультивационного слоя

Горизонт, см	Содержание тяжёлых металлов, мг/кг				
	Cu	Cd	Zn	Ni	Pb
2008 г.					
0-20	3,0	<0,008	11,1	6,9	2,4
20-40	28,1	0,02	30,4	26,0	15,5
2011 г.					
0-20	2,53	0,05	11,73	5,85	1,53
20-40	1,6	0,03	6,95	3,23	1,08

Также установлено увеличение содержания кальция и магния в горизонтах 0...20 см и 20...40 см рекультивационного слоя, что объясняется тем, что основная масса корневой системы растений травосмеси расположена в золошлаковом субстрате (табл. 6). Результаты анализов, приведённые в табл. 7, позволили установить, что в горизонте 0...20 см рекультивационного слоя наблюдалось снижение содержания тяжёлых металлов: Cu и Ni в 1,2 и Pb в 1,6 раза. Аналогичная ситуация наблюдалась и в горизонте 20...40 см: содержание Cu уменьшилось в 17,6, Zn – в 4,4, Ni – в 8 и Pb – в 14,4 раза. Такая ситуация объясняется положительным влиянием фитомелиорации.

Таким образом, результаты проведённого мониторинга позволили отметить успешные рост и развитие растений высеянной травосмеси. За рассматриваемый период на рекультивированном золоотвале установлено существенное увеличение видового разнообразия растительности, поселение ранее отсутствовавших представителей животного мира. Растительный покров оказал существенное влияние

на состояние рекультивационного слоя. После проведения фитомелиорации на рассматриваемой территории установлена тенденция к увеличению содержания органического вещества, снижение значений pH, уменьшение содержания тяжёлых металлов в рекультивационном слое золоотвала, что является положительным фактором, достигнутым в результате выполненной на золоотвале биологической рекультивации с использованием фитомелиорации.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ ИНФОРМАЦИИ

1. Чибрик Т.С., Глазырина М.А. Биологическая рекультивация и мониторинг нарушенных промышленностью земель. Екатеринбург, 2008. 195 с.
2. Дюкарев А.Г., Пологова Н.Н. Мониторинг и оценка состояния лесных экосистем // Journal of Siberian Federal University. Biology 4. 2008. P. 390-399.
3. Экологические основы и методы биологической рекультивации золоотвалов тепловых электростанций на Урале / А. К. Махнев, Т. С. Чибрик, М. Р. Трубина и др. Екатеринбург, УрО РАН, 2002. 356 с.

4. **Результаты** работ по биологической рекультивации второй отработанной секции золоотвала Новочеркасской ГРЭС / В.В. Бирюков, И.В. Гурина, Н.А. Иванова, В.Г. Лукьянов, Е.А. Лысенко // Материалы III Международного научно-практического семинара «Золошлаки ТЭС: удаление, транспорт, переработка, складирование». Москва, 22-23 апреля 2010 г. М.: Издательский дом МЭИ, 2010. С.64-67
5. **Гурина И.В., Иванова Н.А., Михеев П.А.** Система показателей мониторинга рекультивированных золоот-

валов (на примере Новочеркасской ГРЭС) // Научная мысль Кавказа. 2012. №3. С. 50-56.

И.В. Гурина, Н.А. Иванова, П.А. Михеев и др. Мониторинг рекультивированных золоотвалов ТЭС // Материалы V конференции «Золошлаки ТЭС: удаление, транспорт, переработка, складирование», Москва, 24–25 апреля 2014 г. — М.: Полиграфический центр МЭИ, 2014. с. 99 – 102.