

РЕШЕНИЯ ЗА РЕКУЛТИВАЦИЯ И ФИТОРЕМЕДИАЦИЯ НА ДЕГРАДИРАНИ ПОЧВИ – МЕДНО ХВОСТОХРАНИЛИЩЕ „МЕДЕТ“

Росица Петрова

Лесотехнически университет – София

УДК 631.45

Постъпила на 11.11.2009

Изследването е извършено в района на хвостохранилище „Медет“. Хвостохранилището е изпълнено чрез насипване на отпадъци от преработката на медни руди.

Изследвани са физичните и химичните свойства на почвата и депонираните отпадъци. Анализите се извършват съгласно следните методи: подготовка на проби – ISO номер 11466; фракционен състав – метод на сухо пресяване, активната киселинност ($\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}$) – БДС ISO 10390; общи форми на тежки метали – ISO 11466, БДС ISO 11885.

Резултатите показват, че:

- дължината и наклонът на съществуващите откоси изискват прилагането на технически мерки за предотвратяване на водна ерозия.
- фракционният състав на субстрата е фин и лесно податлив на ветрова ерозия.
- производствените отпадъци от пиро-металургичния процес, които са депонирани в хвостохранилището не са подходящи за директно биологично усвояване (липса на органично вещество и хранителни елементи, засоляване и наличието на високи концентрации на тежки метали – мед).

Разработени са технологии за преоткосиране и подобряване на плодородието на рудните отпадъци чрез: насипване на почвени маси и внасяне на минерални торене, и култивирането на подходяща за условията тревна и дървесна растителност.

Ключови думи: отпадъци, замърсяване, тежки метали, ерозия, рекултивация, фиторемедиация.

Key words: waste contamination, heavy metals, erosion, rehabilitation, phytoremediation.

Увод

Хвостохранилище „Медет“ е изградено в долината на р. Тополница чрез напаване на отпадъчен хвост от преработката на медни руди на около 3 km южно от гр. Пирдоп. Експлоатирано е от 1965 до 1994 г. Основната стена на хвостохранилището, наричана Западна преградна стена е изградена в местността Златишко кале. Източната

преградна стена е изпълнена откъм водоем Жеков вир.

Площта на хвостохранилището заедно с въздушните му откоси е 2000 dka. В средата на хвостохранилището близо до десния скат има водно огледало, което изменя площта и обема си в зависимост от сезонните валежи. Във водното езеро постъпват и скатови води.

На територията на Западната стена

Златишко кале има частично изпълнена техническа и биологична рекултивация – насипване на земни маси, залесяване и затревяване. Растителността, която е използвана при рекултивацията, е главно широколистна – бяла акация (*Robinia pseudoacacia* L.), бяла бреза (*Betula pendula* Roth) и бял бор (*Pinus sylvestris* L.).

Затревените площи са едва с около 40 % покритие, като основните оцелели видове са тростот (*Cynodon dactylon* Pers.) и пирей (*Elymus* sp.), на туйфи се среща обикновен звездан (*Lotus corniculatus* L.) и повсеместно киселец (*Rumex acetosella* L.).

Навсякъде по откосите на двете стени има активни ерозионни процеси, дефлационно отлагане на хвост с мощност около 15–20 cm в зоните с провеждана в миналото рекултивация (Западна стена) и прояви на суфозия (Източна стена).

Целта изследването е на база оценка на фракционния състав и степента на замърсяване на субстратите да се набележат мероприятия за техническа и биологична рекултивация, чрез които да се ограничи проявата на ерозионни процеси, замърсяването на почвите в района и да се създадат условия за развитие на растителност.

Резултати

Фракционен и механичен състав на депонирания хвост, риск от ветрова и водна ерозия

Извършените проучвания върху фракционния състав на депонирания хвост показват преобладаващо участие на

фракцията под 1 mm и риска от пренасянето на този фин прах на големи разстояния (табл. 1).

Механичният състав на изследваните субстрати (хвост) варира от песъчлив (sandy) и праховито пясъчлив (loamy sand) до песъчливо-глинест (sandy clay). Поради лекия механичен състав на хвоста и отсъствието на изградени съоръжения за отвеждане на повърхностните води водната ерозия е сериозен проблем на територията на хвостохранилището.

Активна киселинност (pH_{H_2O}), общи форми на тежки метали

Предвид естеството на депонираните в хвостохранилище “Медет” отпадъчни продукти от преработката на медни руди, взетите проби са анализирани за оценяване степента на замърсяване с тежки метали. Получените резултати са показани в табл. 2.

Няма замърсяване на канелените горски почви (фонова почвена проба) с тежки метали и металоиди. Установява се слабо превишаване на фоновите и предохранителните концентрации за мед и цинк, но границите на превишаване не индикират замърсяване.

Алувиалната почва от опашката на язовира, която може да се ползва за целите на рекултивацията, не е замърсена с тежки метали и токсични елементи.

Депонираният отпадъчен продукт от обогатяването на медната руда (хвост) е незамърсен до слабо замърсен с мед ($K_{Cu} - 0,48-1,4$), като концентрации над максимално допустимите нива има само при една от пробите, като остава под интервенционните.

Таблица 1
Table 1

Фракционен състав на субстрати от хвостохранилище „Медет“ – стена „Златишко кале“
(по данни на Желева и кол., 1997)
Partical size composition of the substrates of pond "Medet – Wall Zlatitsa Kale"
(based on Jeleva et al., 1997)

Разрез No soil section	Дълбочина, depth, cm	g	Фракции, mm/Partical size, mm									
			> 10	10–7	7–5	5–3	3–2	2–1	1–0,5	0,5–0,25	<0,25	Общо total
P ₁	0–20	g							188,13	625,96	240,47	1054,56
		%							17,84	59,36	22,80	100,00
	20–50	g							7,86	934,02	215,48	1157,36
		%							0,68	80,70	18,62	100,00
P ₂	0–20	g						2,95	113,18	674,97	306,05	1097,15
		%						0,27	10,32	61,52	27,89	100,00
	20–50	g						0,83	19,54	839,68	301,05	1161,19
		%						0,07	1,68	72,31	25,93	100,00
P ₅ *	0–12	g	54,61	89,86	132,64	136,14	137,59	181,76	137,16	103,16	50,27	1023,19
		%	5,34	8,78	12,96	13,13	13,45	17,76	13,41	10,08	4,91	100,00
	12–38	g	916,51	107,62	115,35	154,07	95,58	125,47	44,66	23,59	9,63	1592,48
		%	57,55	6,76	7,24	9,67	6,00	7,88	2,80	1,48	0,60	100,00

Забележка: * Проба от ненарушена канелена горска почва в района на хвостохранилището, дадена за сравнение.

Таблица 2
Table 2

Активна киселинност и съдържание на тежки метали (обща форма) в ненарушени почви
и депониран хвост в района на хвостохранилище „Медет“, mg/kg
Active acidity (pH) and heavy metal content (total forms) in undisturbed soils
and deposited tailings pond near region Medet, mg/kg

Разрез Soil section	Дълбочина, depth, cm	pH _{H2O}	Cu	As	Cd	Pb	Zn	Ni	Cr	Fe	Mn
Канелена горска – фонова Hromic Luvisols – background	0–12	4,9	53	–	–	27	114	–	52,5	35687	455,1
Алувиална почва – опашка на яз. Жеков Alluvial soil – tail pond dam Zhekov vir	0–15	4,5	37	–	–	15,9	56	–	35,6	14638	408,9
Канелена горска – фонова Hromic Luvisols* – background	0–12	4,66	105	4,20	<0,10	28	135	45	58,00	25250	640
	12–38	5,31	64	2,28	0,1	22	161	54	66,00	33250	875
Западна преградна стена West partition wall											
Рекултивирана площадка с навят хвост Land, with a wreath of tailings site	0–20	6,18	432	32,00	0,50	46	98	14,00	14,00	14620	750
	20–50(80)	3,80	310	3,70	<0,10	5,25	35	1,00	5,50	9750	190
Нерекултивиран хвост – откоси Non reclamation slopes – tailings pond	0–20	5,90	428	–	–	3	41,5	–	2,2	8820,4	116,6
	20–40	5,12	474	–	–	2	37,1	–	3,1	12900	150,4
P ₁ *	0–20	8,05	200	1,10	<0,10	4,75	62	1,00	5,50	11620	322
P ₁ *	20–50	7,63	288	0,70	<0,10	4,5	45	1,00	2,25	10875	242
P ₃ *	0–20	5,08	702	0,80	<0,10	4,25	23	0,50	4,50	10250	198
Хвостохранилище Pond	0–20	4,8	288	–	–	6	41,5	–	3,1	15330,0	169,9
	20–40	5,1	240	–	–	7	37,1	–	2,6	13691,1	158,1
Източна преградна стена Eastern partition wall	0–20	4,5	145	–	–	<1	21,4	–	3,3	19861	163,3

Забележка: 1) * Фонова проба, резултати от проект BG 9310-03-05-02; 2) “–” не са определени; 3) 161 – над
предохранителната концентрация; 4) 702 – над максимално допустимата концентрация

Няма замърсяване на хвоста с олово, цинк, арсен, кадмий, никел, хром и др.

Лесорастителни свойства

Резултатите от извършените анализи показват, че:

а) Депониран хвост

– За период от 12 години реакцията на разтвора ($\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}$) в изследваните дълбочини се е променила в посока вкисляване – от много слабо до слабо алкална (7,52–8,1) през 1996 г. (Желева и др. 1997), до силно до средно кисела (4,5–5,12) през 2008 г.

– Количеството на общия азот в изследваните материали е под необходимия минимум (0,05 %). Съдържанието на общ азот в хвоста варира от 0,0017 до 0,0107 % , т.е. хвостът е много беден на общ азот. Това показва, че при бъдеща рекултивация е необходимо внасянето му или създаване на условия за естественото му набавяне (използване на повече сидерати в смеската за затревяване и азотфиксиращи дървесни видове).

– Пълно отсъствие на хумус през 1996 г. и минимално съдържание (0,17–0,28 %) през 2008 г., определящо депонирания хвост като бедно хумусен.

– Съдържанието на усвоими форми на фосфор определя хвоста като много слабо до средно запасен (1,0–11,5 mg/100 g).

– Съдържанието на усвоими форми на калий определя хвоста като много слабо до много добре запасен (7,2–61,5 mg/100 g).

б) Ненарушените почви в района са:

– Средно богати на хумус (2,73–

3,09 %), много слабо до средно запасени с общ азот (0,053–0,20 %), много слабо запасени с подвижен фосфор (1,6–2,1 mg/100 g) и много слабо запасени с подвижен калий (4,1 mg/100 g).

– Със силно кисела реакция на почвения разтвор.

Тези резултати определят лимитиращите успеха на биологичната рекултивация фактори – неблагоприятен хранителен режим по отношение на съдържанието на общ азот и усвоими форми на фосфор и калий. Въз основа на това тяхната мелиорация следва да бъде насочена към внасяне на минерални торове и култивиране на подходяща (усвояваща азот от въздуха) растителност.

Технология за рекултивация

Предвид необходимостта от регулиране чрез технически средства на притока на кислород към хвоста и безопасното извеждане на повърхностните и скатовите води извън хвостохранилището е разработена следната технология за рекултивация:

– Възстановяване на нарушени берми с оглед регулиране на водооттока и намаляване дължината на откосите;

– Запълване на ерозионни ровини;

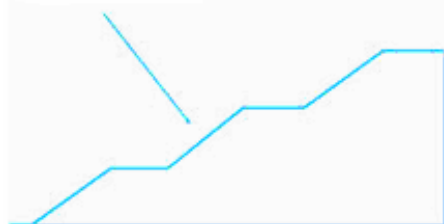
– Прилагане на комплексни мероприятия за подобряване на хранителния режим на хвоста чрез: внасяне на земни маси и минерално торене, и култивиране на подходяща тревна и дървесна растителност.

Поради недостиг на земни маси в района на хвостохранилището и отсъствие на глини с хидравлична проводимост 10^{-9} m/s предложената техно-

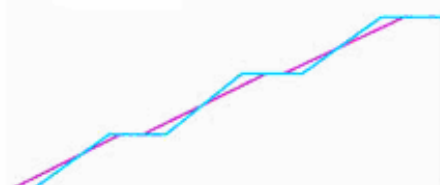
логия предвижда изграждане на просто еднопластово покритие от земни маси с дебелина на пласта 0,3 m ($231\,134\text{ m}^3$), с което ще се инхибира дейността на аеробните *T. ferrooxidans* и ще се съз-

даде възможност за настаняване на растителност. С развитието на последната в значителна степен ще се ограничи инфилтрацията на води в зоните на провежданата рекултивация (фиг. 1, 2).

Конфигурация на наклона на откосите - западна стена



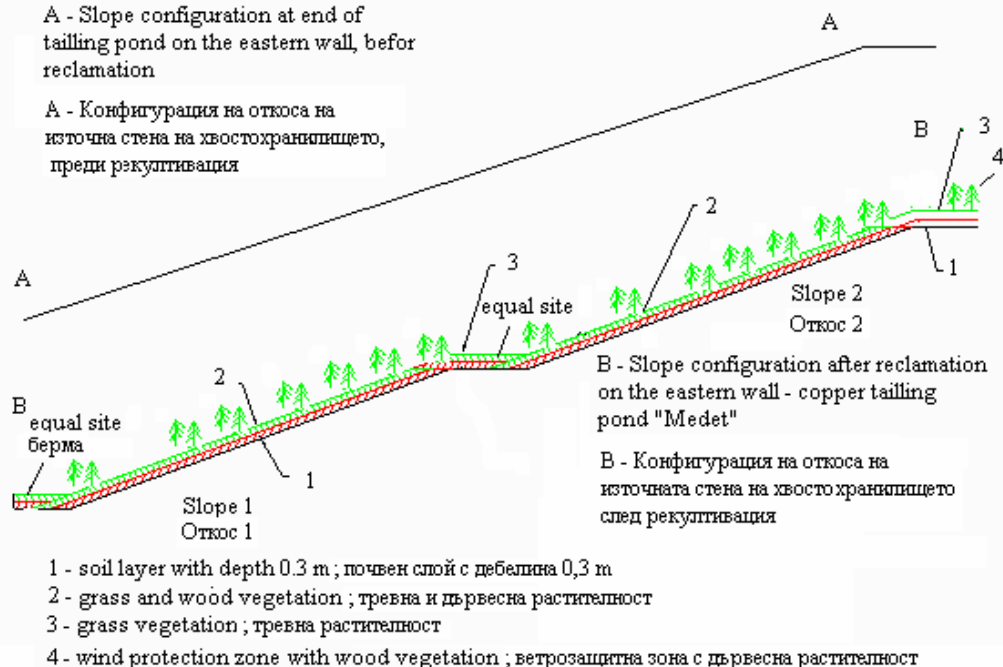
Обем на материала "изкоп-насип" след рекултивацията - западна стена



Фиг. 1. Дейности по техническа рекултивация на западна стена
Fig. 1. Technical reclamation activities of the west wall

A - Slope configuration at end of tailing pond on the eastern wall, before reclamation

A - Конфигурация на откоса на източната стена на хвостохранилището, преди рекултивация



Фиг. 2. Дейности по техническа и биологична рекултивация върху източна стена
Fig. 2. Activities of technical and biological reclamation on the east wall

Биологичната рекултивация предвижда подобряване на условията на месторастене и избор на подходяща за условията дървесна и тревна растителност. Мероприятията включват: минерално торене; залесяване, захрастяване и затревяване с подходящи за условията дървесни и тревни видове и отгледни грижи – попълване на загинали фиданки; окопаване; косене на тревна растителност и стартово поливане.

Предвид ниското плодородие на наличните земни маси в проекта е предвидено минерално торене с карбамид – $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$ със съдържание на 46 % N, двоен суперфосфат със съдържание на P_2O_5 36 % и калиев сулфат – K_2SO_4 със съдържание на K_2O 48 %.

Азотната норма на торене е 10 kg/dka чисто вещество и внасяне на 21,7 kg/dka карбамид. Наторяването на залесените, захрастените и затревени площи ще се извършва в три последователни години, като за:

- Залесените/захрастените площи нормата за първата година ще се внесе при засаждането на фиданките като основно торене, а през втората и третата – за подхранване (около фиданките) в началото на вегетацията в хладно време, със задължително прекопаване.

- Затревените площи нормата за първата година ще се внесе припосевно, а за втората и третата като подхранване в началото на вегетацията в хладно време.

Недостигът на фосфор в почвените маси ще бъде компенсиран при норма на торене 10 kg/dka чисто вещество чрез внасяне на 27,8 kg/dka двоен суперфосфат. Внасянето му ще се из-

вършва запасяващо, еднократно като основно торене (в посадните места и след подготовката на почвеното легло за засяване на тревните смеси).

Недостигът на калий в почвените маси ще бъде компенсиран при норма на торене 10 kg/dka чисто вещество чрез еднократно внасяне на 20,8 kg/dka калиев сулфат заедно с двойния суперфосфат.

Изборът на растителност е съобразен с неблагоприятните едафични условия и провежданата в миналото биологична рекултивация на Западната стена на хвостохранилището. За условията на месторастене избраните видове са с подчертана сухоустойчивост – бяла акация (*Robinia pseudoacacia* L.), бял бор (*Pinus sylvestris* L.) и бяла бреза (*Betula alba* L.).

Изграждането на ветрозащитните пояси по площадките на кота 705 за „Източна стена“ и кота 696 за „Западна стена“ и залесяването на всички откоси е с видово съотношение 30:70, съответно за бял бор и бяла акация.

Залесяването е предвидено да се извърши в посадни места (дупки) с размери 30x30x30 cm. Отварянето на дупките ще се извърши шахматно в условни редове на разстояние вътре в реда 0,7 m и между редовете 1,5 m. За залесяването ще се използват двугодишни стандартни фиданки с открита коренова система. С оглед постигане на по-бърз укрепителен ефект е предвидена висока посадна гъстота 952 бр./dka (1,5 x 0,7 m).

Захрастяването е предвидено да се извърши с аморфа (*Amorpha fruticosa*) и тамарикс (*Tamarix tetrandia*) в посадни места (дупки) с размери 20x20x20 cm.

Отварянето на дупките ще се извърши шахматно в условни редове на разстояние вътре в реда 0,7 m и между редовете 1,5 m при посадна гъстота 952 бр./дка (1,5 x 0,7 m).

Схеми на предложената технология за биологична рекултивация на „Западна“ и „Източна“ стена на хвостохранилище „Медет“ са показани на фиг. 3.

Подбраният вид състав на тревната смеска и посевната норма съот-

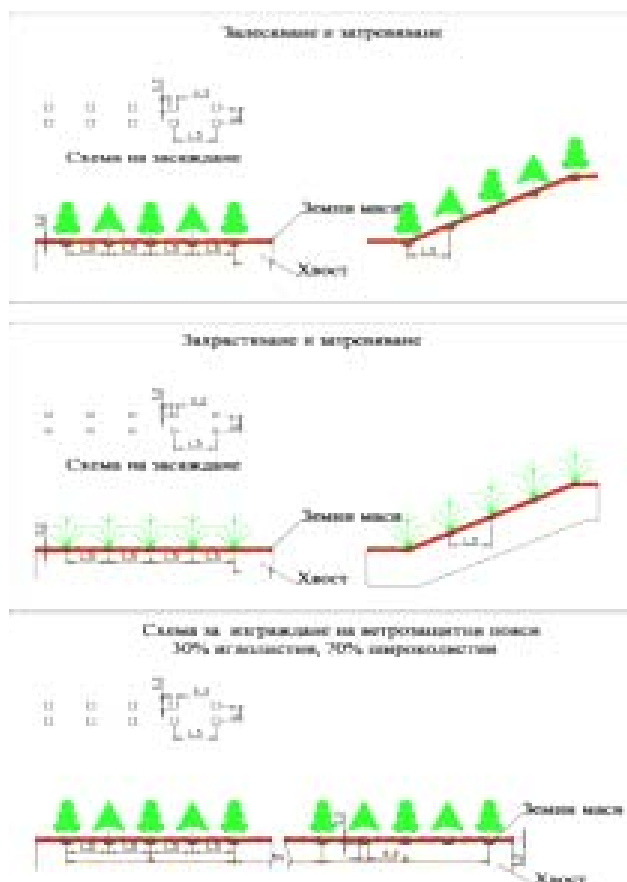
ветстват на утежнените условия – бяла детелина (*Trifolium pratense* L.), червена власатка (*Festuca rubra* L. ssp. *Commutata* Gaud.), обикновена полевица (*Agrostis vulgaris* With.), еспарзета (*Onobrychis avenaria* DC) и теснолистен фий (*Vicia tenuifolia* Roth.) в норма 20 kg/dka. Процентното участие на видовете е както следва: бяла детелина – 35 % (7 kg); еспарзета – 20 % (4 kg); теснолистен фий – 15 % (3 kg); червена власатка – 20 % (4 kg); обикновена полевица – 10% (2 kg).

Заклучение

Направените изследвания показват, че:

1. Депонираният хвост се характеризира с изключително неблагоприятни свойства, които в най-силна степен се проявяват по отношение на гранулометричния състав, определящ силната дефлационна и денудационна податливост и активни процеси на окисление и дренаж; високи концентрации на тежки метали (мед) в нива над интервенционалните; крайно беден хранителен режим. Това го определя като непригоден за директно биологично усвояване;

2. За прекратяване развитието на ерозионни процеси е необходимо намаляване на наклона на същест-



Фиг. 3. Схеми за залесяване на „Източна“ и „Западна“ стена на хвостохранилище „Медет“

Fig. 3. Afforestation schemes of "Eastern" and "West" side of the pond, "Medet"

вуващите откоси и възстановяване на нарушените площадки с оглед регулиране на водооттока (западна стена) и терасиране за намаляване дължината на откоса (източна стена) на хвостохранилището.

3. Прилагане на комплексни мероприятия за подобряване на хранителния режим на хвоста чрез: внасяне на земни маси и минерално торене, и култивиране на подходяща тревна и дървесна растителност.

Литература

Желева, Е., Св. Генчева, И. Василева, М. Нусторова, Е. Симова. 1997. Оценка и анализ на нарушените територии във връзка с тяхната рекултивация. Т. 8 от Проект по Phare № BG 9310-03-05-02/ в 18 тома. Екологична оценка на въздействието на емисиите от МДК – Пирдоп върху почвите в района на Пирдоп – Златица. БНОЦЕОПС. София (на български и английски език).

DECISIONS FOR REHABILITATION AND PHYTOREMEDIATION OF DEGRADED SOILS – COPPER TAILING POND ‘MEDET’

Rossitsa Petrova

University of Forestry – Sofia

UDK 631.45

Received 11.11.2009

Summary

The investigation has been carried out in the region of the tailing pond ‘Medet’. Tailings pond is fulfilled through drop hvost waste from the processing of copper ores.

The physical and chemical properties of soil and waste deposited was investigated. The analyses are carried out according following methods: sample preparation – ISO number 11466; particle Size Analysis – dry screen method; active acidity ($\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}$) – BSS ISO 10390; total forms of heavy metals – ISO 11466, BSS ISO 11885.

The results show that:

- the length and slope of existing bank required technical measures for prevention of water erosion.
- particle size composition of the substrate is fine and easy to apply the wind
- the ore waste production of pyro-metallurgical processing, which is delivered to tailing pond is unsuitable for directly biological rehabilitation (the absence of organic matter and nutrients, salinization and the presence of high concentrations of heavy metals – copper).

Technologies for resloped and improve the fertility of ore waste by: introduction of soil masses and mineral fertilizing and cultivating the proper grass and wood vegetation were developed.