

TEADUSTÖÖD

EESTI PÕLEVKIVIKARJÄÄRIDE PÕLLUKS REKULTIVEERIMISEST JA KOORITUD HUUMUSMULLA MIKROBIOLOOGILISEST SEISUNDIST SELLE SÄILITAMISEL

E. Leedu, L. Murdam

Kakskümmend aastat tagasi (täpsemalt 1974. a.) alustas Ida-Virumaa Viru-Maidla valla territooriumil asuv Aidu karjäär (endine "Oktoobri" karjäär) põlevkivi tootmist põllualadelt. Aidu karjääri I ja II jsk. võtavad tolleaegse plaani järgi enda alla 1358 ha, sealhulgas üle 700 ha Põhja-Eesti parimaid põllumaid. Selleaegse põllumajanduspoliitika kohaselt tuli karjääriala pärast põlevkivi kaevandamist taastada põllumaaks.

Kuna varem rajatud põlevkivikarjäärid asusid soode, metsa ja jäätmaade aladel, siis puudus kaevanduste all olnud maa põlluks rekultiveerimise kogemus. Seoses eelöelduga alustati 1976. a. Aidu karjääris RPI "Eesti Põllumajandusprojekt" poolt põllumajandusliku rekultiveerimise katsetöödega ligemale 1 ha suurusel alal.

Katsete eesmärgiks oli selgitada:

- optimaalset huumuskihi tusedust põllukultuuride kasvatamiseks;
- huumus- ja savistunud sisseuhtehorisoni segamise võimalusi ning sellise töö efektiivsust põllumajanduslikul rekultiveerimisel;
- väetiste efektiivsust tehnogeensetel muldadel ja selle sõltuvust huumusmulla kihi tusedusest;
- sügavväetamise (varuväetiste andmise) efektiivsust;
- niisutamise efektiivsust ja selle sõltuvust väetamisest;
- põllukultuuride järjestust bioloogilisel rekultiveerimisel.

Lisaks loetletule püüti välja töötada tehnogeensete muldade klassifitseerimise alused.

Aidu põlevkivikarjääri ette jäävate põllualade pinnakate koosneb füüsikalise-keemiliste omaduste poolest kahest erinevast kihist:

- a) kvaternaari setted 0,5...2,0 m tuseduse valkjashalli või kollakaspruuni rähkse liiv-savimoreeni, kohalike jääpaisjärvede liiva või turba näol;
- b) eelmiste alla jäävad kesk-ordoviitsiumi ajastu lubjakivid ja dolomiidid.

Reljeef on nõrgalt lainjas. Kvaternaarse setete ülemine kiht ongi muldade lähtekivimiks. Nii on reljeefi kõrgematel elementidel mulla lähtekivimiks moreenid ja nendel väljakujunenud muldadeks rendsiinad (K) ning leostunud ja leetjad mullad (Ko; KI), ajutiselt liigniisketel aladel gleistunud leostunud ja gleistunud leetjad (Kog; KIg) mullad, kahekihilisel lähtekivimil on kahkjad (näivleetunud) mullad (LP). Pärastjääagsete veekogude setetel (liivadel) on vastavalt välja kujunenud leetunud, gleistunud leetunud ja leede-gleimullad (Lk; Lkg; LG) ning lubjarikka põhjavee olemasolul küllastumata, küllastunud ning turvastunud gleimullad (GI; Go; G1). Esindatud on ka madalsoo- ja rabamullad (M; R). Kuivadel liivaaladel esinevad leedemullad (L). Tabelis 1 on esitatud Aidu karjääri I ja II jsk. ette jäänud ja jäävate muldade nimistu ning neid iseloomustavad tähtsamad näitajad.

Tabel 1. Aidu karjääri I ja II jsk. alla jäävate muldade tähtsamad agronoomilised omadused / Highly relevant agronomical qualities of soils under the first and the second divisions of the Aidu pit

Muld (šiffer) Soil (legend)	Pind (ha) Area (ha)	Mehaaniline koostis Mechanical composition	A-horisondi / Level A				Laktaatlahustuvat / Lactate-soluble			
			tüsedus cm thickness of the topsoil cm	huumuse- sisaldus % humus content %	pH _{KCl}	küllastusaste % saturation %	P		K	
							mg 100g peeneses/ mg in 100 g of fine particles			
						metsas forest	põllul field	metsas forest	põllul field	
Lkp	15	liiv - sand	20	1,6...2,4	4,4...5,3	43...73				
Lk	68	liiv	20...26				1,0	1,9	3,2/1,0	8,6
LP	14	saviliiv								
		saviliiv	20...25	1,5...2,5	4,3...5,7	42...75				
		liivsavi								
K"	50	r. liivsavi	20...25	2,2...4,2	6,6...7,4	90	0,9/0,6	4,4	5,2/1,7	13,0
Ko	123	liivsavi	23...30	2,2...3,6	6,0...7,1	80	1,1/0,5	3,6	5,1/1,7	11,1
		r. liivsavi								
KI	246	liivsavi	22...27	2,2...3,3	5,6...6,7	72...93	0,6/0,1	1,8	3,5/1,2	8,6
		r. liivsavi								
KIg	58	liiv	23...25	1,7...5,0	4,8...6,2	63...97	1,1/0,7		3,2/1,7	
		r. liivsavi								
Lkg	30	liiv	18...23	1,1...3,9	4,3...5,4	38...70	1,7/1,1		7,6/2,5	
		liivsavi								
LG	30	liiv	22...24						4,2/2,8/1,5	
		liivsavi								
LG1	165	turvas - bog	25...30							
		liiv								
Go; G1	99	liiv	18...20	3,5...8,0	4,8...5,7	48...79	11,0/1,3		4,8/2,2/1,2	
		liivsavi								
GI	255	turvas - mire	25				11,9/2,2		8,8/2,2	
M	1	turvas - mire								
S _R ; R	191	turvas - bog								
L	12	liiv								

saviliiv – loamy sand; liivsavi – sandy loam; r. liivsavi – pebble sandy loam

Aidu karjääri ette jäävad mullad / The soils under the Aidu pit

Šiffer Legend	Mulla nimetus (Reintam, 1975) Name of a soil	Mulla nimetus FAO süsteemis Name of a soil in FAO system
Lkp	Põuakartlik leetunud muld Sod-podzolic sand	Arenosol
Lk	Leetunud muld Sod-podzolic soil	Haplic Podzol
LP	Pruun näivleetunud muld Brown pseudopodzolic loamy sand on loamy till	Eutric Podzoluvisol
Kh"	Õhuke rähkne rendsiina Thin limestone rendzina	Rendzic Leptosol on Limestone
Kh'''	Keskmise sügavusega rähkne rendsiina Medium pebble rendzina	Rendzic Leptosol on pebble till
Ko	Leostunud muld Brown loam on pebble till	Calcaric Cambisol
KI	Leetjas muld Brown lessive loam on pebble till	Calcaric Luvisol
KIg	Gleistunud leetjas muld Gleyed brown lessive loam on pebble till	Cleyic Luvisol
Lkg	Gleistunud leetunud muld Gleyed sod-podzolic sand on loamy till	Cleyic Sandy Podzol
LG	Leede-gleimuld Sandy sod-gley-podzol	Ferryic Podzol
LG1	Turvastunud leede-gleimuld Peaty humus-podzol	Humic Podzol
Go	Küllastunud gleimuld Base-saturated soddy-gley sand on loam	Eutric Gleysol
GI	Küllastumata gleimuld Unsaturated soddy-gley sand on loam	Dystric Gleysol
G(o)1	Küllastunud turvastunud gleimuld Base-saturated peaty gley soil on sandy	Eutro-Histic Gleysol
G(I)1	Küllastumata turvastunud gleimuld Unsaturated peaty gley soil on sandy	Dystro-Histic Gleysol
M	Madalsoo Lowland mire	
Sr	Siirdesoo Transitivnal bog	Dystric Histosol
R	Rabamuld Raised bog	
L	Leedemuld Sandy podzol	

Rekultiveeritud põllu mulla agronoomilised omadused sõltuvad ammendatud põlevkivikarjääri puistangumaterjali ja huumusmulla omadustest ning tusedusest. Määravamateks näitajateks on:

- kivisus (korese sisaldus), peenese $\varnothing < 1$ mm, füüsikalise savi ($\varnothing < 0,01$ mm) ja ibe ($\varnothing < 0,001$ mm) sisaldus;
- orgaanilise päritoluga süsiniku sisaldus;
- taimede poolt omastatavate toiteelementide sisaldus;
- materjali lasuvustihedus.

Puistangumaterjal koosneb mittetootlikest põlevkivikihtidest, põlevkivikihtide vahelistest lubjakivikihtidest, põlevkivi katvatest ordoviitsiumi ajastu lubjakividest ning kvaternaari setetest. Kvaternaari setete ja ordoviitsiumi ajastu lubjakivide suhe puistangus sõltub pinnakatte tusedusest ja põlevkivi kaevandamise sügavusest. Aidu karjääris oli põllumajandusliku rekultiveerimise katsealal puistangumaterjali kivisus $\varnothing > 10$ mm 30 määramise keskmisena 54,7 % (varieeruvus 95 % tõenäosuse juures 27 %). Alla 10 mm \varnothing puistangumaterjali peenesesisaldus ($\varnothing < 1$ mm) varieerub samuti küllaltki suurtes piirides ($V_{0,95}=9,9$ %), olles 80 määramise keskmisena 63 %. Karjääri tööee liikudes lõuna suunas põlevkivi katendi tusedus kasvab ja on selge, et koos sellega suureneb ka puistangumaterjali kivisus. Kogu puistangumaterjali keskmine peenesesisaldus oli katsealal ainult 28,6 % (25...30), mis võeti aluseks agrofüüsikaliste ja agrookeemiliste näitajate arvutamisel. Ülevaate Aidu karjääri katseala muldade omadustest annab tabel 2.

Tabel 2. Aidu karjääri põllumajandusliku rekultiveerimise katseala muldade agronoomiline iseloomustus / Agronomical characterization of the soils on the experimental area recultivable for agricultural purposes in the Aidu pit

Näitajad Characteristics	Puistangumaterjal Backfilled material		Huumuskiht Topsoil	
	\bar{x}	n	\bar{x}	n
Peenese- ($\varnothing < 1$ mm) sisaldus, % Content of fine particles, %	29	80	85	72
Füüsikalise savi ($\varnothing < 0,01$ mm) sisaldus, % Content of physical clay, %	37,3	16	34,8	16
Ibe ($\varnothing < 0,001$ mm) sisaldus, % Content of silt, %	16,0	16	17,9	16
Orgaanilise süsiniku sisaldus, % Content of organic C, %	8,9	80	1,86	72
Huumusesisaldus, % Humus content, %	–	–	2,86	72
Lasuvustihedus, g.cm ⁻³ Bulk density, g.cm ⁻³	1,81	18	1,35	41
Liikuv P (mg 100 g peeneses) Lactat-soluble P (in fine particles, mg/100 g)	0,94	159	14,7	180
Liikuv K (mg 100 g peeneses) Lactat-soluble K (in fine particles, mg/100 g)	5,10	160	13,9	180
Mikroelementide sisaldus (mg/kg peeneses) Trace elements content (in fine particles, mg/kg)				
Cu	4,28	20	7,32	20
Mn	50	20	200	20
B	0,09	20	0,41	20
Närbumispunkti niiskus (mahuprotsentides) Moisture of the wilting point (percentage of capacity)	3,6	16	10,7	78
Väliveemahutavus (mahuprotsentides) Field water capacity (percentage of capacity)	12,4	16	38,5	78
Omastatava vee diapasoon (mahuprotsentides) Range of available moisture (percentage of capacity)	8,8	16	27,8	78

Võib arvata, et puistangu kivisus aja jooksul väheneb, sest lubjakivid, eriti aga põlevkivi, murenevad suhteliselt kergesti. Puistangumaterjali peeneses domineerivad peenliiva

(\varnothing 0,25...0,05 mm) ja jämeda tolmu (\varnothing 0,05...0,01 mm) fraktsioonid, moodustades 46 % kogu peenesest. Füüsikalist savi ($\varnothing < 0,01$ mm) sisaldus puistangumaterjali peeneses 34...39 %, lõimiselt oli see keskmine liivsavi. Puistangumaterjali peeneses sisaldub 7...11 % orgaanilise päritoluga süsinikku, mis viitab selle kõrgele põlevkivisisaldusele. Puistangu peenese ($\varnothing < 1$ mm) mineraalosa koostisest pildi saamiseks hapendati selle orgaaniline osa H_2O_2 -ga. Selle tulemusena langes füüsikalise savi sisaldus keskmiselt 10 %-ni.

Katseala huumusmulla peenesesisaldus on lähtemuldade huumushorisoni vastavast näitajast mõnevõrra madalam, sest selle koorimisel võeti kaasa ka järgnevate rähksemate mullahorizontide materjali. Oluliselt madalam ei olnud peenesesisaldus ka A ja Bt (Bm) mullahorizontide segust vahekorras 1 : 1 moodustatud huumusmullas.

Puistangumaterjali liikuvate taimetoiteelementide sisaldus (tabel 2) on väike või isegi väga väike, samuti on vähe boori ja mangaani, vaske aga palju. Huumusmullas on liikuva fosfori sisaldus kõrge (tarve väike), kaaliumi osas on see keskmine. Huumusmulla B-, Mn- ja Cu- sisaldus on suur, mistõttu mikrovaetisi katseala muldadele ei olnud vaja anda.

Omastatava vee diapasoni (OVD) all mõistetakse mulla väliveemahutavuse ja närbumispunkti niiskuse vahet (s.o. mulla võimet siduda taimede poolt omastatavat vett) mahuprotsentides või mm-tes 10 cm mullakihi kohta. Põlluks rekultiveeritud alal ulatus 50 cm түseduse pealeveetud huumusmulla puhul 75 cm kihi OVD 160 mm-ni, mis on võrdne meie vabariigi parimate põllumuldade omastatava vee mahutavusega (Kitse jt., 1982).

Pealeveetud huumusmulla түseduse ja vaetiste efektiivsuse, huumusevaru ja mineraalvaetiste efektiivsuse ning huumushorisoni ja sellele järgneva B-horisoni segu kasutamise võimaluste kohta põlluks rekultiveerimisel on ka varem kirjanduses avaldatud materjale (Kitse, Leedu, 1983; Kitse, Leedu, 1984; Leedu, Kitse, 1986; Leedu, Kitse, 1989 jt.). Ülevaate optimaalse pealeveetava huumusmulla kihi түseduse kohta põlluks rekultiveerimisel (7 aasta keskmisena) katsetulemuste alusel annab tabel 3.

Tabel 3. Optimaalne pealeveetava huumusmulla kihi түsedus (cm) Aidu karjääris põllumajandusliku rekultiveerimise katsete 7 aasta keskmisena / The optimum thickness of the topsoil (cm) on the experimental area in the Aidu pit on the average of 7 year experiments

Kultuur / Culture	Väetusfoon NPK, vahekorras 1,0:0,4:0,8, kg/ha Fertilizer rate (NPK 1,0:0,4:0,8), kg/ha			
	45...91	136...182	227...272	318
Rukis / Rye	68	55	49	50
Oder / Barley	67	53	45	45
Kartul / Potato	57	53	48	44
	Väetusfoon PK, vahekorras 1:2, kg/ha Fertilizer rate (PK 1:2), kg/ha			
	0...50	76...102	127...177	
Esimese aasta põldhein The first year field grass	34	33	28	

Aidu karjääri kohale jäävate põllumuldade huumushorisoni keskmine түsedus on valdavalt ligilähedane 25 cm. Et tagada põlluks rekultiveeritavate alade huumusmulla kihi түseduseks 50 cm, oli ette nähtud kõigilt karjääri ette jäävatelt aladelt koos huumushorisoniga koorida ka sellele järgnev rähavaba või nõrgalt rähkne savistunud sisseuhtehorison. Huumushorison kuulub koorimisele ka kõigilt karjääri ette jäävatelt jäätmaadelt ja sobiva huumushorisoni korral ka metsaaladelt, põlluks rekultiveerimiseks ei sobi leedemulla ja turvastunud leetgleimulla (L; LG1) pealmine kiht ega ka rabaturvas. Aidu karjääri aladele jäävast 1358 ha-st omab põllumajanduslikuks rekultiveerimiseks sobivat huumushorisoni 990 ha ehk ainult 73 % (tabel 1).

Juba enne katsetöid alustasid mäemehed esimese 8,6 ha suuruse ala tehnilist rekultiveerimist, mis sai valmis 1978. a. Esimestel rekultiveeritud põldudel ilmnesid aga järgmised puudused.

- Tasandatud puistangumaterjal vajas väga ebahühtlaselt, kõrguste vahe ulatus 1,75 m-ni. Rekultiveeritud põllule tekkisid sulglohud, kust ei saa pinnavett ära juhtida.
- Liikurskreeperid tallasid tasandatud puistangule veetud huumusmulla väga tugevasti kinni (tihedusega 1,8...1,9 g.cm⁻³) ja soovitud 0,5 m asemel sai see 0,1...1,2 m tusedune. Enne mäetööde algust oli 19 ha esimese rekultiveeritud põllu kohal viis erinevat mullakontuuri, pärast tehnilist rekultiveerimist loendati sellel alal aga 7 liigniiskete ja 47 põuakartlike muldade kontuuri pealeveetud huumusmulla tusedusega alla 35 cm (Leedu, Kitse, 1989). Sellisel kirjul põllul on kevadise harimisaja saabumise vahe eri põlluosadel suur, mistõttu osa põllust tuleb harida ajal, mil mulla füüsikaline seisund on selleks ebasobiv. Sügisel saab aga vili põuakartlikel aladel tunduvalt varem koristusküpseks kui nõgusatel liigniisketel aladel.
- Kogu rekultiveeritud põld kujunes tehnoloogiliselt üheks suureks sulglohuks, sest idast läände oli jäetud karjääri iga km tagant põlevkivi väljaveotranšee, mille servad on väljatõstetud materjali vallide arvel kõrgemad. Põhjapoolsele küljele jääb ette välispuistang ja lõuna suunas puistangu pind tõuseb põlevkivi katendi kobestamise arvel (katendi tusedus suureneb põhjast lõunasse 5 m 1 km kohta).

Selgus, et suure ebahühtlase vajumise tõttu korralikku põldu kohe pärast põlevkivi kaevandamist ei ole võimalik saada. Korraliku põllu rekultiveerimiseks tuleb puistanguvallid tasandada vahetult pärast kaevandamist, esmaselt tasandatud puistangutel lasta 2...3 aastat vajuda, siis täiendavalt tasandada (kohati tekkinud sulglohkudesse juurde vedada peeneselist puistangumaterjali) ja alles pärast seda võib peale vedada huumusmulla.

Nii tekkis vajadus karjääri ette jäänud aladelt kooritud huumusmulla ladustamiseks. Tollal Nõukogude Liidus kehtinud eeskirjade järgi võis huumusmulda hoida kuni 10 aastat kuni 10 m kõrguses laos. Meil levinud arusaama kohaselt on laos (ratasskreeperitega lattu veetud) tugevasti kinnitallatud huumusmuld surnud muld, mida on väga raske või isegi võimatu bioloogilise rekultiveerimisega taaselustada. Kui Aidu karjääris tekkis vajadus seoses II jsk. avamisega huumusmullaladu draglainiga ümber tõsta, avanes 1985. a. oktoobris võimalus kuni 10 aastat laos tihendatult seisnud mulla profiilist võtta mullaproovid mikrobioloogilisteks, ensümaatilisteks ja agrokeemilisteks analüüsideks. Proovid võeti laos pinnalt 1,0 m, 4,5 m ja 7,5 m sügavuselt. Hiljem võeti veel 4 aasta jooksul 5 korral ümbertõstetud (kobestatud) huumusmulla laost 0,5...5,0 m sügavuselt täiendavad proovid erinevatel aastaaegadel (tabelid 4 ja 5), selgitamaks seal toimuvaid muutusi.

Tihendatud mullalao sisemuses (skreeperitega lattu veetud) satub mulla mikrofloora väliskeskkonnast isolatsiooni, nii aine kui ka energia osas. Andmed selle kohta, kuidas lõhutud struktuuriga mulla mikrofloora, mis oli pikemat aega isoleeritud, hiljem tööle hakkab, nii et muld muutuks põllumajanduslikuks kasutuseks taas täisväärtuslikuks, puuduvad. Käesolevaid tihendatud huumusmulla kobestamise tingimusi võib pidada mikrofloorale rekultiveerimise raskeks eelprooviks. Uurimuse eesmärgiks oli jälgida mikrofloora seisundi muutusi pärast mullalao ümbertõstmist (kobestamist).

Mikroorganismide arvukus, mulla lämmastikuühendite sisaldus ja pH_{KCl} määrati Eksperimentaalbioloogia Instituudis värsketest, ensümaatiline aktiivsus õhukuivadest mullaproovidest. Mikroorganismide arvukus määrati selektiivsõotmetel piirlahjenduse meetodil: ammonifitseerivad bakterid X₃ (Rahno jt., 1964), nitrifitseerivad – Vinogradski vedelsõotmes, denitrifitseerivad – Hiltay vedelsõotmes, aeroobsed tselluloosi lagundavad – Hutchinsoni vedelsõotmes, asotobakterid – Ashby tardsõotmel, aktinomütseedid – modifitseeritud tärklisammooniumagaril, mullaseened – Czapeki tardsõotmel, mullavetikate üldarvukus – Danilovi vedelsõotmes, mullavetikate floristiline koostis – Danilovi tardsõotmel (Suur..., 1962). Mulla mikroorganismide arvukus väljendati rakkude arvuga 1 g absoluutkuiva mulla kohta. Vahetus-neeldunud ammooniumlämmastik määrati 1 N KCl lahusega ekstraheerides, fikseeritud ammooniumlämmastik 1 N HF ja 1 N HCl lahuste seguga ekstraheerides Kjeldahli meetodil (Bremner, 1959), nitraatne lämmastik – naatriumsaltsülaadiga kolorimeetriliselt. Lämmastikuühendite sisaldus väljendati lämmastiku milligrammprotsentides absoluutkuiva mulla kohta. Mulla nitraatreduktaasne ja

nitritreduktaasne aktiivsus määrati Galstjani modifitseeritud meetodil (Galstjan, 1974). Mulla nitraatreduktaasne aktiivsus väljendati 24 tunni kestel 30 °C juures taandatud nitraatse lämmastiku milligrammprotsentides absoluutkuiva mulla kohta, nitritreduktaasne aktiivsus (samades tingimustes) – nitritlämmastiku milligrammprotsentides. Mulla ureaasne aktiivsus väljendati karbamiidi hüdrolüüsimeetodil 24 tunni kestel 37 °C juures vabanenud ammooniumlämmastiku milligrammprotsentides absoluutkuiva mulla kohta. Mulla katalaasne aktiivsus määrati gasomeetriliselt ja väljendati 3 minuti kestel 3 %-lise H₂O₂ lagundamisel eraldunud hapniku milliliitrites 5 g absoluutkuiva mulla kohta. Mulla veesisaldus määrati kuivatamisel 105 °C juures termostaadis.

Tulemused

Tihendatud (kinnitallatud) huumusmulla lao mikrobioloogiline seisund. Kümme aastat tihendatuna seisnud mullalaos 4,5 m sügavuses oli nitrifitseerivate, denitrifitseerivate ja aeroobsete tselluloosi lagundavate bakterite arvukus tugevalt alanenud (tabel 4).

Ammonifitseerivate bakterite, aktinomütsete, mikrokoopiliste mullaseente ja vetikate arvukus oli jäänud põllumullas tavaliselt esineva dünaamilisuse piiridesse. Tihendatud laomaterjali nitraatreduktaasne ja ureaasne aktiivsus oli madal (tabel 5). Madalavõitu oli ka nitritreduktaasne ja katalaasne aktiivsus. Tihendatuna seisnud mulla ammooniumlämmastiku sisaldus oli suur, nitraatse lämmastiku sisaldus aga väike (tabel 5).

Seitsmes vaatluskuu pärast mullalao kobestamist. Viie meetri sügavusest võetud proovi analüüs näitas, et kobestamise tulemusena oli mulla mikrofloora elustunud. Kõigi bakterigruppide ja mikrokoopiliste mullaseente arvukus oli kas keskmine või suur, vetikate üldarvukus suhteliselt suur (tabel 4), väike oli üksnes aktinomütsete arvukus. Kobestamise tulemusena oli tõusnud mulla nitraatreduktaasne ja katalaasne aktiivsus (tabel 5). Mulla nitritreduktaasne ja ureaasne aktiivsus oli endiselt madal, olles mõnevõrra isegi madalam kui kobestamata laos. Nitrifitseerivate bakterite aktiveerumine pärast kobestamist ja mulla madal nitritreduktaasne aktiivsus kajastusid mulla nitraatse lämmastiku sisalduses, mis oli tõusnud 9,5 mg%-ni. Proovi veesisaldus oli madal ja taimedele omastatav vesi selles puudus (tabel 5).

Kaheteistkümmes vaatluskuu. Võrreldes eelmiste mullaanalüüsi andmetega oli mõnede bakterigruppide arvukus 5 m sügavuses vähenenud (tabel 4). Reduktaaside aktiivsus oli madal, taastunud oli mulla ureaasne aktiivsus (tabel 5). Nitraatse lämmastiku sisaldus oli alanenud ning lämmastikühendite summaarses sisalduses domineeris taas redutseeritud vormis lämmastik. Mullaproovide veesisaldus oli küll väike, kuid vähesel määral sisaldasid nad taimedele omastatavat vett.

Kahetekümne kolmas vaatluskuu. Viie meetri sügavusest võetud mullaproovis oli bakterite arvukus ligilähedane nende arvukusele 12 kuud pärast kobestamist. Aktinomütsete ja vetikate arvukus (tabel 4) ning reduktaaside aktiivsus (tabel 5) olid tõusnud, seente arvukus, ureaasne aktiivsus ja vahetus-neeldunud ammooniumlämmastiku sisaldus alanenud. Ka lämmastikühendite summaarne sisaldus oli 23 kuud pärast kobestamist väiksem kui 12 kuud pärast kobestamist. Proovi veesisaldus oli suur.

Ühe meetri sügavusest võetud mullaproov sisaldas nitrifitseerivaid baktereid, asotobaktereid ja vetikaid (sealhulgas sini- ja rohevetikaid), mõningal määral ka seeni ja aktinomütsete vähem kui 5 m sügavusest võetud proov (tabel 4). Aeroobsete tselluloosi lagundavate bakterite arvukus ja mulla nitraatreduktaasne, nitritreduktaasne ning katalaasne aktiivsus olid 1 m sügavuses kõrgemad, ureaasne aktiivsus aga madalam kui 5 m sügavuses. Vahetus-neeldunud ammooniumlämmastikku sisaldas muld laos 1 m sügavuses vähem ja fikseeritud ammooniumlämmastikku rohkem kui 5 m sügavuses. Vett sisaldas 5 m sügavuselt võetud mullaproov 10,5 % rohkem kui 1 m sügavuselt pärinev proov.

Kolmekümne teine vaatluskuu. Viie meetri sügavuselt võetud kaks mullaproovi olid võrreldava veesisaldusega. Võrrelduna kahekümne kolmandal kuul samast sügavusest võetud proovi andmetega oli nitrifitseerivate ja denitrifitseerivate bakterite arvukus (tabel 4) ning

Tabel 4. Mikroorganismide arvukus (rakkude arv 1 grammis) Aidu karjääri huumusmulla laos / The number of microorganisms (cells per gram) in the topsoil storage of the Aidu pit

Proovivõtu aeg Time of taking a sample	Proovivõtu sügavus m Depth of taking a sample, m	Bakterid / Bacteria					Aktinomüt- seedid Actinomyces 10^5	Seened Fungi 10^2	Vetikad / Algae		
		Ammonifitseerivad Ammonifying 10^5	Nitriteerivad Nitrifying 10^3	Denitriteerivad Denitrifying 10^4	Aeroobsed tselluloosi lagundavad Aerobic cellulose- decomposing 10^2	Asotobakterid Nitrogen fixing bacteria 10^{-1}			Üldarvukus Total number 10^4	Sinivetikad Chlorophyceae 10^2	Rohevetikad Cyanophyceae 10^2
10 aastat tihendatuna seisnud ladu / The storage kept compressed for 10 years (kahe analüüsi keskmine / on the average of two analyses)											
10.1985	4,5	67	0,6	$<10^{-1}$	2	245	13	33	11	141	140
7 kuud pärast kobestamist / 7 months after loosening of the soil											
05.1986	5,0	121	$>10^2$	$>10^1$	460	350	6	140	53	70	115
12 kuud pärast kobestamist / 12 months after loosening of the soil											
10.1986	5,0	100	$>10^2$	8	$<10^1$	170	11	160	30	120	320
10.1986	5,0	62	84	84	30	270	8	200	16	110	150
23 kuud pärast kobestamist / 23 months after loosening of the soil											
09.1987	1,0	78	2	8	170	178	13	80	3	20	40
09.1987	5,0	58	833	8	30	206	14	90	83	110	70
32 kuud pärast kobestamist / 32 months after loosening of the soil											
06.1988	5,0	81	$>10^2$	30	0	21	12	20	3	20	9
06.1988	5,0	33	$>10^2$	$>10^2$	0,7	60	6	40	8	0	0
48 kuud pärast kobestamist / 48 months after loosening of the soil											
10.1989	0,5	69	854	73	73	100	9	20	7	40	210
10.1989	0,5	66	7910	68	68	162	10	30	7	50	70

Tabel 5. Aidu karjääri huumusmulla lao ensümaatiline aktiivsus, lämmastikuühendite sisaldus (N mg%) ja veesisaldus / Enzymatic activity, content of nitrogen compounds (N mg%) and water in the topsoil storage of the Aidu pit

Proovivõtu aeg Time of taking a sample	Proovivõtu sügavus m Depth of taking a sample, m	Nitraatreduktaas N Nitrate reductase mg%	Nitritreduktaas N Nitrite reductase mg%	Ureaas N Urease mg%	Katalaas Catalase O ₂ ml	Vahetusneeldunud NH ₄ ⁺ -N Exchange absorbed NH ₄ ⁺ -N	Fikseeritud NH ₄ ⁺ -N Fixed NH ₄ ⁺ -N	Vahetusneeldunud + fikseeritud NH ₄ ⁺ -N Exchange absorbed + fixed NH ₄ ⁺ -N	NO ₃ ⁻ -N	NO ₃ ⁻ -N + vahetusneeldunud + fikseeritud NH ₄ ⁺ -N Exchange absorbed + fixed NH ₄ ⁺ -N	Vesi % Water %	Taimede poolt omastatav vesi mm 10 cm mullakihis Water available by plants in 10 cm layer mm
10 aastat tihendatuna seisnud ladu / The storage kept compressed for 10 years (kahe analüüsi keskmine / on the average of two analyses)												
10.1985	4,5	6	6,2	27	6,5	6,17	8,15	14,32	0,39	14,71	13,9	0,6
7 kuud pärast kobestamist / 7 months after loosening of the soil												
05.1986	5,0	31	4,1	3	15,4	2,20	5,95	8,15	9,45	17,60	11,1	0
12 kuud pärast kobestamist / 12 months after loosening of the soil												
10.1986	5,0	13	2,0	79	11,4	9,25	2,15	11,40	2,45	13,85	15,2	0,5
10.1986	5,0	7	1,3	101	13,3	9,07	4,04	13,11	2,85	15,96	16,8	1,5
23 kuud pärast kobestamist / 23 months after loosening of the soil												
09.1987	1,0	56	13,9	13	16,9	2,84	6,32	9,16	10,78	19,94	15,80	0,8
09.1987	5,0	44	12,1	19	10,0	5,82	3,00	8,82	3,02	11,84	25,30	6,8
32 kuud pärast kobestamist / 32 months after loosening of the soil												
06.1988	5,0	59	8,4	98	7,1	–	–	–	–	–	17,10	1,7
06.1988	5,0	41	8,4	75	6,5	–	–	–	–	–	16,60	1,4
48 kuud pärast kobestamist / 48 months after loosening of the soil												
10.1989	0,5	63	9,8	178	7,3	1,37	8,8	10,25	2,14	12,39	18,40	2,0
10.1989	0,5	45	6,7	157	6,0	1,58	4,12	5,70	11,91	17,61	11,70	0

mulla ureaasne aktiivsus (tabel 5) kolmekümne teisel kuul kõrgem. Asotobakterite, aktinomitsetide ja vetikate üldarvukus kui ka sini- ja rohevetikate arvukus ning mulla nitritreduktaasne aktiivsus olid aga alanenud. Ühes proovis puudusid eluvõimelised tselluloosi lagundavad bakterid hoopis, teine sisaldas neid 70 rakku grammis, seega väga vähe.

Neljakümne kaheksas vaatluskuu. Poole meetri sügavusest võeti kaks erineva veesisaldusega mullaproovi. Mõlemas proovis jäid kõigi määratud näitajate arvandmed mullas tavaliselt esineva dünaamilisuse piiridesse. Proovis, kus taimede poolt omastatav vesi puudus, oli nitriifitseerivate bakterite arvukus kõrge ning ühe suurusjärgu võrra kõrgemgi kui denitriifitseerivate bakterite arvukus (tabel 4). Mulla nitraatreduktaasne ja nitritreduktaasne aktiivsus olid ilma taimedele omastatava veeta proovis madalamad kui seda sisaldas proovis. Nimetatud erinevuste tagajärjena oli ilma taimedele omastatava veeta proovis nitraatse lämmastiku sisaldus üle kahe korra suurem kui vahetus-neeldunud ja fikseeritud ammoniumlämmastiku summaarne sisaldus kokku (tabel 5). Normaalse veesisaldusega proovis taoline disproportsionaalsus puudus.

Arutelu

Positiivseks tulemuseks oli mulla bioloogiliste omaduste peaaegu täielik taastumine juba seitsme kuu jooksul pärast mulla kobestamist. Üksnes mulla ureaasne aktiivsus jäi veel madalaks, isegi madalamaks kui kobestamata mullalaos. Tavaliselt hoiab muld ureaasse aktiivsuse kõrgel tasemel, mis tagab mullas tekkiva või väetisena mulda viidud karbamiidi kiire hüdrolyüsumise. See on vee osavõtul toimuv protsess, kuid 7 kuud pärast kobestamist võetud mullaproovis oli vett vähe ning taimedele omastatav vesi selles puudus. Nii ei olnud kobestatud mulla ureaasse aktiivsuse mittetaastumise põhjuseks mulla eelneva laos säilitamisega kaasnenud pöördumatud kahjustused, vaid kobestatud mulla halb veerežiim.

Tuginedes geomikrobioloogia andmetele 40 tuhat kuni 1,8 miljonit aastat igikülmununa seisnud mattunud muldade ja settekivimite mikrofloora kohta, on alust arvata, et mulla elustumine pärast kobestamist toimus tegelikult palju kiiremini. Igikülmununa eluvõime säilitanud bakterite ettevalmistusi anabioosist väljumiseks täheldati juba poole tunni möödudes proovide ülessulatamisest, mil bakterirakkudes algas ribonukleiinhapete süntees (Simonova jt., 1989). Aeg, mis bakteritel kulus glükoosi kasutamahakkamiseni, et saada biosünteesiks vajalikku energiat, sõltus reanimeerumiskeskkonna temperatuurist: 30°, 20° ja 7 °C juures oli see vastavalt 44 ja 92 tundi ning 15 ööpäeva (Mazina jt., 1988).

Edasised vaatlused näitasid, et vastavalt võimalustele taastusid kobestatud huumusmullas bioloogilised omadused täielikult, kusjuures taastumine oli pöördumatu. Taastumisvõimaluste limiteeritusele osutab aeroobsete tselluloosi lagundavate bakterite väike arvukus mullalao sisemuses. Tselluloosilagundajate arvukuse suurenemine oleks peale hea veerežiimi eeldanud ka tselluloosi sisaldava materjali mulda juurdeviimist. Ka vetikaid oli kobestatud materjalis vähe. Vetikate paljunemine eeldab siiski valgusenergia juurdepääsu. Tekib mulje, et laos seisnud huumusmulla ümbertõstmise üksnes muutis selles mikroorganismide ja ensüümide paiknevust, põhjustamata märgatavaid muutusi nimetatud näitajaid iseloomustavates arvandmetes.

Pärast laos huumusmulla ümbertõstmist ei märgatud enam mulla bioloogilise aktiivsuse näitajate sõltuvust proovivõtu sügavusest. Kobestamisele ja segamisele järgnenud nelja vaatlusaasta kestel ei kujunenud välja mikrofloora erinevate funktsionaalsete üksuste uut jaotuvust mullalao profiilis, puudus ka sügavuse suurenemisega kaasnevate elutingimuste muutuste märgatav mõju mikrofloora arvukusele. Taolise mõju puudumine kõigile katses uuritud näitajatele oleks olnud mõeldamatu nii looduslikes kui ka katsetingimustes. Ilmselt maskeeris mullalao veerežiimi suur heterogeensus täielikult profiili sügavuse suurenemisega kaasneva pidanud mikroorganismide elutingimuste muutumise.

Ei saa kindlalt öelda, kas kobestatud huumusmulla proovide analüüsil fikseeritud andmete erinevused olid põhjustatud uuritava materjali heterogeensusest või ajategurist.

Pärast huumusmulla lao ümbertõstmist uurimise iseloom muutus, nüüd hakati uurima ladustatud huumusmulla veerežiimi osa mikrobioloogiliste protsesside suuna ja lämmastikurežiimi kujunemises. Analüüsitud proovide veesisaldus oli vahemikus 11,1...25,3 %, taimede poolt omastatava vee sisaldus – 0...6,8 mm 10 cm mullakihi kohta (tabel 5). Mullaproovide veesisalduse sõltuvust proovivõtu sügavusest ei täheldatud, üheksast proovist neli kas ei

sisaldanud üldse taimedele omastatavat vett või oli vastav näitaja väiksem kui 1 mm 10 cm mullakihi kohta. Nimetatud neljast proovist kolmes oli nitraatse lämmastiku sisaldus suur – 9,5...11,9 mg%. Nendes proovides oli ka lämmastikuühendite summaarne sisaldus suur, 17,6...19,9 mg% (tabel 5). Oksüdeeritud lämmastiku domineerimine redutseeritud lämmastiku üle ning lämmastikuühendite summaarse sisalduse suurenemise juhud olid pöördvõrdelises seoses proovide veesisaldusega.

Nagu mistahes äärmuslikus seisus keskkonnamõjuri puhul, tugevneb ka äärmusliku veerežiimi selekteeriv roll mulla mikrobioloogiliste protsesside suuna kujundamises. Mulla madal veesisaldus parandab aeratsiooni, mis stimuleerib nitrifikatsiooniprotsessi – aeglustuvad või seiskuvad need protsessid, mille toimumiseks on vajalik vesi ja anaeroobsed tingimused. Nitraatse lämmastiku akumulatsioon kuivas mullas ei tarvitse olla üksnes nitrifitseerumise intensiivistumise tulemus, vaid jätkuva nitrifikatsiooni foonil nitraatide assimileerimise või denitrifitseerimise takistatuse tagajärg. Seda, et nitrifitseerivad bakterid on kuivas mullas vastupidavamad kui denitrifitseerivad, on täheldatud varemgi (Murdam jt., 1993).

Mineraliseerumise oksüdüreduktatiivsed protsessid võivad mulla seotud vee kiledes mõnda aega jätkuda mullaosakestele kinnitunud ekstratsellulaarsete ensüümide varu vahendusel. Mulla nitraatreduktaase, nitritreduktaase (reduktaasid) ja katalaase (oksüdaas) aktiivsuse taastumine oli pärast laomulla kobestamist kiire. Hüdrolüüsi reaktsioonideks on vaja rohkem vett, seetõttu oli mulla ureaasse (hüdrolaas) aktiivsuse taastumine pikaldane.

Nitrifitseerivate bakterite arvukuse, selle muutumise ja nitrifitseerivate ning denitrifitseerivate bakterite suhte põhjal saab öelda, et sõltumata mulla veesisaldusest on nitrifikatsioon kobestatud mullalaos dominantne protsess. Nitrifitseerivate bakterite arvukus kobestamata laomullas oli kõrge. Silma hakkas aga nitrifitseerivate bakterite arvukuse disproportsionaalsus võrrelduna denitrifitseerivate bakterite arvukusega. Harilikult on mullas nitrifikaatoreid 2...3 või enama suurusjärgu võrra rohkem kui denitrifikaatoreid. Kobestatud huumusmullas oli aga nitrifitseerivate bakterite arvukus denitrifitseerivate bakterite arvukusega enamasti ühes suurusjärgus või suuremgi.

Nitrifitseerivate bakterite elutegevust ja nitraatide denitrifitseerimist takistab eelkõige energeetilise materjali puudus kergelt lagundatava orgaanilise aine näol. Teiseks halvenevad aastaid tihendatult seisnud mulla kolloidsed omadused ja vee sidumise võime. Viimane parandab mulla õhustatust ja soodustab aeroobsete nitrifitseerivate bakterite elutegevust.

Kuigi kobestatud laomulla nitraatreduktaasne ja nitritreduktaasne aktiivsus oli vähemalt keskmine, denitrifikatsioonist põhjustatud lämmastiku kadusid ilmselt ei esinenud. Vaatamata vajalike andmete nappusele ja olemasolevate kirjusele tundub, et lämmastikuühendite kadu huumusmulla laos sisemusest ei toimunud üldse või oli see mittemärgatav. Mikroorganismide arvukus ja lämmastikuühendite sisaldus olid küll dünaamilised ning erinevate mikroobigruppide arvukuste ja nitraatse ning ammoniumlämmastiku sisalduste vahekorrad muutlikud. Ometi jääb domineerima mulje, et lämmastik üksnes tsirkuleeris süsteemis nitrifikatsioon-immobilisatsioon-mineralisatsioon. Ühelt poolt osutab sellele kiire paljunemistsükliga denitrifitseerivate bakterite kui lämmastiku põhilise mikroobsesse biomassi immobiliseerivate mikroorganismide arvukuse dünaamilisus mullalaos sisemuses. Teisalt, ammonium- ja nitraatse lämmastiku summaarse sisalduse (kõikus vahemikus 12...20 mg%) alampiir oli kobestatud ja kobestamata huumusmulla laos nelja-aastase vaatlusperioodi alguses kui ka lõpus küllalt stabiilne. See näitab, et lämmastikuühendite summaarse sisalduse suure muutuvuse põhjustanud nitraatne lämmastik pidi vaatlusperioodi kestel alluma taas immobilisatsioonile, mitte aga gaasilisele kaole denitrifikatsiooniprotsessis.

Selgub, et kobestatud laomulla veesisalduse varieeruvusel, nitrifitseerivate bakterite domineerimisel laos mikroflooras, nitraatse lämmastiku akumulatsioonil kuivas mullas, denitrifikatsiooniprotsessi aeglusel (või puudumisel) ja lämmastikukadude vähesusel (või puudumisel) võib olla üks põhjus – taimse materjali ja selle laguproduktide käibe puudumine. Siit tulenevad järgmised mõtted.

Käesolevas uurimuses kerkinud ja vastamata põhiküsimus: kas laos huumusmulla kinnitallamine ikka ongi väga paha? Eestis ja mujal tehtud uuringud on näidanud, et anabioosi seisundis võivad mikroorganismid konserveeruda kümneteks ja sadadeks tuhandeteks aastateks. Tihendatud mullalaos sisemuses oli mikrofloora elutegevus ilmselt

seiskunud. Mikroobid ei saanud tekitada kahju ega tuua kasu. Mullaproovide ensümaatilise aktiivsuse oli madal ning lämmastikuühendite sisaldus kõrge. Seega oli kogu mullalao sisemus konserveerunud olekus. Kui juba huumusmulla lao lihtne kobestamine elustas tihendatud mulla mikrofloora, siis põllumajandusliku rekultiveerimise käigus selle materjali laialilaotamisel elustub ta nagunii. Rekultiveerimisvõimaluste puudumisel ei ole tihendatud lao mulla kobestamine mõistlik. See võib laos seisvat mulda isegi kahjustada, sest mikrofloora elustub aereeritud huumusmullas enneaegselt, aga aine-, energia- ja veeringe väliskeskkonnaga on lao sisemuses endiselt katkestatud.

Teiseks, kas kooritud huumusmulla tihendamata ladustamine (aereerituse säilitamisega) olekski hea, eriti siis, kui veerežiim mullalao sisemuses võib kujuneda kahtlaseks? Sellele küsimusele puudub vastus, isegi oletuslik. Me ei tea, missuguseks kujuneks mikrofloora tegevus tihendamata aunastatud mullalao, või kas seda üldse esineks. Kumb säilitamis-moodus kahjustab mulda vähem – tihendatult või tihendamata ladustamine? Kas tihendamata mullalao jätkab mikrofloora eluavaldusi kogu hoiustamisaja kestel? Eluslooduses ei toimu pisematki muutust iseenesest, saamata mõnest allikast energiat. Mullalao sügavas sisemuses saab energiaallikaks olla üksnes muld ise. Kui mikrofloora elutegevus tihendamata mullalao jätkub, siis tähendab see, et mikroobid oksüdeerivad endale energiaks mulla orgaanilist ainet, huumus mullalao sisemuses põleb ja laguneb aeglaselt.

Käesoleval juhul võis taolise protsessi käivitada mullalao ümbertõstmine. Mikrofloora muutused, me ei tea, kas need olid kiired või aeglased, toimusid kobestatud mullalao 5 m sügavuses teadaolevalt 48 kuud. Ka mulla ensümaatilise aktiivsuse taastus pärast kobestamist. Mikrofloora eluavaldused osutavad sellele, et mulla orgaanilist ainet põletati.

Nendes küsimustes selguse saamine ei oleks eriti töömahukas, kuid vajaks mõned aastad aega. Tuleks jälgida tihendatud ja tihendamata mullaladude süsiniku- ja lämmastikurežiimi, määrates elementide üldsisalduse. See annaks ühese vastuse küsimusele, kumba mullaladustamise moodust eelistada. Nitraatse ja ammoniumlämmastiku sisalduse dünaamika jälgimisel jäi mulje, et kobestatud lao mullas lämmastiku kadusid ei esinenud. On teada, et mulla mikrofloora hoiab ammoniumlämmastiku sisalduse mullatüübile või erimile iseloomuliku keskmise piirides. Aga võibolla saadakse lämmastikuühendite sisalduse stabiilse alampiiri tagamiseks lämmastik mulla orgaanilise aine puutumatu varude lagundamisel? Seda saab tuvastada üksnes üldsüsiniku ja -lämmastiku sisalduse dünaamika jälgimisel. Võib-olla annaks orgaanilise aine kvalitatiivne analüüs informatsiooni ka ladustatud huumusmulla hüdrofüüsikaliste näitajate ja veesisalduse muutuste kohta. Sellega olid asjad korrast ära nii tihendatud kui ka kobestatud mullalao.

Kui huumusmulla tihendatult ja tihendamata ladustamise võrdlusuuringute tulemused osutuvad ühte viisi headeks (või halbadeks), siis saab praktikas talitada vastavalt võimalustele. Kui aga üks ladustamise moodus kahjustab mulla püsivaid omadusi vähem kui teine, on vastava valiku tegemine põhjendatud.

Mulla mesofauna käitumist põllumajanduslikul rekultiveerimisel senini uuritud ei ole. Aidu karjääri rajatud põllumajandusliku rekultiveerimise katsealal märgati esimesi vihmausse umbes 10 aastat pärast katsete algust, kuid katsealale veeti huumusmuld otse koorimiselt. Millal ilmuvad aga vihmaussid (esmasel surnud orgaanilise aine lagundajad mullas) pärast laos hoidmist rekultiveerimiseks kasutatud huumusmulda?

Kokkuvõte

Alates 1976. aastast Aidu karjääris korraldatava põllumajandusliku rekultiveerimise katse tulemuste põhjal võib teha järgmised järeldused.

1. Puistanguvallid tuleb laiali ajada võimalikult kohe pärast nende moodustumist, kuid mitte talvisel ajal. Puistangute ebahühtlane vajumine kestab 8...10 aastat, kusjuures suurem osa sellest toimub esimese 2...3 aasta jooksul.
2. Põlluks rekultiveeritavale alale tuleks vedada võimalikult ühtlase mehaanilise koostise ja tusedusega 0,4-...0,6-meetrine huumusmulla kiht.
3. Rekultiveeritaval alal ei sobi kasutada liikurskrepereid, sest nendega ei saa korraga laotada 0,5 m tusedust kihti ja, sõites ise huumusmullal, tallavad nad selle väga tugevasti kinni (lasuvustihedus 1,8...1,9 g.cm⁻³). Selleks tööks sobivad autokallurid,

mis ei pea sõitma laotataval mullal. 1992. a. autokalluritega rekultiveeritud alal sai humuskiht valdavalt tusedusega 40...60 cm, ainult 1,5 % ulatuses oli see 65 cm. Autokallurile saab konstrueerida mulla laotamise dosaatori, siis ei ole vaja buldooseriga humusmulda täiendavalt laiali ajada.

4. Ladustatud humusmulla mikrobioloogiliste uuringute positiivse tulemina tuvastati, et tihendatult hoiustamine ja säilitamine vahelaos ei tekitanud mulla mikrofloorale pöördumatuid kahjustusi teadaoleva kümne aasta kestel. Tihendatud laomulla ümbertõstmine (kobestamine) elustas mulla mikrofloorat. Neli aastat kestnud kontrollvaatlused näitasid, et mikrofloora elustumine oli püsiv.
5. Negatiivseks tulemiks oli asjaolu, et küll "elus püsinud", ent halvasti vett hoidva kobestatud ja aereeritud mulla mikroflooras omandasid dominantse koha nitrifitseeritud bakterid. See võib probleemiks kujuneda edasisel karjääride põlluks rekultiveerimisel. Kui nitrifikatsioon on dominantne protsess ladustatud humusmullas, siis hakkab see domineerima ka rekultiveeritaval alal, kuhu vahelaost toodud muld laiali laotatakse.

Võib kindel olla, et kui rekultiveerimisel suudetakse taastada ja tagada mulla normaalne veerežiim, siis aja jooksul taastuvad ka nitrifikatsiooniprotsessi loodusliku kontrolli mehhanismid.

Kirjandus

- Bremner, J. M. Determination of fixed ammonium in soil. – J. Agr. Science, vol. 52, p. 2, 1959.
- Galstjan: Галстян А. Ш. Ферментативная активность почв Армении. - Ереван, Айастан, 1974, – 276 с.
- Kitse, Leedu, Lainoja: Китсе Э., Леэду Э., Лайноя Л. Об агрофизических свойствах техногенных рендзин. - Сб. научных тр. ЭСХА, №133, с. 104...122, 1982.
- Kitse, E., Leedu, E. Odrasaagi ja väetiste efektiivsuse sõltuvus huumushorisoni tusedusest. – Teaduse saavutusi ja eesrindlikke kogemusi põllumajanduses. – Teraviljakasvatus, nr. 1, lk. 16...22, 1983.
- Kitse, E., Leedu, E. Kartuli 'Stieglitz' mugulasaagi ja mineraalväetiste kasutamise efektiivsuse sõltuvus mulla humusvarust. – Teaduse saavutusi ja eesrindlikke kogemusi põllumajanduses. – Kartulikasvatus, nr. 17, lk. 16...25, 1984.
- Leedu, E., Kitse, E. Erinevate mullakihtide segu agronoomilised omadused ja sobivus teraviljade kasvatamiseks. – Teaduse saavutusi ja eesrindlikke kogemusi põllumajanduses. – Teraviljakasvatus, nr. 7, lk. 27...37, 1986.
- Leedu, Kitse: Леэду Э., Китсе Э. Сельскохозяйственная рекультивация в сланцевом бассейне Эстонской ССР. - Учёные записки Тартуского гос. университета, вып. 837 - Рациональное природопользование и уход за ландшафтом в районах горных разработок. - Тарту, с. 30...36, 1989.
- Mazina, Simonova, Soina: Мазина Н. В., Симонова А. А., Соина В. С. Динамика потребления глюкозы древними микроорганизмами зоны вечной мерзлоты при различных температурах. - Биодин. почв. Всесоюз. симп., Харку, 25-27 октября 1988. Тез. докл. Таллин, 1988 с. 104.
- Murdam, L., Kirch, R., Kuldkepp, P., Vardjas, N., Maalman, I. Erineva C/N suhtega orgaaniliste väetiste mineraliseerumisest karbonaatmullas. – Agraarteadus, nr. 3, lk. 244...265, 1993.
- Rahno: Рахно П. Х. Сезонная количественная динамика почвенных бактерий и факторы обуславливающие её. - Таллин, 1964. - 236 с.
- Reintam, L. Eesti muldade uuest nimestikust ja diagnostikast. – EPA teaduslike tööde kogumik nr. 101. – Tartu, lk. 3...18, 1975.
- Rooma, I., Kitse, E., Leedu, E. Tehnogeensed põllumullad Kohtla-Järve rajoonis. – Geograafia rakenduslike aspekte põllumajanduses. Teaduslik-rakendusliku nõupidamise ettekannete lühikokkuvõtted. – Saku, 11.-12. novembril. Tallinn–Saku, lk. 18...22, 1982.
- Simonova, Soina, Koltšugina, Vorobjova: Симонова А. А., Соина В. С., Кольчугина Т. П., Воробьева Е. А. Характеристика микроорганизмов вечномёрзлых осадочных пород. - Тр. Ю научной конф. мол. учёных фак. почвовед. МГУ, Москва, 28-30 ноября, 1988. - М., 1989. - с. 62...64 (Деп. в ВИНТИ 27.07.89., 4884 - 4889).
- Suur...: Большой практикум по микробиологии (Учебн. пособие для гос. унив-тов СССР). Под общей редакцией проф. Т. Л. Селибера. - М., Высшая школа, 1962. - 491 с.

THE RECULTIVATION OF ESTONIAN OPEN-CAST OIL-SHALE PITS INTO FIELDS AND THE MICROBIOLOGICAL STATE OF STRIPPED TOPSOIL DURING ITS' STORAGE

E. Leedu, L. Murdam

Summary

The investigation into the agricultural recultivation in the Aidu oil-shale pit, carried out since 1976, enable us to draw the following conclusions.

1. The mounds of backfilling should be scattered on the area under recultivation as soon as possible, but not in winter. The suneven lowering of spread backfilling lasts for 8...10 years, whereas the mayor part of that takes place during the first 2...3 years.

2. The area under recultivation ought to be covered with a topsoil layer with a thickness of 0,4...0,6 m which is characterized by a homogenous mechanical composition.

3. Huge scrapers, used in mining of oil shale, are not suitable for the transportation of soil into area under recultivation. It is impossible to spread the soil layer with a thickness of 0,5 m since the scrapers moving on the soil spread tighten it up to a density as high as 1,8...1,9 g/cm³. Tip-lorries are more suitable for such kind of work since there is no need for them to move on the soil which is spread. By the use of tip-lorries in 1992 the soil layer of 0.4...0.6 m was formed and only on 1.5 % of the area its thickness was 0.65 m. Tip-lorries can be fitted with soil dosators, so there would be no need for complementary levelling with bulldozers.

4. As a positive result of the microbiological investigations into stored topsoil, it was established, that no essential damage to soil microflora was caused by keeping it tightened in the storage for ten years. Moving (loosening) of the compressed topsoil store revived its microflora. According to four year observations the revival process was steady.

5. As a negative result of the investigations, it was ascertained, that in the microflora, which had certainly remained alive in the tightened but poorly water-keeping topsoil storage, nitrifying bacteria became dominant. This fact can raise a problem in further recultivation of the exhausted pits into fields. If nitrification is a dominant process in the topsoil storage it will also be a process of great importance to recultivable areas. But one can be sure that in case of successful re-establishment of normal water regime on the recultivated field in the course of time the natural control mechanisms for nitrification process will be restored by plant cultivation.

О СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ РЕКУЛЬТИВАЦИИ И МИКРОБИОЛОГИЧЕСКОМ СОСТОЯНИИ СНЯТОГО ПЛОДОРОДНОГО МАТЕРИАЛА НА НАРУШЕННЫХ ТЕРРИТОРИЯХ СЛАНЦЕВЫХ РАЗРЕЗОВ ЭСТОНИИ

Э. Лееду, Л. Мурдам

Резюме

С 1974 года разрез "Октябрьский" (ныне Айду) начал добычу горючих сланцев открытым способом на территории пашен. Для выявления наиболее рациональных способов сельскохозяйственной рекультивации спланированных отвалов (создания техногенных почв) в 1978 г. ГПИ "Эстсельхозпроект" заложил соответствующие полевые опыты.

На основании полученных данных проведённых опытов и микробиологических исследований можно сделать следующие выводы:

1. Первичная планировка отвалов должна проводиться по возможности вслед за отсыпкой, но не в зимнее время. Неодинаковая просадка спланированных отвалов происходила в течение 8...10 лет, значительная часть - за первые 2...3 года.

2. Мощность вновь покрываемых, после чистовой планировки, плодородным слоем отвалов должна быть 0,4...0,6 м.

3. Для нанесения плодородного материала на спланированные отвалы колёсные скрепера не подходят, поскольку не могут насыпать разом желаемый слой (нанесённый слой составил 0,1...1,2 м). При передвижении по плодородному слою, скрепера уплотняют его объёмный вес до 1,8...1,9 г · см⁻³. Для этой работы более подходят автосамосвалы - они едут по отвалу и им относительно просто комбинировать дозатор наносимого материала. В 1992 г. на участке, рекультивированном при помощи автосамосвалов, мощность плодородного материала составила в основном 40...60 см, только на 1,5 % площади мощность была 65 см.

4. На основании микробиологических исследований выявлено, что складирование и хранение уплотнённого плодородного материала в буртах сроком до 10 лет не вызвали необратимых изменений микроорганизмов. Перекладывание уплотнённого склада драглайном оживляло микрофлору и, как показали контрольные анализы в течение 4 лет, оживление сохранилось.

5. В качестве отрицательного отметили то, что в аэрированном складе, без доступной для растений влаги, доминировали нитрифицирующие бактерии. Последние могут стать проблемой при дальнейшей сельскохозяйственной рекультивации - нитрифицирующие процессы могут начать доминировать и в рекультивированной почве.

Мы уверены, что если после технической рекультивации гарантировать нормальный водный режим почвы (равномерная желаемая мощность плодородного слоя), то со временем растения восстанавливают механизм природного контроля нитрифицирующих процессов.