

TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL
GEOLOGIA INSTITUUT
FÜÜSIKALISE GEOLOGIA ÕPPETOOL

**BIOTIIT SILURI LADESTU BENTONIITIDES
VENTSPILSI D-3 PUURAUUGUS:
LÄHTEMAGMA KOOSTISE JA VULKAANIPURSETE
TEKTOONILISE KESKKONNA NÄITAJA**

Bakalaureusetöö

Kreete Peedo

Juhendaja: Dr. Tarmo Kiipli

Maa-teaduste õppekava YAMB11/11

Tallinn 2014

Deklareerin, et käesolev bakalaureusetöö, mis on minu iseseisva töö tulemus, on esitatud Tallinna Tehnikaülikooli bakalaureusekraadi taotlemiseks ja et selle alusel ei ole varem taotletud akadeemilist kraadi.

Kõik töö koostamisel kasutatud teiste autorite tööd, olulised seisukohad, kirjandusallikatest ja mujalt pärinevad andmed on viidatud või (avaldamata tööde korral) toodud autorlus välja põhitekstis.

.....

Ees- ja perekonnanimi

SISUKORD

SISSEJUHATUS	4
1. TAUST	5
1.1 Siluri ajastu	5
1.2 Iapetuse ookeani sulgumine ja Baltika-Avalonia-Laurentia kollisioon	6
1.3 Biotiit kui lähtemagma ja vulkaanide tektoonilise keskkonna näitaja	7
2. MATERJAL	9
2.1 Ventspilsi puuraugu asukoht ja läbilõige	9
2.2 Uuritud vulkaanilised kihid	10
3. METOODIKA	12
3.1 Mõõtmised elektronmikroskoobis	12
3.2 Tulemuste korrigeerimine BBM-1 järgi	12
4. TULEMUSED	14
5. ARUTELU	25
KOKKUVÕTE	27
SUMMARY	28
VIITED	29
LISAD	31
Lisa 1. Elektronmikroskoobi all mõõdetud biotiitide keemiline koostis	32

SISSEJUHATUS

Siluri ajastu oli Laurentia ja Baltika mandrite liitumise tõttu vulkaaniliselt aktiivne periood, mil toimus Iapetuse ookeani sulgumine ning tekkis Kaledoonia kurdmäestik (Nestor 1999). Vastavate sündmuste tagajärjel esines arvukaid vulkaanipurskeid, millest on säilinud vulkaanilise tuha kihid (bentoniidid). Uurides bentoniitide kihtides leiduvat püroklastilist mineraali biotiiti, on võimalik neid purskeid omavahel eristada ning koostada vajalikke korrelatsioone erinevate läbilõigete ulatuses (Kiipli jt. 2011).

Käesoleva bakalaureusetöö eesmärgiks on uurida Siluri ajastu biotiite bentoniidikihtides Ventpils D-3 puuraugus. Selleks mõõtsin röntgenfluorestsentsmikroanalüsaatori abil elektronmikroskoobi all biotiitide keemilist koostist ning interpreteerisin selle alusel nii lähtemagma tüübi kui ka magma tekkimisele vastava tektoonilise keskkonna.

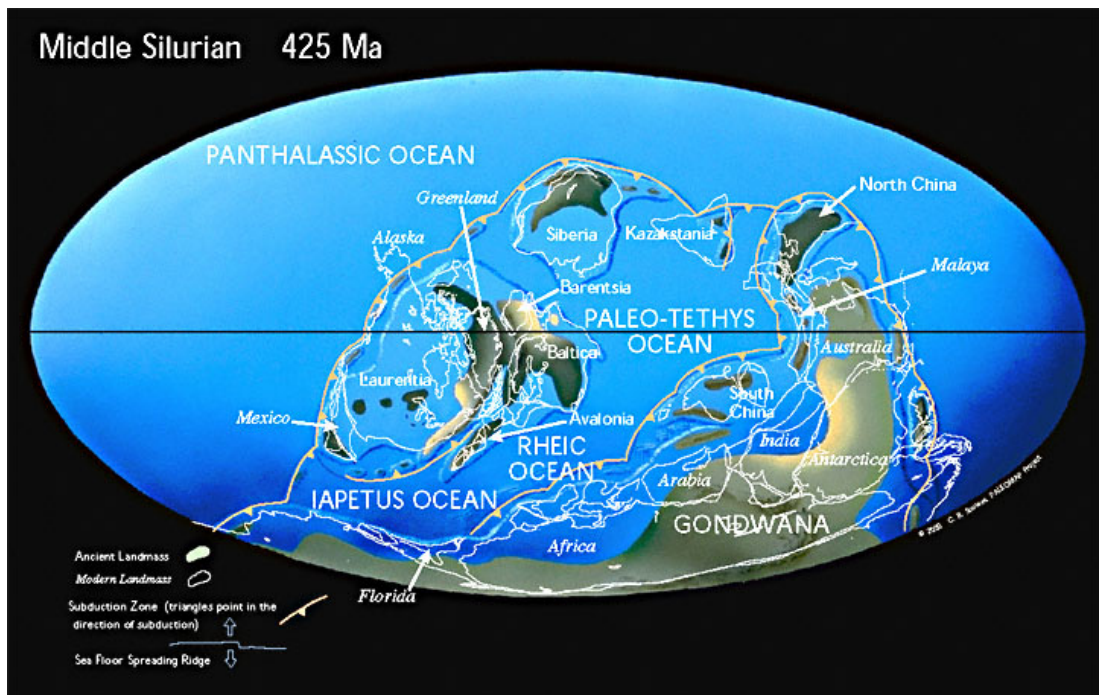
Bakalaureusetöö koostamise raames tänan juhendajat Tarmo Kiiplit suure abi eest ning samuti Rutt Hintsit, kes juhendas mind mõõtmiste teostamisel!

1. TAUST

1.1 Siluri ajastu

Siluri ajastu algas 443.4 ja lõppes 419.2 miljoni aasta eest (ICOS 2014). Sel ajal eksisteerisid Vanaaegkonna alguses, Kambriumi ajastul alanud ülimandri Rodinia lagunemise tulemusena kuus suuremat kontinenti, Laurentia, Baltika, Siber, Kasahstan, Põhja-Hiina ning Gondwana, millest Ordoviitsiumi ajastul eraldusid veel mitmed väiksemad kontinendid, nagu Avaloonia, Böömi massiiv ning Florida (Nestor 1999).

Siluri ajastut iseloomustab aga kontinentide taasühinemine. Ordoviitsiumi lõpus alanud Baltika liitumine Avaloniaga jätkus Siluris liitumisega Laurentiaga. Mandrite vaheline kokkupõrge algas põhjapoolt ning kulges lõuna suunas. Külgsurve tulemusena hakkas esimesena kerkima Baltika praegune loodeserv Skandinaavia mäestiku kohal ning samal ajal moodustus nüüdse Läänemere ja Baltimaade kohal kirde-edela suunaline nõgu, milles paiknes Paleobalti mere sügavam osa, ulatudes Kesk-Poolast umbes praeguse Eesti lõunapiirini. Surve jätkudes vaheldus Paleobalti mere taandumine ja madaldumine mere vastupealetungi ja sügavnemisega, ent taandudes siiski järk-järgult edela suunas (Nestor, Soesoo 2006).



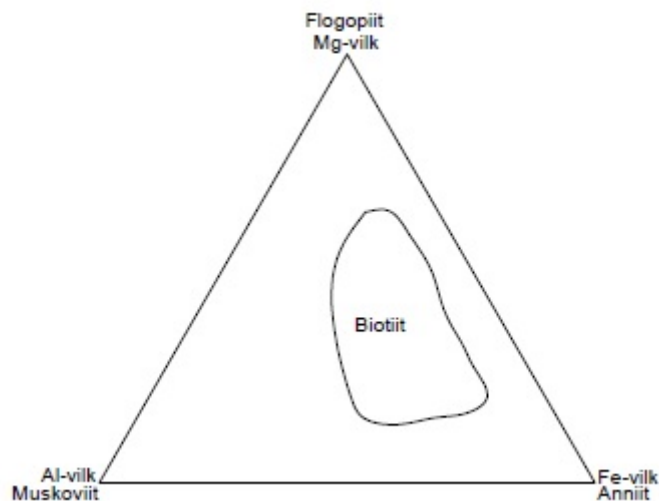
Joonis 1 . Kesk-Siluri paleograafilise kaart Scotese (2014) interneti koduleheküljelt.

1.2 Iapetuse ookeani sulgumise ja Baltika-Avalonia-Laurentia kollisioon

Kambriumi ajastul Laurentia ja Baltika vahel avanenud Iapetuse ookean hakkas Siluris mandrite üksteisele lähenemise tõttu sulguma. Kujunesid aktiivsed subduktsioonivööndid Iapetuse ookeani servades ning ookeaniline laamaserv sukeldus maakoore serva alla (Nestor 1999). Laurentia ja Baltika kokkupõrge algas põhjapoolt ning jätkus lõuna suunas. Uuele liitmandrile pandi nimeks Laurussia. Mandrite liitekohale tekkis aga Kaledoonia kurdmäestik, mis ulatus üle praeguste Briti saarte, Skandinaavia mäestiku ja Gröönimaa idaranniku kuni Teravmägedeni (Nestor, Soesoo 2006). Nende tektooniliste protsessidega kaasnes intensiivne vulkanism, millest pärinevat tuhakihid Baltoskandia settekivimites (Kiipli jt. 2014).

1.3 Biotiit kui lähtemagma ja vulkaanide tektoonilise keskkonna näitaja

Biotiit on vilkude rühma kuuluv mineraal, mille keemiline valem on $K(Mg,Fe)_3(AlSi_3O_{10})(OH)_2$ (Kullerud 2014). Vilgud on enamlevinud kivimit moodustavad mineraalid paljudes magma- ja moondekivimites. Vulkaanilistes tuhkaes esinev biotiit on kristalliseerunud enne vulkaanipurset magmakambris. Vilkude seas eristatakse veel magneesiumirikast flogopiiti (keemiline valem $KMg_3AlSi_3O_{10}(OH)_2$), alumiiniumirikast muskoviiti (keemiline valem $KAl_3Si_3O_{10}(OH)_2$) ning rauarikast anniiti (keemiline valem $KFe_3AlSi_3O_{10}(OH)_2$) (Isakar 2003). Vilkude jagunemine on kujutatud *joonisel 2* (Foster 1960).



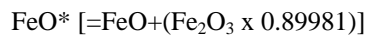
Joonis 2. Vilkude jagunemine keemilise koostise järgi.

Tardkivimite biotiidi keemilise koostise varieeruvus oleneb valdavalt tema lähtemagmast (Abdel-Rahman 1994). Sõltuvalt FeO, MgO ja Al_2O_3 sisaldusest eristatakse kolme põhitüüpi biotiite:

1. A-tüüpi (inglise keeles alkaline) on peamiselt kuuma punkti kohal tekkinud rauarikkad biotiidid, milles keskmine FeO^*/MgO suhe on 7.04

ning nende tekkimist seostatakse piirkondadega, kus on toimunud laamade servade omavaheline lahknemine (Abdel-Rahman 1994; Nestor 1999).

2. P-tüüpi (inglise keeles peralumineous) on settekivimite osalisel sulamisel tekkinud alumiiniumirikkad biotiidid, milles keskmine FeO^*/MgO suhe on 3.48 ning nende tekkimist seostatakse piirkondadega, kus on toimunud kontinentaalsete laama servade omavaheline kokkukulgemine. (Abdel-Rahman 1994; Nestor 1999).
3. C-tüüpi (inglise keeles calc-alkaline) on magmakivimite osalisel sulamisel tekkinud magneesiumirikkad biotiidid, milles keskmine FeO^*/MgO suhe on 1.76 ning nende tekkimist seostatakse piirkondadega, kus ookeanilise laama serv on sukeldunud teise laama serva alla. (Abdel-Rahman 1994; Nestor 1999).



2. MATERJAL

2.1 Ventspilsi puuraugu asukoht ja läbilõige

Uuritud Ventspilsi D-3 puurauk asub Lätis, Ventspilsi piirkonnas. Puuraugu laiuskraadiks on 57.411518 ning pikkuskraadiks 21.569814 (Geokogud 2014, *joonis 3*).

Antud töö raames uuriti Ventspilsi D-3 puurauku sügavuste intervallis 600-820m. Sellesse vahemikku jäävad vulkaanilised kihid kuuluvad Ludlowi, Wenlocki ja Llandovery ladestikku. Puuraugu läbilõikes on uurimuste tulemusena eristatavad mitmed kihid (Gailite jt. 1987, *joonis 4*).

600.0-629.0m sügavusel hall savimergel, milles esineb kohati lubjakivi läätsesid ja
mugulaid

629.5-675.0m hall savimergel

675.0-679.0m tumehall lubjakas savi

679.0-686.0m hall lubjakas savi

686.0-687.0m mikrokihiline lubjakivi

687.0-761.0m hall savimergel

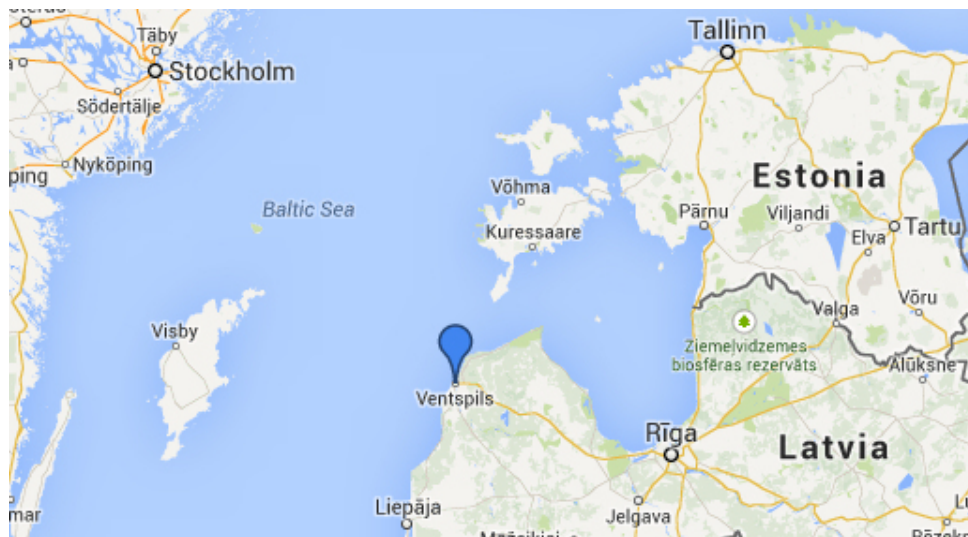
761.0-798.0m tumehall lubimergel, milles esinevad üksikud lubjakivi läätsed

798.0-820.0m rohekashall lubjakas savi

2.2 Uuritud vulkaanilised kihid

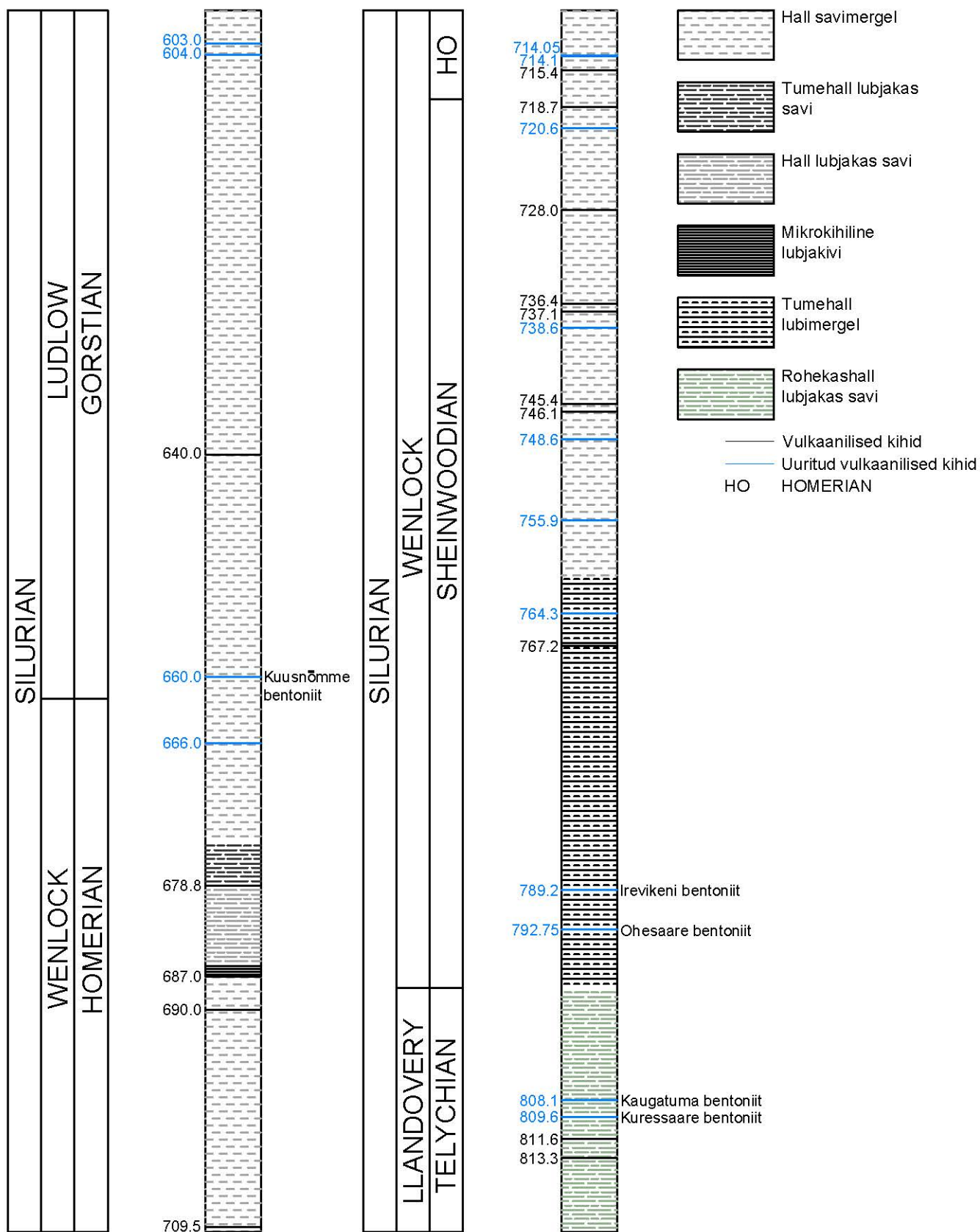
Käesoleva töö raames uuriti viitteistkümmet vulkaanilist kihti sügavustel 603.0, 604.0, 660.0, 666.0, 714.05, 714.1, 720.6, 738.6, 748.6, 755.9, 764.3, 789.2, 792.75, 808.1 ning 809.6m. Nendest kihtidest kaheteistkümmel oli võimalik mõõta biotiitide keemilist koostist. Sügavustel 748.6, 755.9 ning 792.75m uuritud proovides biotiiti ei leidunud.

Ventspils'i puursüdamikust uuritud kihtide seas on ka varasemalt omistatud stratigraafiliste nimedega bentoniite. Nendeks on 660.0m sügavusel lasuv Kuusnõmme Bentoniit (Kiipli jt. 2011), 789.2m sügavusel lasuv Irevikeni Bentoniit (Batchelor, Jeppsson 1994), 792.75m sügavusel lasuv Ohesaare Bentoniit, 808.1m sügavusel lasuv Kaugatuma Bentoniit ning 809.6m sügavusel lasuv Kuressaare Bentoniit (Kallaste, Kiipli 2006).



Joonis 3. Ventspils D-3 puuraugu asukoht.

Ventspils D-3 puurauk ja vulkaanilised kihid



Joonis 4. Ventspils D-3 puurauku läbilõige ja puuraukus esinevad vulkaanilised kihid.

3. METOODIKA

3.1 Mõõtmised elektronmikroskoobis

Antud töö raames uuriti biotiitide keemilist koostist röntgenfluorestsentsmikroanalüüsil, kasutatades selleks Zeiss Evo MA15 elektronmikroskoopi, mis on varustatud Oxford INCA energiadispersiivse spektomeetriga. Bentonitide terafraktsioonide epo-ga kinnitatud preparaate uuriti madalvaakumi režiimis. Aparaadis kasutati elektronkiire tekitamiseks pinget 20kV.

Preparaate oli kokku 21 ning lisaks analüüsiti igas mõõtesessioonis ka referentsmaterjalina teadaoleva koostisega vulkaanilist klaasi BBM-1. Sama referentsmaterjali mõõtmine kõigis sessioonides võimaldas kontrollida mõõteprotsessi stabiilsust ja korrigeerida automaatprogrammi poolt väljastatud tulemusi.

3.2 Tulemuste korrigeerimine BBM-1 järgi

Sooritatud mõõtmiste tulemusena saadi järgnevate keemiliste elementide sisaldused, F, Na, Mg, Al, Si, S, K, Ca, Ti, Mn, Fe, Ba, O. Kuna traditsiooniliselt kivimite ja mineraalide põhikomponentide sisaldusi esitatakse oksiidide kujul, siis saadud väärtused arvatati ümber, korrutades elemendi sisaldust oksiidide molekulmassiga ning

jagades oksiidis oleva metalli aatomite arvu ja elemendi aatommassi korrutisega. Erandina jäeti väävel elemendiks, kuna on teada tema tõenäoline esinemine sulfiidina ning fluor jäeti arvutustest välja, kuna mõõtetulemuste hulgas oli palju negatiivseid väärtusi, mis osutas andmete mitteusaldusväärsusele. Välistamaks fluori ebakindlate määrangute mõju teistele elementidele, normaliseeriti tulemused 100%-lisele summale: tulemused korrutati 100ga ning jagati kõikide oksiidide sisalduse summaga (jättes välja fluori).

Oksiidide lõplikud korrigeeritud väärtused saadi korrutamisel parandus koefitsiendiga, mis leiti BBM-1 referentssisalduse jagamisel mõõdetud keskmise sisaldusega. Korrektsioonikoefitsiendid põhikomponentidele varieerusid 0.95 kuni 1.05-ni. Ainult madala sisaldusega MnO ja BaO korral erinesid koefitsiendid ühest veidi rohkem (0.93-1.15). Erinevates mõõtesessioonides saadi BBM-1 tulemusteks sarnased sisaldused, mis kinnitas mõõteprotsessi stabiilsust.

Joonistele 5–11 on lisatud BBM-1 kordusmõõtmiste tulemused, mis näitavad, et mõõtmiste laboratoorne määramatus on väiksem, kui looduslikud variatsioonid biotiidi koostises.

Magmakambris moodustunud biotiidi kristallide koostis võib setetesse sattunud mere ja poorivee mõjul muutuda (Dahlquist jt. 2012). Et välistada porsunud biotiidi kristalle, valiti visuaalselt elektronmikroskoobis hästi säilinud terad, ilma paisumise ja lagunemise tunnusteta. Lisaks jäeti interpretatsioonidest välja mõõtetulemused, kus kõige kergemini lahustuva oksiidi K_2O sisaldused olid alla 8%.

4. TULEMUSED

Biotiitide keemilise koostise keskmised väärtused erinevate sügavustega kihtides on toodud *tabelis 1*. Erandina sügavustel 660.0 ning 764.3m mõõdeti tegelikult ainult ühte biotiiti, seega ei olnud võimalik leida keskmist väärtust, vaid tuli lähtuda ühest mõõtmisest.

Analüüsi tulemusena on kindlaks tehtud biotiitides FeO^*/MgO suhe piirides 0.72 kuni 1.69, mis väljendab, et tegemist on C-tüüpi (keskmine FeO^*/MgO suhe on 1.76) magneesiumirikaste biotiitidega ning mille tekkimist seostatakse piirkondadega, kus ühe laama serv on sukeldunud teise laama serva alla.

Kõige madalam on FeO^*/MgO suhe 738.6m sügavusel, varieerudes kihis esinevates biotiitides 0.40 kuni 0.82, keskmise väärtusega 0.72. Kõige kõrgem on FeO^*/MgO suhe sügavusel 603.0m, varieerudes kihis esinevates biotiitides 1.22 kuni 2.00, keskmise väärtusega 1.69.

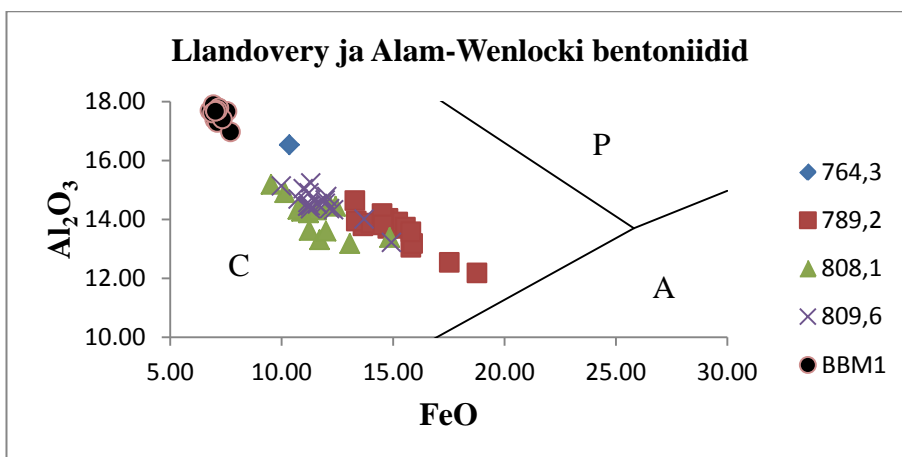
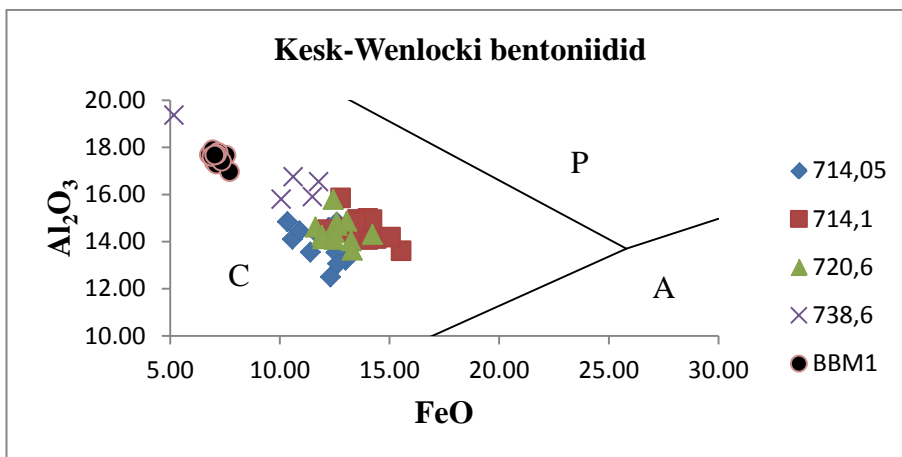
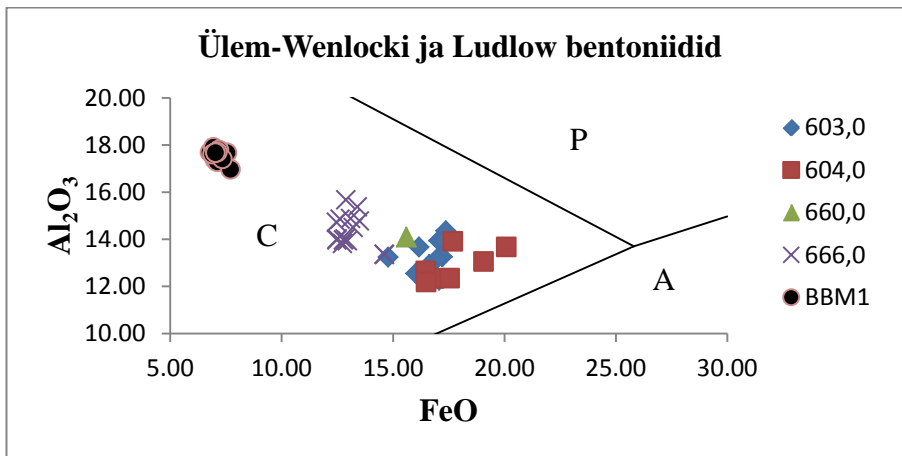
Igas kihis esinevate biotiitide keemiline koostis on kõige sarnasem antud kihi naaberkihtides asuvate biotiitide keemilise koostisega. Näiteks on väga sarnased 714.05, 714.1 ning 720.6m sügavusel lasuvad kihid, milles FeO^*/MgO suhe varieerub vastavalt 0.77 kuni 1.15 (keskmine 0.95), 0.73 kuni 1.14 (keskmine 0.98) ning 0.85 kuni 1.14 (keskmine 0.98). Samuti on märgatav, et puuraugus sügavamal lasuvates kihtides on FeO^*/MgO suhe väiksem, kuid suureneb järk-järgult ülalpool lasuvates kihtides.

Biotiitide kuuluvust C-tüüpi ning nende lähtemagmat iseloomustavad ka põhielementide FeO*, MgO ning Al₂O₃ keskmised väärtused, mis on vastavalt 13.33, 12.79 ning 14.44. Samuti väljendavad seda *joonised 5-7*, kus on vaadeldav biotiitide jagunemine erinevatesse rühmadesse.

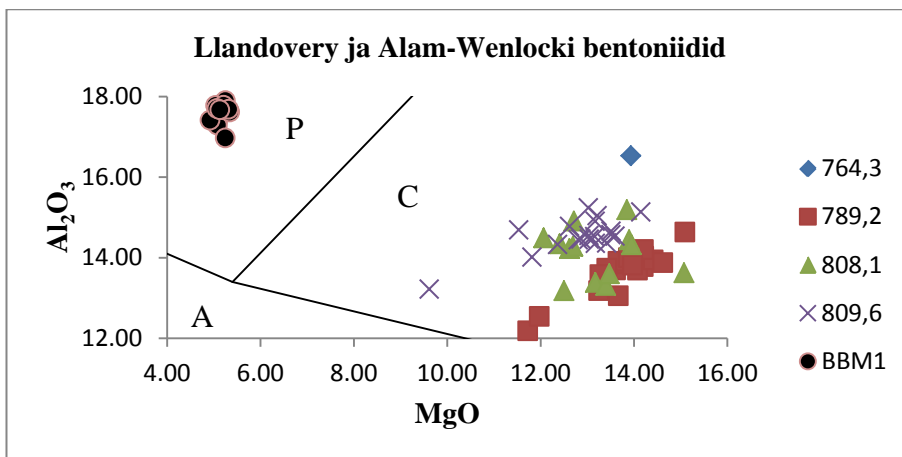
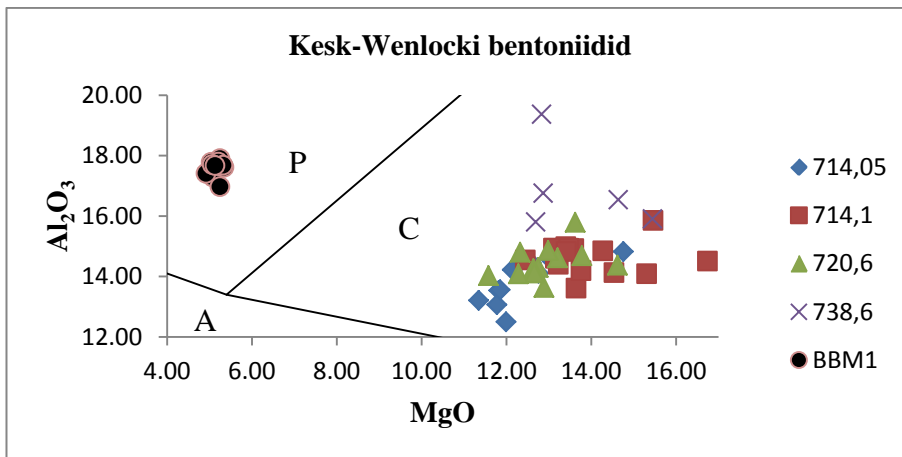
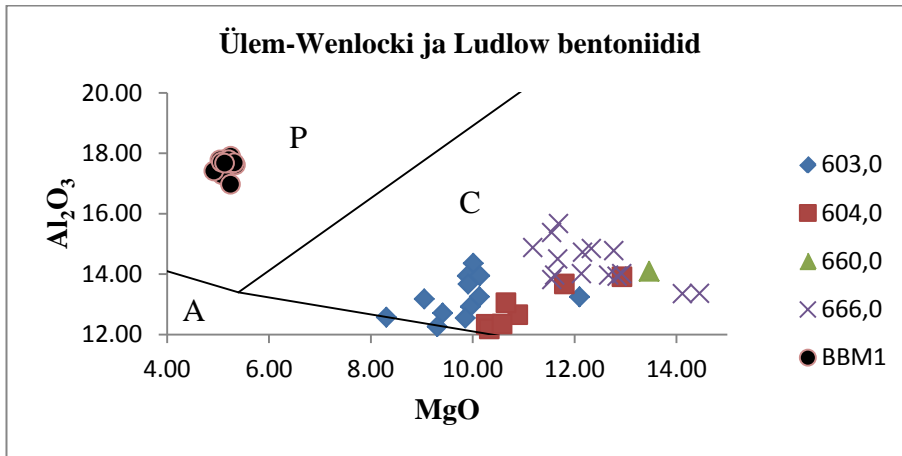
Kihi sügavus	603,0	604,0	660,0	666,0	714,05	714,1
Na ₂ O	0.85	0.76	0.85	1.38	1.13	1.28
MgO	9.84	11.06	13.46	12.38	12.50	13.97
Al ₂ O ₃	13.22	12.88	14.09	14.35	13.90	14.63
SiO ₂	43.79	41.87	36.79	41.42	43.94	37.60
S	0.23	0.18	0.18	0.22	0.17	0.22
K ₂ O	8.79	8.47	8.66	8.81	8.78	8.60
CaO	0.18	0.18	0.10	0.12	0.07	0.10
TiO ₂	3.28	3.70	6.89	4.66	4.08	5.34
MnO	0.35	0.27	0.27	0.43	0.35	0.54
FeO	16.65	17.73	15.60	13.11	11.85	13.75
BaO	0.27	0.38	0.81	0.81	0.79	1.76

Kihi sügavus	720,6	738,6	764,3	789,2	808,1	809,6
Na ₂ O	1.19	0.92	0.96	0.87	1.19	0.99
MgO	12.94	13.69	13.93	13.72	13.22	12.82
Al ₂ O ₃	14.46	16.88	16.53	13.65	14.10	14.54
SiO ₂	41.39	40.64	41.91	38.97	40.52	41.16
S	0.23	0.16	0.08	0.18	0.20	0.11
K ₂ O	9.10	9.21	9.44	9.06	9.19	8.74
CaO	0.12	0.09	0.10	0.06	0.13	0.03
TiO ₂	4.75	5.19	3.88	5.16	5.86	5.54
MnO	0.32	0.15	0.07	0.30	0.34	0.34
FeO	12.66	9.82	10.34	15.12	11.65	11.72
BaO	0.52	1.07	0.55	0.57	1.24	1.64

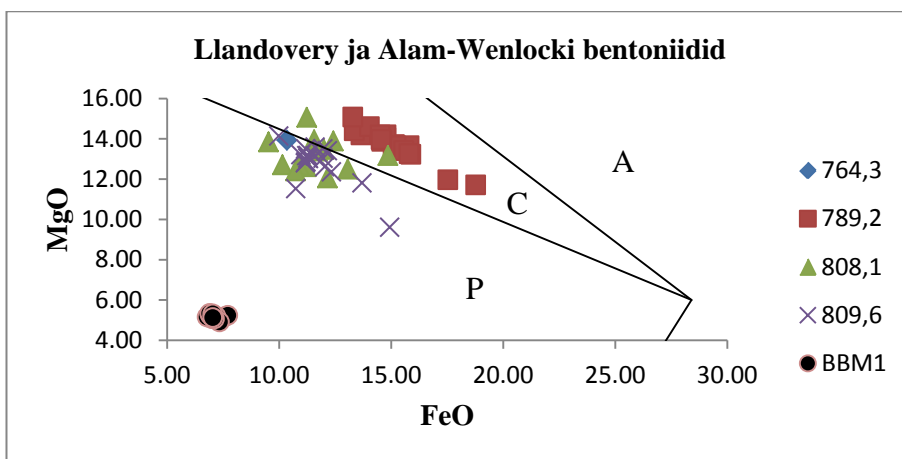
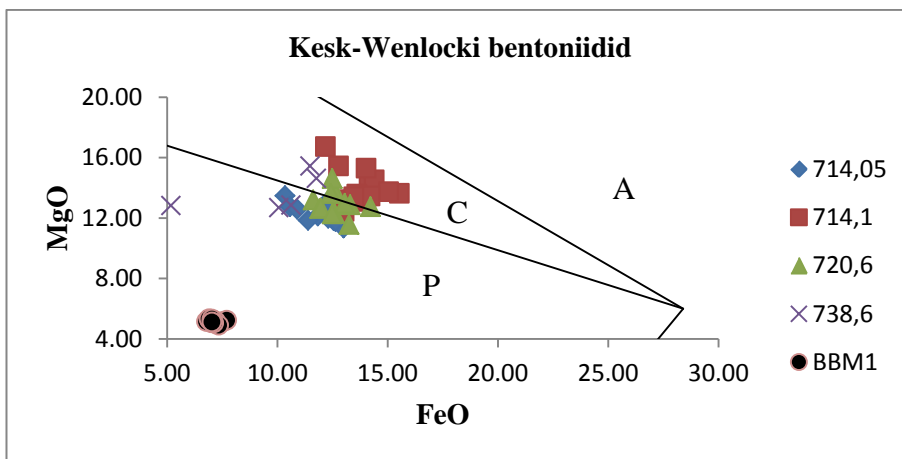
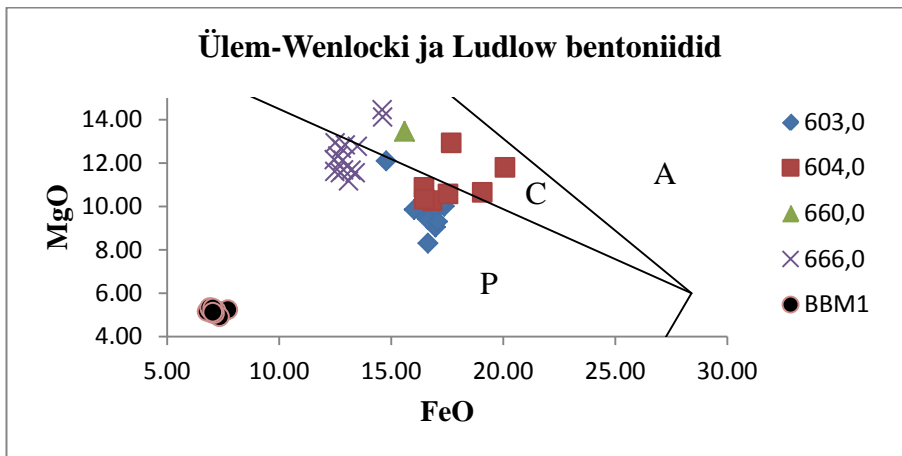
Tabel 1. Biotiidi keemilise koostise keskmised väärtused uuritud vulkaanilistes kihtides.



Joonis 5. FeO ja Al₂O₃ sisaldused Siluri bentoniitides. A, P ja C tähistavad lähtemagma tüüpi ja magmale vastavat tektoonilist keskkonda (Abdel-Rahman 1994).

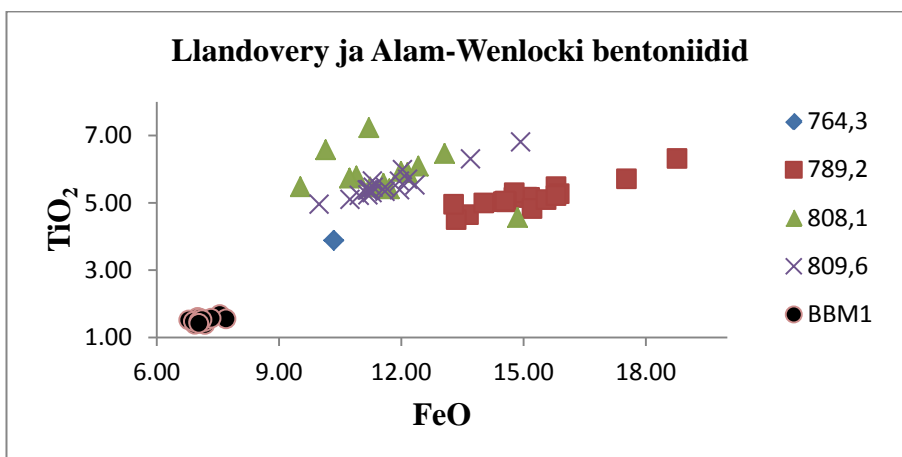
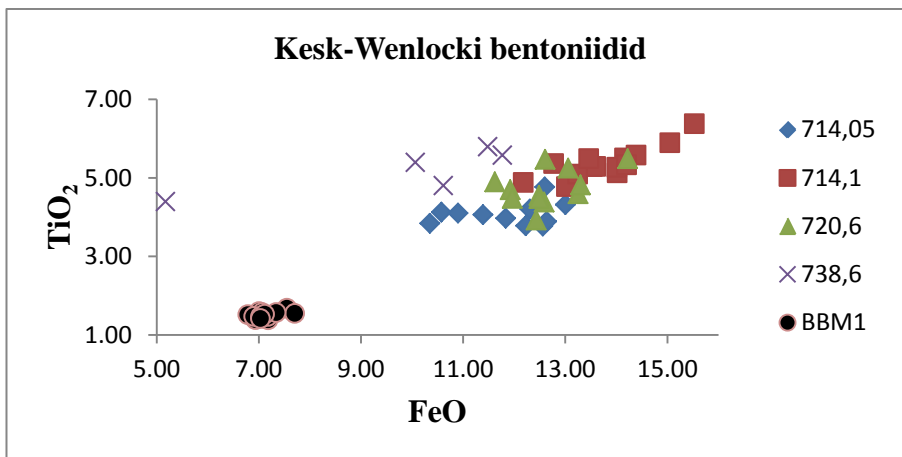
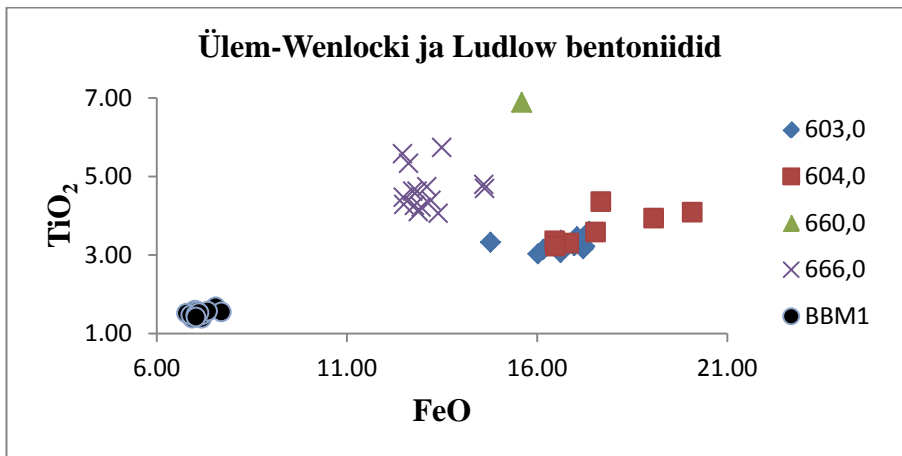


Joonis 6. MgO ja Al₂O₃ sisaldused Siluri bentoniitides. A, P ja C tähistavad lähtemagma tüüpi ja magmale vastavat tektoonilist keskkonda (Abdel-Rahman 1994).

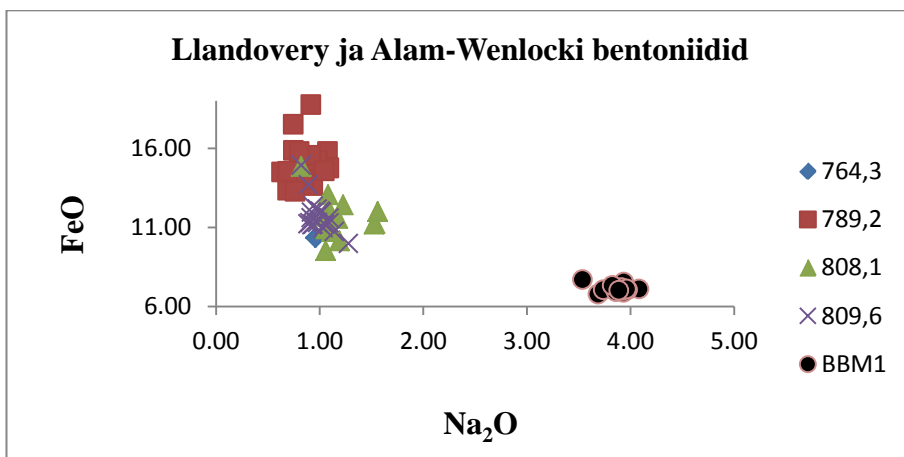
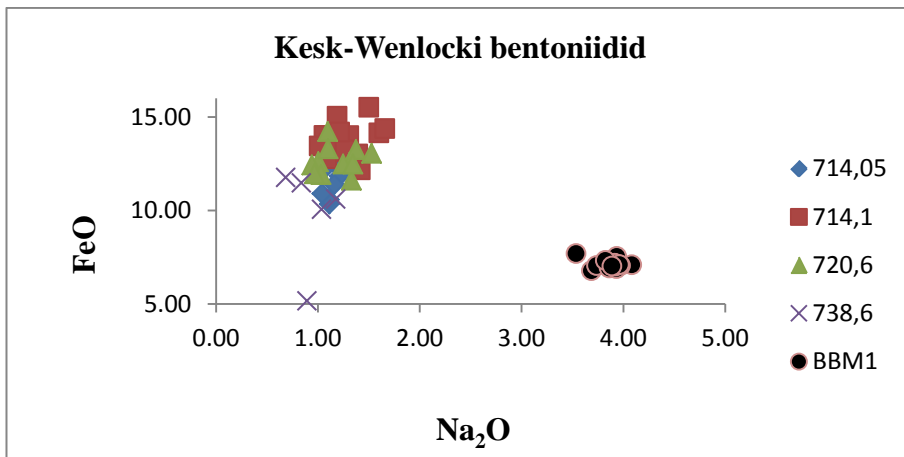
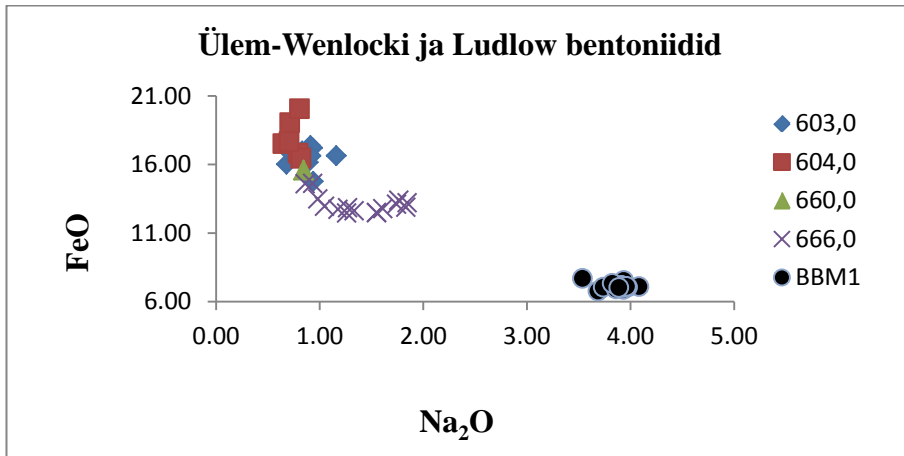


Joonis 7. FeO ja MgO sisaldused Siluri bentoniitides. A, P ja C tähistavad lähtemagma tüüpi ja magmale vastavat tektoonilist keskkonda (Abdel-Rahman 1994).

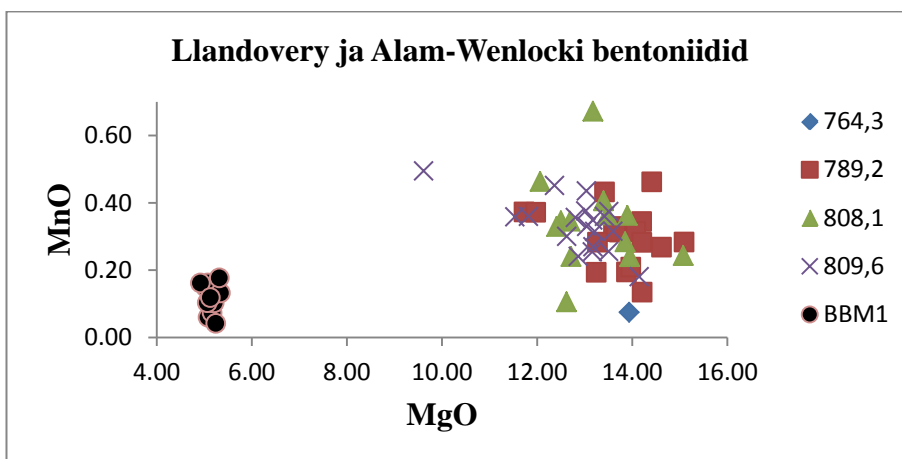
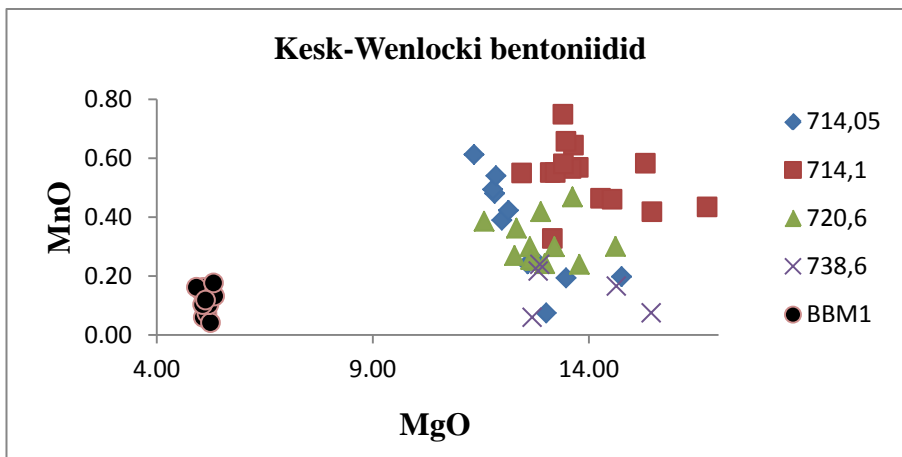
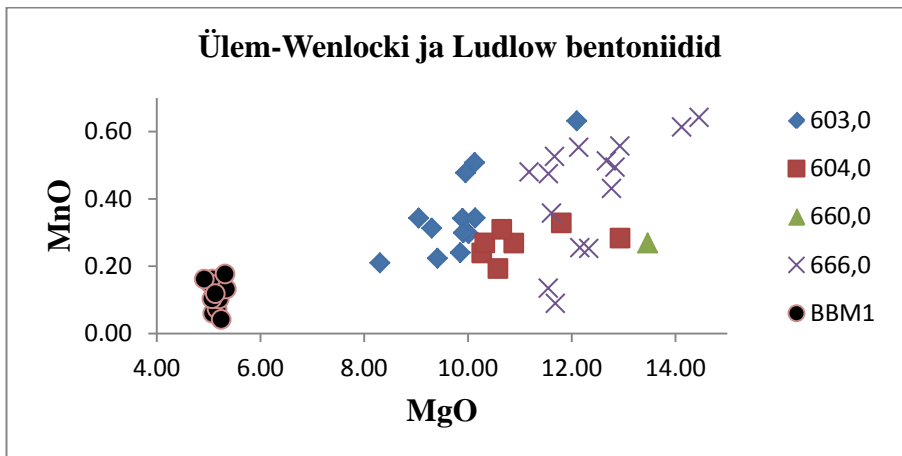
Kõige suuremas ulatuses varieeruvad biotiitide keemilises koostises FeO, SiO₂, MgO ning Al₂O₃ sisaldused. Käesolevas töös vastavalt 5.17 kuni 20.08 (erinevus 14.91), 34.86 kuni 46.05 (erinevus 11.19), 8.30 kuni 16.74 (erinevus 8.30) ning 12.19 kuni 19.37 (erinevus 7.18). Vastupidiselt kõige vähem varieeruvad S, CaO, MnO ning Na₂O. Käesolevas töös vastavalt 0.05 kuni 0.50 (erinevus 0.45), -0.10 kuni 0.55 (erinevus 0.65), 0.06 kuni 0.75 (erinevus 0.69) ning 0.63 kuni 1.84 (erinevus 1.21). Vulkaaniliste kihtide vaheline eristumine on hästi märgatav nii FeO ja TiO₂ sisaldusega joonistel (*joonis 8*) kui ka Na₂O ja FeO sisaldustega joonistel (*joonis 9*). Kihtide omavahelist ühtivust iseloomustavad aga *joonised 10-11*, kus on kujutatud MgO ja MnO vaheline seos ning Na₂O ja Al₂O₃ vaheline seos.



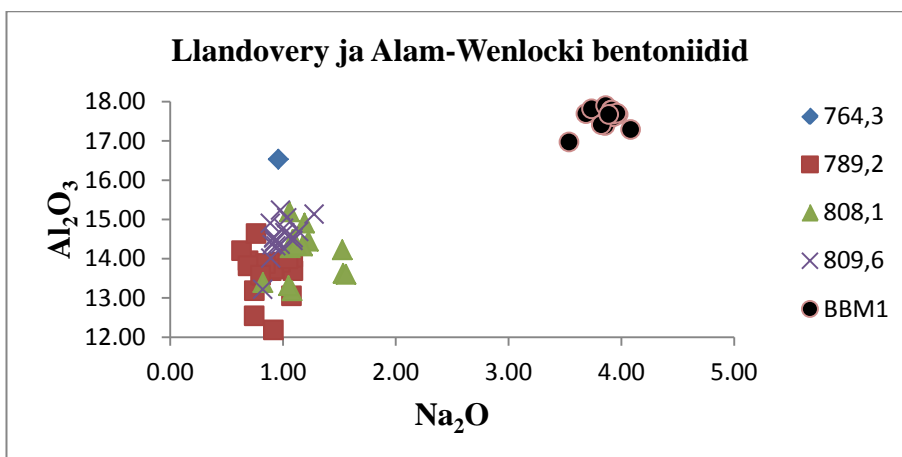
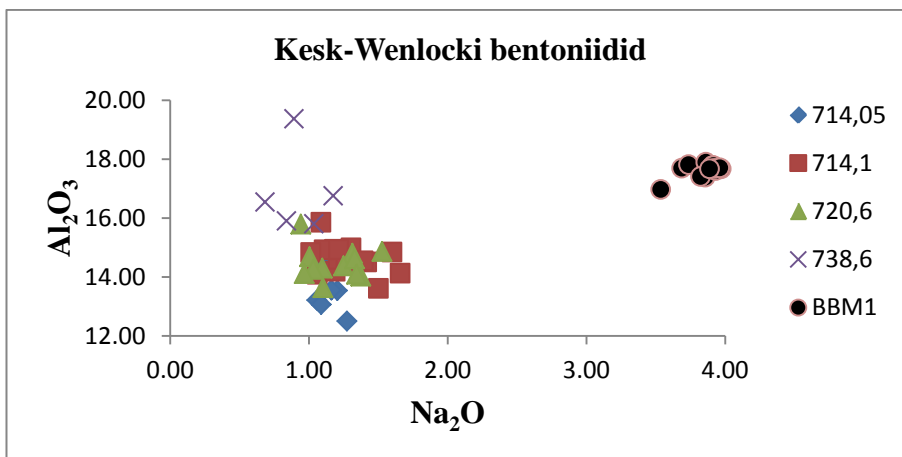
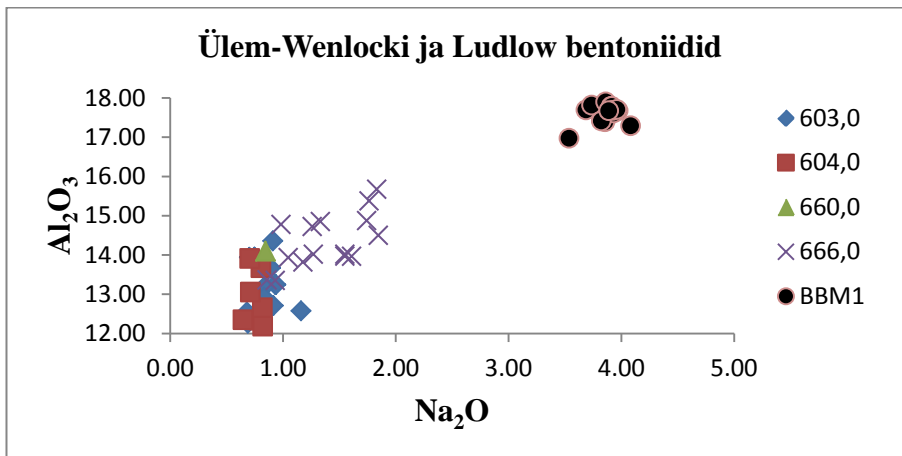
Joonis 8. FeO ja TiO₂ sisaldused Siluri bentoniitides.



Joonis 9. Na_2O ja FeO sisaldused Siluri bentoniitides.

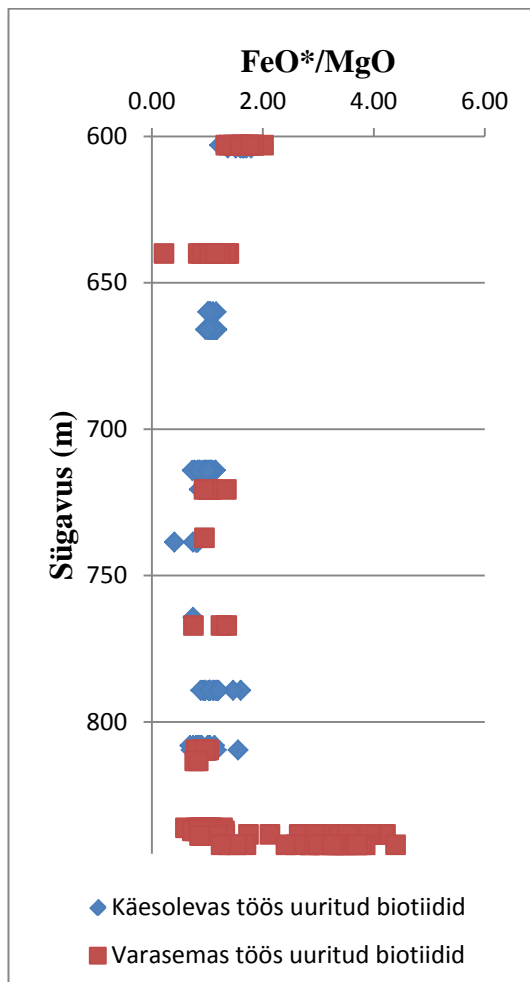


Joonis 10. MgO ja MnO sisaldused Siluri bentoniitides.

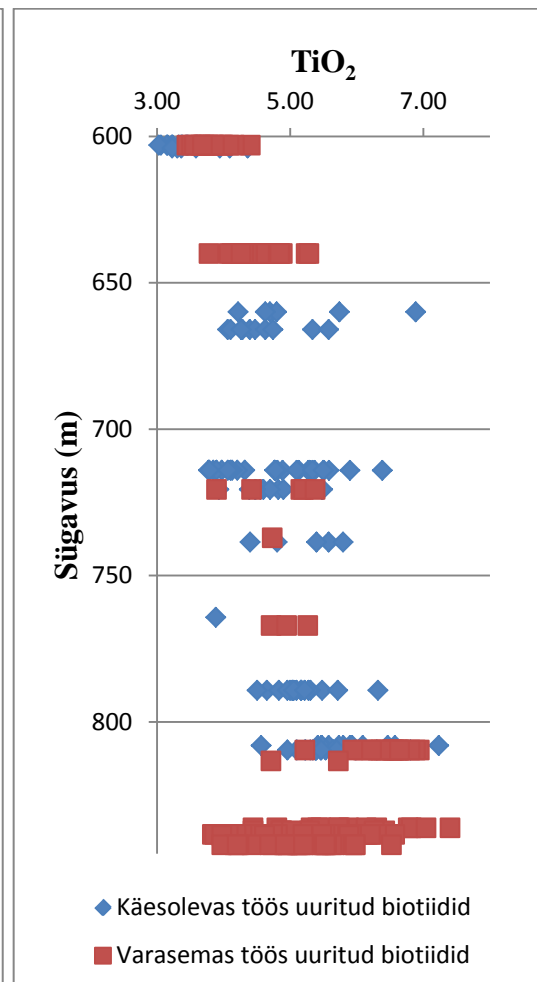


Joonis 11. Na_2O ja Al_2O_3 sisaldused Siluri bentoniitides.

Võrreldes lisaks käesoleva töö tulemusi Kiipli jt. (2014) poolt tehtud uuringuga, on võimalik näha mitmete kihtide koostise kokkulangevust (joonised 12,13). Samuti on märgatav TiO_2 keskmise sisalduse vähenemine biotiitides läbi Siluri ajastu (joonis 13). Ka Kiipli jt. töös on enamus uuritud biotiite magneesiumirikkad, osutades C-tüüpi lähtemagmale. Erinevus esineb aga sügavustel 838.4 ning 842.0m, kus FeO^*/MgO suhe on vastavalt 3.34 ning 3.04. Sellest lähtuvalt on tegu alumiiniumirikaste biotiididega, mis osutavad P-tüüpi lähtemagmale (keskmine FeO^*/MgO suhe on 3.48) ning mille tekkimist seostatakse piirkondadega, kus on toimunud kontinentaalsete laama servade omavaheline kokkukulgemine.



Joonis 12. FeO^*/MgO sisaldus biotiitides Ventspils D-3 puuraugus.



Joonis 13. TiO_2 sisaldus biotiitides Ventspils D-3 puuraugus.

5. ARUTELU

Mõõtmistulemused näitasid, et erinevaid vulkaanipursekihte on võimalik eristada mitmete oksiidide sisalduste järgi ning biotiitide koostist võib edasistes töodes kasutada samade kihtide tuvastamiseks teistes puursüdamikes ning paljandite läbilõigetes. Parimateks elementideks sel eesmärgil on Fe, Mg, Ti. Huvitav on see, et ka kihisiselt ületab biotiidi koostise variatsioon sageli variatsiooni, mis tuleneb laboratoorsete mõõtmiste määramatusest. Millest on põhjustatud selline kihisisene biotiidi koostise variatsioon võib ainult oletada – kristallide tsonaalsest ehitusest, bentoniidi kihi biotiitide pärinevusest eri vulkaanipursetest või veel millestki muust. Seda saab lahendada detailsemate biotiidi kristallisestite mõõtmistega tulevikus.

Ilmnenud asjaolu, et sarnasema koostisega biotiidid on puuraugus lähedal asetsevates kihtides ning koostises on märgata ajalist trendi, võib osutada, et uuritud kihid pärinevad sama vulkaani erinevatest pursetest. Biotiidi koostise järk-järgulisi muutusi võis põhjustada magma koostise evolutsioon, mis tulenes osalisest kristalliseerumisest magmakambris ning kristallide settimisest kambri alumistesse osadesse. Teine võimalus oleks, et korduvad täiendavad annused uut sulamagmat sügavustest muutsid koostist magmakambris vulkaani all (Gill 2010). Suuresti erineva FeO^*/MgO suhtega biotiidid Llandovery ajast, mis vahelduvad läbilõikes, pärinevad tõenäoliselt erinevatest vulkaanidest. Sama võib järeldada ka väikese raua ja magneesiumi sisaldusega lähtemagmast pärinevate bentoniitide kohta, milles biotiiti üldse ei leitud. Seega võiks biotiitide alusel oletada vähemalt kolme samaaegselt tegutsenud vulkaani olemasolu Siluri ajastul Baltika laama läheduses.

Lähtemagma tüübi määramisel selgus, et kõik uuritud vulkaanilised kihid sisaldasid biotiite, mille koostis osutas C-tüüpi magmatismile, mis viitab ookeanilise maakoore sukeldumisele (Abdel-Rahman 1994). Samale järeldusele on jõutud ka Ventspils D-3 puuraugus varem uuritud vulkaaniliste kihtide alusel (Kiipli jt. 2014). Tegelikult oleks võinud arvata, et Siluri lõpupoole esineb rohkem alumiiniumirikast P-tüüpi vulkanismi, mis iseloomustaks maakoore olulist paksenemist ning settekivimite sulamist. Ka selle tulemuse seletamine vajab edasisi uuringuid, kaasates võrdluseks potentsiaalsete lähtekivimite koostist Skandinaaviast.

KOKKUVÕTE

Käesolevas bakalaureusetöös uuriti biotiite Siluri ajastu bentoniitides Ventpils D-3 puuraugus. Töö läbiviimiseks mõõdeti röntgenfluorestsents-mikroanalüsaatori abil elektronmikroskoobi all biotiitide keemilist koostist, mis hiljem korrigeeriti teada oleva koostisega vulkaanilise klaasi BBM-1-ga. Saadud andmete põhjal oli võimalik järeldada, et kõik uuritud bentoniitide kihid sisaldasid magneesiumirikkaid C-tüüpi biotiite, mille tekkimist seostatakse keskkonnaga, kus on toimunud ookeanilise laama serva sukeldumine teise laama serva alla. Võrreldes andmeid varasema Kiipli jt (2014) uuringuga, oli võimalik sellele tulemusele kinnitust leida. Biotiitide keemilise koostise varieeruvuse alusel võiks oletada ka kolme erineva vulkaani olemasolu Siluri ajastul Baltika laama läheduses. Bakalaureusetöös toodud andmeid oleks võimalik kasutada ka edasistes täiendavates uuringutes.

SUMMARY

The aim of the bachelor's thesis was to study the mineral biotite in Silurian bentonites from Ventspils D-3 drill core. Samples from 15 volcanic ash beds were analyzed by the author using an x-ray fluorescence microanalyser and for reference material the basaltic glass BBM-1 was measured. The chemical composition of biotite minerals revealed that they were moderately enriched in Mg and belonged to field C, which suggests that they might have been formed within subduction-related environments. By comparing the results to Kiipli jt (2014) research, the outcome was the same. The results of the conducted study may also suggest that there might have been three active volcanoes near the continent of Baltica in Silurian time.

VIITED

Abdel-Rahman, A.-F. M. (1994). Nature of Biotites from Alkaline, Calc-alkaline and Peraluminous Magmas. – *Journal of Petrology*, 35 (2), 525-541.

Batchelor, R. A., Jeppsson, L. (1994). Late Llandovery bentonites from Gotland, Sweden, as chemostratigraphic markers. – *Journal of the Geological Society*, 151 (5), 741–746.

Dahlquist, P., Calner, M., Kallaste, T., Kiipli, T., Siir, S. (2012). Geochemical variations within the mid-Silurian Grötlingbo Bentonite of Sweden and the East Baltic area – discriminating between magmatic composition, ash transport fractionation and diagenetic effects. – *GFF*, 134 (4), 273–282.

Foster, M. (1960). Interpretation of the Composition of Trioctahedral Micas. – *Shorter Contributions to General Geology, 1959*. Washington : United States Government Printing Office, 11-49.

Gailite, L. K., Ulst, R. J., Jakovleva, V. I. (1987). *Stratotipicheskie i tipovye razrezy Silura Latvii*. Riga : Zinatne, 183.

Geokogud. [WWW] <http://geokogud.info/git/locality.php?id=14482> (05.2014).

Gill, R. (2010). *Igneous rocks and processes*. Chichester : Wiley-Blackwell, 428.

International Commission on Stratigraphy. [WWW]

<http://stratigraphy.org/ICSchart/ChronostratChart2014-02.jpg> (05.2014).

Isakar, M. (2003). Vilgud. [WWW] <http://www.ut.ee/BGGM/miner/vilgud.html> (05.2014).

Kallaste, T., Kiipli, T. (2006). New correlations of Telychian bentonites in Estonia. – *Proceedings of the Estonian Academy of Sciences, Geology*, 55 (3), 241-251.

Kiipli, T., Einasto, R., Kallaste, T., Nestor, V., Perens, H., Siir, S. (2011). Geochemistry and correlation of volcanic ash beds from Rootsiküla Stage (Wenlock-Ludlow) in the eastern Baltic. – *Estonian Journal of Earth Sciences*, 60 (4), 207–219.

Kiipli, T., Soesoo, A., Kallaste, T. (2014). Geochemical evolution of Caledonian volcanism recorded in the sedimentary rocks of the eastern Baltic region. – *New Perspectives on Caledonides of Scandinavia and Related Areas*. London : Geological Society, 177-192.

Kullerud, K. Mineraalid. [WWW]

<http://gi.ee/geomoodulid/files/modules/MINERAALID.html> (05.2014).

Nestor, H. (1999). Rändav ja uuenev maakoor. – *Maa universumis. Möödanik, tänapäev, tulevik*. Tallinn : Reves Grupp, 33-38.

Nestor, H., Soesoo, A. (2006). *Silur Eestis*. Tallinn : MTÜ GEOGuide Baltoscandia, 3-5.

Scotese, C.R. PALEOMAP Project. [WWW]

<http://www.scotese.com/newpage2.htm> (05.2014).

LISAD

Lisa 1. Elektronmikroskoobi all mõõdetud biotiitide keemiline koostis

	Na ₂ O	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	S	K ₂ O	CaO	TiO ₂	MnO	FeO	BaO
603.0, >0.1	0.91	10.01	14.36	41.33	0.18	8.96	0.07	3.60	0.30	17.37	0.50
603.0, >0.1	0.70	9.89	13.94	42.22	0.12	8.84	0.07	3.46	0.34	17.05	0.86
603.0, >0.1	0.93	10.13	13.25	42.58	0.12	9.18	0.10	3.16	0.51	17.21	0.34
603.0, >0.1	0.94	12.10	13.25	43.07	0.23	8.77	0.26	3.33	0.63	14.78	0.24
603.0, >0.1	0.75	10.14	13.95	42.09	0.16	9.39	0.00	3.22	0.34	17.25	0.26
603.0, >0.1	0.89	9.91	13.67	44.16	0.19	8.63	0.06	3.15	0.30	16.17	0.36
603.0, >0.1	0.83	9.05	13.18	44.18	0.25	8.86	0.32	3.23	0.34	16.98	0.20
603.0, >0.1	0.83	9.95	12.92	44.41	0.26	8.60	0.15	3.06	0.48	16.62	0.17
603.0, >0.1	0.68	9.85	12.55	46.05	0.16	8.62	0.07	3.03	0.24	16.02	0.07
603.0, >0.1	0.92	9.41	12.71	45.32	0.38	8.11	0.29	3.38	0.22	16.63	0.01
603.0, >0.1	1.16	8.30	12.58	44.96	0.46	9.02	0.55	3.36	0.21	16.64	0.09
603.0, >0.1	0.69	9.30	12.26	45.06	0.29	8.49	0.28	3.44	0.31	17.06	0.15
604.0, >0.1	0.79	10.27	12.34	44.58	0.16	8.04	0.21	3.30	0.24	16.83	0.59
604.0, >0.1	0.82	10.88	12.66	44.16	0.26	8.35	0.21	3.36	0.27	16.46	0.00
604.0, >0.1	0.82	10.32	12.19	45.24	0.30	8.20	0.19	3.23	0.27	16.48	0.12
604.0, >0.1	0.64	10.58	12.35	43.40	0.14	8.42	0.21	3.59	0.19	17.53	0.32
604.0, >0.1	0.71	10.65	13.06	40.32	0.14	8.30	0.19	3.94	0.31	19.06	0.81
604.0, >0.1	0.80	11.80	13.68	37.09	0.13	9.01	0.23	4.09	0.33	20.08	0.43
604.0, >0.1	0.70	12.93	13.91	38.30	0.10	8.97	0.06	4.36	0.28	17.67	0.39
660.0, >0.1	0.85	13.46	14.09	36.79	0.18	8.66	0.10	6.89	0.27	15.60	0.81

666.0, <0.1	1.76	11.55	15.38	41.73	0.26	8.69	0.07	4.06	0.13	13.40	0.68
666.0, <0.1	1.55	12.93	14.02	41.93	0.35	9.04	0.13	4.29	0.56	12.50	0.43
666.0, <0.1	1.84	11.67	14.50	40.93	0.35	8.72	0.17	4.39	0.53	13.21	1.39
666.0, <0.1	1.33	12.33	14.85	40.37	0.17	8.09	0.07	5.34	0.25	12.62	2.21
666.0, <0.1	1.55	11.61	13.97	43.45	0.22	8.98	0.08	4.47	0.36	12.48	0.44
666.0, <0.1	1.27	12.13	14.02	42.70	0.18	8.64	0.15	4.63	0.55	12.85	0.52
666.0, <0.1	1.26	12.16	14.73	40.48	0.17	8.26	0.06	5.58	0.25	12.46	2.21
666.0, <0.1	1.74	11.18	14.88	41.06	0.39	8.88	0.12	4.74	0.48	13.10	1.13
666.0, <0.1	1.83	11.68	15.68	41.93	0.21	8.62	0.07	4.10	0.09	12.88	0.65
666.0, <0.1	1.61	12.67	13.97	42.05	0.36	8.77	0.26	4.26	0.51	12.78	0.46
666.0, >0.1	0.93	14.12	13.35	39.51	0.08	9.50	0.11	4.69	0.61	14.62	0.19
666.0, >0.1	0.86	14.45	13.36	39.34	0.14	9.26	0.22	4.80	0.64	14.60	0.06
666.0, >0.1	0.98	12.77	14.78	39.81	0.09	8.73	0.05	5.74	0.43	13.49	0.84
666.0, >0.1	1.18	11.55	13.82	43.37	0.10	8.97	0.07	4.63	0.47	12.73	0.67
666.0, >0.1	1.05	12.84	13.93	42.64	0.19	8.98	0.15	4.22	0.49	12.95	0.20
714.05, <0.1	1.11	13.47	14.84	44.01	0.07	8.57	0.11	3.84	0.19	10.35	1.06
714.05, <0.1	1.20	11.82	13.54	44.47	0.20	8.75	0.06	3.77	0.48	12.56	0.68
714.05, <0.1	1.06	11.35	13.21	44.21	0.21	8.77	0.03	4.32	0.61	13.00	0.74
714.05, <0.1	1.27	11.99	12.50	45.40	0.26	9.25	0.04	4.20	0.39	12.31	-0.15
714.05, <0.1	1.11	12.76	14.11	44.51	0.14	8.33	0.06	4.13	0.25	10.57	1.56
714.05, <0.1	1.21	12.14	14.22	44.39	0.32	8.66	0.18	3.97	0.42	11.84	0.26
714.05, <0.1	1.09	11.78	13.07	44.77	0.10	8.69	0.01	3.89	0.49	12.64	0.95
714.05, <0.1	1.04	12.58	14.45	44.21	0.13	8.81	0.03	4.10	0.24	10.90	1.08
714.05, <0.1	1.16	11.85	13.56	45.27	0.16	9.49	0.17	4.06	0.54	11.39	-0.08
714.05, <0.1	1.07	13.02	14.60	42.65	0.10	8.77	0.04	3.78	0.07	12.23	1.27

714.05, >0.1	1.15	14.76	14.82	39.41	0.17	8.48	0.08	4.77	0.20	12.60	1.30
714.1, <0.1	1.30	13.40	14.99	37.34	0.18	8.17	0.03	5.27	0.75	14.01	2.37
714.1, <0.1	1.21	13.16	14.60	39.56	0.18	8.71	0.25	4.81	0.33	13.13	1.76
714.1, <0.1	1.39	12.44	14.55	40.46	0.08	9.32	0.12	4.78	0.55	13.02	1.00
714.1, <0.1	1.18	13.11	14.94	38.52	0.24	8.73	0.15	5.29	0.55	13.53	1.52
714.1, <0.1	1.11	13.59	14.93	37.77	0.13	8.27	0.15	5.29	0.57	13.60	2.35
714.1, <0.1	1.09	15.46	15.86	36.61	0.09	7.72	0.08	5.37	0.42	12.77	2.42
714.1, <0.1	1.27	13.22	14.40	39.62	0.14	8.78	0.15	5.10	0.55	13.24	1.25
714.1, <0.1	1.21	13.47	14.94	37.18	0.14	8.31	0.04	5.33	0.66	14.20	2.31
714.1, <0.1	1.01	13.41	14.83	38.29	0.11	8.43	-0.03	5.50	0.58	13.46	2.15
714.1, >0.1	1.60	14.27	14.85	35.19	0.50	8.19	0.06	5.51	0.46	14.16	3.03
714.1, >0.1	1.42	16.74	14.51	38.61	0.36	8.58	0.12	4.89	0.44	12.18	0.07
714.1, >0.1	1.50	13.64	13.62	34.86	0.34	9.18	0.03	6.38	0.64	15.53	2.04
714.1, >0.1	1.66	14.54	14.13	36.31	0.32	9.19	0.10	5.58	0.46	14.39	1.17
714.1, >0.1	1.06	15.31	14.09	37.96	0.18	9.15	0.12	5.13	0.58	14.02	0.24
714.1, >0.1	1.19	13.76	14.20	35.70	0.28	8.25	0.10	5.90	0.57	15.05	2.76
720.6, >0.1	1.10	12.75	14.30	39.01	0.15	9.51	-0.03	5.49	0.25	14.22	0.92
720.6, >0.1	1.00	13.78	14.69	39.81	0.16	8.86	0.08	5.47	0.24	12.61	0.99
720.6, >0.1	1.31	12.32	14.81	41.66	0.33	9.25	0.25	4.39	0.36	12.59	0.44
720.6, >0.1	1.37	11.58	14.03	41.76	0.20	9.81	0.16	4.60	0.39	13.25	0.48
720.6, >0.1	1.25	14.62	14.37	40.89	0.26	8.77	0.18	4.55	0.30	12.49	0.07
720.6, >0.1	1.10	12.89	13.64	41.38	0.21	9.76	0.08	4.82	0.42	13.30	0.05
720.6, >0.1	1.33	13.21	14.62	42.12	0.31	8.99	0.19	4.90	0.30	11.62	0.14
720.6, >0.1	1.53	12.98	14.87	39.55	0.43	8.71	0.14	5.25	0.24	13.06	1.00
720.6, >0.1	0.94	13.62	15.79	41.65	0.19	8.37	0.10	3.93	0.47	12.43	0.33

720.6, >0.1	1.03	12.64	14.26	43.28	0.16	8.79	0.04	4.70	0.30	11.92	0.49
720.6, >0.1	0.97	12.66	14.12	43.44	0.12	8.78	0.14	4.48	0.26	11.96	0.66
720.6, >0.1	1.34	12.28	14.09	42.15	0.23	9.57	0.10	4.48	0.27	12.49	0.63
738.6, <0.1	1.18	12.87	16.76	41.13	0.19	9.14	0.12	4.80	0.24	10.61	0.80
738.6, <0.1	0.68	14.64	16.54	38.36	0.14	8.94	0.04	5.58	0.17	11.77	1.01
738.6, <0.1	1.04	12.69	15.80	41.41	0.11	9.63	0.14	5.40	0.06	10.06	1.35
738.6, <0.1	0.89	12.83	19.37	44.06	0.23	9.32	0.10	4.40	0.22	5.17	1.34
738.6, <0.1	0.84	15.45	15.91	38.24	0.11	9.05	0.06	5.79	0.08	11.48	0.85
764.3, <0.1	0.96	13.93	16.53	41.91	0.08	9.44	0.10	3.88	0.07	10.34	0.55
789.2, >0.1	0.90	13.60	13.70	39.00	0.13	9.19	-0.03	5.17	0.33	15.08	0.60
789.2, >0.1	1.08	13.66	13.06	37.97	0.33	9.21	0.04	5.48	0.33	15.80	0.69
789.2, >0.1	0.91	11.72	12.19	36.50	0.20	10.03	0.15	6.32	0.37	18.76	0.40
789.2, >0.1	0.93	14.20	13.78	40.30	0.17	8.89	0.04	4.65	0.34	13.65	0.71
789.2, >0.1	0.84	13.72	13.85	38.97	0.20	9.01	0.04	5.16	0.31	15.15	0.42
789.2, >0.1	1.09	14.07	13.70	38.68	0.24	8.94	0.10	5.16	0.31	14.76	0.65
789.2, >0.1	1.09	14.21	14.04	38.74	0.27	8.88	0.03	5.30	0.13	14.77	0.26
789.2, >0.1	0.98	13.65	13.91	38.99	0.23	8.95	0.07	4.83	0.31	15.21	0.56
789.2, >0.1	0.91	13.42	13.74	38.52	0.28	9.03	0.08	5.10	0.43	15.55	0.63
789.2, >0.1	1.04	13.88	14.00	39.18	0.27	8.73	0.11	5.03	0.19	14.57	0.67
789.2, >0.1	0.74	11.97	12.55	37.93	0.17	9.80	0.04	5.71	0.37	17.52	0.73
789.2, >0.1	0.69	14.41	13.95	40.94	0.17	8.45	0.10	4.50	0.46	13.35	0.67
789.2, >0.1	0.84	14.61	13.88	39.81	0.08	8.77	0.07	5.00	0.27	14.03	0.33
789.2, >0.1	0.75	13.24	13.19	38.91	0.13	9.27	-0.07	5.27	0.19	15.87	0.82
789.2, >0.1	0.63	14.20	14.21	39.41	0.10	8.97	0.01	5.04	0.28	14.51	0.34

789.2, >0.1	0.76	15.09	14.64	39.36	0.09	8.66	0.14	4.96	0.28	13.28	0.50
789.2, >0.1	0.69	13.97	13.82	39.66	0.08	8.94	0.03	5.05	0.21	14.54	0.66
789.2, >0.1	0.80	13.27	13.58	38.52	0.15	9.29	0.04	5.22	0.28	15.80	0.70
808.1, <0.1	1.53	15.07	13.63	39.75	0.36	9.46	0.17	5.47	0.24	11.24	0.80
808.1, <0.1	1.09	12.06	14.49	40.01	0.19	9.24	0.07	5.90	0.46	12.15	1.96
808.1, <0.1	1.53	12.62	14.23	38.96	0.35	8.89	0.11	7.23	0.11	11.21	2.38
808.1, <0.1	1.19	12.71	14.91	39.43	0.17	8.97	0.17	6.57	0.24	10.14	3.10
808.1, <0.1	1.23	13.90	14.45	38.78	0.22	8.45	0.13	6.09	0.36	12.42	1.69
808.1, <0.1	0.82	13.17	13.39	39.72	0.11	9.92	0.13	4.56	0.67	14.85	0.33
808.1, <0.1	1.08	12.50	13.18	40.26	0.17	9.54	0.10	6.47	0.35	13.06	0.85
808.1, <0.1	1.05	13.40	13.31	42.24	0.07	9.69	0.07	5.41	0.41	11.71	0.24
808.1, <0.1	1.17	13.95	14.32	40.44	0.13	8.94	0.14	5.58	0.24	11.56	1.20
808.1, <0.1	1.56	13.47	13.60	40.25	0.43	9.24	0.29	5.93	0.36	11.99	0.55
808.1, <0.1	1.06	12.69	14.28	41.91	0.17	9.31	0.06	5.80	0.35	10.90	1.09
808.1, <0.1	1.06	13.85	15.19	42.48	0.10	8.66	0.10	5.48	0.28	9.53	0.97
808.1, <0.1	1.12	12.41	14.35	42.58	0.09	9.17	0.12	5.73	0.33	10.73	0.97
809.6, <0.1	0.93	12.80	14.45	42.04	0.05	8.87	0.03	5.38	0.36	11.17	1.53
809.6, <0.1	1.09	13.04	14.46	41.95	0.15	8.82	0.06	5.30	0.33	11.29	1.14
809.6, <0.1	0.94	12.86	14.47	42.16	0.08	8.89	0.06	5.38	0.24	11.19	1.32
809.6, <0.1	0.94	12.36	14.33	40.86	0.06	8.76	-0.03	5.53	0.45	12.33	2.00
809.6, <0.1	0.90	13.17	14.36	41.58	0.05	8.80	0.03	5.65	0.27	11.29	1.50
809.6, <0.1	0.82	9.61	13.22	39.91	0.12	9.76	0.06	6.81	0.49	14.93	1.72
809.6, <0.1	0.89	13.17	14.90	41.50	0.13	8.65	-0.01	5.39	0.35	11.23	1.46
809.6, <0.1	1.14	11.53	14.69	43.28	0.07	8.81	0.06	5.10	0.36	10.74	1.78
809.6, <0.1	1.28	14.15	15.14	42.00	0.12	8.02	-0.06	4.96	0.18	9.99	1.91

809.6, <0.1	1.02	13.51	14.66	40.21	0.10	8.50	-0.10	5.64	0.37	11.96	1.79
809.6, <0.1	1.09	13.59	14.54	40.76	0.16	8.59	0.11	5.34	0.32	11.60	1.56
809.6, <0.1	1.01	12.62	14.78	40.12	0.23	8.54	0.17	5.99	0.30	12.03	1.86
809.6, <0.1	0.98	13.02	15.24	41.12	0.09	8.22	0.10	5.46	0.38	11.31	1.77
809.6, <0.1	0.92	13.03	14.55	40.66	0.10	8.64	0.06	5.39	0.44	11.96	1.89
809.6, <0.1	0.98	13.41	14.37	40.04	0.07	8.73	0.06	5.70	0.36	12.16	1.77
809.6, <0.1	0.89	11.82	14.02	38.77	0.13	9.17	-0.03	6.30	0.36	13.70	2.42
809.6, <0.1	0.92	13.16	14.52	41.31	0.09	8.59	0.04	5.47	0.25	11.61	1.65
809.6, <0.1	1.05	13.50	14.57	42.07	0.11	8.89	0.01	5.23	0.26	11.18	0.78
809.6, <0.1	1.03	13.21	15.04	41.66	0.11	8.79	0.01	5.22	0.31	10.97	1.31