

EESTI MULDADE MINERAALOSA MUUNDUMISEST JA DEGRADEERUMISEST EVOLUTSIOONIPROTSSESSIS*

R. Kask

SUMMARY: *About the transformation and degradation mineral component Estonian soil in pedogenesis. The general direction of the development of soils is determined mainly by the natural factors and their mutation. The precipitation level in Estonia (752 mm) surpasses the level of evaporation (462 mm), the average temperature is 5.0 °C.*

The peculiarity of the Estonian soil's parent rock is that the amount of carbonate stone and their decomposition product in them differs greatly (0...100%). The same goes for the parts of clay.

The age of the soils is very different. In South-East Estonian Uplands 10...13 thousand years, in Coastal regions less than 1 thousand years.

In the transformation of the mineral parts of the soil the leading part is played by carbonate leaching, lessivage, podzolization and gleying. The changes caused by them can be seen in the morphological profile of the soil, in the vertical differentiation of the soil's granulometrical and chemical composition (Table 6).

In the stage of carbonate leaching, the amount of calcium and magnesium decreases in the soil. But the amount of clay and the elements which are not yet the subjects to the irrigation (Si, Fe, Al) increases. Argillization is connected mostly with the decomposition of the carbonate particulars of sand and silt and with the riddance of aluminosilicate clay parts which are contained in carbonate rock (connected with the leaching of carbonates) and with the accumulation in the soil.

In noncarbonate soils the decomposition of aluminosilicate minerals and the impoverishment from clay parts and ash elements take place.

Estonian automorphic and half hydromorphic soils are all denudational. Such conclusion comes from the soil's characteristics and from the amount of the dissolved ingredients in the water of the rivers flowing into the sea (Tables 7, 8, 9).

Chemical denudation is a continuous process with growing intensiveness, nowadays in South-Estonia 20...30 mm during one thousand years. In North-Estonia more than 30 mm (Migratsii..., 1974). The mineral part of the soil degrades, which is expressed by the increase of the eluviahorizon's forming level and by the increase of the horizon's thickness in compensation for (at the cost of) the illuvial horizon.

In order to maintain and increase the potential fertility of soils it is needful to compensate among other things also the loss which is connected with the chemical denudation, i.e. the degradation of the mineral part of the soil in its natural evolution process.

Evolutsooniprotsessis tulevad muldades esile muutused, mis omavad olulist mõju maa-ala hüdroloogiale, taimkatte ning maa kui maaviljeluse objekti omapärade ja kvaliteedile tervikuna. Käesoleva uurimisega illustreeritakse Eesti muldade mineraalosa ja mulla mineraalprofiili muutumist mulla evolutsiooniprotsessis ja selle kajastamist mulla karakteristikutes.

Mõjufaktorid

Kliimatingimustest omavad mulla evolutsiooni omapära määravana juhtivat kohta sademete hulk ja temperatuur. Need määravad ära vee bilansi, bioloogiliste ja keemiliste protsesside omapära ja aktiivsuse. Eestile iseloomulikest joontest tuleb mulla evolutsiooni seisukohalt esile tõsta kaht asjaolu: esiteks – sademete kogus ületab auramise (joonis 1; tabel 1), toimub muldade läbiuhtumine, ja teiseks – varisena mulda kuhjuva orgaanilise aine lagunemisel moodustub antud bio-kliimaatilistes tingimustes rohkelt agressiivseid huumushappeid

* Uurimust toetas Eesti Teadusfond, uurimistoetus nr. 994.

(Kask, 1970, 1975; Reintam, 1970, 1971, 1973, 1974), mis toimivad mulla mineraalosalte lagundavalt.

Mulla mineraalosa evolutsiooniprotsessi käivitavaks jõuks on füüsikalised, keemilised, füüsikalis-keemilised ja bioloogilised protsessid. Mulla mineraalosa allumine nendele sõltub oluliselt mulla lähtekivimi loomusest.

Eestile on iseloomulik mulla lähtekivimi suur mitmekesisus. Karbonaatkivimite ja nende murendi osakaal varieerub selles 0...100% piires (Kask, Veber, 1972; Kask, 1975; Kask jt., 1981), füüsikalise savi osakaal samas vahemikus (Kask, 1975, 1994). Need lähtekivimi omadused on põhilisteks, millest on tingitud mulla mineraalosa muutuste paiklikud erinevused muude tingimuste poolest võrreldavatel aladel.

Eesti muldade evolutsiooni hindamisel tuleb olulise tegurina arvesse mullatekke kestus. Kõrg-Eestis on see 10 000...13 000 aastat, Madal-Eestis 1000...10 000 aastat, kitsal rannikuribal aga alla tuhande aasta. Loomulikult leiab see kajastamist ka mulla mineraalprofiilis.

Joonis 1. Eesti territooriumi rajoneerimine hüdroloogiliste karakteristikute alusel (Ressursõ..., 1972):
Figure 1. Distributing the territory of Estonia according to hydrological characteristics (Ressursõ..., 1972):

- 1-I – Lõuna-Eesti / the South of Estonia
- 2-III – Kirde-Eesti / the North-East of Estonia
- 3-I – Karstiaala / the karstland of North Estonia
- 4-II – Loode-Eesti / the North-West of Estonia
- 5-III – Mandri lääneosa / the Western part of mainland
- 6-I – Edela-Eesti / the South-West of Estonia
- 7-II – Saaremaa / the island of Saaremaa
- 1 – Valdkonna piir / boundary of the province
- 2 – Allvaldkonna piir / boundary of the subprovince

Tabel 1. Hüdroloogiliste valdkondade veebilanss (Ressursõ..., 1972)
Table 1. The water balance of hydrological province (Ressursõ..., 1972)

Hüdroloogiline valdkond <i>Hydrological province</i>		Vesikonna pindala km ² <i>Catchment area, km²</i>	Bilansi elemendid mm <i>Elements of balance, mm</i>			Sügav veevahetus, ±W _o mm <i>Deep water exchange, ±W_o mm</i>	W _o protsentides, y _o <i>W_o presintage of y_o</i>
			sademed, x _o <i>precipitation, x_o</i>	äravool, y _o <i>rundoff, y_o</i>	auramine, z _o <i>evaporation, z_o</i>		
1-I	Kagu-Eesti <i>The South-East of Estonia</i>	4569	765	249	467	+49	20
2-III	Kirde-Eesti <i>The North-East of Estonia</i>	1947	726	255	465	+6	2
3-I	Karstiala <i>Karstland</i>	3328	736	289	462	-15	-2
4-III	Loode-Eesti <i>The North-West of Estonia</i>	1781	752	299	458	-5	-2
5-III	Mandri lääneosa <i>The western part of mainland Estonia</i>	2030	749	278	453	+18	6
6-I	Edela-Eesti <i>The South-West Estonia</i>	3484	763	284	462	+23	8
7-II	Saaremaa <i>The island of Saaremaa</i>	231	717	272	450	-5	-2
Kaalutud keskmine <i>Weighed average</i>		17363	752	273	462	+17	6

Mullatekke (elementaar)protsessid mulla mineraalosa ja mineraalprofiili kujundajana

Mulla mineraalosa ja mulla mineraalprofiili muundumine evolutsiooniprotsessis kulgeb mitme mullatekke elementaarprotsessi tulemusena. Eestis on nendest põhiliseks karbonaatide leostumine, lessiveerumine, leetumine ja gleistumine. Nende kõrval kulgeb mullas kivimite ja mineraalide murenemine ning rida keemilisi protsesse, milliseid eeltoodud mullatekkeprotsessid ei haara, nagu hapendumine, hüdratiseerumine, dehüdratiseerumine, vahetus- ja asendusreaktsioonid jm.

Leostumine. Laiemas mõttes mõistetakse selle all kõikide mullas lahustuvate ainete mullalahusesse siirdumist ja laskuva veega välja- või sügavamale uhtumist. Kitsamas tähenduses mõistetakse meil leostumise all kaltsium- ja magneesiumkarbonaatide lagunemist ja laguproduktide väljauhtumist.

Karbonaatide lagunemise tingimuseks on CO_2 ja vee manulus, ning see saab toimuda juhul, kui mullalahus ei ole veel $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ küllastunud. Kui mullalahus küllastub juba pindmistes horisontides, siis sügavamates horisontides karbonaatide leostumist ei toimu. Leostumisest on haaratud karbonaatse mullakihi ülaosa, s.o. 20...40 cm ulatuses.

Karbonaatide leostumisega väheneb mulla karbonaatsus ja lõpeb karbonaatide täieliku eemaldumisega. Sellega käib kaasas mulla keemilise koostise muutumine kõikide elementide osas: väheneb kaltsiumi ja magneesiumi osakaal ning suureneb teiste, leostumisele mitteallunud elementide osakaal.

Siinkohal tuleb tähelepanu juhtida muldade keemilise koostise erinevatele väljendamise viisidele (tabel 2).

I – oksiidide (või ka elementide) osakaal näidatakse kuiva mulla (kuivatatud $105\text{ }^\circ\text{C}$ juures) massis. See moodus on kohane ja levinud uuritava elemendi naturaalse osakaalu ja varu määramisel **naturaalse mulla** teatud kihis.

II – oksiidide (elementide) osakaal antakse arvatuna karbonaadivaba kuiva mullamassi kohta. Leitud suurused on kasutatavad **mulla alumosilikaatse osa** erinevate elementide sisalduse ja varu määramisel.

III – oksiidide (elementide) osakaalu väljendatakse kuumutatud ($900\text{ }^\circ\text{C}$) mulla massi kohta. Leitud suurused iseloomustavad **mulla mineraalosa** keemilist koostist, arvestamata kuumutamisel lagunevaid ja lenduvaid aineid (orgaaniline aine, keemiliselt seotud vesi, karbonaatide CO_2 jne.).

IV – oksiidide (elementide) osakaal antakse kuumutatud karbonaadivaba proovipala kohta. Leitud suurused näitavad **alumosilikaatse mineraalosa** keemilist koostist. See moodus on laialdaselt levinud mulla geneesi uurimisel, milles on põhiliseks muutuste selgitamine mulla alumosilikaatse osa keemilises koostises.

Sõltuvalt analüüsiandmete esitamise moodusest on arvulised suurused erinevad. Mida suurem on karbonaatide ja kuumutamisel lenduvate ühendite osakaal, seda suuremad on erinevused. Tabelis 2 on esitatud halli karbonaatse moreeni analüüsiandmed. Proovipala karbonaatide osakaal oli 43% kuiva mulla massist. Silikaatse MgO ja CaO osakaal võeti võrdseks samal lähtekivimil kujunenud leostunud horisondi nimetatud oksiidide sisaldusega.

Mullateaduslikus kirjanduses on muldade keemilist koostist väljendanud protsentides kuumutatud karbonaadivaba mulla kohta Eestis L. Reintam (1970...1974) ja kuumutatud mulla kohta R. Kask (1971, 1975, 1996; Kask, Heinsalu, 1985, 1989, 1991). Seda erinevust tuleb andmete kasutamisel arvestada.

Eeltoodu, analüüsiandmete erinev esitamiskiis aitab mõista karbonaatide leostumisega (looduses) esiletulevate muutuste olemust. Kuumutatud mulla ja kuumutatud mittekarbonaatse mulla kohta esitatud suurused osutavad muutuste suunale ja maksimaalsele määrale, mis kaasneb karbonaatide leostumisega mullatekkeprotsessis looduses.

Karbonaatide leostumisega kaasneb kaltsiumi ja magneesiumi osakaalu vähenemine, räni, alumiiniumi, raua, kaaliumi jt. elementide suhteline suurenemine. Karbonaatsel lähtekivimil kujunenud mulla leostunud horisontides on viimatinimetatud elementide osakaal oluliselt suurem kui lähtekivimis. Ometi ei anna see alust rääkida nende kuhjumisest pindmistes horisontidesse, nende varu suurenemisest või vähemalt mitte sellises ulatuses, nagu see kajastub

analüüsiandmetes, nendes, mis väljendavad elementide osakaalu kuumutatud karbonaadivabas mullas.

Lessiveerumine. Selle all mõistetakse mullasisest tahkete osakeste, peamiselt ibe ja peentolmu sügavamale või väljauhtumist. Et mulla erineva suurusega osakesed erinevad mine-raloogiliselt ja sellega koos keemiliselt koostiselt (tabel 3), kaasneb lessiveerumisega ka mulla keemilise koostise muutumine (tabel 4): eluviaalhorisontide vaesestumine alumiiniumi, raua, kaaliumi, fosfori jt. elementide poolest ja illuviaalhorisontide rikastumine nendest. Teatmeteostes (ENE), on märgitud, et lessiveerumisega muld ei hapestu. See on üldjuhtudel õige. Tuleb aga täiendada: lessiveerumisega, ibeosakeste väljauhtumisega mulla happesus väheneb. Lessiveerumisele alluvad osakesed (ibe, peentolm) on mulla happesuse peamisteks “kandjateks”, kuna H^+ ja Al^{3+} kui happesuse põhjustajad on neeldunud just nende osakeste pinnal. Laboratoorses katses, mis imiteeris lessiveerumist looduses, saviosakeste väljapesemise-ga pH_{KCl} arvuline näitaja suurenes, saviosakeste juurdelisamisel see aga oluliselt ei suure-nenud. Vesilahuse (pH_{H_2O}) vastav arvuline näitaja usutavalt ei muutunud.

Füüsikalise savi osakaal %	pH_{H_2O}	pH_{KCl}
7,8	6,3	6,0
17,5	6,4	5,7
28,0	6,3	5,5
43,7	6,3	5,5

Lessiveerumine leiab aset kõikjal läbiuhutatavates muldades, kus esineb disperseerunud ibe- ja tolmuosakesi. Seda soodustab karbonaatide lagunemine ja väljauhtumine (selles moo-dustuvad tühimikud täituvad sisseuhutatavate saviosakestega), leetumine ja gleistumine, millega kaasneb mullaagregaatide lagunemine, mullamassi disperseerumine.

Leetumine. Sõna “leetumine” tähendus on aja jooksul muutunud ning on tänapäevalgi kasutusel mitmes tähenduses. V. Dokutšajev eristas mullatüübi “podzol, podzolistaja potšva”, mis kujutab endast liitsõna *pod* (all) ja *zola* (tuhk) ning mis eestikeelses otsetõlkes oleks vas-tavalt alt-tuhk- ja alt-tuhkjast muld. Niisiis rääkides leetmulla (alt-tuhkja mulla) kujunemisest (podzoloobrazovanie) mõistis V. Dokutšajev selle all protsesside kogumit, mis põhjustas kõdu- või kamarhorisondi all tuhkja horisondi (podzolistõi gorizont), s.o. leetmullale spetsii-filise horisondi, leethorisondi kujunemise. Leetmulla kujunemisest (podzoloobrazovanie) kujunes hiljem termin “leetumine” (opodzolvanie). Seda sõna on kasutatud laiemas, s.o. leetmulla kujunemise (podzoloobrazovanie) tähenduses, samuti aga kitsamas, s.o. ühe selles protsessis osaleva nähtuse, happelise hüdrolüüsi tähenduses. Sellega on seotud ka muldade nimetuste erinevused. Nii on eestikeelses kontekstis kasutatud mõistet “leetunud muld” kord laiemas tähenduses (Lillema, 1958; Piho, Kask, 1960; Kask, 1975, 1988), s.o. sellise mulla tähenduses, mille “alt-tuhkja” horisondi (leethorisondi) kujunemises osalevad nii happeline hüdrolüüs kui ka lessiveerumine ja taandumine (gleistumine), kord aga kitsamas tähenduses, s.o. mulla tähenduses, mille kujunemisel osaleb vaid happeline hüdrolüüs (Reintam, 1975, 1970...1974). Samuti nimetatakse erinevalt “alt-tuhkjat” horisonti. Algselt eristati seda laias tähenduses kui leethorisonti, s.o. kõigi leetmulla kujunemises osalevate protsesside tagajärjel kujunenud horisonti (Lillema, 1958; Piho, Kask, 1960; Kask, 1975, 1996). Sellise käsitlus-viisiga konkureerib kitsam käsitlus: eristatakse happelise hüdrolüüsi tulemusena kujunenud horisonti (leethorisont, A_2), lessiveerumise mõjul kujunenud (lessiveerunud horisont, A_1), lessiveerumise ja gleistumise (näivleetumise) tulemusena kujunenud (näivleetunud, Alg) hori-sonti (Reintam, 1975, 1970...1974).

Eeltooduga seostub “alt-tuhkjate” muldade liigitus: nõrgalt, keskmiselt ja tugevasti leetunud ... mullad. Selliste ühikute puhul mõeldakse leetumist laiemas tähenduses. Tooduga konkureerib kitsam käsitlus: leetumise astmeid eristatakse vaid muldade puhul, milles ei osalevat lessiveerimist ja gleistumist. Muldades, mida laiema käsitlusviisi järgijad eristavad kui nõrgalt, keskmiselt ja tugevasti leetunud muldi, võivad kitsama käsitlusviisi esindajad leetumist üldse eitada ja eristada neid kui lessiveerunud muldi või näivleetunud muldi.

Käesolevas töös käsitletakse leetumist kui mulla elementaarprotsessi, s.o. mulla alumosilikaatsete ja savimineraalide lagunemist huumushapete toimele ja laguproduktide välja-või sügavamale uhtumist. See protsess kulgeb karbonaadivabas mullas samaaegselt lessiveerumise ja gleistumisega (taandumisprotsessidega). “Alt-tuhkjat” horisonti aga erista-takse kui eluviaalhorisonti, vahet tegemata, milline on erinevate protsesside osakaal selle kujunemises (seda pole võimalik määrata). Traditsiooni kohaselt eristatakse siiski leetumise astmeid (nõrgalt, keskmiselt ...), teades seejuures, et see sisuliselt võrdub eluvieerumise

astmetega. Nõrgalt leetunud ... muldade sünonüümiks on Eestis kujunenud termin "leetjas" (Piho, Kask, 1960; Kitse, 1978; Kõlli, 1988, 1991 jt.).

Alumosilikaatide lagunemine huumusainete mõjul (happeline hüdrolüüs) on laialt levinud protsess. Ilmekalt nähtub see organogeenses (A_1 -, AT-, T-) horisondis paiknevate rändkivimite (tard- ja moondekivimite) korrodeerituses (Kask, 1996).

Need kivimid koosnevad alumosilikaatsetest mineraalidest, s.t. samadest mineraalidest, mis moodustavad põhilise osa karbonaativaba mulla mineraaliosast. On endastmõistetav, et mineraalid, mis lagunevad huumusainete mõjul rändkivimite koosseisus, alluvad samale protsessile ka mulla peenese koosseisus. Mulla peenese koosseisus on mineraalide kokkupuutepind (eripindala) huumusainete, vee ja CO_2 -ga tuhandeid kordi suurem kui rändkivide puhul. Selle järgi võib öelda, et mullas kulgeb alumosilikaatide lagunemine massiühiku kohta tuhandeid kordi kiiremini kui samade mineraalide lagunemine rändkivide koosseisus.

Rändkivimite korrodeerituse uurimisest (Kask, Viiding, 1988) selgus, et need omavad keemilise murenemise, sealhulgas happelise hüdrolüüsi tunnuseid kõikides Eesti muldades (A_{org} -horisondi osas), kaasa arvatud rähk- ja paepealsed mullad. Selle tõttu tuleb happelise hüdrolüüsi osalemist mulla alumosilikaatse mineraalosa muundumisel mullatekkeprotsessis tunnustada Eestis üldlevinud nähtuseks. Ometi ei saa seda öelda leetumise kohta, mille üheks tunnuseks on samuti mineraalide happeline hüdrolüüs. Leetumise mõiste kätkeb endas veel mineraalide laguproduktide välja- või sügavamale uhtumise. Karbonaatsetes muldades seda ei toimu, laguproduktid jäävad kohale. Seetõttu ei anna mineraalide happeline hüdrolüüs karbonaatsetes muldades või horisontides alust rääkida leetumisest. Muldi, millistes alumosilikaatsete mineraalide laguproduktid jäävad nende tekkekohale mulla karbonaatsuse tõttu, eristatakse kamar-karbonaatmuldadena (ka rendsiinadena). Need karbonaativabad, happelised mullad aga, millistes mineraalide laguproduktid jäävad tekkekohale muudel põhjustel (huumusainete koostis, mulla struktuuri loomus jm.), savistuvad (*in situ*) ning selliseid muldi eristatakse maailmas kui pruunmuldi, FAO UNESCO klassifikatsioonis aga kui *cambisol'e*.

Eesti looduslikes tingimustes järgib alumosilikaatsete mineraalide laguproduktide ümberpaigutumine karbonaatide leostumist. Kui karbonaatidest on vabanenud enam kui 20...30 cm paksune pindmine mullakiht, siis on hallil moreenil kujunenud muldade kamar-horisondi (A_1 -horisondi) all eristatav savistunud pruunikas või pruuni värvusega horisont, B-horisont. Selle kujunemisloole seletamisel omab olulist tähtsust värvuse, ibe ja mitteilikaatse raua vertikaalne diferentseeritus mullaprofiilis. Horisondi topograafiline haabitus (alumise piirjoone sakilisus), keemiline koostis (molekulaarsuhted) jm. tõendavad, et horisont on eristunud mineraalide lagunemise (murenemise) ja ainete vertikaalse (luviaalse) ümberpaigutumise tulemusena. Selles osaleb lähtekivimist pärinevate tahkete osakeste mehaaniline ümberpaigutumine (lessiveerumine), aga samuti alumosilikaatide laguproduktide, eeskätt alumosilikaatidest happelise hüdrolüüsi teel vabanenud raua sisseuhtumine. Just sellega seletub hallil lähtekivimil kujunenud horisondi pruunikashall või pruun värvus (hallil lähtekivimil ei muutu mulla värvus lessiveerumisega pruuniks).

Eeltoodu arusaamade järgi osaleb leetumine (happelise hüdrolüüsi ja laguproduktide eemaldumise tähenduses) juba muldades, millistes ei ole veel leetmuldade spetsiifilist tunnust "alt-tuhkjat" A_2 - ehk E-horisoni.

Leetumise osalemise suhtes selgelt eristuva eluviaal- (alt-tuhkja) horisonidiga Eesti muldades on vabariigi mullateadlased erineval seisukohal. L. Reintami järgi on see kujunenud ühel juhul vaid lessiveerumise, teisel juhul lessiveerumise ja gleistumise (taandumisprotsesside) ja kolmandal juhul leetumise tulemusena. Vastavalt sellele eristab ta lessiveerunud pruunmullad, näivleetunud mullad ja leetunud mullad (Reintam, 1975, 1970 ... 1974). R. Kask püsib klassikalisel (Dokutšajev, 1900, 1948; Podzolistõje... 1977, 1979) käsitlusviisil, mille järgi eluviaalhorisoni kujunemisel osalevad samaaegselt kõik eelnimetatud protsessid, nende osakaal horisoni kujunemises on aga erinev. Seda võib vaid ligikaudu hinnata. Kui luviaalselt (eluviaalselt ja illuviaalselt) diferentseerunud profiiliga muld on eluviaalhorisoni osas neutraalsele lähedase reaktsiooniga, siis on eluviaalsetest protsessidest juhtival kohal lessiveerumine. Kui aga luviaalse diferentseeritusega kaasneb muldade hapestumine, siis etendab olulist (või peamist?) rolli leetumine. Selline hinnang põhineb tuntud tõsiasi, et lessiveerumise ja gleistumisega muld ei hapestu. Niisiis küsimus leetumisest või selle eitamisest taandub küsimusele, kas diskussioonilased mullad oma arenguprotsessis hapestuvad või

ei. Muld, milliste kujunemisel L. Reintam leetumise osalust eitab, on Lõuna-Eestis lupjamata kujul tugevasti happelised. Liigse happesuse neutraliseerimiseks on neid 4...5 korral lubjatud.

Gleistumine. Keemiliselt kujutab see endast taandumisprotsessi, millest anaeroobses keskkonnas on haaratud muutuva valentsusega mulla mineraalosa komponendid, peamiselt rauaühendid. Selles protsessis moodustunud kahevalentsed rauaühendid (peamiselt raudvesinikkarbonaat) esinevad mullalahuses lahustununa ning alluvad ümberpaigutumisele mullas vastavalt vee liikumisele ja ka taashapendumisele aeratsioonitingimuste paranemisel.

Eestile omastes kliimatingimustes esineb anaeroobsust teatud määral lühemat või pikemat aega kõikides muldades. Kahevalentse raua lühiaegset esinemist mullas mulla gleistumisena ei vaadelda. Gleistumise otseseks tunnuseks on gleimineraalide olemasolu mullas ja punakaspruuni värvusega mulla halliks muutumine e. hallistumine, sekundaarseteks tunnusteks on taashapendunud raua moodustised (roostetäpid, -laigud, -plekid jne.).

Leetmuldade eluviaalhorisondi moodustumisel esineb alati teatud ulatuses raua taandumist. Selle osatähtsust lessiveerumise ja leetumise kõrval pole võimalik määrata juba selle tõttu, et fulvohapped, mis on leetumise peamiseks põhjustajateks, on ühtlasi tugevad taandajad (Zaidelman, 1974). Küll on selge, et mida tugevamini avaldub liigniiskuse, seda hallim (tuhkjam) on eluviaalhorisont. Kui leetmuldades otseseid ja kaudseid gleistumise tunnuseid ei täheldata, siis gleistumisele mulla nimetuses ei viidata. See ei tähenda, et nendes raua taandumist ja taashapendumist ei esine. Taandumist luges leetmulla kujunemise üheks põhjuseks juba V. Dokutšajev.

Mulla evolutsiooni kajastumine mineraalprofiili keemilistes karakteristikutes

Mullas kulgevate protsesside tagajärjel muutub mulla mineraalosa ja mulla mineraalprofiil aeglaselt, kuid pidevalt. See kajastub muutustes mulla granulomeetrisel ja keemilisel koostises ning mullaprofiili morfo-geneetilises haabitusel, mille järgi eristatakse mulla taksonoomilised ühikud. Viimased kujutavad endast muldade erinevaid arenguastmeid.

Mulla granulomeetrisel koostisel muutumist mullatekkeprotsessis on üldistavas käsitluses vaadeldud juba varem (Kask, Veber, 1972; Kask, 1975, 1994). Käesolevas töös pööratakse tähelepanu muutustele mulla mineraalosa keemilisel koostises, mis seostub muu kõrval mitmesugusel määral muutustega mulla granulomeetrisel koostises (tabel 5).

Mulla keemilise koostise muutumise omapära ja ulatus selgub muldade erinevate horisontide keemilise koostise kõrvutamisel lähtekivimi (C-horisondi) omaga (tabel 6). Seesugune võrdlus on võimalik, kui mulla lähtekivim on kogu mullatüüpi piires olnud algselt ühesugune. Kahtluse korral pakub kindlust samasugusel sügavusel lasuvate A₂- ja B-horisondi keeltest (A₂) ja jäänuksammastest (B, C) võetud proovide analüüsandmete võrdlemine (vt. profiil 3, 5, 9). Kahekihilisel lähtekivimil kujunenud muldade uurimisel on viimane moodus ainus võimalus.

Tabelis 6 toodud näidete puhul ei saa kindlalt väita, et mulla lähtekivim oli algselt kogu nüüdisaegse mullaprofiili ulatuses ühesugune (moreenid on ebaühtlase koostisega setted). Niisama ei ole alust nende muldade puhul rääkida kahe või enama lähtekivimikihi eristamisest. Erinevused keemilisel koostises, mis seostuvad mulla geneetiliste horisontidega, on vähemalt põhilises osas tingitud mullatekkeprotsessidest.

Mulla mineraalosa muutumises mullatekkeprotsessis osalevad mitmed protsessid, mis mahuvad koondmõiste "denudatsioon" alla. See tähendab mulla mineraalosa lagunemist ja laguproduktide ümberpaigutumist või ärakannet. Vastavaid muldi eristatakse kui denudatsioonilisi muldi. Sellele vastanduvad akumulatiivsed mullad, s.o. mullad, kus toimub ainete akumulatsioon. On ka muldi, millistes teatud arenguetapil on ainete saldo tasakaalus. Eesti automorfed ja poolhüdro-morfed mullad läbiuhteliste muldadena on kõik denudatsioonilised. See leiab kajastamist ka mulla granulomeetrisel ja keemilisel koostises, samuti agrokeemilistes näitajates (Kask, 1975, 1996).

Eesti muldade denudatsiooni omapära seostub mulla lähtekivimiks olnud (olevate) aluspõhjakiivimite ja pinnakattesetete suure karbonaatsusega. Karbonaatide manulusel on alumiinilise mineraalide keemiline lagunemine piiratud. Juhtival kohal on karbonaatide lagunemine ja väljauhtumine. See kulgeb nüüdisajal, sõltuvalt lähtekivimi algsest karbonaatsusest ja maismaalise mullatekke kestusest, erineva sügavusega kihis, mis alati ei ühti mulla

geneetiliste horisontidega: tüüpilistes kamar-karbonaatmuldades (rähk-, veeris-, klibu- ja paepealsetes muldades) 0...50 cm kihis (karbonaatidest juba vabanenud 0...30 cm kiht); leostunud ... karbonaatmuldades 40...70 cm (30...60); leetjates ... karbonaatmuldades 60...100 cm (50...80) kihis ja jääkkarbonaatsetes kamar-leetmuldades sügavamal kui 80 cm (60...150 cm).

Karbonaatide leostumisega kaasnevad mitmesuunalised muutused mulla granulo-meetriselises koostises. Enamikjuhtudel suureneb leostumisega ibe ja tolmu osakaal (Kask, Veber, 1972; Kask, 1975, 1985, 1994, 1996) nagu ka tabelis 6 toodud näidetes (profiil 1...5). Keemilises koostises ilmneb see leostunud kihi kaltsiumi ja magneesiumi osakaalu olulises vähenemises, ning teiste, leostumisele mitteallunud elementide osakaalu vastava ulatusega suurenemises.

Karbonaatide lagunemisega kaasneb moodustuvate bikarbonaatide (vesinikkarbonaatide) väljauhtumine, need ei peetu sügavamates mulla- või pinnasekihtides nagu mitmed teised ühendid. Oluline on veel see, et karbonaatide leostumisest on haaratud ka mullatüsendist sügavamad karbonaatsed pinnakatte kihid ning et juba leostunud, happelises mullas allub väljauhtumisele ka alumosilikaatide ja mullas neeldunud Ca^{2+} ja Mg^{2+} . Seega kaltsiumi ja magneesiumi üldine eemaldumine territooriumilt ületab karbonaatide leostumisega kaasneva.

Leostumise tagajärjel karbonaatidest vabanenud, samuti juba algselt karbonaadivabal lähtekivimil on denudatsiooniprotsessidele avatud alumosilikaatsed ja savimineraalid. Laskuva vooluga haaratakse kaasa lahustunud kui ka tahked osakesed (lessiveerumine). Osa lahuses olevatest ainetest, eeskätt alumiinium, raud (Fe^{3+}), fosfor sadenevad välja võõndis, kus mulla reaktsioon muutub neutraalseks või leeliseliseks (karbonaatide mõju piirkonnad). Sama kehtib ka tahkete osakeste kohta. Karbonaadid moodustavad nende jaoks geokeemilise barjääri. Mulla tüsendis eristub ainete luviaalse ümberpaigutumise tulemusena eluviaal- ja illuviaalhorisont. Raua ja fosfori väljasadenemine võib sageli toimuda osaliselt mulla tüsendist sügavamal, kihis, kus mulla reaktsioon läheneb neutraalsele. Laktaatlahustuva fosfori sisaldus on näiteks Lõuna-Eestis kamar-leetmuldades suurim BC- ja C-horisondis 1...2 m sügavusel (Kask, 1975a).

Soostunud muldades etendavad denudatsiooniprotsessides olulist osa taandumisprotsessid. Lahustunud kahevalentse raua ja fosforiühendid eemalduvad tekkekohast vastavalt vee liikumisele, osaliselt need hapenduvad taas aeratsioonivõõndis, põhjustades sageli raua ulatuslikku kuhjumist (Kask, Heinsalu, Niine, 1985b). Veega küllastumusvöö gleihorisondis aga toimub raua osakaalu vähenemine räni ja alumiiniumi suhtes (Kask, Heinsalu, Niine, 1985a), toimub ärakanne soodesse ning jõgede kaudu järvedesse ja merre. Fosfori migreerumine järgib kahevalentse raua oma, on sellega seotud.

Üldises tähenduses on kõik Eesti automorfsed ja poolhüdromorfsed mullad denudatsioonilised. Samas tuleb rõhutada, et kamar-karbonaatmuldade puhul piirdub see vaid karbonaatide lagunemise ja laguproduktide eemaldumisega. Alumosilikaatsete mineraalide ja nende murendproduktide osakaalu muutumise järgi on samad mullad akumulatiivsed. Ja seda mitte ainete kuhjumise tõttu otseses mõttes, vaid erineva grupi ainete osakaalu muutumise tõttu (karbonaatide väljauhtumisega suureneb leostumisele mitteallunud ainete osakaal).

Lahustuvate ühendite väljakanne mullast

Gravitatsioonivee nõrgudes läbi pinnasekihi kuni põhjaveeni muutub selles sisalduvate ainete kontsentratsioon. Kaltsiumi, magneesiumi jt. leelismuldmetallide kontsentratsioon nõrguvas vees sügavusega suureneb kuni lahuse küllastumiseni (karbonaatses pinnases). Lõuna-Eesti automorfsete muldade lüsimeetriverve Ca^{2+} kontsentratsioon oleneb sellest, kas muld on lubjatud või mitte. Eesti Põllumajanduse Akadeemia katsealal Ahjas oli künnikihi lüsimeetriverve Ca^{2+} kontsentratsioon sõltuvalt lupjamisest (0...4 normi) 43...111 mg/l ja väljauhtumine 79...181 kg/ha (Turbas, Lauk, 1982). Kamar-karbonaatmullal Vinnis oli Ca^{2+} kontsentratsioon lüsimeetrivervees põllul 81...111 mg/l ja väljauhtumine olenevalt väetamisest 162...222 kg/ha (Turbas jt., 1973).

Siinkohal on oluline märkida, et ainete väljauhtumise koguse suhtes on autorid esitanud väga erinevaid andmeid, mis on seletatav muuhulgas uuritavast mullakihist läbinõrguva vee koguse määramise tehnoloogia erinevustega. Mõned uurijad on selles aluseks võtnud kliimaatilise äravoolu (Turbas jt., 1973; Turbas, Lauk, 1982), teised aga mikrolüsimeetrisse (100 cm²) sattunud vee koguse (Reintam, Ilmoja, Heinalo, 1970; Reintam, Rooma, Avisto,

1970), mis võib olla aga kuni 10 või isegi rohkemgi korda väiksem tegelikkusest. Sellega on tõenäoliselt seletatav ainete väljauhtumise oluline alahindamine. Näiteks Ca^{2+} väljauhtumine L. Reintami "pruunmuldades" (Mihklis 5...11,4 ja Kaarmas 3,8...9,5 kg/ha) (Reintam, Rooma, Avisto, 1970).

Kamar-gleimuldade dreenevee Ca^{2+} kontsentratsioon ja kaltsiumi äraanne sõltub oluliselt aastast. Näiteks Rahnoja katsealal varieerus Ca^{2+} kontsentratsioon aastatel 1969...1976 vahemikus 60...107 mg/l ja äraanne dreeneveega 30...227 kg/ha (Tomson, Hannolainen, 1973; Hannolainen jt., 1985).

A. Nõmmiku (1941) uurimiste järgi kantakse Eesti jõgede kaudu merre aasta jooksul keskmiselt 331,8 kg mineraalide CO_2 hektari kohta. See on ekvivalentne 754 kilogrammi CaCO_3 -ga hektari kohta.

Raua kontsentratsioon mullalahuses muutub olenevalt mulla lähtekivimist. Kui mullalahus nõrgub läbi karbonaatse pinnasekihi või mulla geneetilise horisondi, siis sadeneb raud vähemalt osaliselt välja kas huumushapete sooladena (Fe^{3+}) või (gleimuldades) sideriidina (Zalutski jt., 1985) ja hüdroksiidina. Happelistes mittekarbonaatsetes pinnastes migreerub kahevalentne raud koos veega ja sadeneb välja alles kokkupuutes õhuga.

Raua kontsentratsioon põhjavees sõltub oluliselt aastaajast. K. Kulli uurimustel (Kull, 1985) Harjumaa omaaegse Ääsmäe sovhoosi Tuula maaparandusobjektidel näiteks erines see põhjavees aasta jooksul kuni 40 korda. Suurim oli see varakevadel ja hilissügisel, 30...45 mg/l. 75...100% sellest moodustas Fe^{2+} . Rauasisaldus dreenevees sõltub oluliselt objekti mullastikust. Sama autori uurimustel olid maksimaalsed Fe^{2+} -sisaldused Viruküla (Harjumaa) katseväljakul 15...20 mg/l, Männikjärvel (Jõgevamaal) – 8...23 mg/l, Vaidas – 3...15 mg/l, Raudemetsas – 3,0...7,5 mg/l jne.

Dreenidel ookriohu hindamisel on aluseks Fe^{2+} sisaldus vees:

Fe^{2+} -sisalduse aste	Fe^{2+} -sisaldus mg/l	
	pH<7	pH>7
väga väike	alla 0,5	alla 1,0
väike	0,5...1,0	1,0...3,0
keskmine	1,0...3,0	3,0...6,0
suur	3,0...6,0	6,0...9,0
väga suur	üle 6,0	üle 9,0

Fe^{2+} migreerub gravitatsiooniveega ka sügavamatesse põhjavee horisontidesse, kus selle sisaldus on samuti suurtes piirides erinev. Näiteks oli see 1995. a. veebruaris Saku tsentraalse puurkaevu vees 0,6 mg/l, samas talu puurkaevus 1,4 mg/l, Kamara (Mõisaküla lähedal) sügava (110 m) puurkaevu vees 6,9 mg/l jne.

Mullast väljauhutavate lahustunud ühendite koguse ja dünaamika hindamiseks on olemas rikkalik materjal jõevete keemilise koostise näol (Ressursõ..., 1972). Käesolevas töös on üksikmõõtmispunktide kaupa esitatud uurimistulemuste alusel välja toodud jõgede hüdrokeemilisi valdkondi iseloomustavad keskmised näitajad ja nende juurde kuuluvad statistilised karakteristikud (tabelid 7 ja 8). Hüdrokeemiliste karakteristikute järgi eristatud jõgede valdkonnad langevad üldjoontes kokku aluspõhja, pinnakatte ja mullastiku poolest erinevate piirkondadega. Sellega seletub seos mulla keemiliste karakteristikute, mullas toimuvate protsesside ja jõevete keemilise koostise vahel, vaadelduna jõgede hüdrokeemiliste valdkondade lõikes.

I – jõgede valdkond ühtib põhijoontes I ja II mullastiku valdkonnaga, s.o. kamar-karbonaat- ja soostunud kamarmuldade põhilise levikualaga. Jõevee mineralisatsioon on selles valdkonnas teistega võrreldes kõrgem. Selles on peamiselt kõrgem Ca^{2+} ja HCO_3^- kontsentratsioon. See seostub karbonaatide leostumisega valdkonna muldadest.

II – jõgede valdkond haarab enda alla põhilise osa III-ndast mullastiku valdkonnast, s.o. leetmuldade ja soostunud leetmuldade levikuala Kagu-Eestis. Jõevee mineralisatsiooni poolest järgneb see eelmisele.

III – jõgede valdkond hõlmab soostunud ja soomuldade ulatuslikumad levikualad Pärnu ja Pirita jõe valdkonnas, Peipsi põhjaranniku jm. Jõevee keemilise koostise eripäraks on raua (Fe) suurem kontsentratsioon (suvel ja talvel).

Tabel 2. Karbonaatse mulla ($\text{CaCO}_3+\text{MgCO}_3$ sisaldus kuivas mullas 43%) keemilise koostise näitajate sõltuvus analüüsiandmete esitamisiisist
Table 2. The chemical composition of karbonate soil (Contekt $\text{CaCO}_3+\text{MgCO}_3$ in dry soil 43%) depending on the analyses data

Variant <i>Variant</i>	Sisaldus % / <i>Content, %</i>							Kokku <i>Total</i>
	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	MgO	CaO	K_2O	P_2O_5	
I	41,28	5,15	1,26	3,78	22,33	1,70	0,07	75,57
II	77,86	10,02	2,37	0,81	1,60	3,21	0,13	96,00
III	53,04	6,83	1,62	4,86	28,69	2,19	0,09	97,32
IV	79,73	10,26	2,43	0,83	1,64	3,29	0,13	98,31

Näidatuna protsentides: I – kuiva mulla kohta; II – kuiva karbonaadivaba mulla; III – kuumutatud mulla ja IV – kuumutatud mittekarbonaatse mulla kohta.
 Expressed in presentage per: I – dry soil, II – noncalcareous dry soil, III – ignited soil, IV – noncalcareous ignited soil.

Tabel 3. Erinevate granulomeetriliste fraktsioonide keemiline koostis. Kamar-leetmulla B-horisont (Kask, Viiding jt., 1989)
Table 3. Chemical compositione of different granulometric fraction. B-horizon of sod-podzolic soil

Granulomeetriline fraktsioon mm <i>Granulometric fraction, mm</i>	Protsentides kuumutatud mullas <i>In percentage of ignited soil</i>							Kokku <i>Total</i>
	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	MgO	CaO	K_2O	P_2O_5	
1...0,5	88,34	6,80	0,68	0,14	0,62	2,14	0,05	98,77
0,5...0,25	90,92	4,33	0,56	0,06	0,38	2,23	0,03	98,75
0,25...0,05	87,38	5,24	0,69	0,12	0,45	3,26	0,04	97,18
0,05...0,01	78,77	10,48	2,09	0,61	0,71	4,74	0,07	97,47
0,01...0,005	71,93	13,83	4,02	1,35	0,68	5,18	0,09	97,08
0,005...0,001	62,17	18,30	7,36	2,25	0,63	5,62	0,09	96,32
<0,001	49,60	25,07	12,95	2,82	0,17	4,59	0,14	95,98

Tabel 4. Keemilise koostise sõltuvus füüsikalise savi (<0,01 mm) sisaldusest (Kask, Viiding jt., 1989)**Table 4.** Dependence of chemical composition upon content clay particles (<0.01 mm)

Savi (<0,01mm) % Clay (<0.01 mm), %	Protsentides kuumutatud mullast In percentage of ignited soil							Kokku Total
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	CaO	K ₂ O	P ₂ O ₅	
25,6	82,25	8,63	2,85	1,07	0,57	3,23	0,09	98,64
16,9	83,35	7,11	2,13	1,11	0,48	2,80	0,08	99,06
11,0	87,54	5,55	1,46	0,63	0,43	2,33	0,06	98,00
5,8	89,32	4,56	1,07	0,36	0,44	2,16	0,06	98,22
3,2	90,35	3,99	0,81	0,38	0,42	2,26	0,05	98,14

Tabel 5. Oksiidide sisaldus (%) sõltuvalt ibe (x₁) ja füüsikalise savi (x₂) osakaalust mittekarbonaatsetes muldades (Kask, 1971)**Table 5.** Dependence of oxides content upon the content of particles <0.001 (x₁) and 0.01 mm (x₂)

Võrrandi nr. No. equations	Regressioonvõrrand (n = 148)	r, R	Sy
1 (32)	SiO ₂ * = 93,0-1,61x ₁ +0,038x ₁ ²	0,82	5,17
2 (33)	SiO ₂ = 91,3-0,46x ₂	0,91	3,66
3 (34)	Fe ₂ O ₃ = 0,95+0,179x ₁	0,84	1,21
4 (35)	Fe ₂ O ₃ = 0,72+0,075x ₂ +0,0004x ₂ ²	0,91	0,87
5 (36)	Al ₂ O ₃ = 6,20+0,43x ₁ -0,0029x ₁ ²	0,73	2,87
6 (37)	Al ₂ O ₃ = 4,65+0,21x ₂	0,89	1,95
7 (38)	R ₂ O ₃ = 7,06+0,49x ₁	0,74	4,10
8 (39)	R ₂ O ₃ = 5,15+0,30x ₂	0,88	2,92
9 (40)	MgO = 0,246+0,024x ₁ -0,00065x ₁ ²	0,76	0,38
10 (41)	MgO = 0,18+0,013x ₂ -0,00018x ₂ ²	0,80	3,36
11 (42)	MgO = 1,99+0,06x ₁	0,54	0,93
12 (43)	MgO = 0,91+0,031x ₂	0,51	0,95

* Oksiidide osakaal on näidatud %-des kuumutatud mullast.

The content of oxides is expressed in per cent per ignited soil.

Tabel 6. Näiteid Eesti muldade keemilisest koostisest
Table 6. The examples of the chemical composition of Estonian soils

Horisont ja sügavus cm <i>Horizon and depth of sample, cm</i>	Ibe % (<0,001mm) <i>Clay (<0,001mm), %</i>	Karbonaat- sus % <i>Calcareous- ness, %</i>	Huumus % <i>Humus, %</i>	Protsentides kuivast mullast <i>In percentage of dry soil</i>						Molekulaarsuhted <i>Molecular relations</i>			
				SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	CaO	K ₂ O	$\frac{\text{SiO}_2}{\text{Al}_2\text{O}_3}$	$\frac{\text{SiO}_2}{\text{Fe}_2\text{O}_3}$	$\frac{\text{Al}_2\text{O}_3}{\text{Fe}_2\text{O}_3}$	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	
Profiil 1.		Rähkmuld lubjakivisel rähkmoreenil <i>Typical sod-calcareous soil on limestone-rich morain</i>											
A ₁	1...10	9,4	0	7,2	70,62	8,03	2,38	0,62	2,08	2,43	14,8	78,1	5,3
	10...20	11,1	1,5	2,9	75,8	8,97	2,50	0,62	1,73	2,58	14,3	80,3	5,6
BC	25...35	9,6	6,5	1,5	70,9	8,59	3,13	0,91	4,67	2,58	14,0	60,2	4,3
C	40...50	5,1	40,4		53,3	5,95	1,88	1,34	22,84	1,85	15,2	75,2	4,9
Profiil 2.		Rähkmuld dolomiitsel rähkmoreenil <i>Typical sod-calcareous soil on dolomite-rich morain</i>											
A ₁	0...10	11,4	0	5,3	69,89	8,83	2,38	0,55	1,54	2,65	13,4	78,0	5,8
(A ₁)BC	20...25	8,9	6,8	1,3	69,17	7,74	2,22	1,95	3,78	2,78	15,1	82,5	5,5
C	35...45	8,3	48,9		43,25	4,86	1,92	10,00	16,79	1,88	14,2	70,9	4,7
Profiil 3.		Leostunud kamar-karbonaatmuld lubjakivisel rähkmoreenil <i>Leached sod-calcareous soil on limestone-rich morain</i>											
A ₁	2...10	11,0	0	4,3	74,93	8,96	2,21	0,38	1,20	2,26	14,3	91,3	6,4
	10...20	11,6	0	1,9	76,36	9,11	2,97	0,43	1,07	2,27	14,2	67,5	4,8
	20...30	12,6	0	0,8	76,63	10,05	3,24	0,48	1,02	2,26	13,0	63,3	4,9
	30...40	20,5	0,8		75,37	10,04	3,86	0,69	1,22	2,46	12,9	52,8	4,1
	40...65*	13,7	2,7		76,71	9,20	2,60	0,92	1,94	2,43	14,1	78,8	5,6
BC	40...60**	9,5	13,0		68,42	6,74	1,84	1,99	7,44	1,99	17,1	96,2	5,6
C	80...100	8,3	30,5		56,86	6,14	1,42	3,03	15,15	1,73	15,8	106,7	6,8
Profiil 4.		Leostunud kamar-karbonaatmuld dolomiitsel rähkmoreenil <i>Leached sod-calcareous soil on dolomite-rich morain</i>											
A ₁	1...10	10,3	0	4,4	70,50	9,75	2,41	0,47	1,33	2,98	12,2	77,5	6,3
	10...20	9,8	0	3,0	74,12	10,12	2,45	0,47	1,08	3,06	12,5	80,5	6,4
BC	25...45	18,6	1,0	0,7	67,76	11,38	4,05	0,73	1,30	3,00	10,1	44,4	4,4
C	50...70	7,0	19,8		59,32	6,23	1,74	4,00	8,47	2,13	16,3	91,2	5,6

Tabeli 6 järg / Table 6 continue

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Profil 5.		Leetjas kamar-karbonaatmuld hallil moreenil <i>Podzolized sod-calcareous soil on grey morain</i>											
A ₁	2...10	8,1	0	3,6	73,79	9,12	2,49	0,43	1,32	2,58	13,8	79,4	5,8
	10...20	8,3	0	2,2	74,60	8,58	2,58	0,37	1,11	2,60	14,8	78,2	5,3
A ₂ B	25...40	10,1	0	1,0	77,93	9,74	3,39	0,42	1,06	2,66	13,6	61,8	4,6
B	25...32	12,5	0		75,67	9,47	4,32	0,42	1,06	2,66	13,6	47,1	3,5
	32...40	11,9	1,8		73,32	9,43	4,02	1,01	2,17	2,60	13,2	47,8	3,6
	40...60*	20,1	0		72,09	11,25	5,67	0,71	1,06	2,62	10,6	33,4	3,2
BC	40...60**	5,4	18,7		64,37	7,52	1,82	2,33	9,79	2,16	14,5	92,3	6,4
	60...80	5,3	23,4		61,55	6,28	1,66	2,33	12,54	1,87	16,6	98,3	5,9
C	80...100	7,7	29,8		56,14	6,31	1,69	3,04	15,16	1,88	15,2	92,5	6,1
	100...120	7,1	29,5		54,95	6,61	1,55	3,12	14,99	2,05	14,0	98,2	7,0
Profil 6.		Jääkkarbonaatne kamar-leetmuld hallil moreenil <i>Residual carbonate sod-podzolic soil on grey morain</i>											
A ₁	1...10	6,3	0	3,5	74,52	7,93	2,00	0,52	1,35	2,50	16,0	99,8	6,2
	10...17	6,6	0	2,3	76,89	7,73	2,00	0,45	1,08	2,55	16,9	102	6,6
A ₂	20...35	6,8	0	1,3	77,78	8,22	2,12	0,46	1,15	2,60	16,0	97,1	6,1
	35...50	6,9	0	1,1	77,73	8,34	2,05	0,45	1,15	2,59	15,8	101	6,4
A ₂	50...70	5,5	0		79,61	8,22	2,12	0,52	1,26	2,65	16,5	100	6,1
	70...90*	6,2	0		80,75	7,93	1,75	0,46	1,05	2,50	17,3	123	7,1
B	75...85**	19,2	1,3		75,96	9,06	3,14	0,85	1,22	2,34	14,2	64,2	4,5
BC	85...95	17,4	4,7		72,77	8,21	2,67	1,22	3,22	2,50	15,1	72,7	4,8
C	100...135	13,2	10,7		70,96	7,17	2,37	1,32	6,63	2,35	16,8	79,8	4,8
Profil 7.		Jääkkarbonaatne kamar-leetmuld punakaspruunil moreenil <i>Residual carbonate sod-podzolic soil on redish-brown morain</i>											
A ₁	0...28	8	0	2,1	79,8	7,8	2,05	0,78	0,81	3,30	17,2	103,0	6,0
A ₂	28...40	11	0	0,9	79,4	10,6	2,75	0,73	0,74	3,76	12,7	76,9	6,1
B	40...60	17	0	0,7	77,4	11,6	3,75	1,16	0,74	3,86	11,3	55,4	4,9
	60...80	20	0	0,6	73,5	11,6	4,00	1,26	0,77	3,96	10,8	49,0	4,5
	80...100	18	1,0	0,5	75,8	10,4	3,55	1,20	1,27	4,00	12,4	57,9	4,7
C	100...120	17	6,9		70,3	9,4	3,50	1,81	4,03	3,90	12,7	53,5	4,2
	140...160	16	8,1		67,7	10,4	3,75	1,91	4,62	4,00	11,1	48,2	4,3

Tabeli 6 järg / Table 6 continue

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Profiil 8.		Kamar-leetmuld punakaspruunil moreenil											
		<i>Sod-podzolic soil on redish-brown morain</i>											
A ₁	0...25	5,3	0	2,1	85,68	5,89	1,32	0,30	0,68	2,65	24,7	173	7,0
A ₂	30...45	4,4	0	0,4	88,64	5,57	1,15	0,30	0,54	2,25	27,0	205	7,5
	45...55	3,9	0	0,3	86,78	6,27	1,20	0,35	0,50	2,85	23,5	192	8,2
B	55...75	20,7	0		79,46	9,63	2,95	0,73	0,47	3,60	14,0	71,6	5,1
	75...100	16,7	0		80,64	9,10	2,72	0,63	0,61	3,30	15,0	78,8	5,2
C	100...120	13,5	0		81,75	8,54	2,50	0,66	0,61	2,95	16,2	86,9	5,4
Profiil 9.		Tugevasti leetunud kamar-leetmuld pruunil moreenil											
		<i>Strongly podzolized sod-podzolic soil on brown morain</i>											
A ₁	0...25	2,7	0	2,0	87,81	4,85	1,02	0,34	0,54	2,40	30,5	228	7,4
A ₂	30...40	3,8	0	0,3	87,23	5,89	1,15	0,33	0,47	2,50	25,1	201	8,0
A ₂	40...55	3,1	0	0,3	87,69	5,67	1,07	0,43	0,40	2,50	26,1	218	8,4
	55...70	3,7	0	0,2	87,00	6,27	1,20	0,48	0,61	2,75	23,6	193	8,2
	70...85*	3,7	0		86,95	6,04	1,37	0,40	0,65	2,60	24,5	169	6,9
	85...100*	3,4	0		86,49	6,27	1,50	0,33	0,54	2,50	23,4	153	6,5
B	70...85**	21,7	0		74,78	11,99	3,80	1,23	0,68	3,55	10,5	52,6	5,0
	85...100**	16,1	0		80,29	9,10	2,77	0,63	0,43	2,95	15,0	77,5	5,2
C	100...120	8,6	0		84,71	6,99	1,82	0,93	0,58	2,65	20,6	124	6,0

* Näidatud horisondi sügavam osa.

** Eelmisega samal sügavusel oleva teise horisondi sälk või jäänuksamm.

Tabel 7. Jõevee keemiline koostis (keskmised näitajad arvatuna Eesti NSV Hüdrometeoroloogia Teenistuse algandmetest (Ressursõ..., 1972)
Table 7. Chemical composition of river water (the average contents calculated from the elementary data of hydrometeorological service of Estonian SSR)

Ioone kokku mg/l <i>Total, mg/l</i>	Selle hulgas mg/l / <i>Among the mg/l</i>					
	HCO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺ + K ⁺
1	2	3	4	5	6	7
Kevadel (IV kuu) / In spring (IV month)						
I valdkond (n=12) / I province**						
<u>106-357*</u> 165 (67)	<u>64 - 233</u> 108 (45)	<u>6,2 - 29,7</u> 13,4 (6,8)	<u>0,4 - 10,2</u> 2,7 (2,5)	<u>23,1 - 57,2</u> 31,7 (9,7)	<u>0,9 - 21,3</u> 5,4 (5,30)	<u>1,0 - 5,3</u> 2,7 (1,42)
II valdkond (n=5) / II province						
<u>93,6 - 164</u> 123 (28)	<u>66,5 - 111</u> 82,3 (15,0)	<u>4,3 - 12,3</u> 7,91 (3,2)	<u>0,4 - 1,2</u> 0,84 (0,32)	<u>17,2 - 28,8</u> 22,5 (5,1)	<u>3,5 - 5,6</u> 4,7 (0,89)	<u>0,8 - 5,2</u> 2,1 (1,80)
III valdkond (n=8) / III province						
<u>97,6 - 132</u> 120 (11)	<u>62,8 - 89,1</u> 78,3 (7,9)	<u>4,4 - 16,4</u> 9,6 (3,5)	<u>0,6 - 4,0</u> 1,61 (1,15)	<u>18,6 - 25,5</u> 27,3 (2,4)	<u>1,8 - 5,5</u> 4,5 (1,64)	<u>0,2 - 1,3</u> 0,9 (0,50)
Suured jõed (n=6) / Large rivers						
<u>114 - 172</u> 148 (21)	<u>75,0 - 117,1</u> 98,7 (14,9)	<u>7,6 - 16,8</u> 11,4 (3,4)	<u>0,9 - 4,0</u> 1,9 (1,28)	<u>20,2 - 29,3</u> 26,1 (4,0)	<u>4,0 - 6,9</u> 5,9 (1,03)	<u>0,5 - 8,0</u> 4,1 (2,86)
Suvel (VI - IX kuu) / In summer (VI - IX)						
I valdkond (n=15) / I province						
<u>341 - 418</u> 381 (24)	<u>233 - 273</u> 259 (13,1)	<u>14,6 - 26,7</u> 22,6 (8,1)	<u>2,6 - 12,1</u> 6,7 (2,89)	<u>64,1 - 90,5</u> 75,6 (7,6)	<u>6,2 - 17,8</u> 12,2 (3,58)	<u>0,80 - 10,5</u> 5,1 (2,47)
II valdkond (n=9) / II province						
<u>317 - 414</u> 354 (28)	<u>233 - 272</u> 258 (22,6)	<u>5,7 - 12,6</u> 9,2 (2,5)	<u>2,4 - 5,4</u> 3,4 (1,0)	<u>56,4 - 72,1</u> 62,4 (5,0)	<u>10,0 - 18,0</u> 14,3 (2,43)	<u>1,5 - 11,8</u> 6,0 (3,22)
III valdkond (n=9) / III province						
<u>194 - 328</u> 295 (56)	<u>145 - 259</u> 212 (41,4)	<u>2,2 - 14,5</u> 9,1 (4,70)	<u>0,4 - 7,1</u> 3,9 (4,0)	<u>39,0 - 69,2</u> 54,9 (10,9)	<u>5,6 - 18,9</u> 10,2 (5,82)	<u>1,0 - 6,8</u> 3,4 (2,56)
Suured jõed (n=6) / Large rivers						
<u>182 - 318</u> 265 (60)	<u>12,5 - 230</u> 179 (46,0)	<u>6,6 - 13,9</u> 11,4 (2,7)	<u>0,3 - 5,2</u> 3,4 (1,8)	<u>31,0 - 60,5</u> 45,0 (12,1)	<u>4,0 - 12,7</u> 9,9 (3,56)	<u>0,3 - 10,8</u> 7,4 (4,22)
Talvel (I - III kuu) / In winter (I - III)						
I valdkond (n=13) / I province						
<u>352 - 456</u> 407 (36)	<u>240 - 315</u> 276 (24,2)	<u>16,4 - 32,4</u> 22,8 (5,2)	<u>3,2 - 12,4</u> 6,4 (3,5)	<u>66,5 - 93,2</u> 80,5 (7,9)	<u>6,4 - 17,7</u> 11,9 (3,91)	<u>3,5 - 11,8</u> 6,1 (2,19)

Tabeli 7 järg / Table 7 continue

1	2	3	4	5	6	7
			II valdkond (n=7) / II province			
<u>316 - 437</u>	<u>232 - 322</u>	<u>0,1 - 16,1</u>	<u>2,9 - 5,6</u>	<u>56,9 - 77,4</u>	<u>11,6 - 17,9</u>	<u>4,3 - 12,5</u>
368 (41)	266 (29,9)	10,4 (3,3)	4,0 (0,9)	64,7 (6,8)	13,9 (2,08)	8,3 (3,50)
			III valdkond (n=7) / III province			
<u>238 - 378</u>	<u>167 - 270</u>	<u>4,7 - 14,6</u>	<u>0,4 - 6,8</u>	<u>45,3 - 68,0</u>	<u>6,8 - 17,3</u>	<u>0,2 - 8,5</u>
327 (45)	234 (34,9)	9,9 (3,7)	4,2 (2,5)	62,4 (7,8)	11,0 (3,36)	4,0 (3,12)
			Suured jõed (n=6) / Large rivers			
<u>188 - 363</u>	<u>130 - 254</u>	<u>7,4 - 16,4</u>	<u>3,3 - 6,8</u>	<u>31,0 - 60,5</u>	<u>8,3 - 17,6</u>	<u>1,8 - 7,0</u>
293 (82)	206 (17,8)	12,5 (3,7)	4,9 (1,3)	45,4 (12,1)	12,8 (3,94)	3,4 (1,92)

* 106 - 357 – lim
165 (65) – x (s_x)

** I valdkond / I province
Jõed / Rivers: Keila, Vasalemma, Kasari, Jägala, Paala, Kungla, Selgejõgi.
II valdkond / II province
Jõed / Rivers: Piusa, Ahja, Mustjõgi (Konnuvere), Väike-Emajõgi.
III valdkond / III province
Jõed / Rivers: Mustjõgi (Tooma II), Avijõgi, Pirita, Navesti, Halliste.
Suured jõed / Large rivers: Pärnu, Suur-Emajõgi, Narva.

Tabel 8. Täiendav informatsioon jõevee omadustest (keskmised näitajad on arvatatud Eesti NSV Hüdro meteoroloogia Teenistuse algandmetest (Ressursõ,...1972)

Table 8. Complementary information about the quality of river water calculated from elementary data of hydrometeorological service of Estonian SSR (41)

pH	Läbipaistvus kraadides <i>Transparency of water in degree</i>	Hapendumus permanganaadis mgO/l <i>Oxydation in per- manganate mg O/l</i>	NO ₃ ⁻ mg/l	NO ₂ ⁻ mg/l	Fosfaadid mg/l <i>Fosphates mg/l</i>	Si mg/l	Fe mg/l
1	2	3	4	5	6	7	8
Kevadel (IV kuu) / In spring (IV month)							
I valdkond (n=12) / I province**							
<u>7,30 – 7,80</u> 7,48 (0,14)	<u>23 – 104</u> 68,3 (23)	<u>6,5 – 18,0</u> 11,4 (3,4)	<u>0,45 – 3,00</u> 1,5 (0,96)	<u>0,002 – 0,044</u> 0,017 (0,014)	<u>0,014 – 0,038</u> 0,27 (0,012)	<u>1,0 – 2,9</u> 2,0 (0,65)	<u>0,22 – 2,40</u> 0,96 (0,69)
II valdkond (n=5) / II province							
<u>7,25 – 7,95</u> 7,44 (0,29)	<u>64 – 92</u> 74,2 (21)	<u>6,7 – 11,6</u> 8,6 (1,8)	<u>0,40 – 1,0</u> 0,7 (0,26)	<u>0,007 – 0,022</u> 0,013 (0,007)		<u>1,2 – 2,8</u> 1,93 (0,67)	<u>0,44 – 0,96</u> 0,72 (0,22)
III valdkond (n=8) / III province							
<u>7,00 – 7,75</u> 7,26 (0,27)	<u>62 – 190</u> 119 (39)	<u>12,7 – 21,7</u> 17,8 (3,8)	<u>0,50 – 1,70</u> 0,84 (0,40)	<u>0,005 – 0,051</u> 0,024 (0,002)	<u>0,017 – 0,022</u> 0,020 (0,003)	<u>1,6 – 3,2</u> 2,3 (0,55)	<u>0,19 – 1,66</u> 0,68 (0,54)
Suured jõed (n=6) / Large rivers							
<u>7,70 – 7,90</u> 7,73 (0,08)	<u>44 – 98</u> 73,3	<u>9,4 – 17,5</u> 13,4 (2,7)	<u>0,00 – 2,50</u> 0,96 (1,08)	<u>0,000 – 0,009</u> 0,003 (0,004)		<u>1,0 – 1,8</u> 1,5 (0,36)	<u>0,21 – 0,32</u> 0,24 (0,05)
Suvel (VI – IX kuu) / In summer (VI – IX months)							
I valdkond (n=15) / I province							
<u>7,70 – 8,30</u> 8,02 (0,21)	<u>9 – 71</u> 33,1 (16,6)	<u>3,1 – 10,7</u> 6,4 (2,5)	<u>0,50 – 3,00</u> 1,88 (0,89)	<u>0,007 – 0,038</u> 0,007 (0,009)	<u>0,001 – 0,020</u> 0,007 (0,009)	<u>1,0 – 4,4</u> 2,6 (1,07)	<u>0,04 – 0,76</u> 0,25 (0,20)
II valdkond (n=9) / II province							
<u>7,75 – 8,15</u> 7,94 (0,14)	<u>21 – 44</u> 29,4 (10,9)	<u>2,7 – 8,3</u> 5,5 (2,1)	<u>0,03 – 1,40</u> 0,70 (0,49)	<u>0,001 – 0,16</u> 0,023 (0,055)	<u>0,001 – 0,023</u> 0,013 (0,009)	<u>1,8 – 4,4</u> 32 (0,77)	<u>0,07 – 0,95</u> 0,40 (0,32)
III valdkond (n=9) / III province							
<u>7,60 – 8,35</u> 7,93 (0,26)	<u>35 – 202</u> 128 (58,8)	<u>14,9 – 27,6</u> 18,9 (4,58)	<u>0,00 – 0,55</u> 0,24 (0,24)	<u>0,000 – 0,013</u> 0,02 (0,045)	<u>0,002 – 0,020</u> 0,008 (0,008)	<u>1,0 – 4,3</u> 2,4 (1,07)	<u>0,07 – 3,00</u> 0,93 (1,01)
Suured jõed (n=6) / Large rivers							
<u>7,95 – 8,25</u> 8,14 (0,11)	<u>28 – 80</u> 46 (19,9)	<u>7,1 – 12,7</u> 9,5 (2,4)	<u>0,01 – 1,70</u> 0,52 (0,79)	<u>0,001 – 0,010</u> 0,005 (0,004)		<u>0,8 – 2,3</u> 1,5 (0,62)	<u>0,07 – 0,42</u> 0,24 (0,16)

Tabeli 8 järg / Table 8 continue

1	2	3	4	5	6	7	8
Talvel (I – III kuu) / In winter (I – III months)							
I valdkond (n=13) / I province							
<u>7,30 - 7,65</u>	<u>20 - 59</u>	<u>4,5 - 9,6</u>	<u>1,7 - 5,5</u>	<u>0,004 - 0,188</u>	<u>0,002 - 0,031</u>	<u>2,6 - 4,0</u>	<u>0,12 - 0,75</u>
7,50 (0,13)	41 (14,9)	7,4 (1,64)	3,4 (1,22)	0,050 (0,056)	0,016 (0,021)	3,1 (0,47)	0,37 (0,20)
II valdkond (n=7) / II province							
<u>7,35 - 7,75</u>	<u>18 - 46</u>	<u>1,7 - 7,3</u>	<u>0,8 - 3,5</u>	<u>0,001 - 0,032</u>	<u>0,007 - 0,020</u>	<u>2,8 - 4,4</u>	<u>0,12 - 0,72</u>
7,56 (0,12)	27 (10,6)	4,6 (1,81)	1,6 (0,89)	0,013 (0,010)	0,011 (0,006)	3,7 (0,60)	0,43 (0,19)
III valdkond (n=7) / III province							
<u>7,05 - 7,90</u>	<u>33 - 156</u>	<u>6,0 - 16,4</u>	<u>0,2 - 4,0</u>	<u>0,005 - 0,036</u>	<u>0,011 - 0,014</u>	<u>2,7 - 4,9</u>	<u>0,16 - 3,60</u>
7,36 (0,33)	102 (41,5)	13,7 (3,53)	1,4 (1,40)	0,018 (0,011)	0,012 (0,002)	3,5 (0,73)	1,27 (1,35)
Suured jõed (n=6) / Large rivers							
<u>7,40 - 7,75</u>	<u>25 - 104</u>	<u>7,4 - 12,2</u>	<u>0,55 - 3,50</u>	<u>0,005 - 0,11</u>	<u>0,015</u>	<u>1,3 - 3,4</u>	<u>0,03 - 0,42</u>
7,65 (0,17)	51 (32,2)	10,7 (1,75)	1,8 (1,34)	0,007 (0,003)	0,015 (0,0)	2,3 (0,95)	0,25 (0,17)

* Vt. tabel 7.

** Vt. tabel 7.

Jõevees lahustunud ainete kontsentratsioon on madalam kevadise suurvee ajal, kõrgem suvel ja talvel. Vee läbipaistvus on väiksem ja orgaanilise aine sisaldus (hapendumus perman-ganaadis, O/l) suurem kevadise suurvee ajal.

Keemiline denudatsioon

Jõeveega ära kantavate keemiliste ühendite kogumassi on esmakordselt iseloomustanud A. Nõmmik (tabel 9). Nendele andmetele tuginedes hindas ta keemiliseks denudatsiooniks Eestis 17 mm* tuhande aasta jooksul (Nõmmik, 1941). Hilisemate andmete alusel on see Lõuna-Eestis 20...30 mm ja Põhja-Eestis üle 30 mm tuhande aasta jooksul (Migratsii..., 1974). See võrdub lahustuvate ühendite väljauhtumisega Lõuna-Eestis 450...650 kg ja Põhja-Eestis üle 650 kg hektari kohta aastas.

Tabel 9. Lahustunud ainete aastakeskmise ära kanne kõikide Eesti jõgede kaudu 1941. a. territooriumilt (Nõmmik, 1941)

Table 9. The solubled substances moved off (the average of the years) by river water

Oksiid / Oxide Ioonid / Ions	Ära kanne erinevas väljendusviisis			
	g/m ³	t	kg/ha	%
CaO	56,40	706580	157	63,0
Ca ²⁺	40,00	501672	111	
MgO	14,50	181656	40	16,1
Mg ²⁺	8,70	108994	24	
Na ₂ O	3,50	44224	9,8	3,9
Na ⁺	2,59	32726	7,3	
K ₂ O	1,50	18797	4,2	1,7
K ⁺	1,25	15597	3,5	
Fe ₂ O ₃	0,34	4260	0,9	0,4
Fe ³⁺	0,24	2977	0,6	
Al ₂ O ₃	0,33	4134	0,9	0,4
Al ³⁺	0,17	2191	0,5	
P ₂ O ₅	0,07	877	0,2	0,1
P	0,03	382	0,1	
SiO ₂	5,72	71660	15,9	6,4
Si	2,67	33465	7,4	
SO ₃ ²⁻	3,95	49486	11,0	4,4
Cl ⁻	3,27	40967	9,1	3,6
Kokku	89,58	1122636	249,0	100,0
	Mineraalide / of minerals			
CO ₂ ²⁻	119,5	1497096	331,8	

Keemilise denudatsiooni intensiivsus ja ulatus on territooriumil paiklikult väga erinev. Keskmisest väiksem on see kumeratel pinnavormidel, kust sademete vesi suures osas mööda maapinda ära voolab, tungimata mulda, suurem aga kohtades, kuhu sademete vett kokku valgub. Keemiline denudatsioon on keskmiselt väiksem või puudub üldse aladel, kus kõrge põhjavee seis takistab mullatüüsi läbiuhtumist (sood, rabad).

Võrreldava ülevaate keemilise denudatsiooni ulatusest erinevates kohtades pakub mulla eluviaalhorisondi või karbonaatidest vabanenud kihi paksus samasuguse mullalähtekivimi tingimustes. Taolistest uurimustest ilmnevad olulised erinevused, mis seostuvad reljeefiga. Näiteks Kaareperes ühe voore lael (põllul) on täielikult leostunud kihi paksus 60...80 cm, nõgusa profiiliga nõlva keskosas (metsas) 100...160 cm. Samasugusel lähtekivimil kujunenud madalsoomullas voorte vahelises nõos puudub vastav kiht mineraalprofiilis üldse, karbonaat-sus algab vahetult turbahorisondi alt (Kask, Heinsalu, 1989).

Eluviaalhorisondi paksuse seotus maapinna reljeefiga nähtub ilmekalt hiljuti kaevatud kraavide nõlvadel. Analüütiliste näitajatega illustreeritakse kõnesolevat seaduspärasust muu kõrval mitmes varasemates töödes (Kask, Heinsalu, 1989a, 1989b, 1991).

* Keemilise denudatsiooni ulatust väljendatakse kihina, tihedusega 2,4 g/cm³, mille moodustaksid väljauhtunud ained.

Arutelu

Sademeteveega läbiuhutavad mullad võivad oma looduslikus arenguprotsessis kas rikastuda ibest ja tuhaelementidest (viljakuselementidest) või vaesestuda, s.t. olla akumulatiivsed või denudatsioonilised. Vahe nendes kahes erinevas arengusuunas on oluline. See määrab ära muldade mineraalosa mineraloogilise-keemilise potentsiaali (viljakuse) ja selle muutumise suuna looduslikus arenguprotsessis.

Akumulatiivsete muldade mineraalosa viljakus oma arenguprotsessis suureneb, denudatsiooniliste muldade oma aga väheneb. Loomulikult omab küsimus, mis suunas kulgeb muldade areng, olulist tähtsust muldade viljakuse tõstmise või säilitamise abinõude väljatöötamisel ja rakendamisel ning maade hindamisel.

Sademeteveega läbiuhutavate muldade seas on akumulatiivsete muldade esindajana tuntud pruunmullad (FAO UNESCO klassifikatsiooni järgi *cambisol*'id), denudatsiooniliste muldade hulka kuuluvad leetmullad, metsa-hallmullad, kamar-karbonaatmullad ja nende soostunud analoogid (FAO UNESCO järgi *podzol*'id, *podzoluvisol*'id, *luvisol*'id ja *leptosol*'id).

Eesti muldade arengu käsitluses on juba alates sajandi algusest viidatud leostumisele, leetumisele (laiemas tähenduses) ja soostumisele (laiemas tähenduses, s.o. gleistumisele ja turvastumisele) – see tähendab denudatsiooni rea protsessidele.

Kuuekümnendatest aastatest alates eristavad L. Reintam ja tema kaastöötajad S. Zonni eeskujul Eestis lisaks eeltoodutele veel muldi, mille tunnusprotsessideks on savistumine, lessiveerumine (iseseisva protsessina) ja näivleetumine. Vastavaid muldi (pruunmullad, näivleetunud mullad) iseloomustavad autorid kui akumulatiivseid, mis oma loomulikus arenguprotsessis rikastuvat “mulla viljakuse potentsiaalsete varude” poolest (Reintam, 1974).

Käesolevas töös esitatud materjalid toetavad Eesti muldade denudatsioonilise arengu kontseptsiooni. See on kõikide automorfsete ja poolhüdromorfsete muldade arengusuund. Samas tuleb rõhutada, et selles võib eristada erinevaid olukordi, mis seostuvad muldade tüpoloogiliste ühikutega.

Karbonaatide suhtes on kõik Eesti automorfsed ja poolhüdromorfsed mullad (karbonaatsel lähtekivimil) denudatsioonilised. Erinevus seisneb vaid leostunud ja leostuva kihi paksuses ja sügavuses. Alumosilikaatne fraktsioon on denudatsiooniline mittekarbonaatses või sügavalt leostunud mullas. Soostunud muldades tõuseb raua osakaal denudatsiooniprotsessis.

Eesti muldade iseloomustamisel tuleb olulise eripärana rõhutada seda, et karbonaatsel lähtekivimil levivate muldade teatud arenguetapis (kamar-karbonaatmuldade arengustaadiumis) leiab üldise keemilise denudatsiooni taustal aset ibe ja poolteisthappendite osakaalu suurenemine mullamassis. See on seotud karbonaatide osakaalu vähenemisega leostumisprotsessis, mitte aga alumosilikaatsete mineraalide murenemise, s.o. metamorfoosse savistumise ning bioloogilise akumulatsiooniga, kuigi nende protsesside osalemist ei saa ka eitada.

Karbonaadivabal või sügavalt leostunud, luviaalselt diferentseerunud Eesti mullad on aluste, poolteisthappendite ja tuhaelementide ning ibe suhtes denudatsioonilised. See avaldub igal konkreetsel juhul ibe osakaalu vähenemises eluviaalhorisondis, keemilise koostise muutustes ning mulla happesuse suurenemises (looduslikus arenguprotsessis) lähtekivimiga võrreldes.

Eeltoodu erineb L. Reintami arusaamast, kelle hinnangu järgi rendsiinad (A. Lillema jt. järgi tüüpilised kamar-karbonaatmullad), tüüpilised ehk leostunud pruunmullad (leostunud kamar-karbonaatmullad), lessiveerunud pruunmullad (leetjad kamar-karbonaatmullad) ja näivleetunud e. pseudoleetunud mullad (keskmiselt ja tugevasti leetunud kamar-leetmullad) on akumulatiivsed mullad. Väljauhtumist ta nendes muldades ei eita, kuid rõhutab, et domineerivad “akumulatiivsed protsessid”, ja seda ka kaltsiumi suhtes, rendsiinades, mistõttu neis “totaalset dekaltsifikatsiooni” ei toimuvat (Reintam, 1974).

Käesolevas töös esitatud materjali, samuti rea varasemates uurimistes tuvastatud faktide valguses ei saa L. Reintami seisukohta akumulatiivsete muldade laiaulatuslikust levimisest Eestis pidada realistlikuks. Tegemist on metoodiliste vigadega ja faktide meelevaldse tõlgendamisega.

Eesti muldade mineraalosa areng kulgeb jätkuvalt denudatsiooniliste mullaprotsesside domineerimisel. Suureneb karbonaatidest leostunud kihi paksus ja eluviaalhorisondi kogupaksus ning väheneb tuhaelementide sisaldus ja varu nimetatud horisontides. Eluviaalhorisont “kasvab juurde” illuviaalhorisondi ülemise osa degradeerumise arvel, illuviaalhorisont oma-

korda C-horisoni arvel. Toodu on Eesti muldade mineraalprofiili arengu üldskeem, mille mitmesugused nüansid leiavad kajastamist nii mulla morfogeneetilises haabituses kui ka analüütilistes näitajates. Üldistaval kujul leiab muldade mineraalosa degradeerumine kinnitust keemilise denudatsiooniga, leituna jõgede kaudu merre kantavate keemiliste ühendite kogustest.

Degradatsioon tähendab omadustelt halvenemist, taandarengut. Rääkides mulla mineraalosa või mineraalprofiili degradeerumisest, ei tähenda see igal juhul mineraalosa halvenemist mulla viljakuse (fütoproduktiivsuse) seisukohalt. Kui mineraalosa degradeerumine piirdub karbonaatide väljauhtumisega, on see mulla viljakuse seisukohalt kasulik, sest liigne karbonaatsus on taimede toitumist oluliselt pärssivaks teguriks (Kask, Kärblane, 1982).

Alates sellest, kui degradeerumisest on haaratud alumosilikaatne fraktsioon mulla mineraalosast, võib rääkida mulla mineraalse-keemilise potentsiaali vähenemisest, mis tähendab ühtlasi mulla potentsiaalse viljakuse vähenemist.

Mulla mineraalosa degradeerumine on Eestis süvenev protsess. Selle erinevad astmed seostuvad muldade tüpoloogiliste ühikutega Eesti muldade jätkunimestikus.

I – karbonaatsed mullad – täielikult leostunud kiht on väiksem kui 30 cm (tüüpilised kamar-karbonaatmullad, karbonaatsed gleistunud kamarmullad, karbonaatsed gleimullad).

II – leostunud mullad – täielikult leostunud kihi paksus on 30...60(80) cm, A₂-horisonti veel ei eristu (leostunud kamar-karbonaatmullad, leostunud gleistunud kamarmullad, leostunud gleimullad).

III – leetjad mullad – karbonaadivabad või sügavalt leostunud mullad, eluviaalhorisont (A₂, E) selgelt eristunud, reaktsioon (looduslikus seisundis) neutraalne või nõrgalt happeline (leetjad kamar-karbonaatmullad, leetjad gleistunud kamarmullad, leetjad gleimullad).

IV – leetunud mullad – võrreldes eelmisega eluviaalhorisont tugevamini eristunud, looduslikus seisundis kuni väga tugevasti happelised (leedemullad, kamar-leetmullad, soostunud leetmullad).

Eesti muldade mineraalprofiili nüüdisaegne degradeeritus on välja kujunenud kuni 13 000 aasta jooksul (Kagu-Eestis). Selles ajavahemikus on olnud kliimaperioode, mis enam ei kordu (arktiline, subarktiline, subboreaalne jt.). Seepärast ei ole seni läbitud aastatuhat muldade kujunemises oma tähenduselt võrdne nüüdisaja ja eelseisvataga.

Seoses muldade hapestumisega oma looduslikus arenguprotsessis (meie kliimatingimustes) mulla mineraalosa degradeerumine järjest intensiivistub. Looduslikele mõjuteguritele liitub üha suurenev inimtegevuse mõju. Mulla mineraalosa lagunemist ja väljauhtumist suurendab mineraalväetiste kasutamine ja happelised vihmad. Keemiline denudatsioon on lühikese aja jooksul suurenenud.

Esimese määramisringi (Nõmmik, 1941) andmete alusel oli keemiline denudatsioon 17 mm, teistkordsel määramisel (Migratsii..., 1974) Lõuna-Eestis 20...30 mm ja Põhja-Eestis üle 30 mm tuhande aasta kohta.

Mulla morfo-geneetiline haabitus, analüütilised karakteristikud, ainete ärakanne dreene ja jõgede kaudu ning viimase alusel leitud keemiline denudatsioon kinnitavad Eesti muldade mineraalosa ja mineraalprofiili degradeerumise teesi. Degradatsioon on jätkuv ja eelduste kohaselt süvenev protsess. Leedemullad, kamar-leetmullad ning soostunud leetmullad on nüüdisajal IV-s degradeerumise staadiumis. Need mullad on denudatsiooniprotsesside läbi kaotanud mitmesuguses ulatuses mulla mineraalset-keemilist potentsiaali, mulla potentsiaalset viljakust. Haritaval maal on meie aastakümne jooksul seda kompenseeritud muldade korduva lupjamisega ja mineraalväetiste, sealhulgas mikroväetiste kasutamisega.

Denudatsiooniliste muldade potentsiaalse viljakuse säilitamiseks ja tõstmiseks ei piisa ainult saakidega eemaldatud tuhaelementide tagastamisest mulda, kompenseerimist vajavad ka kaod, mis leiavad aset denudatsiooniliste muldade looduslikus evolutsiooniprotsessis.

Teatud Eesti muldade ümberhindamine akumulatiivseteks (pruunmuldadeks ja näivleatud muldadeks) ning nende iseloomustamine muldadena, kus domineerivad akumulatiivsed protsessid ja kus looduslikus arenguprotsessis leidvat vastavalt sellele aset "mulla viljakuse potentsiaalsete varude suurenemine", ei ole õigustatud. See kahjustab maakasutust ning desorienteerib mullakaitse abinõude väljatöötamist.

Kirjandus

- Dokutšajev: Докучаев В. В. Классификация почв. – Почвоведение, т. 1, № 2, 1900.
- Dokutšajev: Докучаев В. В. Избр. соч., т. 3. – Москва, 1948...1949.
- Hannolainen jt.: Ханнолайнен Г., Томсон Х., Нийне Х. Вынос кальция дренажным стоком из осушенных дерново-глеевых почв. – Научн. тр. ЭстНИИЗМ LIV, с. 63...73, 1985.
- Kask R. Eesti NSV automorfsete muldade humuse koostisest. – EMMTUI tead. tööd XX, lk. 77...99, 1970.
- Kask R. Eesti NSV automorfsete muldade keemilisest koostisest. – EMMTUI tead. tööd XXII, lk. 27...51, 1971.
- Kask R. Eesti NSV maafond ja selle põllumajanduslik kvaliteet. – Tln., 1975. – 358 lk.
- Kask: Каск Р. Некоторые дискуссионные вопросы в области генезиса и классификации почв Эстонии. – Научн. тр. ЭстНИИЗМ XXXVI, с. 9...37, 1975.
- Kask: Каск Р. Влияние выщелачивания карбонатов на образование автоморфных почв. – Научн. тр. ЭстНИИЗМ LIV, с. 74...91, 1985.
- Kask R. Eesti NSV muldade süstemaatiline nimestik ja lühidiagnostika. – Tln., 1988. – 96 lk.
- Kask R. Eesti muldade granulomeetriline koostis ja selle kujunemine. – Agraarteadus, nr. 3, lk. 292...319, 1995.
- Kask R. Eesti mullad. – Tln., 1996. – 280 lk.
- Kask, Heinsalu: Каск Р., Хейнсалу А. О почвенной катене на серой карбонатной морене в Средней Эстонии. – Научн. тр. ЭстНИИЗМ LXV, с. 59...84, 1989.
- Kask, Heinsalu: Каск Р., Хейнсалу А. Почвенная катена на силурийском плато в Северной Эстонии. – Научн. тр. ЭстНИИЗМ LXVIII, с. 3...22, 1991.
- Kask, Heinsalu: Каск Р., Хейнсалу А. Катена подзолистых и блотно-подзолистых почв на песках Северной Эстонии. – Научн. тр. ЭстНИИЗМ LXVIII, с. 23...37, 1991.
- Kask, Heinsalu, Niine: Каск Р., Хейнсалу А., Нийне Х. Дерново-глеевые почвы на карбонатной щебнистой морене в Северной Эстонии. – Научн. тр. ЭстНИИЗМ LVI, с. 24...53, 1985a.
- Kask, Heinsalu, Niine: Каск Р., Хейнсалу А., Нийне Х. Проявление восстановления, окисления и гидрогенной аккумуляции железа в некоторых грунто-оглеенных почвах Западной Эстонии. – Научн. тр. ЭстНИИЗМ LVI, с. 3...23, 1985b.
- Kask, Kärblane: Каск Р., Кярблане Х. Плодородие различных горизонтов основных почв Эстонской ССР. – Научн. тр. ЭстНИИЗМ II, с. 58...67, 1982.
- Kask R., Veber K. Eesti NSV muldade granulomeetrisest ja petrograafilisest koostisest. – EMMTUI tead. tööd XXV, lk. 3...28, 1972.
- Kask R., Veber K., Bergert L. Eesti NSV automorfsete muldade karbonaatsus. – EMMTUI tead. tööd XLV, lk. 8...19, 1981.
- Kask, Viiding: Каск Р., Вийдинг Х. Корродированность валунов кристаллических пород – признак разрушения минеральной части почвы. – Научн. тр. ЭстНИИЗМ LXII, с. 38...19, 1988.
- Kask, Viiding jt.: Каск Р., Вийдинг Х., Нийне Х., Реппо Э., Калласте Т. Минеральный и химический состав различных гранулометрических фракции дерново-подзолистой почвы на красно-бурой морене. – Научн. тр. ЭстНИИЗМ LXV, с. 16...38, 1989.
- Kitse E. Mullavesi. – Tln., 1978. – 142 lk.
- Kull K. Ookriprobleemid dreanaazkuivenduses. – Eesti Maaviljeluse ja Maaparanduse Teadusliku Uurimise Instituudi infoleht nr. 1, 1989. – 11 lk.
- Kõlli R. Agromullateaduse välipraktika. – Tartu, 1988. – 56 lk.
- Kõlli R. Ökosüsteemide fütoproduktiivsuse pedoökoloogiline analüüs. – Agraarteadus, nr. 3, lk. 248...263, 1991.
- Lillema A. Eesti NSV mullastik. – Tln., 1958. – 199 lk.
- Migratsii...: Миграции химических элементов в подземных водах СССР. – Москва, 1974. – 238 с.
- Nõmmik A. Eesti NSV jõevete keemilisi uurimisi. – Nõukogude Agronoomia, nr. 2, lk. 34...51, 1941.
- Piho A., Kask R. Eesti NSV mullaerimite iseloomustus. – Tln., 1960. – 85 lk.
- Podzolistõje...: Подзолистые почвы запада европейской части СССР. – Москва, 1977. – 287 с.
- Podzolistõje...: Подзолистые почвы северо-запада европейской части СССР. – Москва, 1979. – 256 с.
- Reintam: Рейнтам Л. К характеристике почв буроземного типа. – Сб. научных тр. ЭСХА, 65, с. 9...37, 1970.
- Reintam: Рейнтам Л. Характеристика некоторых почв на красно-бурой морене и вопросы разграничения дерново-подзолистого, псевдо-подзолистого и буроземного типов. – Сб. научных тр. ЭСХА, 65, с. 195...232, 1970.
- Reintam: Рейнтам Л. Почвообразование на моренах и двучленных породах Эстонии. – Сб. научных тр. ЭСХА, 75, с. 3...77, 1970.

- Reintam: Рейнтам Л. Ю. Автоморфное почвообразование на моренах и двучленных породах Эстонии. – Автореферат диссертации. Новосибирск, 1973. – 34 с.
- Reintam: Рейнтам Л. Ю. Буроземообразование и псевдоподзоливание в почвах Эстонской ССР. – В кн.: Буроземообразование и псевдоподзоливание в почвах Русской равнины. – Москва, с. 118...162, 1974.
- Reintam L. Eesti muldade uuest nimestikust ja diagnostikast. – EPA tead. tööde kogumik nr. 101, lk. 3...18, 1975.
- Reintam, Ilmoja, Heinalo: Рейнтам Л., Ильмоя С., Хейнало У. Миграции веществ из почвы лизиметрическими водами. – Сб. научных тр. ЭСХА, 69, с. 51...80, 1970.
- Reintam, Rooma, Avisto: Рейнтам Л., Роома И., Ависто Э. О миграции веществ в бурых лесных почвах. – Сб. научных тр. ЭСХА, 65, с. 163...187, 1970.
- Ressursõ...: Ресурсы поверхностных вод СССР. Том 4, Прибалтийский район, вып. 1. Эстония. – Ленинград, 1972. – 402 с.
- Zaidelman: Зайделман Ф. Р. Подзоло- и глееобразование. – Москва, 1974.
- Zalutski jt.: Залуцкий А. А., Бабанин В. Ф., Каск Р. П., Соловьев А. А. Состояние железа некоторых оглееных почвах Эстонии по данным ЯГР спектроскопии и других методов. – Саку-Ярославль, 1985. – 13 с. (рукопись).
- Tomson, Hannolainen: Томсон Х., Ханнолайнен Г. О. О выносе питательных веществ дренажным стоком из тяжелых почв при воздействии озимой пшеницы. – Научн. тр. ЭстНИИЗМ XXIX, с. 199...207, 1973.
- Turbas E., Lauk E. Lupjamisalase uurimistöö tulemustest ja soovitud muldade korduslupjamiseks. – Tln., 1982. – 60 lk.
- Turbas jt.: Турбас Е. М., Хийс В. Р., Кальмет Р. Я. Состав лизиметрических вод и вымывание питательных веществ из пахотного слоя почвы и зависимости от применения удобрений. – Химия в сельском хозяйстве, 5, с. 22...27, 1973.