

Раздел третий  
**ОБРАЩЕНИЕ С ЗОЛОШЛАКАМИ**  
**3.2. Системы золошлакоудаления ТЭС**

**3.2.5. Золошлакохранилища**

**3.2.5.4. Результаты работ по биологической рекультивации второй отработанной секции золоотвала Новочеркасской ГРЭС**

*В.В. Бирюков, В.Г. Лукьянов, Е.А. Лысенко, филиал ОАО «ОГК-6» Новочеркасская ГРЭС, Россия  
И.В. Гурина, Н.А. Иванова, Новочеркасская государственная мелиоративная академия, Россия*

**АННОТАЦИЯ**

Приведены результаты работ по биологической рекультивации второй отработанной секции золоотвала Новочеркасской ГРЭС. Проведенным агротехническим обследованием территории золоотвала было установлено, что естественное его зарастание отсутствует, необходимо проведение работ биологического этапа рекультивации, направленных на создание на нем антропоотолерантного фитоценоза. С целью установления наиболее адаптированных видов растений, пригодных для создания устойчивого фитоценоза на территории золоотвала, были проведены лабораторные исследования в вегетационных сосудах, которые позволили установить возможность возделывания травосмеси пырей + коострец + эспарцет на золоотвале, научно обосновать нормы высева трав и дозы минеральных удобрений, а также сроки ее посева.

Посев травосмеси пырей + коострец + эспарцет производился в апреле 2004 г. Проведенная фитомелиорация поверхности золоотвала практически полностью исключила его негативное воздействие на окружающие ландшафты.

**ВВЕДЕНИЕ**

Общая площадь золоотвалов в Ростовской области составляет 250 га. В них размещено более 40 млн т золошлаков [1]. В перспективе площади под золоотвалами будут увеличиваться, что связано с планируемым ростом выработки электроэнергии на основе сжигания твердого топлива.

Золоотвалы наносят огромный вред окружающей природной среде и человеку [2]. Предотвращение и устранение ущерба, наносимого ландшафтам золоотвалами, достигается правильным выбором места их размещения и соответствующим их обустройством с учетом возможности последующего использования, а также проведением работ по их рекультивации.

В настоящее время основными направлениями рекультивации отработанных золоотвалов являются: сельскохозяйственное, лесохозяйственное и санитарно-гигиеническое [2-4].

Изучение опыта проведения рекультивационных работ на золоотвалах РФ позволило установить, что сельскохозяйственное и лесохозяйственное направления их рекультивации экономически и экологически нецелесообразны. С.-х. культуры, культивируемые в условиях золоотвалов, накапливают в биомассе повышенные концентрации микроэлементов, опасных для людей и с.-х. животных. Использование территории золоотвалов для выпаса скота может привести к нарушению поверхностного слоя и развитию водной и ветровой эрозии. На отработанных золоотвалах невозможно выращивание деловой древесины, так как корневая система деревьев при проникновении ее в золовый субстрат не может обеспечить необходимым деревьям питание. Кроме того, данные направления рекультивации требуют огромных капиталовложений, поскольку для их реализации необходи-

мы большие объемы плодородного и потенциально плодородного грунта, внесение повышенных доз минеральных удобрений и т.д. [5].

Поскольку использование отработанных золоотвалов в народном хозяйстве экономически и экологически нецелесообразно, то преобладающим направлением их рекультивации является санитарно-гигиеническое, т.е. биологическая консервация.

В связи с этим, цель наших исследований заключалась в разработке технологии биологической консервации золоотвала Новочеркасской ГРЭС.

Исследования на второй отработанной секции золоотвала Новочеркасской ГРЭС проводятся с 2004 г.

**АГРОТЕХНИЧЕСКОЕ ОБСЛЕДОВАНИЕ**

Вторая отработанная секция золоотвала Новочеркасской ГРЭС площадью 76 га расположена в 8 км к юго-востоку от г. Новочеркаска между станицами Кривянской и Заплавской.

В 2002 г. на золоотвале были выполнены работы технического этапа рекультивации, которые предусматривали создание на его поверхности рекультивационного слоя толщиной 30...40 см из супесчаного и суглинистого субстратов.

Агротехническое обследование второй отработанной секции золоотвала с целью изучения условий естественного самозарастания нарушенной территории проводилось осенью 2003 г.

В результате было установлено, что естественное зарастание золоотвала практически отсутствует. Лишь на откосах дамбы золоотвала был обнаружен фрагментарный растительный покров. Причем на склоне южной экспозиции наблюдался более сомкнутый фитоценоз с наличием древесно-кустарниковой растительности, что объясняется сложившимися там благоприятными климатическими условиями. На поверхности золоотвала наблюдалась интенсивная дефляция как нанесенных субстратов, так и высушенной золы, что создавало неблагоприятные условия для формирования естественных фитоценозов. Было установлено, что саморекультивация данной территории невозможна, поскольку из-за постоянного ветрового воздействия происходит унос частиц рекультивационного слоя и обнажение золы, на которой растения произрастать не могут.

Анализ образцов рекультивационного слоя позволил установить, что в них практически отсутствует гумус (табл. 1). В образцах, отобранных с горизонта 20...40 см, содержится вдвое большее количество тяжелых металлов, чем в образцах, отобранных с горизонта 0...20 см (табл. 2).

Кроме того, рекультивационный слой не обеспечен питательными элементами в количествах, достаточных для произрастания растений (таблица 1). Так, содержа-

ние нитратного азота в слое 0...20 см составляло 0,38 мг/кг, фосфора – 0,7 мг/кг, калия – 12,8 мг/кг. Таким об-

разом, установлена необходимость внесения азотно-фосфорных удобрений.

**Таблица 1. Результаты агрохимического анализа образцов рекультивационного слоя второй отработанной секции золоотвала Новочеркасской ГРЭС, 2003 г.**

Горизонт, см	Азот нитратный, мг/кг	Фосфор подвижный, мг/кг	Калий обменный, мг/кг	Гумус, %	pH
0...20	0,38	0,7	12,8	0,01	9,49
20...40	0,36	4,0	28,0	0,09	9,51

**Таблица 2. Содержание тяжелых металлов в образцах рекультивационного слоя второй отработанной секции золоотвала НЧГРЭС, 2003 г.**

Горизонт, см	Тяжелые металлы, мг/кг				
	Cu	Cd	Zn	Ni	Pb
0...20	2,858	0,068	9,145	4,687	1,989
20...40	6,161	0,135	17,346	6,616	3,543

Результаты выполненного агротехнического обследования второй отработанной секции золоотвала Новочеркасской ГРЭС позволяют сделать вывод о необходимости проведения работ биологического этапа рекультивации, направленных на создание на отработанном золоотвале антропоустойчивого фитocenоза, состоящего из травянистых и древесно-кустарниковых растений с хорошо развитой корневой системой, засухоустойчивых, не требовательных к почвенному плодородию и обладающих хорошими мелиоративными качествами.

#### ЛАБОРАТОРНЫЙ ОПЫТ

С целью установления наиболее адаптированных видов растений, пригодных для создания устойчивого фитocenоза на отработанном золоотвале, были проведены лабораторные исследования в вегетационных сосудах, которые предусматривали наблюдения за ростом и развитием двух-, трех- и четырехкомпонентных травосмесей на фоне различных доз удобрений по следующей схеме:

1. пырей + люцерна (без удобрений);
2. пырей + люцерна (оптимальная доза);
3. пырей + люцерна (повышение дозы на 30 %);
4. пырей + козлятник восточный (без удобрений);
5. пырей + козлятник восточный (оптимальная доза);
6. пырей + козлятник восточный (повышение дозы на 30 %);
7. колумбова трава + пырей + люцерна (без удобрений);
8. колумбова трава + пырей + люцерна (оптимальная доза);
9. колумбова трава + пырей + люцерна (повышение дозы на 30 %);
10. колумбова трава + козлятник восточный (без удобрений);
11. колумбова трава + козлятник восточный (оптимальная доза);
12. колумбова трава + козлятник восточный (повышение дозы на 30%);
13. колумбова трава + амарант + эспарцет (без удобрений);
14. колумбова трава + амарант + эспарцет (оптимальная доза);
15. колумбова трава + амарант + эспарцет (повышение дозы на 30 %);
16. эспарцет + пырей (без удобрений);
17. эспарцет + пырей (оптимальная доза);
18. эспарцет + пырей (повышение дозы на 30 %);

19. эспарцет + колумбова трава (без удобрений);
20. эспарцет + колумбова трава (оптимальная доза);
21. эспарцет + колумбова трава (повышение дозы на 30 %);
22. эспарцет + пырей + кострец (без удобрений);
23. эспарцет + пырей + кострец (оптимальная доза);
24. эспарцет + пырей + кострец (повышение дозы на 30 %);
25. пырей + эспарцет + люцерна + козлятник восточный (без удобрений);
26. пырей + эспарцет + люцерна + козлятник восточный (оптимальная доза);
27. пырей + эспарцет + люцерна + козлятник восточный (повышение дозы на 30 %).

В качестве минерального удобрения использовалась диаммофоска (N<sub>9-10%</sub>; P<sub>25-26%</sub>; K<sub>25-26%</sub>). Норма внесения удобрений по вариантам опыта рассчитывалась в зависимости от площади вегетационного сосуда и дозы удобрений N<sub>60</sub>P<sub>120</sub>K<sub>90</sub> кг д.в. на гектар.

Были проведены опыты в многократной повторности по определению всхожести исследуемых культур. Затем был заложен лабораторный опыт. Глубина заделки семян в сосудах составляла 2...3 см.

Через 25...30 дней были отмечены первые всходы (15 %), а через две недели – 75 % всходов исследуемых культур. Наибольший процент всхожести наблюдался у следующих культур: эспарцет – 96 %, пырей – 75 %, кострец – 82 %. Эти культуры имели высокие показатели независимо от дозы внесенных минеральных удобрений, а также от травосмесей, в состав которых они входили. Результаты исследований динамики линейного роста показали, что наиболее высокие показатели высоты растений наблюдались у следующих культур: пырей – 11 см, эспарцет – 6 см, кострец – 10 см, люцерна – 4 см.

Таким образом, проведенные лабораторные исследования позволили установить возможность возделывания травосмеси пырей + кострец + эспарцет на территории золоотвала, научно обосновать нормы высевы трав в травосмеси и дозы минеральных удобрений, а также сроки ее посева.

#### ПОЛЕВЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

Посев травосмеси пырей + кострец + эспарцет произведен во второй декаде апреля 2004 г. Нормы высевы составили: пырей – 40 %, кострец – 40 %, эспарцет – 20 %.

Растения травосмеси являются многолетними, обладают быстрой акклиматизацией, высокой устойчивостью

к неблагоприятным условиям микроклимата и к отрицательным физическим и химическим свойствам грунта, способны иметь сильно развитую корневую систему и обладают способностью к симбиозу с микроорганизмами. Они способны произрастать в течение 6 и более лет.

На рост и развитие растений травосмеси огромное влияние оказывали погодные условия. Осадков за период вегетации выпало в пределах нормы – 275 мм. Относительная влажность воздуха составила 69 %. Анализ метеорологических показателей позволил установить, что 2004 г. можно характеризовать как теплый и влажный. Выпавших осадков было достаточно, чтобы перекрыть дефицит влаги, так необходимый для роста растений.

Полные всходы травосмеси были получены в начале мая, а в конце июля наблюдалась задерненность поверхности золоотвала, что практически полностью исключило образование песчаных бурь на его территории. В конце августа была произведена подкормка травосмеси аммиачной селитрой дозой  $N_{60}$  кг/га д.в. А в начале октября были внесены сложные удобрения – аммофос.

Для восстановления нарушенного участка также применялись приемы лесомелиорации. Осенью 2004 г. на рекультивируемой территории древесно-кустарниковая растительность была высажена по диагонали участка мелиоративная трехрядная лесная полоса и на откосах золоотвала четырехрядная лесная полоса. Мелиоративная трехрядная лесная полоса предназначена для снижения негативного влияния восточных ветров. Четырехрядная лесная полоса, высаженная на откосах и по периметру золоотвала, предназначена для закрепления его поверхности. Всего на восстанавливаемой территории были высажены более 10 тыс. древесно-кустарниковой растительности 17 видов.

В результате проведенного ранней весной 2005 г. обследования посевов была отмечена хорошая перезимовка растений травосмеси. Вегетационный период 2005 г. можно охарактеризовать как засушливый. Осадки имели ливневый характер, и их выпало на 15 % меньше среднегогодового значения. Относительная влажность воздуха составила 64 %. Среднесуточная температура воздуха во все месяцы вегетационного периода значительно превышала среднегогодовые показатели.

В период вегетации травосмеси проводились наблюдения за динамикой линейного роста и глубиной проникновения корневой системы. Анализ полученных данных позволил отметить, что в среднем высота растений травосмеси составила более 80 см, а корневая система достигала глубины 30 см.

Питательный режим травосмеси поддерживался внесением минеральных удобрений. Весной проводилась подкормка азотными удобрениями дозой  $N_{60-90}$  кг/га д.в., а в конце вегетационного периода вносились сложные минеральные удобрения.

Проведенное осенью обследование созданного ландшафта позволило отметить успешное развитие как культивируемых растений травосмеси, так и сопутствующей сорной растительности. Количество видов на  $1\text{ м}^2$  в среднем составило 3...5 шт.

В результате проведенного обследования созданных лесополос было установлено, что в целом приживаемость кустарников составила 80 %. Наилучшая приживаемость наблюдалась у шиповника, снежноягодника,

лоха серебристого, облепихи, бересклета европейского и бородавчатого.

Весной 2006 г. в результате проведенного обследования участка была отмечена хорошая перезимовка растений. Сохранность растений травосмеси после зимнего периода в среднем составила 93,6 %.

Анализ метеорологических показателей позволил установить, что 2006 г. можно характеризовать как засушливый. Осадков выпало на 16,8 мм меньше нормы. Они распределялись по месяцам вегетационного периода крайне неравномерно. Самым засушливым месяцем был август (2,4 мм). Среднесуточная температура воздуха в среднем за период вегетации составила  $19,4\text{ }^{\circ}\text{C}$ , что на  $1,6\text{ }^{\circ}\text{C}$  превышало среднегогодовое значение. Относительная влажность воздуха составила 62 %. Однако, влажные май (51,1 мм осадков) и июнь (103,2 мм осадков) позволили как культивируемым растениям, так и сорной растительности успешно произрастать на золоотвале. Хорошему росту и развитию растений травосмеси способствовало внесение минеральных удобрений дозой  $N_{90}P_{90}K_{60}$  кг/га д.в.

В 2007 г. полевые исследования на золоотвале были продолжены. Сохранность растений травосмеси после зимнего периода составила свыше 89 %.

2007 год характеризовался небольшим количеством выпавших осадков (на 84,3 мм меньше среднегогодовой величины), повышенными значениями температуры (на  $3,1\text{ }^{\circ}\text{C}$  выше среднегогодовой величины) и относительной влажности воздуха (на 13 % больше среднегогодовой величины). В целом, вегетационный период 2007 г. можно охарактеризовать как полусухой.

В начале вегетационного периода травосмеси вносились минеральные удобрения расчетной дозой  $N_{90}P_{90}K_{90}$  кг/га д.в. К концу вегетации высота растений эспарцета составила в среднем 82 см, пырея и костреца – 123 см. Корневая система изучаемых культур к концу вегетационного периода 2007 г. достигла глубин 38...46 см, и было отмечено проникновение их в золошлаковый субстрат.

После зимнего периода 2007-2008 гг. сохранность растений в среднем составила 85 %. В целом 2008 г. можно охарактеризовать как засушливый. Анализ метеорологических показателей вегетационного периода позволил установить, что сумма осадков составила 306,4 мм, что на 30,4 мм превышало среднюю многолетнюю величину. Среднесуточные температуры воздуха были близки к среднегогодовым данным, а относительная влажность воздуха в эти же дни была значительно выше среднегогодовой величины.

В 2008 г. в конце вегетации высота растений травосмеси составила: у эспарцета в среднем 95 см, у злаков – 137 см. Глубина проникновения корневой системы достигла: у эспарцета – 48...53 см, у пырея и костреца – 45...56 см.

С целью изучения влияния фитомелиорации на агрохимические свойства рекультивационного слоя осенью 2008 года были отобраны образцы песчаного субстрата и переданы для анализа в аналитическую лабораторию ФГНУ «РосНИИПМ». Результаты анализов представлены в табл. 3, 4.

Таблица 3. Результаты агрохимического анализа образцов рекультивационного слоя второй отработанной секции золоотвала Новочеркасской ГРЭС, 2008 г.

Горизонт, см	Азот нитратный, мг/кг	Фосфор подвижный, мг/кг	Калий обменный, мг/кг	Гумус, %	pH
0...20	0,9	нет	20,0	0,07	8,48
20...40	2,5	44,6	48,0	2,69	8,32

Таблица 4. Содержание тяжелых металлов в образцах рекультивационного слоя второй отработанной секции золоотвала Новочеркасской ГРЭС, 2008 г.

Горизонт, см	Тяжелые металлы, мг/кг				
	Cu	Cd	Zn	Ni	Pb
0...20	2,32	0,008	8,76	1,53	3,12
20...40	6,47	0,25	18,45	9,17	6,23

Анализ показателей табл. 3 позволил установить, что в слое 0...20 см произошло повышение содержания нитратов на 0,52 мг/кг, в слое 20...40 см – на 2,14 мг/кг в сравнении с первоначальным отбором проб в 2003 г. Снижение содержания подвижного фосфора в сравнении с первоначальным отбором объясняется его использованием растениями травосмеси. Содержание обменного калия в слоях 0...20 см и 20...40 см составило 20 мг/кг и 48 мг/кг соответственно, что указывает на его повышенное содержание в песчаном субстрате. Следует отметить, что после проведения фитомелиорации на рассматриваемой территории установлено увеличение содержание гумуса.

Анализ результатов, приведенных в табл. 4, позволяет утверждать, что содержание меди, кадмия, цинка, свинца и никеля в слое 0...20 см значительно снизилось. Несколько иная ситуация наблюдается по содержанию тяжелых металлов в слое 20...40 см. Такое увеличение содержания тяжелых металлов в 20...40 см слое песчаного субстрата объясняется тем, что корневые системы растений травосмеси достигли золы.

Полученные результаты позволяют говорить о протекающих положительных процессах, способствующих увеличению органического вещества в песчаном субстрате в виде биомассы и корневой системы растений травосмеси, что может быть достигнуто лишь с помощью культур-фитомелиорантов. Кроме этого, снижение содержания тяжелых металлов в верхнем 0...20 см слое песчаного субстрата также является положительным фактором, достигнутым в результате фитомелиорации,

выполненной на территории рекультивируемого золоотвала.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Государственный доклад** «О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации» за 2003 год [Электронный ресурс] Режим доступа: [http://www.mnr.gov.ru/files/part/3279\\_4.doc](http://www.mnr.gov.ru/files/part/3279_4.doc)
2. **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.
3. **Материалы секции №3 «Золошлаки и промтоходы предприятий»** Межд. научн. практ. конф. «Экология энергетики-2000». Москва, 18-20 октября 2000 г. — М.: Издательство МЭИ. С. 193-251.
4. **РД 34.02.202-95 «Рекомендации по рекультивации отработанных золошлакоотвалов тепловых электростанций»**. СПО ОРГЭС, 1995. 25 с.
5. **Вишня Б.Л., Шульман В.Л., Орлов А.В.** Методы рекультивации отработанных золоотвалов ТЭС // Биологическая рекультивация нарушенных земель: Материалы Международного совещания. Екатеринбург, 26-29 августа 1996 г. Екатеринбург: УрО РАН, 1997. С.22-31.

**Результаты работ по биологической рекультивации второй отработанной секции золоотвала Новочеркасской ГРЭС.** В.В. Бирюков, И.В. Гурина, Н.А. Иванова // Материалы III научно-практического семинара «Золошлаки ТЭС: удаление, транспорт, переработка, складирование», Москва, 22–23 апреля 2010 г. — М.: Издательский дом МЭИ, 2010. С. 64 – 67.