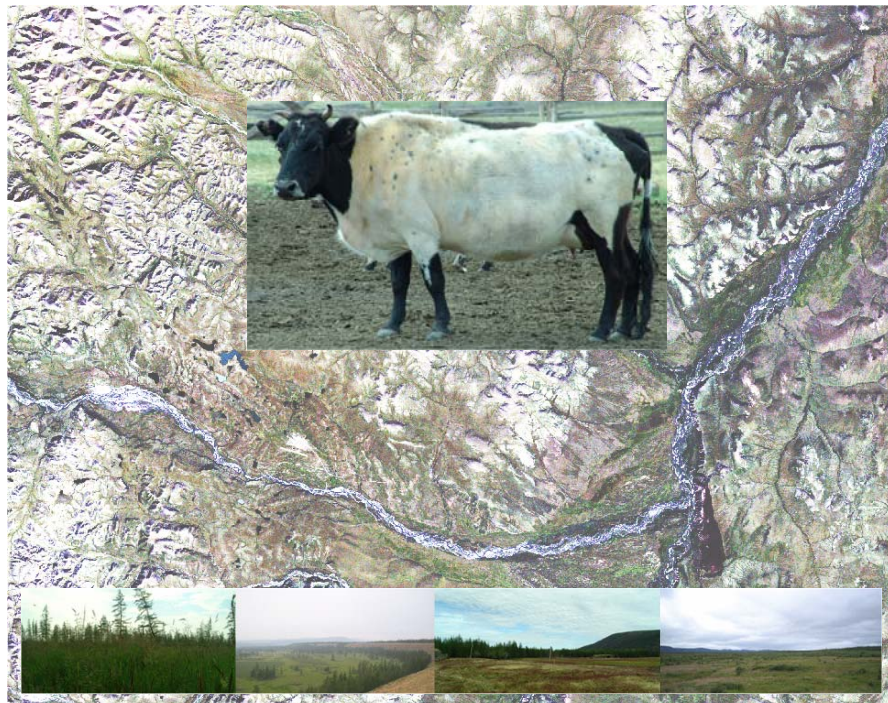


Teknillinen korkeakoulu
Maanmittausosasto
Maa-57.290 Kaukokartoituksen erikoistyö
Jere Kaivosoja
52370H
6. Kesäkuuta 2007

Jakutiankarjan elinympäristön luokittelu hyödyntäen Landsat-kuvia



Sisällysluettelo

1. JOHDANTO	2
2. MAHDOLLISET MENETELMÄT YMPÄRISTÖN MALLINNUKSEEN	3
3. YLEISTÄ SATELLIITTIKUVISTA	3
3.1. Yleistä satelliittikuvien luokittelusta	7
3.2. Käytetyt menetelmät vastaavilla alueilla	8
4. AINEISTON KERUU	9
4.1. Satelliittikuvat	9
4.1.1. Satelliittikuvien kalibrointi maanpinnan heijastuksen suhteen	10
4.1.2. Satelliittikuvien luokittelu kenttätöiden avuksi	11
4.2. Kenttätyöt	11
4.3. 80-luvun kartat	14
4.4. 70-luvun satelliittikuvat	15
4.5. Lentokoneesta käsin kuvattu kylä	15
5. SATELLIITTIKUVIEN LOPULLINEN KÄSITTELY	16
5.1. Vertaus 70-lukuun	17
6. TULOKSET	17
7. TARKKUUS	24
8. JOHTOPÄÄTÖKSET	24
9. LÄHTEET:	25

Johdanto

Tämä erikoistyö on osana MTT Maa- ja Elintarviketalouden ”Venäjän maatalouden eläingenivarojen uhanalaisuus ja säilytyksen etnoekologiset, tekniset ja sosiaaliset edellytykset” tutkimusta. Tutkimuksessa ovat mukana Suomen Akatemia, Helsingin yliopiston Aleksanteri-instituutti sekä Russian Academy of Agricultural Sciences. Tutkimuksessa etsitään sellaisia nauta- ja lammascarotuja, joilla on huomattava merkitys koko lajin diversiteetin säilytykseen ja venäläisen kotieläintuotannon paikalliseen kehitykseen. Geneettisten analyysien rinnalla tutkitaan MTT:n ja Helsingin yliopiston yhteistyönä vastaavilta alueilta ympäristö- ja väestökijöitä, joilla on vaikutusta rotujen säilymiseen alkuperäisillä paikoillaan. Rotujen sosiokulttuurisen arvon ja tuotannon talouden, teknologian ja ympäristövaikutuksen analysoinnilla saadaan tietoa eläintuotannon ja paikallisen kulttuurin välisestä yhteydestä ja niiden suhteesta Venäjällä tapahtuvaan yhteiskunnalliseen muutokseen. Tulosten perusteella laaditaan suosituskokonaisuus nauta- ja lammascarotujen säilytysohjelmalle.

Euraasian mantereella elää neljä erillistä nautarotua. Yhtä näistä, Jakutiankarjaa, esiintyy ainoastaan kolmen pienen kylän alueella Siperian koillispuolella Venäjän federaatioon kuuluvassa Sahan tasavallassa. Lisäksi nautaa pidetään etelämpänä yhdellä tilalla vain kannan säilymisen takia. Jakutiankarjaa on luonnollisissa olosuhteissa jäljellä enää alle tuhat yksilöä. Tutkimuksen tavoitteena on säilyttää karjan elinmahdollisuudet nykyisessä ympäristössään, joten on tärkeää tietää nykyisestä elinympäristöstä mahdollisimman paljon. Karjan lisäksi alueella on porotaloutta sekä hevosia. Alueella on myös Siperialle tyypilliset massiiviset luonnonvarat.

Jakutiankarjan elämään ja olemassaoloon vaikuttavasta ympäristöstä haluttiin muodostaa spatiaalinen malli. Mallin avulla tutkitaan alueen nykytilaa, kehitystä ja tulevaisuuden potentiaalia. Tärkeintä oli inventoida alueelta heinämaat, joista nautan ruokintaan käytetty heinä korjataan. Lisäksi haluttiin tietoa alueen yleisistä piirteistä ja olosuhteista sekä haluttiin parempi ymmärrys alueen elinkeinoista ja yleisestä infrastruktuurista. Kaikki saatava spatiaalinen informaatio oli tervetullutta. Lisäksi kiinnostuksen kohteiksi ilmenivät puuston hakkuualueet, tiestön vaikutus, porot ja niiden elinpiiri sekä kylien väliset yhteydet.

Elinympäristö on haasteellinen sekä elinympäristönä että tutkimuskohteena. Kaukokartoituksellisesti haastetta luovat lähinnä lyhyt ja epäsäännöllinen kasvukausi, auringon matala kulma, suuret korkeuserot, maan pintakosteuden huomattavat vaihtelut ikeroudasta johtuen, erittäin vähäinen ihmisen vaikutus, aiemman kartoituksellisen kiinnostuksen puute sekä yleinen ympäristön ainutlaatuisuus.



Kuva 1. Jakutiankarjan esiintymisalue 68°N, 131°E. (© Microimages, Inc.)

Ainut matkustustapa kyliin on käytännössä lentoteitse, joten kylät toimivat pääosin eristyksessä ulkomaailmasta. Kesä ja kasvukausi alueella ovat varsin lyhyet. Vuotuinen keskilämpötila on -15°C tietämällä, eivätkä yli 100°C asteen vuotuiset lämpötilanvaihtelut ole mitenkään poikkeuksellisia. Alueen ikeroudan vahvuus on 250 metriä. Kesäisin maanpinnasta sulaa muutamia kymmeniä senttimetrejä. Sade- ja sulamisvedet jäävät ikeroudan päälle kosteuttamaan sulanutta maakerrosta. Kylät sijaitsevat liki 2500 metriin kohoavan Verhojansk vuoriston kupeessa. Itse kylät Batagay-Alyta (paikallisien puhekielessä Sakkyryr), Kustur sekä eteläisin Djargalaakh ovat noin 450 - 600 metrin korkeudessa. Ihmisen käden jälki alueella ei näy kuin asuinalueilla ja satunnaisina metsähakkuina asutusten läheisyydessä. Peltoja ei ole raivattu, ojitettu eikä viljelty joten maatalous rajoittuu heinän niittoon. Puustoa alueella ei myöskään istuteta. Väliluku kylien alueella on n. 2000. Ympärivuotista asutusta kyläkeskusten ulkopuolella ei ole.

1. Mahdolliset menetelmät ympäristön mallinnukseen

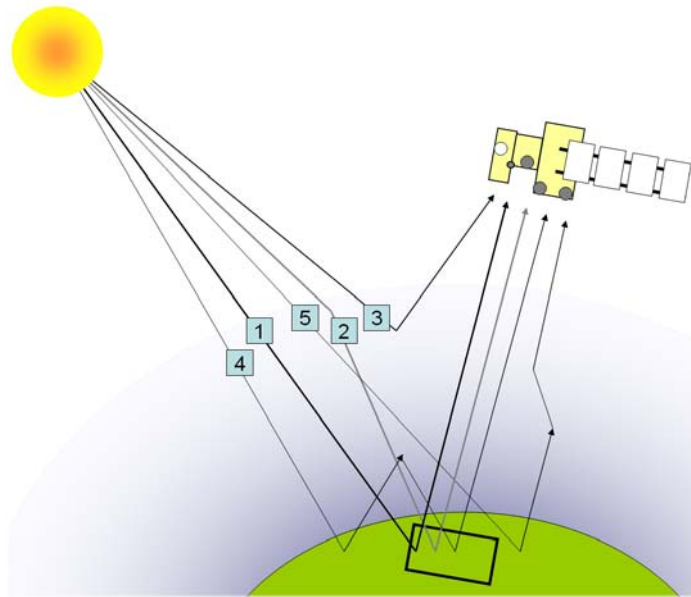
Alueen kartoitukseen olisi mahdollista käyttää vanhoja aineistoja, lentokuvausta, satelliittikuvausta tai kartoitusta paikan päällä. Neuvostoajan karttoihin ei välttämättä voi luottaa, sillä niitä manipuloitiin turvallisuussyistä (Rees et al. 2003). Venäläisiä tarkkoja kartta-aineistoja ei myöskään ilman lupaprosessimenettelyjä ollut saatavilla. 1:50 000 kartat olivat salaisia. Hieman manipuloituja 1:500 000 karttoja käytimme yleiskuvan muodostamiseen sekä hyödynsimme kartan korkeuskäyriä. Manipuloinnista huolimatta karttojen topologia vaikutti olevan kunnossa. Lentokuvaukseen ei ollut puitteita eikä resursseja. Ympäristön haasteellisuuden takia pelkillä satelliittikuvillakaan ei oletettu riittävään luokitteluun päästävän joten kartoituksen vaihtoehdoksi jäi satelliittikuva yhdistettynä kartoitukseen paikan päällä.

Tutkimusprojektin käynnistyessä selvisi todellinen mahdollisuus päästä paikan päälle. Päädyttiin ratkaisuun, että hankitaan ennen matkaa satelliittikuvia ja tulkitaan niitä ohjaamattomasti ennen matkaa. Tulkintojen ja paikallisen tietämyksen perusteella kohdennetaan matkailua tutkimuskohteessa. Matkailun aikana kerätään GPS:n ja kameran avulla vertausaineistoa tarkempaan satelliittikuvien tulkintaan sekä kylien tarkempaan kartoitukseen. Satelliittikuvia pyrittiin hankkimaan myös aiemmilta vuosikymmeniltä, jolloin mahdollisia muutoksia pystyttäisiin mallintamaan. Lisäksi alueelta pyrittiin keräämään mahdollisuuksien mukaan kaikkea muuta kartoituksessa hyödynnettävää materiaalia. Koska alueelta oli lähes mahdotonta saada valmista tarkkaa kartta-aineistoa, käydään tässä erikoistyössä myös läpi, miten hankittuja muita paikkatietoaineistoja luotiin.

2. Yleistä satelliittikuvista

Jotta satelliittikuvia pystytään hyödyntämään parhaiten ja tunnistamaan niiden heikot kohdat ja ymmärtämään sovellusmahdollisuudet, tulee niiden ominaisuudet tietää. Satelliittikuvauksessa mitataan kohteesta säteilevien eli siroavien fotonien spektristä vaihtelua tietyillä aallonpituusväleillä. Siroamisen päättävät ovat (kuva 2): 1) Säteen tarkoituksellinen heijastuminen, eli auringonvalo heijastuu suoraan kuvattavalta kohteelta satelliitille. 2) Auringonsäde siroaa ilmakehässä ennen kohdetta ja heijastuu näin kohteesta. 3) Auringon säteily siroaa jo ilmakehässä esimerkiksi pilvien pinnasta suoraan satelliitille. 4) Kohteen ulkopuolelta heijastunut säde taittuu ilmakehässä kohteeseen ja heijastuu siitä satelliitille. 5) Kohteen ulkopuolelta heijastunut säteily

siroaa ilmakehässä satelliitille. Näistä kaikki muut paitsi kohdan 1) siroaminen pyritään eliminoimaan erilaisin keinoin.



Kuva 2. Tyypillisimmät satelliitille siroavat säteilyt

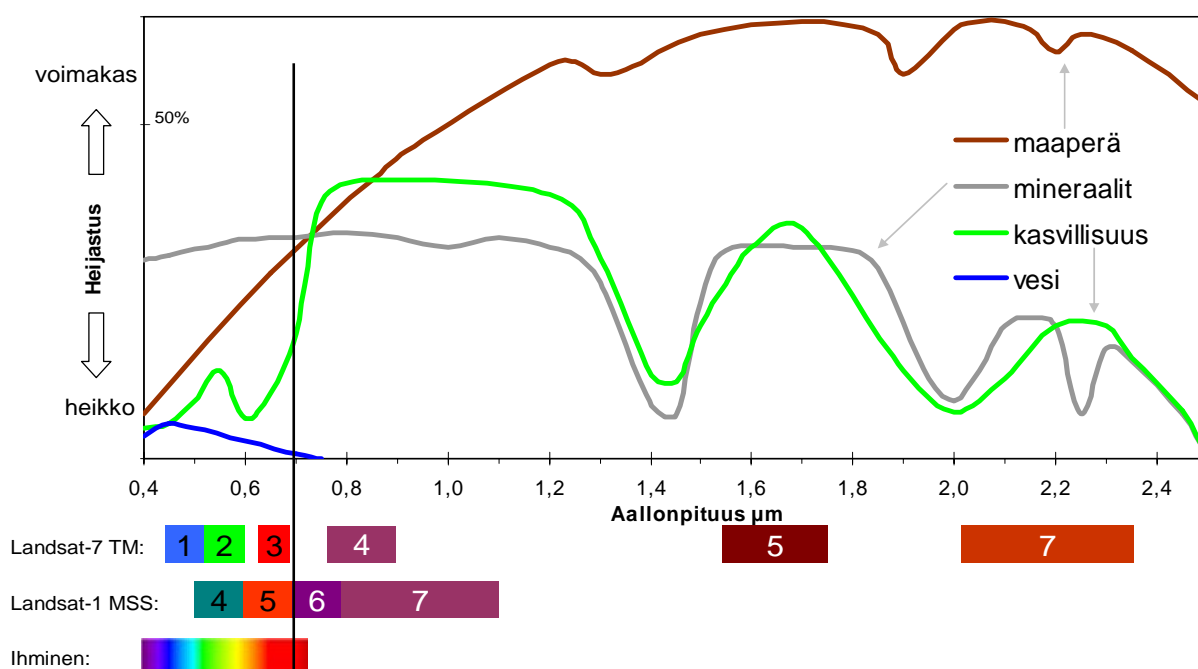
Ilmakehän hiukkaset aiheuttavat huomattavia ongelmia satelliittikuvatulkintoihin. Hiukkaset muuttavat havaittavien kohteiden ominaisuuksia tai peittävät ne kokonaan. Ilmakehän hiukkasten aiheuttamat muutokset ovat paikallisia ja ne riippuvat ajankohdasta. Vaikutuksia ei voida eliminoida kokonaan, mutta korjauksia voidaan määrittellä ulkoisesti tai sisäisesti. Ulkoiset menetelmät käyttävät apunaan tunnettuja tai saatuja ilmakehäparametreja, jotka yhdistettynä sopivaan ilmakehämalliin tuottavat yhdessä halutut korjaukset. Sisäisillä menetelmillä taas perehdytään kuvan itsensä sisältämään tietoon ja tunnettuun aallonpituuden käyttäytymiseen.

Kuva-aineiston sävyarvoon vaikuttaa kaksi komponenttia: maan pinnan heijastusominaisuudet ja ilmakehässä tapahtuvat muutokset sironnan, absorptio- ja taipumisen seurauksena. Muutokset ovat suurimmat näkyvän valon ja infrapunan alueella (Curran 1985).

Kasvillisuuden heijastama spektri koostuu fotosynteesistä aineksista eli lehtivihreästä ja vedestä, sekä kasvien kuivasta aineksesta. Mitä elottomampi kasvi on, sitä enemmän kasvin heijastama spektri muistuttaa maaperän heijastamaa spektriä. Lähi-infran alueella vihreä kasvillisuus erottuu voimakkaimmin.

Vihreille kasvinlehdille on ominaista samantyyppiset heijastus-, absorptio- ja läpäisykäyrät. Lehdet absorboivat ultraviolettisäteilyä ja näkyvää valoa voimakkaasti. Vastaavasti lehdet absorboivat lähi-infrapunäsäteilyä hyvin vähän ja pidempää infrapunäsäteilyä jälleen enemmän. Siirryttäessä näkyvän valon alueelta infrapuna-alueelle tapahtuu usein voimakasta heijastuksen nousua, tätä kohtaa kutsutaan usein kulminaatioksi. Näkyvän valon alueella heijastussuhteen alhaisuuden aiheuttaa pigmenttien tehokas absorptio (Tokola et al 1998), eli kasvit hyödyntävät saamansa näkyvän valon. Tutkittavalla alueella vallitseva siperianlehtikuusi on latvustorakenteeltaan terävää. Terävien latvustojen heijastussuhde on selvästi pienempi kuin tasalatuksisten puustojen (Aleksejev ja Belov 1960).

HEIJASTUMINEN JA SATEELLIITTIVEN KANAVIEN NÄKÖALUEET



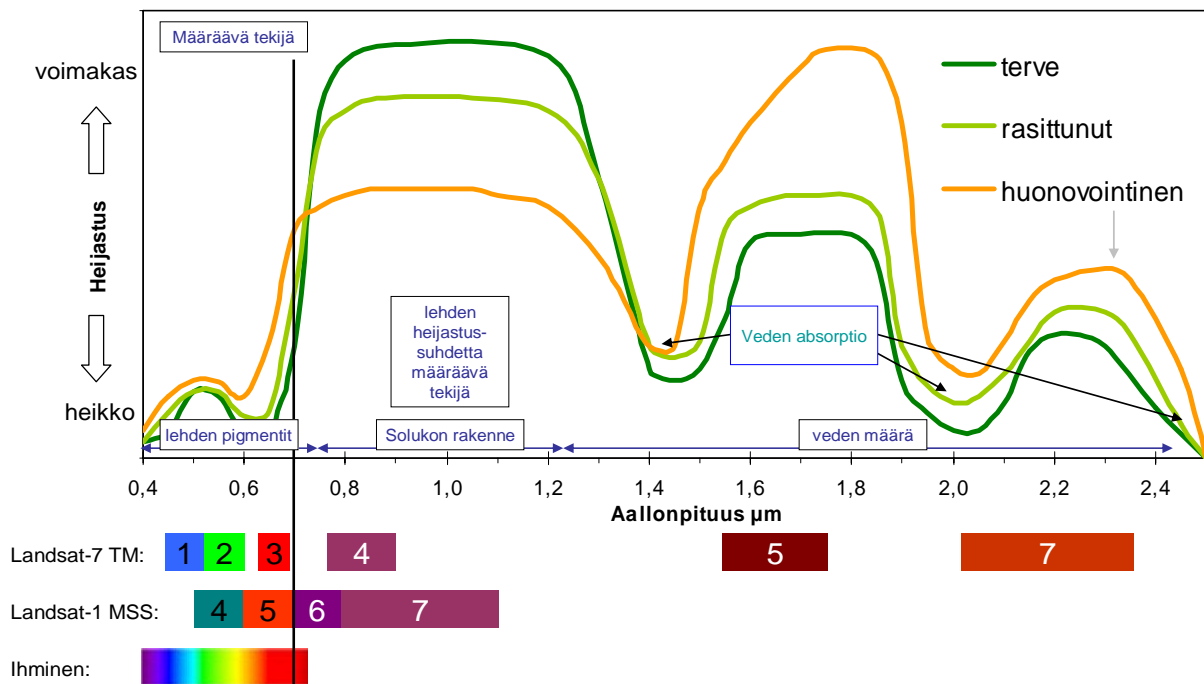
Kuva 3. Heijastuminen ja satelliittikuvien kanavien näköalueet (heijastusprofiilit Knipling 1970).

Kasvillisuuden ominaispektrin yleinen muoto (kuva 3) on tunnettu jo pitkään (esim. Knipling 1970). Ominaispektrien tuntemus auttaa kohteiden tunnistamisen lisäksi valittaessa kohteen erottumisen kannalta soveltuvimpia spektrin alueita, sopivaa kaukokartoitusjärjestelmää sekä parasta vuoden- ja vuorokaudenaikaa. (Tokola et. al 1998).

Kasvustojen spektriseen heijastukseen vaikuttavat yksittäisten kasvien heijastuksen lisäksi useat muuttujat, kuten kasvun ajankohta, maaperä, topografia, ilmasto, taustan heijastus, kasvin ja kasvuston geometria, valaistusgeometria, varjot ja havainnointigeometria (Brown ja Ahern 1980). Kasvien ominaispektrin tarkastelu rajoittuu yleensä aallonpituusalueelle 0,4 - 2,7 μm . Kasvillisuudesta heijastuva yli 3 μm :n säteily on pääasiassa kohteen eri aallonpituusalueilla absorboimaa ja sen jälkeen emittoimaa säteilyä (Knipling 1970).

Elottomien kohteiden heijastuskäyrät ovat tasaisempia, sillä lähi-infrapunasäteilyn heijastuminen on vähäisempää suhteessa näkyvän valon heijastumiseen. Kuivan kasvin heijastuksen voi jopa sekoittaa mineraalien heijastukseen, mikäli tarkkoja spektri-analyyseja ei tehdä (Rencz 1999). Myös muu ympäristö saattaa sekoittaa tulkintoja. Peltikaton heijastussuhdekäyrä on koko matkalla erittäin voimakas. Multa ja puiden hakkuujätteet ovat lähi-infrapunan ja punaisen säteilyn alueella säteilyltään voimakkaampia kuin elottomat kohteet (Tokola et. al 1998). Tätä tietoa hyödynnettiin etsiessä satelliittikuvilta hakkuualueita.

KASVILLISUUDEN HEIJASTUMINEN JA MÄÄRÄÄVÄT TEKIJÄT



Kuva 4. Kasvillisuuden heijastuminen ja määräävät tekijät (heijastusprofiilit Knipling 1970).

Heijastussuhteen hajonnan suuruuteen vaikuttaa varjostuksen voimakkuuden vaihtelu sekä mittauskohtien tekstuuri. Koska tutkimuksen kohteena ollut alue oli lähes täysin luonnontilassa, ei siellä juuri ollut ihmisen tuomaa järjestelmällisyyttä.

Tutustuttaessa vastaavanlaisiin projekteihin, havaittiin että Landsat-satelliittikuvia on käytetty erityisesti suurten syrjäisimpien alueiden luonnonvarojen inventointiin viime vuosikymmeninä, joten satelliittikuvien hankinta kohdennettiin landsat-kuviin. Näistä hankkeista lisää kappaleessa 2.2.

Landsat Thematic Mapper (TM) -kanavien parhaat sovellusalat Tokolan et. al (1998) mukaan ovat mm:

kanava

- 1 Rannikkovesien kartoitus, maalajipaljastumien ja kasvipeitteen erottaminen, lehtimetsän ja havumetsän erottaminen
- 2 kasvillisuuden elinvoiman kartoittaminen
- 3 kasvillisuustyypien kartoitus
- 4 biomassan määrä, viljapelot, vesistöjen ja maa-alueiden erottaminen
- 5 maaperän ja kasvillisuuden kosteuden kartoitus, pilvi- ja lumipeitteen erottaminen
- 6 kasvillisuus, kasvillisuuden elinvoima, maaperän kosteus, geologinen kartoitus
- 7 Kivilajien kartoitus, hydroterminen kartoitus

Landsat TM – satelliitin kanavien mittausalueet vastaavat siis hyvin tutkimuksen tarvetta. Sironnan lisäksi mm. alueen suuret korkeuserot aiheuttavat lisähaasteen kuvatulkinnaalle. Korkeusvaihtelut vaikuttavat kuvan geometrisiin ominaisuuksiin ja rinteiden jyrkkyys vaikuttaa luonnollisten spektristen ominaisuuksien vaihteluun riippuen maan pinnan ominaisuuksista (Guidon et al. 1982). Samanlaisen kasvuston heijastama spektri ei ole samanlainen rinteessä ja tasaisella maalla. Myös auringon matala korkeuskulma korostaa entisestään rinteiden aiheuttamaa poikkeamaa. Lisäksi auringon matala kulma sekoittaa maanpinnan tekstuuriin erottuvuutta.

Itse käytettävän menetelmän lisäksi Landsat TM -satelliitissa mittausvirhettä aiheuttaa irradianssin vaihtelu, sensorin kalibrointi, radiometrinen resoluutio, sensorin liike ja digitalisointitekniikka (Curran et al. 1986). Landsat TM kanavien aallonpituusalueet (kuva 3 ja kuva 4) ovat mikrometreinä: 1) 0,45 – 0,52 2) 0,53 – 0,61 3) 0,63 – 0,69 4) 0,78 – 0,90 5) 1,55 – 1,75 6) 10,4 - 12,5 7) 2,09 – 2,35. lisäksi Landsat ETM+ 7 kuvissa on pankromaattinen kanava 8, jonka aallonpituusalue on 0,52 – 0,90 μm .

Jotta satelliittikuvista saatavaa informaatiota voisi jotenkin hyödyntää, tulee sisältö määritellä jollain menetelmällä informatiiviseksi. Kuvat voidaan yksinkertaisesti esittää kanavittain värikomponentteina, laskea eri kanavayhdisteistä indeksejä, tai luokitella kuvat kanavien sisällön mukaan tiettyyn määrään luokkia.

2.1. Yleistä satelliittikuvien luokittelusta

Yleisesti käytettyjä satelliittikuvan luokittelutapoja on kolme: ohjattu luokittelu, ohjaamaton luokittelu sekä näiden kahden luokittelun välimuoto tai yhdistelmä, eli ohjattu ryhmittely. Ohjaamattomassa luokittelussa alueesta ei välttämättä tarvita ennalta mitään tietoa. Luokkien määräksi valitaan sopivaksi katsottu lukumäärä, tai algoritmi määrittää itse optimaalisen lukumäärän. Tämän jälkeen luokittelu lasketaan kanavakohtaisten sävyarvojen mukaan. Luokat nimetään jälkikäteen.

Toisin kuin ohjaamaton luokittelu, ohjattu luokittelu vaatii myös muilla keinoin tutkimuskohteesta kerättyä informaatiota. Ohjatulla luokittelulla tarkoitetaan luokittelua, jossa luokittelijalle kerrotaan, minkälainen pikseli kuuluu mihinkin luokkaan. Alueiden luokittelu tapahtuu tämän perusteella. Nämä etukäteen luokitellut pikselit ovat ns. opetusalueita tai tukialueita ja ovat yleensä isompia yhtenäisiä alueita. Opetusalueet perustuvat maaston tuntemukseen. Luokat nimetään etukäteen. Alueen informatiivisten luokkien kanavittaiset sävyarvojakaumat selvitetään tukialueiden avulla ennen maastoaineiston keruuta. Opetusalueiden koko olisi hyvä olla vähintään luokkaa 4 ha – 16 ha ja pikseleiden lukumäärä 10 – 100 kertaa kanavien lukumäärä (Tokola et al. 1998). Opetusalueiden tulisi olla mahdollisimman kattavasti eri puolilla kuvaa ja siten etteivät sisällä kohteeseen kuulumatonta tietoa.

Ohjaamattoman ja ohjatun luokittelun yhdistelyssä, eli ohjatussa ryhmittelyssä pyritään välttämään sekä ohjatun että ohjaamattoman luokittelun heikkouksia. Tulokseksi saadaan yleensä parempi tulos kuin käyttämällä vain toista menetelmää (esim. Walsh 1980). Koska ohjaamaton luokittelu perustuu kovalta erottuviin ositteisiin, joiden maastosisällöllä ei ole merkitystä, löydetään tekniikan avulla ositteiden todelliset koot luotettavasti, vaikka ositteiden maastosisältö ei välttämättä olekaan tyydyttävä.

Erilaisten kasvillisuusindeksien käyttäminen kasvien määrän ja terveyden tulkittamiseen korkeilla leveysasteilla on osoitettu olevan harhaanjohtavaa (Rees 1998). Tähän vaikuttavia tekijöitä ovat mm. kasvukauden lyhyys ja kasvukauden ajoituksen suuret vaihtelut, yleensä suuret pilvimäärät, auringon matala kulma ja voimakkaat maaperän kosteuden vaihtelut. Myös tämän tutkimuksen aineistosta havaittiin, että kasvillisuusindeksien hyödyntäminen lopullisissa analyysissä oli toivotonta. Neuvoa antavana kasvillisuusindeksien käyttö vaikutti toimivalta.

2.2. Käytetyt menetelmät vastaavilla alueilla

Eri kasvillisuustyyppien, kasvien kasvun ja terveyden tulkinnan periaatteet satelliittikuvilta ja ilmakuvaudesta ovat hyvin tunnettuja (esim. Rees 1990). Näiden tekniikoiden sovellukset pohjois-Siperiassa sekä tundra ja taiga alueilla ovat kuitenkin olleet verrattain vähäistä. Rees et al. (1997) tutki saasteiden aiheuttamia muutoksia Kuolan niemimaalla Landsat-MSS kuvilta. Colpaert et al. (1997) käytti satelliittikuvien ohjattua luokittelumenetelmää pohjois-Suomessa menestyksekkäästi. Tømmervik et al. (1987) luokitteli jäkälävaltaisia tundra-alueita pohjois-Norjassa yhdistämällä ohjatun ja ohjaamattoman kuvaluokittelun Landsat TM kuvilta. Alaskasta samanlaisia tutkimuksia ovat tehneet mm. Craighead ja Craighead (1982), Craighead et al. (1988), Muller et al. (1999) sekä George et al. (1977). Nämä kaikki edellä mainitut käyttivät kuvia vain yhdeltä ajanjaksolta. Eri ajanjaksoilta olevia satelliittikuvia ovat tutkimuksissaan hyödyntäneet mm. Tømmervik et al. (2003) Pohjois-Norjassa sekä Kuolan niemimaalla, Hagner ja Rigina (1995 ja 1998) Kuolan niemimaalla, Rees et al. (2003) keskellä Pohjois-Venäjää, sekä Virtanen et al. (2002) Ural-vuoriston pohjoispäässä. Aasian puoleiselta Venäjältä on huomattavasti heikommin saatavilla julkaisuja. Toutoubalina et al. (1999) tutki teollisuuden vaikutuksia arktiseen kasvustoon Norilskin alueella Keski-Venäjän pohjoisosissa. Toutoubalina et al. (1999) käytti hyväksi kasvillisuusindeksejä, sekä ohjattua ryhmittelyä. Johtopäätöksinä oli kasvillisuusindeksin huono hyödynnettävyys, sekä osittain olennaisten luokkien heikko erottuvuus.

Ohjaamattoman luokittelun menetelmistä K-means (MacQueen, 1967) on yleisesti käytetty. Algoritmin laskenta suoritetaan kahdessa osassa: 1) ositekeskusten arvaus niin, että niiden euklidinen etäisyys on maksimaalinen 2) havaintojen iterointi ositteisiin jonka jälkeen keskiarvosta määritetään uusi luokkakeskus ja iterointi suoritetaan uudelleen. Tulosta voidaan vielä jatkaa muilla menetelmillä siten, että suoritetaan pienten ositteiden yhdistäminen naapuriositteisiin (Tokola et al. 1998), tämä voidaan tehdä esim. euklidisen etäisyyden mukaan.

ISODATA (Iterative Self-Organizing Data Analysis Technique) (Duda ja Hart 1973) metodi on K-Means metodin kaltainen, mutta siinä on mukana luokkien jakaminen, yhdistely sekä hylkääminen, jotta saadaan muodostettua optimaalinen määrä luokkia. ISODATA-metodilla määritellään tai sille määrätään haluttu määrä luokkakeskuksia ja määrätään tutkittavat solut lähimmän luokan joukkoon. Suureksi muodostuva luokka voidaan jakaa useammaksi solujen lukumäärän, keskihajonnan tai luokkakeskusetäisyyksien johdosta. Mikäli solujen lukumäärä ei yllä asetettuun minimiin, luokka poistetaan ja solut yhdistetään lähimpiin luokkiin. Mikäli vierekkäisten luokkien luokkakeskusten etäisyys on pienempi kuin asetettu minimi raja-arvo, luokat yhdistetään. Kun luokkia on säädetty, uudet luokkakeskukset lasketaan ja prosessi toistetaan. Iterointi jatkuu, kunnes vain hyvin vähän muutoksia luokkakeskusten sijainnissa tai kun iterointiraja on saavutettu. Isodata ryhmittelyä käytti mm. Tømmervik (2003) Kuolan niemimaalla.

Yhdistetyssä luokittelussa ohjaamattoman luokittelun osiossa käytettyjen luokkien lukumäärä alussa on pohjoisilla alueilla ollut lähellä 40:ää. Tømmervik et al. (1995) ja Tømmervik et al. (2003) käytti 36 luokkaa. Rees et al. (2002) käytti 40 luokkaa.

Ohjatuista luokitteluista maximum-likelihood metodia on yleisesti käytetty tutkittaessa mm. ihmisen vaikutuksia ympäristöön tundra-alueilla (Virtanen et al. 2002). Maximum-likelihood metodi yhdistää todennäköisyyslaskelmat luokittelumenetelmiin. Opetusjoukkojen luokkien luokkakeskukset ja hajonnat määritellään. Seuraavaksi havaitaan kunkin solun todennäköisyydet eri luokkiin. Todennäköisyys määräytyy soluarvon etäisyydestä luokkakeskukseen, sekä luokan spektrin koosta ja muodosta. Maximum-likelihood metodissa lasketaan todennäköisyydet kaikille soluille kaikilla luokilla, jonka jälkeen solu nimetään

suurimman todennäköisyyden luokkaan. Tällä metodilla saadaan tarkempia luokkia kuin toisella ohjatulla eli Minimum Distance metodilla, kun luokkien spektrien koot ja muodot vaihtelevat huomattavasti (Smith 2006).

Tämän projektin lopullisena menetelmänä päädyttiin käyttämään ohjattua ryhmittelyä. Luokitellaan alueet ensin ohjaamattomalla ISODATA-menetelmällä. Tämän tulos luokitellaan sitten maximum-likelihood menetelmällä käyttäen apuna tutkimuskohteesta kerättyä tietoa.

3. Aineiston keruu

Alueelta pyrittiin hankkimaan satelliittikuvia mahdollisimman kattavasti nykyajasta. Lisäksi pyrittiin mahdollisuuksien mukaan hankkimaan satelliittikuvia aiemmilta vuosikymmeniltä, jotta alueen mahdollisia muutoksia kyettäisiin havainnoimaan. Hankittujen satelliittikuvien ja alueella suoritettujen paikkatiedon keruun lisäksi keskuskylnä toimineesta Batagay-Alytasta saatiin vino ilmakuva sekä saatiin valokuvattua porotalouteen liittyviä karttoja 80-luvulta.

3.1. Satelliittikuvat

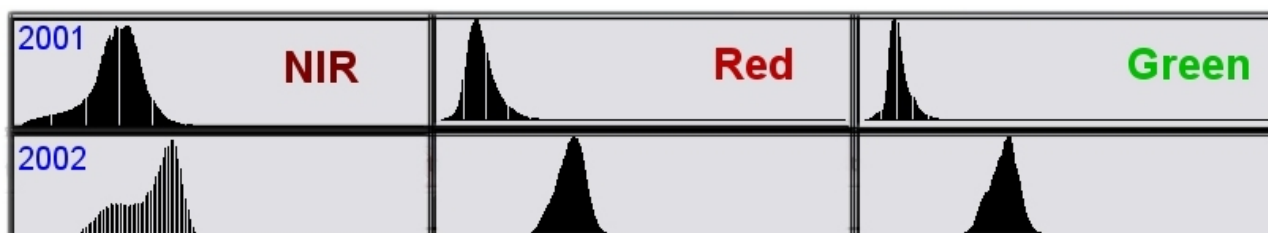
Landsat satelliittikuvien hankinnasta vastasi Pentti Ruokokoski ja Sirpa Thessler MTT:ltä. Kuvia tilattiin *Jaakko Pöyry Infra*:lta (1972, 1973, 2002 ja 2003) sekä suoraan USGS:n arkistosta (*Global Visualisation Viewer*)(2001). myös Eurimagen ja Marylandin yliopiston tarjontaa tarkasteltiin. Lopputuloksena saatiin viisi kahden kuvan sarjaa ja yksi yksittäinen kuva alueesta. Lopputulos oli pienoinen pettymys. Kuvien laatu ja orientointi eivät olleet toivotunlaisia. 70-luvulta saatiin kaksi Landsat Multi - Spectral Scanner (MSS) 1 kuvasarjaa, näistä toinen oli pahasti lumen peitossa ja osittain pilvinen, toinen oli keskimääräisen heinäkorjuun ajalta, osittain hieman pilvien peitossa. Näistä jälkimmäiset otettiin tarkasteluun tutkittaessa pidemmän ajan muutoksia.

Tätä päivää kuvaavaa ympäristöä varten hankittiin kolme sarjaa Landsat Enhanced Thematic Mapper Plus (ETM+) 7:n kuvia. Näistä vain yhdet kuvat olivat käyttökelpoisia (Taulukko 1). Käyttökelvottomista kuvista toiset olivat kokonaan lumen peitossa ja toiset lähes kokonaan pilvien peitossa. Käyttökelpoiset kuvat olivat ihan kasvukauden lopusta, syyskuun puolesta välistä. Vuoristossa oli jo enemmän lunta, mutta tutkimuksellisesti tärkeimmät alueet laaksoissa olivat lumettomat. Tietenkään myöhäinen ajankohta kasvukauteen nähden ei voi olla vaikuttamatta kasvien heijastamaan spektriin.

Satelliitti	path/row	vuosi	päivä	Kuvien laatu	Alkup. tarkkuus
Landsat 1	134/12-13	1972	16.9.	tutkitmusalue lumen peitossa, puolipilvistä	1,3km-2,8km sivussa
Landsat 1	133/12-13, 134/12-13	1973	18-19.7.	muutamia pilviä paikoittain	tarkkuus alle 100m
Landsat 7	124/12-13	2001	14.9.	kirkas sää, vähän lunta vuoristossa	vertailukohde
Landsat 7	125/12	2002	23.7.	lähes kokonaan pilvien peitossa	kymmenissä metreissä
Landsat 7	123/12-13	2003	9.5.	kokonaan lumen peitossa	kymmenissä metreissä

Taulukko 1: Hankitut satelliittikuvat

Kaikki kuvat olivat oikaistuja ja georeferoituja UTM-projektioon, tosin useimpien kuvien georeferointia jouduttiin huomattavasti tarkentamaan. Tarkkuudet georeferoinneissa saattavat johtua myös käytetyn ohjelmiston TNTMips konvergoinneista. Korjaavat georeferoinnit tehtiin yhdenmukaisella menetelmällä Landsat 7:n v. 2001 päälle, joka vaikutti myös hyvin vastaavan GPS paikannuksen tuloksia.



Kuva 5. Vuosien 2002 ja 2001 4, 3 ja 2 kanavien käsittelemättömät histogrammit. Vuoden 2002 kuvat ovat lähes kokonaan pilvien peitossa.

Käyttökelpoisia kuvia saatiin siis hankittua kahdelta eri vuosikymmeneltä, tosin Landsat MSS ja ETM+ kuvien vertailu on yleensä ollut vaikeaa, sillä käytössä on ollut eri sensoritekniikka (Rees 2003). ETM+ ja MSS kuvien vertailussa osa muutoksista johtuu MSS:n vanhemman tekniikan kohinasta. Yhden satelliittikuvan kuva-ala on noin 180 km x 185 km.

MSS kuvien pikseleiden koko maanpinnan tasossa on 60 metriä, ETM+ kuvien 30 metriä, mutta todellisen erotuskyvyn voidaan olettaa olevan heikompi, johtuen kuvien tavanomaista heikommasta kontrastista, mikä taas johtuu auringon matalasta kulmasta (n. 35 astetta), sekä maaston ominaispiirteistä, kuten ihmisen järjestelemättömästä kasvustosta. ETM+ kuvien 6 kanavalla resoluutio on 60 m x 60 m, sekä pankromaattisella kanavalla 8 resoluutio on 13 m x 15 m.

Radiometriseltä resoluutioltaan MSS kanavat ovat teoriassa 6 bittisiä, eli harmaasävyjä on 64. ETM+ kanavat 8 bittisiä, eli eri sävyarvoja on 256, käytännössä arvoja on vähemmän. 99,0 % arvoista on noin 30 - 100 peräkkäisen arvon sisällä, johon myös kuva 5 antaa viitteitä. ETM+ 7 kuvissa on seitsemän eri spektristä kanavaa, MSS kuvilla neljä.

Kuvien temporaalinen resoluutio, eli ajallinen toistettavuus on tavanomaista haasteellisempaa, sillä kasvukausi on lyhyt, sen ajankohta vaihtelee ja maan kosteudessa on suuria vaihteluita. Koska saman kuvasarjan kuvat oli otettu peräkkäin lyhyen aikavälin sisään, niiden sävyarvot kalibroitiin kanavittain.

3.1.1. Satelliittikuvien kalibrointi maanpinnan heijastuksen suhteen

Ennen varsinaisia kuvaluokituksia satelliittikuvat kalibroitiin Standardized Reflectance Factor Index (SRFI):n mukaan. Kalibroinnit ovat hyödyllisiä kun tarkoituksena on laskea tietyiltä alueilta kanavayhdistelmiä sekä vertailla eri ajankohtien ja satelliittien kuvauksia.

SRFI:ssä kuvia voidaan säätää kolmella jatkuvalla tai kumulatiivisella menetelmällä: 1) Ensimmäinen menetelmä käyttää hyväksi kuvien valkoisuutta ja tasapainoa joiden avulla raakakuvan arvot muutetaan kalibroiduksi heijastusarvoiksi. Kuvasajankohdan auringon korkeuskulmaa hyväksi käyttäen lasketaan heijastukset ilmakehän yläosista. 2) Toinen menetelmä korjaa kuvilta ilmakehän yläosan additiivista kaistariippuvuutta, kuten pilvien heijastusta. Pilvien heijastusarvot lasketaan empiirisesti kaistojen histogrammeista ja power-law (Chavez (1996)) mallin avulla pilven vaikutuksesta heijastuneeseen aallonpituuteen. 3) Kolmannella menetelmällä eliminoidaan ensin kaistariippuva ilmakehän absorption vaikutus ja lasketaan sitten skaalattu heijastusmalli maanpinnasta. (Paris 2005)

3.1.2. Satelliittikuvien luokittelu kenttätöiden avuksi

Matkaa varten ETM+ kuvista määriteltiin K-means menetelmällä 12 luokkainen paperikartta, lisäksi valmistettiin väärävärikuva, sekä ihmisen näkökykyä vastaava tavallisen värinen paperikartta. Näistä kartoista oli myös versiot, joissa oli mukana yleistä vektoroitua tietoa, kuten suurimmat tiet, joet ja asutuskeskukset.

Kenttätöihin mukaan lähteneeseen GPS-laitteeseen tallennettiin etukäteen taustakartaksi yhdistely eri satelliittikuvan kanavista. Ohjaamattoman luokittelun tuloksen käyttö ei ollut luontevaa GPS-laitteen värisävyjen toiston puitteissa. Taustakartta luotiin Landsat ETM+ 7:n satelliittikuvista siten, että eri kasvillisuustyyppejä erottelevan punainen - vihreä - sininen kanavayhdistelyn 4-5-3 avulla (kanavat: katso kuva 3.) luokiteltiin alue lineaarisesti viiteen luokkaan, lisäksi lasketun vesi-indeksin (NDWI, kanavalaskelmat: $(2-4)/(2+4)$) avulla erotettiin vesialueet sinisellä ja käänteisesti kasvillisuusindeksin (NDVI, kanavalaskelmat: $(3-4)/(3+4)$) avulla eroteltiin harmaalla alueet missä kasvillisuutta ei oletettavasti ole ollenkaan. Molempien indeksien raja-arvot arvioitiin manuaalisesti satelliittikuvilta. Osa käytetystä taustakartasta näkyvä kuvassa 6.

3.2. Kenttätyöt

Ympäristö ominaisuuksineen ja olosuhteineen oli ennakkoon hyvin tuntematon. Vierailun ajankohtaan ei pystytty vaikuttamaan kaukokartoituksen toiveiden mukaan, vaan ajankohta määräytyi heinänpuintiaikaan. Vierailun päätarkoitus oli paikallisten tuotantoprosessien havainnointi. Teimme heinäkuussa 2005 kahden viikon vierailumme aikana kylien alueella yhteensä viisi pidempää retkeä lähiympäristöön. Retkien ohessa kerättiin vertausaineistoa satelliittikuville. Matkaa kertyi yhteensä n. 160 km, josta kilometreissä vajaa puolet tehtiin erilaisilla ajoneuvoilla, loput kävellen ja hevosilla. Maastoautoilla liikkuminen oli usein mahdotonta tiestön heikon kunnon vuoksi. Telaketjuajoneuvojen sekä maastokuorma-autojen vuokraaminen vuorostaan oli suhteellisen kallista, kulkukelpoisuutta ei pystytty takaamaan ja lisäksi oli huomioitava mahdollisista teknisistä vioista koituvat yllättävät kustannukset asiakkaalle. Jos ajoneuvo hajoaa, asiakas maksaa korjauksen.

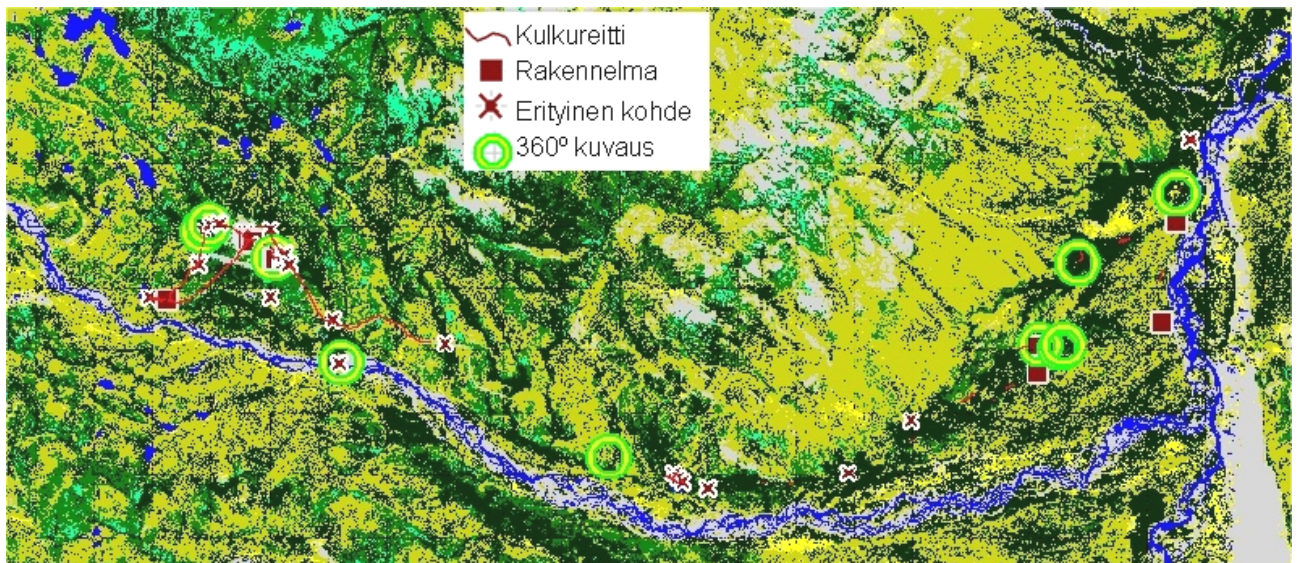
Retket suunniteltiin käytännön mahdollisuuksien mukaan paikallisen matkaoppaamme avulla tutkien samalla ohjaamattomalla luokittelulla luotua karttaa ja eri satelliittikuvien kanavayhdistelmiä. Retket kohdistettiin heinäkeruualueille, nautojen laidunalueille, satelliittikuvien tulkinnan kannalta merkittäviin kohteisiin kuten ominaispiirteeltään mahdollisimman yksiselitteisiin alueisiin sekä paikallisen tuntemuksen perusteella mielenkiintoisiin kohteisiin. Matkatessa havaintoja tehtiin ja tallennettiin jatkuvasti. Olosuhteet matkan aikana olivat tavanomaista huomattavasti kuivemmat. Usein heinäkorjaajat joutuvat seisoskelemaan ikiroudan viilentämässä hyisessä vedessä, auringon samalla porottaessa niskaan. Nyt maaperä oli heinämailla pitkälti kuivaa.

Vertausaineiston keräys suoritettiin valokuvaamalla eri kohteita ja samalla tallentamalla kohteen koordinaatit sekä ennalta määritellyjä attribuutteja. Attribuutteina oli kompassista katsottu kuvausilmansuunta, kohteen arvioitu etäisyys, kohteen tyyppi ja ominaisuudet, sekä muita paikan päällä tehtyjä havaintoja. Paikallisten haastatteluissa ilmeni tärkeää informaatiota, kuten heinäniittyjen pinta-alatietoja. Ympäristöstä kertyi lopulta noin 1 500 valokuvaa.

Kamerana toimi digitaalinen Sony dsc-F828, 8 megapikselin kamera. Kameralla pystyi taltioimaan 350nm - 1200nm aallonpituuksia, kun paljain silmin ja tavallisilla kameroilla aallonpituudet rajoittuvat 400nm - 725nm välimaastoon. Kameralla pystyttiin siis ennen kaikkea infrapuna-alueelta taltioimaan ja erottamaan tehokkaammin mineraalit ja eloperäinen aines toisistaan. Mukana oli myös suodattimia eri aallonpituusalueille. Laajemman aallonpituuden

tuomaa etua käytettiin tulkittaessa etäisempiä kohteita ja niiden mahdollisia luokituksia hajottamalla valokuvat ensin värikomponentteihin, tai tutkimalla samalta alueelta tavallista ja vain infrapuna-alueen kuvaa. Kun kuvaasuunta tunnettiin, kyettiin kauempana olevien kohteiden ominaisuuksia paremmin määrittelemään.

GPS-paikantimena oli Trimble GeoXT, johon sai taustakartan, sekä luotua oman data-kirjaston. Kirjaston pohjalta kuvauskohteiden useimmat attribuutit saatiin nopeasti valittua pudotusvalikoista. Laitteen tarkkuus kyseisessä sovelluksessa havaittiin olevan luokkaa < 10 metriä. Erityiset tallennuskohteet (kuva 6) olivat mm. ojan ylitykset, metsäpalot sekä taukopaikat. Niiden avulla lähinnä helpotettiin kuva-aineiston nopeassa selauksessa kartalla pysymistä. Kamera, joka tallentaa paikannuskoordinaatit suoraan kuvaan olisi ollut kätevä. Sellaista matkaan ei saatu.

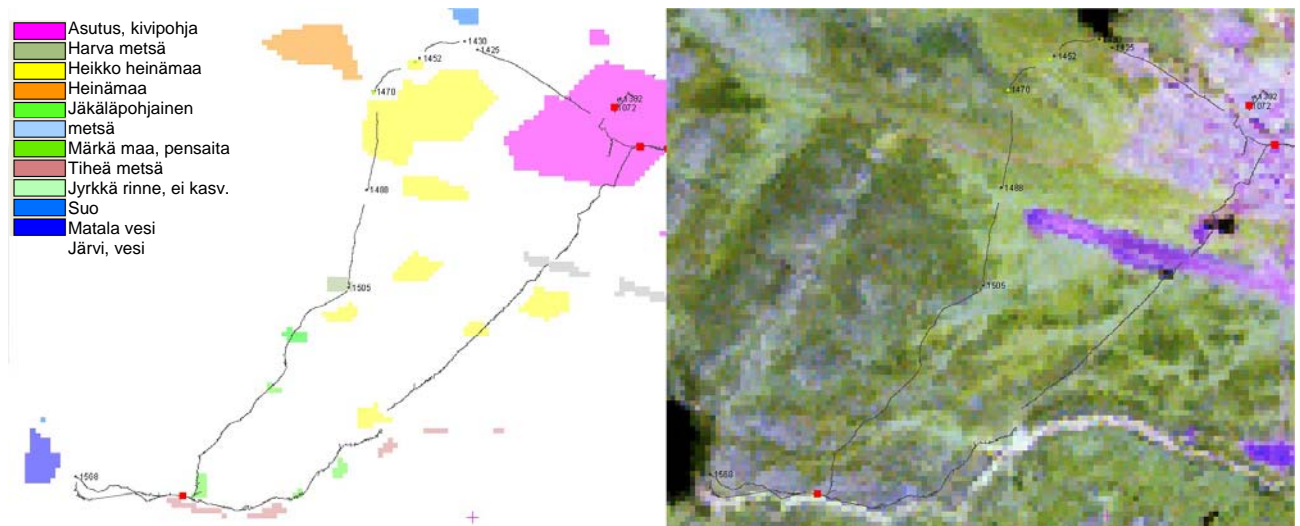


Kuva 6. Paikannusmerkintöjä kuljetulla alueella. Taustalla GPS:ään määritelty kartta. Kuvan leveys n. 47km.

Osa valokuvista yhdistettiin 360 asteen panoraamakuviksi, jotta eri alueista olisi helpompi saada parempi kokonaiskuva.

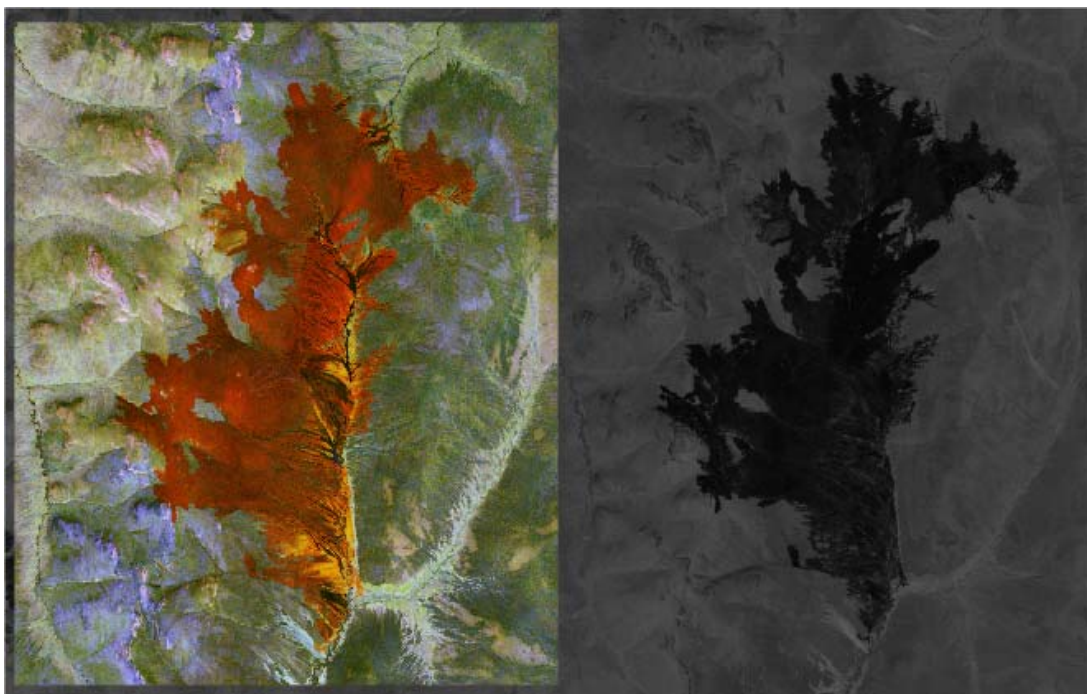


Kuva 7. 360 asteen kuvaus. Kohteena on Emerendyan, koillisin tutustumisalue.



Kuva 8. Kenttätöinä valmistetut opetusalueet, sekä kanavien (R7-G5-B2) satelliittikuva (© USGS 2001). Kuvan leveys n. 4km. Kuvissa näkyy myös yksi kuljettu reitti.

Yleisesti satelliittikuvia tarkastellessa huomio kiinnittyi tiettyihin voimakkaasti erottuviin alueisiin. Nämä alueet osoittautuivat hetki sitten palaneiksi kohteiksi. Itä-Siperiassa sattuu maastopaloja eniten elokuussa, vuosittain Venäjällä maastosta palaa n. 3,4 promillea (Zhang et al. 2003). Äskettäin palaneita alueita havaitaan huomattavista lähi-infrapun heijastuksen muutoksesta (Fraser et al. 2000). Maastopalot erottuivat selkeästi satelliittikuvilta. Heijastus oli voimakasta lähi-infra ja infrapun alueilla. Alueet ovat muodoiltaan yhteneviä tosin palamattomia saarekkeita saattaa olla joukossa. Alueet saattavat myös äkisti loppua maaston muutosten yhteydessä. Metsäpaloalueiden määrittelyn tulokset olivat yhteneviä Zhang et al. (2003) tutkimuksen kanssa.



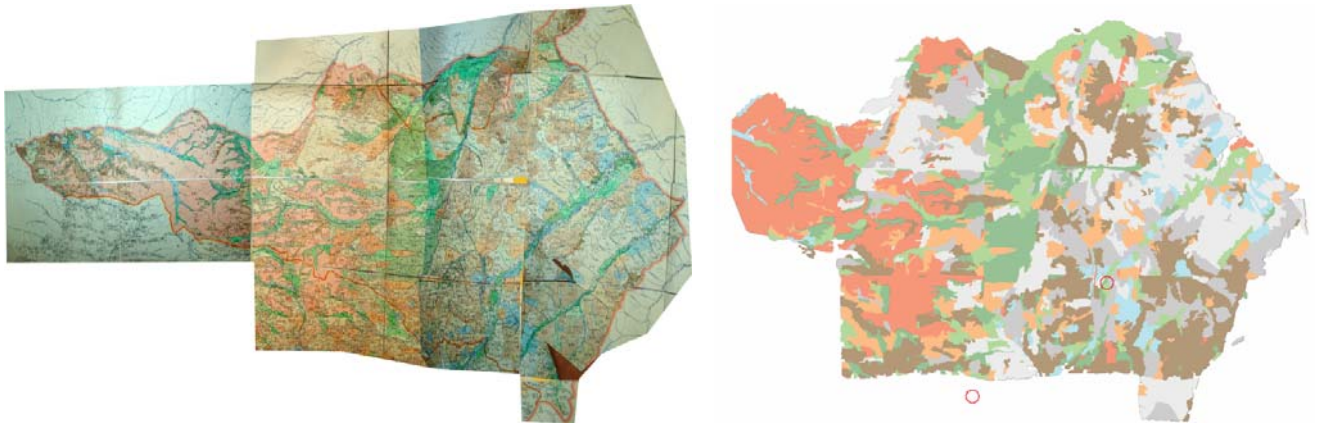
Kuva 9. Pinta-alaltaan n. 13 000 ha palanut alue. Vasemmalla (R7-G5-B2) kuva tasoitetulla kanayhdistelyllä, oikealla neljännän kanavan (lähi-infra) intensiteetti lineaarisesti esitettynä. (© USGS 2001).

Seudulla havaittiin myös mielenkiintoisia laaksoja. Laaksot selittivät se, että tämä Verhojanskin alue oli erittäin kylmä ja jäinen jääkaudella, mutta ilmasto oli liian kuivaa, jotta jäälaatat olisivat

ulottuneet matalimmille alueille (Wikipedia 2006). Näille alueille on muodostunut useita laaksoja, joissa kasvaa runsaasti siperianlehtikuusta.

3.3. 80-luvun kartat

Matkalla saimme nähtäväksemme 80-luvulta peräisin olevia karttoja. Saimme myös valokuvattua näitä karttoja. Porotalouskartoista saatiin muodostettua yksi laaja kokonaisuus. Valokuvattujen karttojen sävyarvot tasoitettiin suhteellisesti ja kuvat yhdisteltiin. Seuraavaksi yhdistelty kuva georeferoitiin ja oikaistiin paloittaisella affiinisella menetelmällä satelliittikuvien päälle. Yhteisiä pisteitä määriteltiin n. 400. Tämän jälkeen maankäytön mukaiset rajat haettiin siten, että hajotettiin yhdistelty ja oikaistu karttakuva RGB ja CMY värikomponentteihin. Vähennyslaskulla G (vihreä) – Y (keltainen) saatiin kartta, jossa ei aluerajojen lisäksi juuri muuta näkyntä. Tämä kartta muutettiin binäärisiksi ja vektoroitiin luomalla rasterirajoille ensin skeleton-runko (He et al. 2001) ja poistamalla tästä ei polygonaaliset osat. Luotujen alueiden luokat määrättiin alueen RGB kuvan sävyarvojen moodin mukaan. Luodun kartan pinta-alaksi muodostui n. 180 x 230 km.



Kuva 10. 80-luvun porotalouskartat valokuvattuna ja luokiteltuina.

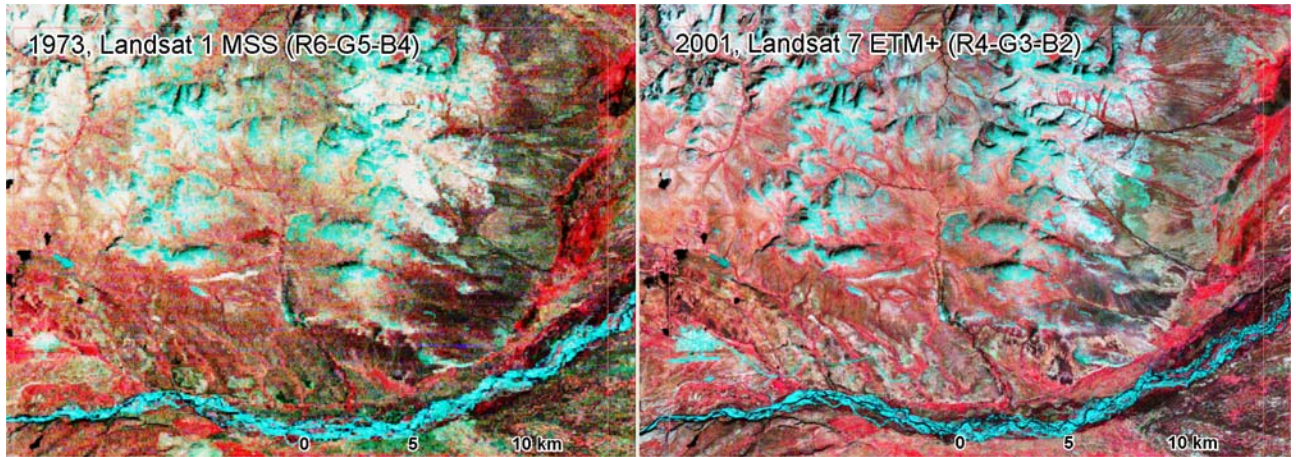
Karttojen alkuperäisestä 12 luokasta saatiin eroteltua kahdeksan luokkaa, yhdistettyjen luokkien ominaisuudet olivat lähellä toisiaan):

- Tummanvihreä: Rikas vihreä peite, > 5 poroa /ha /päivä
- Vaaleanvihreä: Huono vihreä peite, 2-5 poroa /ha /päivä
- Oranssi: Polkeutunut/ keskiverto jäkäläpeite, kaippaa 3-4 vuoden taukoa
- Ruskea: Rikas jäkäläpeite, > 14poroa/ha
- punainen: Kivikkoista aluetta / paljas maa
- Tummanharmaa: Kesälaitumia, jäkäläpeite ~7poroa /päivä/ ha
- Harmaa: Jäkälää ja vähän vihreää peitettä, 4-6poroa/ha
- Sininen: Köyhä maa, mahdollisesti märkää

Porotalouskarttojen lisäksi saatiin kuvattua yksittäisiä, hajanaisia maankäyttökarttoja eri puolilta tutkimusaluetta ja sen ympäristöä. Kartat oli kohtuullisen helppo paikallistaa jokien perusteella. Georeferoinnit näille kartoille suoritettiin kuten porotalouskartoille. Alueiden vähäisyydestä ja pienuudesta johtuen luokittelut suoritettiin manuaalisesti digitoiden. Kartoille ei saatu yksiselitteistä legenda. Tämä ei kuitenkaan estänyt käyttämästä näitä maankäyttökarttoja tutkittaessa satelliittikuvien luokittelun onnistumista.

3.4. 70-luvun satelliittikuvat

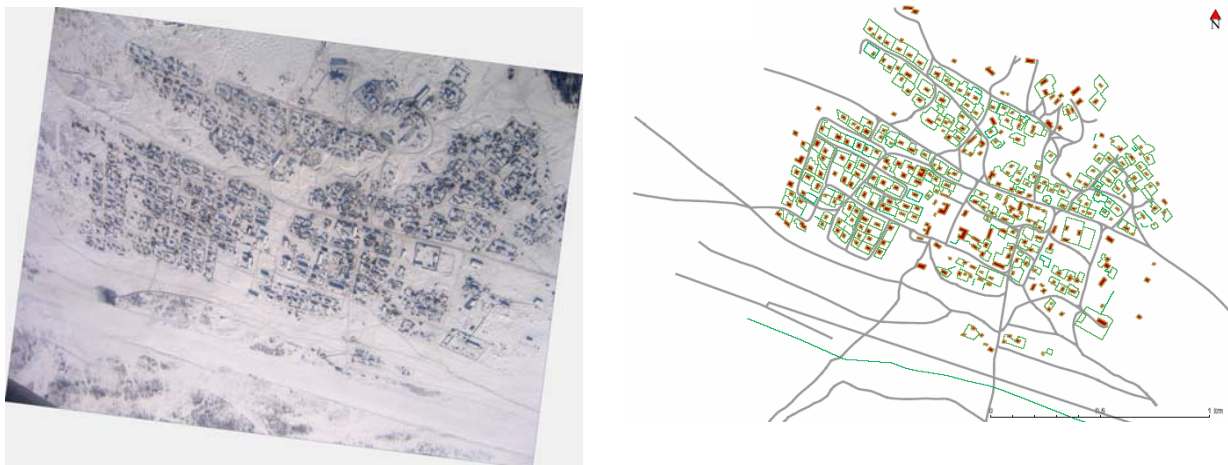
Suhteellista kalibrointia 70-luvun kuville verrattuna 2000-luvun kuviin ei tehty. Kanavien eri aallonpituudet, satelliittien eri kuvaustekniikka ja kuvausaikojen erot johtivat tähän ratkaisuun. Kalibroinnit eivät välttämättä edes ole tarpeellisia tai paranna tuloksia (Häme 1991). Kuvat oikaistiin geometrisesti päällekkäin tunnistamalla yhteneviä hahmoja ja käyttämällä yhdenmukaista projisointia. Hahmoina käytettiin pääosin useita järviä ja jokia huomioiden jokien ulkokurvin suurempi kulutus vuosien kuluessa.



Kuva 11. Vuoden 1973 ja 2001 väärivärikuvat (© USGS 1973, © USGS 2001)).

3.5. Lentokoneesta käsin kuvattu kylä

Edellisenä talvena Batagay-Alytasta oli otettu valokuva lentokoneesta käsin. Tämä valokuva oikaistiin satelliittikuvien ja paikalta kerätyn paikkatietoinformaation päälle paloittaisella affiinisella menetelmällä. Ensin kontrastia kasvatettiin, jonka jälkeen rakennukset, tiet sekä pihapiirejä rajaavat aidat digitoitiin. Tässä keskuskylässä erillisiä pihapiirejä laskettiin olevan n. 250 kpl. Asukkaita kylässä on vajaa 1500.



Kuva 12. Ilmasta otettu valokuva Batagay-Alytasta ja sama kohde digitoituna. (valokuva: Anu Osva).

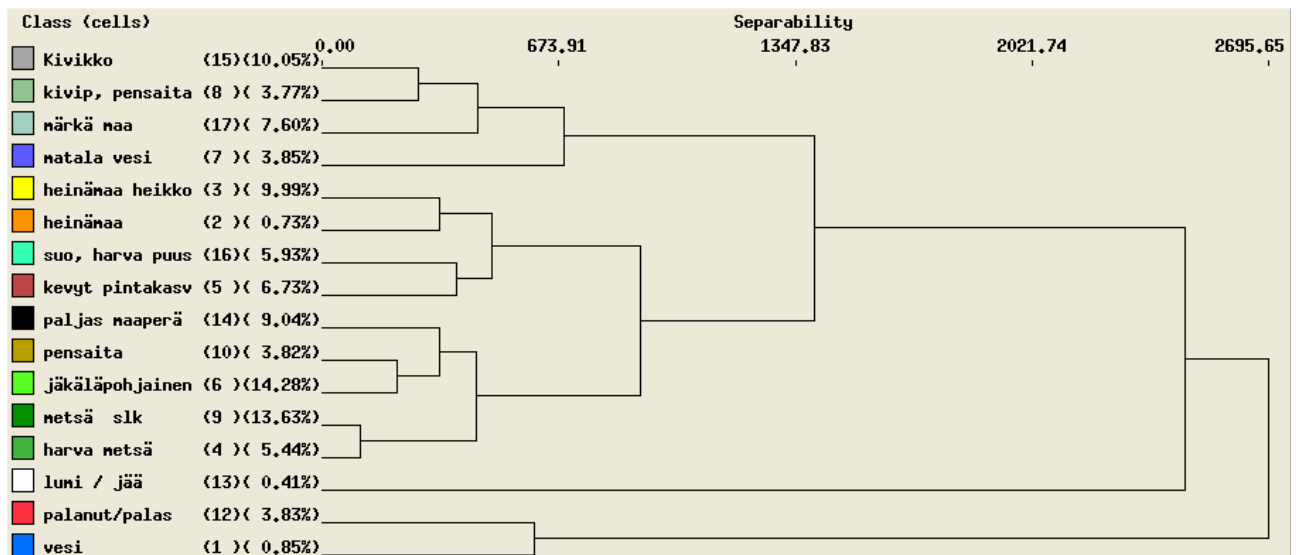
4. Satelliittikuvien lopullinen käsittely

ISODATA luokittelut suoritettiin Microimages TNTmips ohjelmistolla. Eri asetuksia kokeiltiin useampia, mutta lopulta tyydyttävä erottelukyky saatiin kun luokkien lukumäärä valittiin manuaalisesti 42:ksi, maksimi iteraatioita oli 20, maksimi keskihajonta 3,8, minimi keskihajonta 3,3, solujen minimilukumäärä 1000 ja yhteen liittämisen minimiarvo 3,3. Keskihajonnan raja oli tavanomaista pienempi, jolla pyrittiin onnistuneesti jakamaan suurimpia luokkia. Pienet ositteet eivät ole tulkinnan kannalta toivottavia, joten asettamalla pikseleiden lukumäärälle minimivaatimus, saadaan vain isompia luokkia. Liian pieniksi jäävät ositteet yhdistetään lähimpiin ositteisiin ja kokonaisuudelle lasketaan uusi keskiarvovektori, sekä kovarianssimatriisi. Liittämistä jatketaan, kunnes kaikissa ositteissa on vaadittu vähimmäismäärä havaintoja. Määritetyt 42 luokkaa vähennettiin 38:een dendrogrammin euklidisen etäisyyden mukaan yhdistämällä eniten toisen ryhmän kaltaiset pienet luokat manuaalisesti tähän lähimmäiseen ryhmään. Luokittelun onnistumista mitattiin vertaamalla määriteltyjen luokkien ja kohteesta kerättyjen opetusalueiden välistä korrelaatiota.

Kenttätöinä kerätyn aineiston perusteella tutkimusalueen kohteet jaettiin 18 mahdolliseen luokkaan. Luokille määriteltiin opetusalueet valokuvilta ja paikkatiedoista. Opetusalueiden kattavuus pyrittiin maksimoimaan. Kullakin opetusalueella oli pikseleitä keskimäärin 430, pois lukien palaneet alueet, vesistöt ja lumi, joille pystyttiin määrittelemään huomattavasti suuremmat opetusalueet. Alueiden yksiselitteisyyttä huomioitiin tarkkailemalla opetusalueiden kovarianssimatriiseja, sekä luokkien solujen keskihajontaa alueita määrittäessä. Tuloksista ruvettiin saamaan luontevampia, kun lisättiin ”märkä maa” luokka. Ikiroudasta johtuen vähäisenkin vesi jää helposti maanpinnalle, jolloin maan pintakosteudessa voi olla huomattavia vaihteluita. Oletettavaa oli, että olosuhteet satelliittikuvien kuvaushetkellä ovat olleet huomattavasti märemmät kuin meidän paikanpäällä vieraillessa. Oletamus varmistettiin myöhemmin paikallisilta ihmisiltä. Luokkia muodostui lopulta 20.

ISODATA:n 38 luokalle suoritettiin maximum-likelihood luokittelu käyttäen apuna 20 luokan opetusalueita ohjaajana. Vähimmäistodennäköisyyden raja oli 35 %. Näin saatujen 20 luokan lukumäärä pienennettiin vielä 16:een manuaalisesti dendrogrammi-analyysillä, yhdistäen samankaltaisimmat luokat keskenään. Tässä vaiheessa tarkistettiin myös yhdistettävien luokkien samankaltaisuus opetustiedoissa. Lopuksi kuville suoritettiin moodi 3x3-suodatus, eli kukin pikseli on korvattu 3 x 3 ympäristönsä yleisimmällä arvolla.

Opetusalueet ulottuivat vain toisen satelliittikuvan alueelle. Toisen kuvan kanavien sävyarvot kalibroitiin ensin vastaamaan opetusalueet sisältävää kuvaa. ISODATA luokittelut ja dendrogrammi-yhdistelyt tehtiin toiselle kuvalle kuten ensimmäiselle. Maximum-likelihood metodissa opetusalueena käytettiin opetusalueet sisältävän kuvan luokittelutuloksia kuvien limittäin menevältä osalta, karsien kuitenkin epäselvimät alueet pois. Satelliittikuvista noin 10 % meni limittäin. Viimeiset luokkayhdistelyt tehtiin samoille luokille molemmilla kuvilla. Lopuksi kuvat yhdistettiin. Limittäin menneet osiot olivat lopussa 89,6 prosenttisesti yhtenevät.



Kuva 13. Dendrogrammi ja euklidinen etäisyys yhdeltä tulkitulta satelliittikuvalta.

4.1. Vertaus 70-lukuun

Aluksi vuoden 1973 kuvat luokiteltiin ISODATA menetelmällä, samoilla parametreilla kuin vuoden 2001 kuvat. Seuraavaksi luokittelua jatkettiin maximum-likelihood menetelmällä käyttäen apuna pienehköä osaa 2000-luvun luokiteltujen kuvien yli 80 % varmuudella olevista alueista sekä opettamalla erikseen vesistöt, pilvet ja hiljattain palaneet alueet. Nämä tulokset vaikuttivat riittävän yhteneviltä 2000-luvun kuvien kanssa, joten menetelmä valittiin lopulliseksi. Pienehköön osaan valitut alueet valittiin siten, että pyrittiin minimoimaan mahdollisesti muuttuneiden alueiden valintaa. Tämä tarkoitti sitä, että suosittiin myös aiempaa asutusta etäällä olevia kohteita, korkeusprofiilin mukaan vaikeakulkuisia kohteita, sekä kuvavertailussa muuttumattoman näköisiä kohteita.

Ongelmina 70-luvun luokittelussa oli se, että mitään todellista tietoa tältä aikakaudelta ei alueelta ollut. Täytyi siis hyödyntää 2000-luvun aineistoa, jolloin virheet kumuloituvat. Uusina virhelähteinä tuli 70-luvun kuvien ajankohta, silloisten heinämaiden niittäminen ja kulottaminen, sekä hajanaisempi asutus. Asutusten sijainnista saimme jonkinlaisen käsityksen matkan aikana.

5. Tulokset

Vuoden 2001 Landsat ETM+ 7 kuvat luokiteltiin 16 luokkaan. Käyttötarpeen mukaan osan luokista voi yhdistellä tarvittaessa, jos halutaan keskittyä tutkimaan vain tiettyjä ominaisuuksia. Luokat valittiin siten, että ne vastaisivat parhaiten tutkimuksellisia tarpeita, kuitenkin siten että paino oli ominaisuuksilla, jotka parhaiten satelliittikuvilta pystyttiin tulkitsemaan. Heinämaiden erottelu korostui tarpeissa, kun taas vuoriston vaihteleva kasvillisuus ei ollut tässä tutkimuksessa kiinnostavaa.

Puusto alueella on lähes yksinomaan siperianlehtikuusta. Aluskasvillisuus vaihtelee kosteuden ja korkeuden mukaan. Pensaita esiintyy lähes kaikkialla. Pensaat ovat pääosin pajuja. Kerättävän heinän lisäksi alueella kasvaa paljon mm. hukkakauraa ja horsmaa. 1/3 tutkimusalueesta on metsää, samoin 1/3 alueesta on kevyen heinämaan peitossa. Näistä heinämaista kuitenkin vain n. 10 % on hyödynnettävissä rehuksi.

Lopputuloksen mukaiset 16 luokkaa selityksineen

Kivikko
Kiviä, soraa, kalliota



Pensaita, kivipohja
Kivisillä ja kallioisilla alueilla harvaa pintakasvustoa. Vuoristossa ja joen rannalla



Märkä maa
Kuvaushetkellä veden osittain valtaama, aluskasvusto saattaa olla mitä vain



Matala vesi
Ei aina veden peitossa, virta huuhtonut ravinteet



Heinämaa, heikko
Lyhyttä heinää, saattaa joinain vuosina olla käyttökelpoista.



Heinämaa
Naudan ravinnoksi kerättävän heinän kasvualueet



Suo
Vetinen pohja, puita harvakseltaan. Ajoittain mahdollista korjata heinää



Kevyt pintakasvillisuus
Rinteet ja lähes paljaat maat



Paljas maaperä
Rinteet, asuinalueet



Pensaita, taimia

Pensaita ja kaiken
kokoisia taimia
Välissä ajoittain
kelvollista
heinämaata.



Jäkäläpohjainen metsä

Porojen suosimaa
aluetta, puita
harvakseltaan



Metsä

Siperian lehtikuusia
tiheään



Harva metsä

Sammalpohja,
Siperian lehtikuusia
harvakseltaan



Lumi / jää

Talven valtaamat
vuoristoalueet



Vesi

Joki, puro, järvi tai
lampi

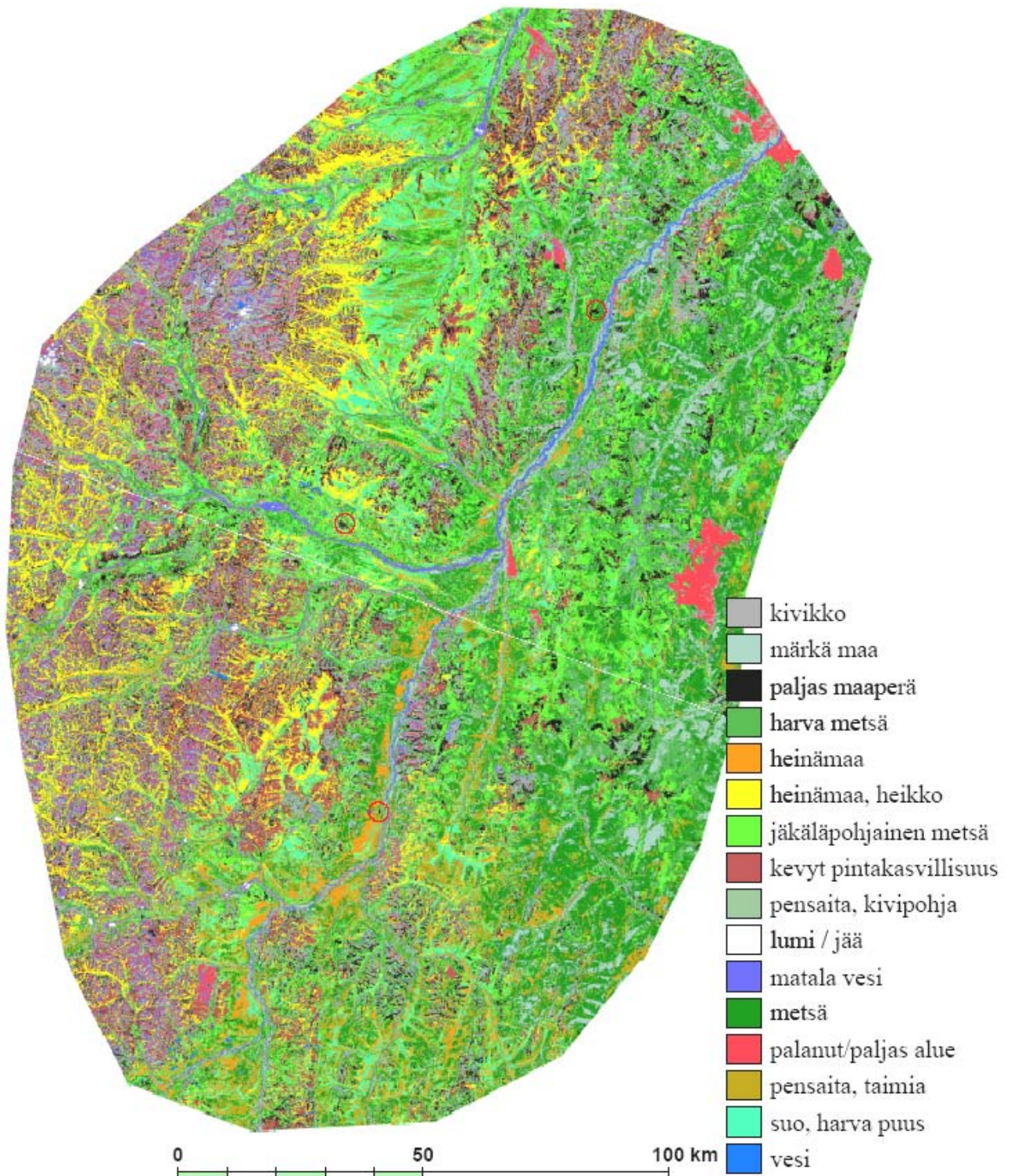
Palanut/paljas alue

Hiljattain itsestään
palanut tai kulotettu
maa, tai
ominaisuuksiltaan hyvin
samanlainen,
päälyyskasviton alue



kuva 14. kuvia ja selityksiä tutkimusalueen luokista.

Luotu kartta



Kuva 15. Valmistettu ja rajattu kartta analyysejä varten.

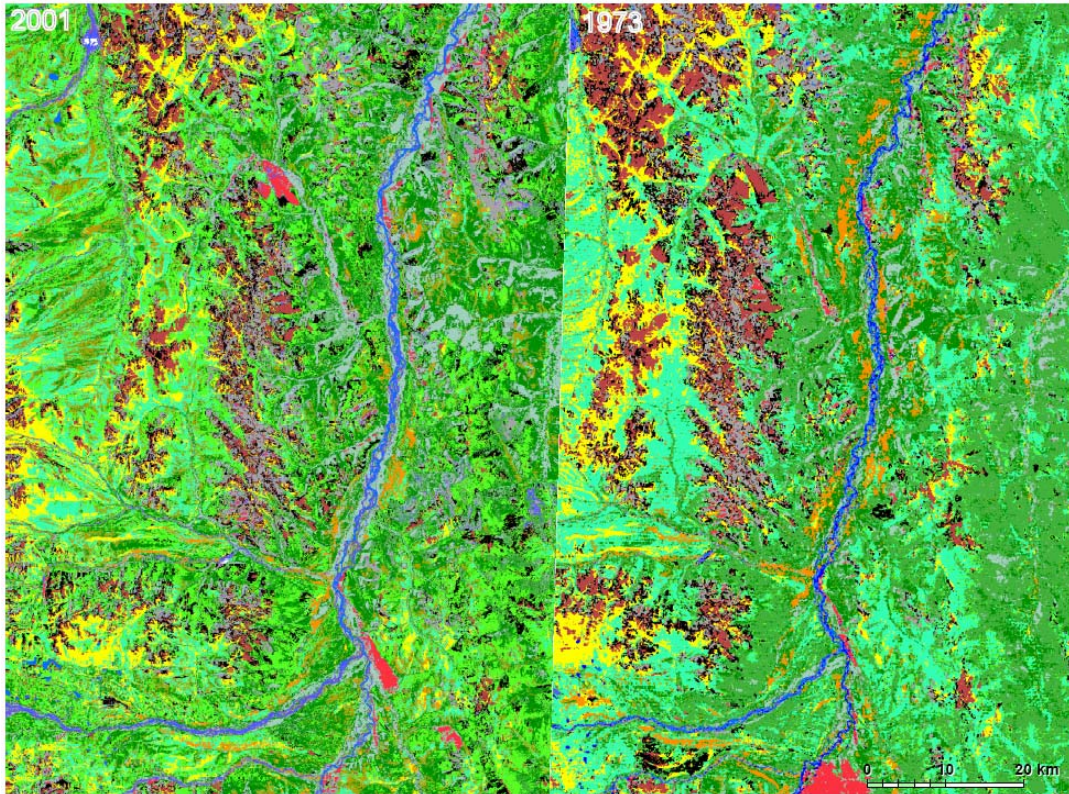
Kooltaan rajattu tutkimusalue on n. 3 miljoona hehtaaria, eli n. 200 km x 150 km. Tarkoituksena oli kohdistaa tutkimus n. 50 km säteelle jokaisesta kylästä. Tutkimusalue jakautuu seuraavan taulukon mukaisiin luokkiin ja niiden osuuksiin:

Luokka	%
metsä	14,2
jäkäläpohjainen harva metsä	13,5
heinämaa heikko	9,7
paljas maaperä	8,4
Kivikko	7,6
suo, harva puusto	7,4
kevyt pintakasvusto	7,4
märkä maa	7,1
pensaita, taimia	6,9
harva metsä	5,4
palanut / paljas alue	3,5
pensaita, kivipohja	2,9
matala vesi	2,9
heinämaa	2,3
vesi	0,6
lumi / jää	0,2

Taulukko 2. Luokat ja niiden prosenttiosuudet vuoden 2001 kuvilta.

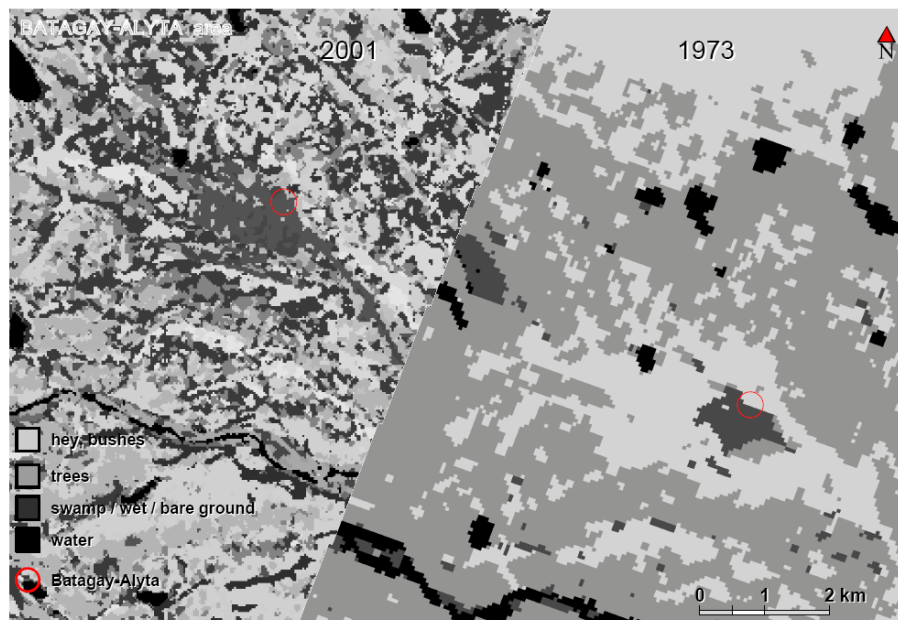
Vertailuaineistoa kohteesta oli melko mahdotonta saada, mutta saman alueen Venäläisen sosio-ekonomisperusteisen tutkimuksen maankäyttö-osion (Anonyymi 2004) mukaan metsää alueella on 12,5 %. Verrattuna saatuun tulokseen 14,2 % voidaan tulosta pitää melko hyvänä, sillä tutkimusalueet eivät ihan tarkasti vastaa toisiaan, eikä määritysajankohtien kosteus- ym. olosuhteista ole tarkkaa käsitystä. Samainen vertaustutkimus luokitteli 98 % maasta metsävarojen alaisuuteen, sekä 1,4 % maatalouteen.

Vertailussa 70-lukuun todettiin, että maankosteuden huomattavat erot vaikuttivat liikaa tulokseen. Manuaalisella tarkastelulla kuitenkin todettiin, että mitään suurempia muutoksia alueella ei ole tapahtunut, vaan erot vuosien 2001 ja 1973 välillä ovat syntyneet läheisten luokkien välillä. Kun huomioidaan kuvausten ajankohdan erot ja kosteuden erot, voidaan todeta, että tarkastelussa voidaan pääosin keskittyä vain elollisen ja elottoman aineksen vaihteluun. Muutokset niissä suhteissa havaittiin olevan olemattomia. 70-luvun luokitelluista kuvista saatiin pääosin hyötyä kylien lähiympäristöjen muutoksista. 70-luvun haja-asutusta, eli yksittäisiä mökkejä pihapiireineen ei kuvilta luotettavasti pystytty tunnistamaan.



Kuva 16. Luokitellut kartat vuodelta 2001 ja 1973.

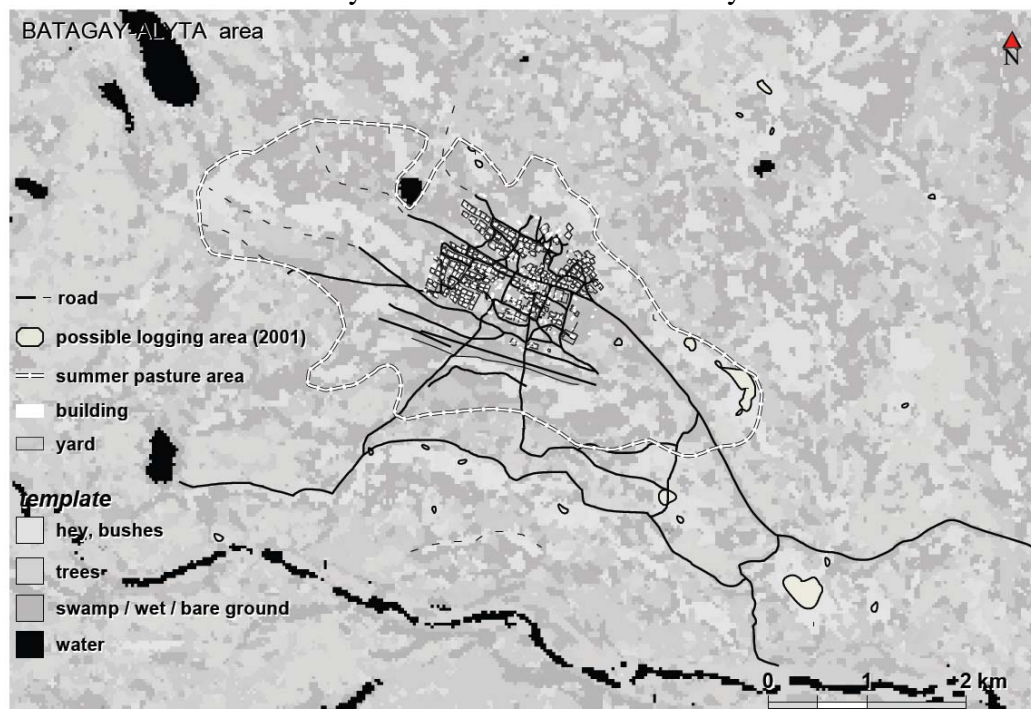
Pinta-alallisesti Batagay-Alyta oli kasvanut 37 % vuosien 1973 ja 2001 välillä.



Kuva 17. Batagay-Alyta vuosina 2001 ja 1973.

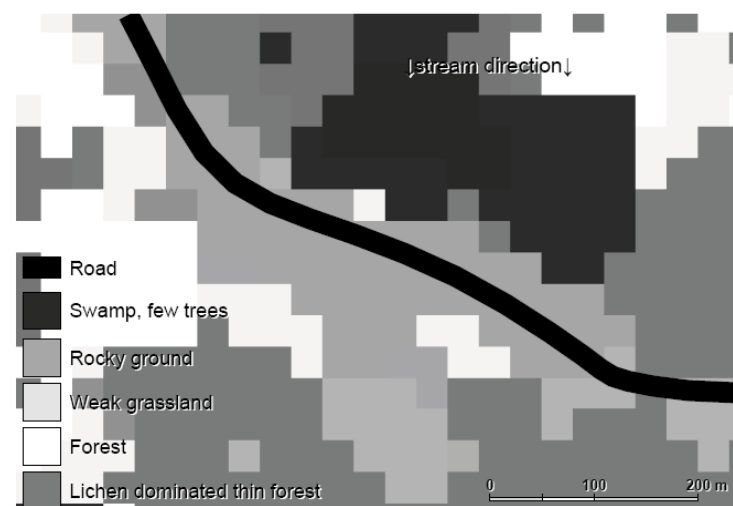
Matkamme aikana emme juuri törmänneet hakkuualueisiin, tarkoituksellisesti tai ei. Käsitys kuitenkin oli selkeä, että hakkuita alueella on. Puuta käytetään nimenomaan paikalliseen lämmitykseen ja rakentamiseen, ei tietävästi vientiin. Hakkuiden selvittämiseksi päätettiin luoda kartta (kuva 13) lähi-infran ja punaisen aallonpituuden intensiteettisimmiltä alueilta jotta saataisiin

selville mahdollisia vuoden 2001 hakkuualueita. Hyväksytyjen alueiden naapurisuissa tuli lisäksi olla metsää. Lisäksi vuoristossa tai kylistä kaukana olevat alueet hylättiin.



Kuva 18. Batagay-Alytan lähiympäristö ja mahdolliset hakkuualueet.

Paikan päällä oli nähtävissä ja myös luokitelluilta kartoilta havaittiin, että luokitteluryhmä vaihtui siirryttäessä tien puolelta toiselle. Tämä johtui siitä, että joen suuntaisesti kulkeva tie patoaa lähellä pintaa virtaavan veden toiselle puolelle, jolloin tien toinen puoli soistuu ja toinen puoli kuivuu. Veden virtaussuunta pääteltiin korkeusmallin perusteella.



Kuva 19. Virtaavien vesien patoutuminen tien toiselle puolelle

Satelliittikuvatulkintojen lisäksi tuloksiksi saatiin digitoitu kartta Batagay-Alytasta (kuva 12), sekä 80-luvun porotalouskarttoja digitaalisessa muodossa (kuva 10).

6. Tarkkuus

Vuoden 2001 luokiteltujen satelliittikuvien kartan ominaisuudet vastasivat 79,6 % 80-luvulta valokuvattuja maankäyttökarttoja, joiden legendasta ei ollut tietoa. Maankäyttökartoista saatiin hahmotettua kahdeksan eri luokkaa. 80-luvun porotalouskarttojen kanssa yhtenevyys oli < 30 %. Tämä on ymmärrettävää, sillä porotalouskartoilla mallinnettavat ominaisuudet poikkesivat huomattavasti, ja vaihtelevat muutamassa vuodessa radikaalisti. Yksittäisten luokkien korrelaatiota ei tarkasteltu erikseen.

Tutkimuskohteen erityisominaisuudet, sekä hyvien satelliittikuvien heikko saatavuus kyseenalaistavat kuitenkin luokittelun tarkkuuden. Lopullisen kartan heinämaiden määrä pohjoisimman kylän, eli Kusturin ympäristössä ei vastaa sitä, mitä meille kerrottiin. Tämän kylän luona emme päässeet käymään. Tutkittava alue suhteessa kulkumahdollisuuksiin ja alueen vaihteluun oli kohtalaisen suuri. Voidaan ajatella, että luokittelutulokset ovat sitä tarkempia, mitä lähempänä tarkistettuja alueita olevia alueita tarkastellaan. Mielenkiinnon kohteena olleet heinämaat oli puitu hetkellä, jolloin satelliittikuvat oli otettu. Kaikkia heinämaita ei kuitenkaan hyödynnetä jokaisena vuonna. Haastattelujen perusteella soveliaita heinämaita voidaan noin kahtena vuotena kolmesta. Puinnit tapahtuvat yleensä aina heinäkuussa. Lisäksi osa heinämaista kulutetaan vuosittain. Vuonna 2005 kerätty vertausaineisto ja syksyn 2001 satelliittikuvissa on varmasti poikkeavuuksia. Maankosteuden vaihtelu ja 2001 vuoden satelliittikuvien myöhäinen ajankohta ovat kuitenkin asioita, mille tämän projektin tiimoilla ei mitään voitu tehdä. Landsat 7:kään ei ole enää käyttökunnossa. Mahdollisia muiden satelliittien kuvia kohteesta ei tämän projektin puitteissa ollut enää mahdollista hankkia. Vaihtoehtoina saattaisi olla esimerkiksi SPOT satelliittien multispektraaliset kuvat, joilla on tallennettuna kolme tai neljä kanavaa 500 - 1750 nm väliltä.

7. Johtopäätökset

Tuotetuilla alueellisilla tiedoilla pystytään tukemaan Jakutiankarjan elinolojen tutkimusta. Huolimatta monista satelliittikuvaluokittelun virhelähteistä, kaukokartoitustutkimuksella kyettiin todentamaan useita epäselviä ominaisuuksia. Kylien lähiympäristöstä luontoa kulutetaan sumeilematta. Käyttökelpoiset heinämaat sijaitsevat keskuskylästä (Batagay-Alyta) pääosin yli 10 km päässä. Tämä vaatii erityistä logistista toimintaa, joka asettaa kuljetuskaluston omistajat monopoliasemaan. Parempaa tiestöä kohti heinämaita rakennetaan reilun kilometrin vuosivauhtia. Tiestön rakentaminen muuttaa veden virtauksia ja toimii patona vuoristosta jokeen virtaavalle vedelle. Vuosikymmenien aikana väestö on muuttanut kyliin paremman elintason perässä. Keskuskylän pinta-ala on kasvanut 37 % viimeisen 30 vuoden aikana.

Lähi-infrapunakanavan tallentavaa kameraa kyettiin hyödyntämään kenttätöissä, ennen kaikkea kuvatessa kauempana olevia vuoristorinteitä. Tällaisessa käytössä kuvauspaikka, suunta ja oletettu kuvauskohteen etäisyys on äärimmäisen tärkeää tietää.

Puitujen alueiden sekä maankosteuden säilyessä tuntemattomina satelliittikuvaluokittelusta ei saatu kattavasti luotettavaksi. Näitä tuntemattomia ei tiedostettu projektin alkuvaiheissa, jolloin satelliittikuvat hankittiin ja matkan ajankohta päätettiin. Mahdollisimman luotettavan luokittelun hakeminen vei projektista huomattavan osan aikaa. Projektissa tutustuttiin laajasti arktisten alueiden kartoitukseen ja luotiin näin ollen vastaavanlaisille projekteille vakaa pohja.

8. Läheteet:

- Aleksejev, V., Belov, S. 1960.: *Spektrale Reflexion von Bäumen u.a. Bildobjekten westlichen Ukraina. Trudy Lab. Aeromet., 10:105-122.*
- Anonymi, 2004. *Programme of socio-economic development of municipal formation "Eveno-Bytantaisky ulus" during 2004-2007. Batagay-Alyta, 2004. s. 31. "Written by economists from Yakutsk by request from Eveno-Bytantaisky ulus."*
- Brown, R. J., Ahern, F. J. 1980. *The field spectral measurements program of the Canada centre for remote sensing. Canadian journal of remote sensing, 6:26-37.*
- Chavez, P. S., Jr., 1996. *Image-based atmospheric corrections revisited and improved. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 62:1025- 1036.*
- Colpaert, A., Kumpula, J., Nieminen, M. 1995. *Remote sensing, a tool for reindeer range land management. Polar Record, 31(177), 235-244.*
- Craighead, J. J., Craighead, F. L. 1982. *A definitive system for analysis of grizzly bear habitat and other wilderness resources. Monograph no. 1. Missoula, MT: Wildlife – Wildlands Institute.*
- Craighead, J. J., Craighead, F. L., Craighead, D. J., Redmond, R. L. 1988. *Mapping arctic vegetation in northwest Alaska using Landsat MSS imagery. National Geography Research, 4(4), s. 496-527.*
- Curran P. 1985. *Principles of remote sensing. Longman Group Limited, Essex, Iso-Britannia. s. 282*
- Duda R., O., Hart, P. E. 1973. *Pattern classification and scene analysis. New York: Wiley.*
- Fraser, R. H., Li, Z., ja Landry, R. 2000. *Hotspot and NDVI Differencing Synergy (HANDS): A new technique for burned area mapping over boreal forest. Remote Sensing of Environment, 74, 362-376.*
- George, T. H., Stringer, W. J., Baldrige, J. 1977. *Reindeer range inventory in Western Alaska from computer-aided digital classification of Landsat data. 11th International symposium on remote sensing s. 677-682. Ann Arbor, MI: Environmental Research Institute of Michigan.*
- Guidon, B., Goodenough, D. G., ja Teillet, P. M. 1982. *The role of digital terrain models in the remote sensing of forests. Canadian Journal of Remote Sensing 8(1):5-16.*
- Hagner, O., Rigina, O. 1995. *Detection of forest decline in Monchegorsk area. Development of environmental technology in the Barents region. Proceedings of the inaugural symposium, Kemi, Suomi, Huhtikuu 18-19, 1995 (s.113-121). Kemi: Studio Village.*
- Hagner, O., Rigina, O. 1998. *Detection of forest decline in Monchegorsk area. Remote Sensing of Environment, 63, 11-23*
- He X., Hintz T., Wu Q., 2001. *Skeleton Algorithm on Clusters for Image Edge Detection," ipdps, p. 30134, 15th International Parallel and Distributed Processing Symposium (IPDPS'01)*

Workshops, 2001.

Knibling, E. B. 1970. *Physical and physiological basis for the reflectance of visible and near-infrared radiation from vegetation. Remote sensing of environment* 1:155-159.

MacQueen, J. B. 1967. *Some Methods for classification and Analysis of Multivariate Observations, Proceedings of 5-th Berkeley Symposium on Mathematical Statistics and Probability, Berkeley, University of California Press, 1:281-297*

Muller, S. V., Racoviteanu, A. E., Walker, D. A. 1999. *Landsat MSS-derived land-cover map of northern Alaska: extrapolation methods and a comparison with photo-interpreted and AVHRR-derived maps. International Journal of Remote Sensing, 20, 2921-2946.*

Paris, Jack F., 2005. *Calibrate Satellite Images to Surface Reflectance*
<http://www.microimages.com/documentation/cplates/71SRFI.pdf> 11.11.2006

Rees, W. G. 1990. *Physical principles of remote sensing. Cambridge: Cambridge University Press*

Rees, W. G., Golubeva, E. I., Williams, M. 1998. *Are vegetation indices useful in the Arctic? Polar Record, 34, 333-336,*

Rees, W. G., Williams, M. 1997. *Monitoring changes in land cover induced by atmospheric pollution in the Kola Peninsula, Russia, using Landsat-MSS data. International Journal of Remote Sensing, 18(8), 1703-1723.*

Rees, W. G., Williams, M., Vitebsky, P., 2003. *Mapping land cover change in a reindeer herding area of the Russian Arctic using Landsat TM and ETM+ imagery and indigenous knowledge. Remote Sensing of Environment 85 (2003) s.441-452.*

Rencz, A. 1999. *Remote Sensing for the Earth Sciences. Manual of Remote Sensing Third Edition, Volume 3.*

Smith, R. B. 2006. *Image Classification. Microimages TNTMips tutorials. s.23*
<http://www.microimages.com/getstart/pdf/classify.pdf> 5.3.2007

Tokola, T., Hyypänen, H., Miina, S., Vesa, L., Anttila P. 1998. *Metsän kaukokartoitus, Silva Carelica; 32*

Toutoubalina, O. V., Rees, G. W. 1999. *Remote sensing of industrial impact on Arctic vegetation around Noril'sk, northern Siberia: preliminary results. International Journal of Remote Sensing, 20, 2979-2990.*

Tømmervik, H., Høgda, K. A., Solheim, I., 2003. *Monitoring vegetation changes in Pasvik (Norway) and Pechenga in Kola Peninsula (Russia) using multitemporal Landsat MSS/TM data. Remote Sensing of Environment 85 (2003) 370-388.*

Tømmervik, H., Lauknes, I. 1987. *Kartlegging av reinbeiter ved hjelp av Landsat 5/TM data i Kautokeino, Nord-Norge. Rangifer, 7, 2-14.*

Walsh, S. J. 1980. *Coniferous tree species mapping using LANDSAT data. Remote Sensing of Environment* 9:11-26.

Wikipedia, 2006. *Siberia, Geography and geology. The Verkhoyansk Range*
<http://en.wikipedia.org/wiki/Siberia> 11.11.2006

Virtanen, T., Mikkola, K., Patova, E., Nikula, A., 2002. *Environmental Pollution, Volume 120, Issue 3, December 2002, s. 647-658.*

Zhang, Y.H., Wooster, M. J., Toutoubalina, O., Perry G.L.W., 2003. *Monthly burned area and forest fire carbon emission estimates for the Russian Federation from SPOT VGT. Remote sensing of environment, vol. 87, no 1, pp. 1-15*