



И.О. Смирнова, Л.Л. Сухачева А.А. Русанова

**ИЗУЧЕНИЕ ДИНАМИКИ ТЕРМОКАРСТОВЫХ ОЗЕР И БЕРЕГОВОЙ
ЛИНИИ МОРЯ НА СЕВЕРО-ВОСТОКЕ ЕВРОПЕЙСКОЙ ЧАСТИ
РОССИИ ПО МАТЕРИАЛАМ РАЗНОВРЕМЕННЫХ КОСМИЧЕСКИХ
СЪЕМОК**

**STUDYING OF THERMOKARST LAKES AND THE SEA COASTLINE
DYNAMICS IN THE NORTH EAST OF EUROPEAN PART OF RUSSIA
USING MULTITEMPORAL SATELLITE IMAGES**

***«НИИКАМ» – филиал ФГУП ЦНИИмаш
СПб, Пулковское шоссе, 82***

E-mail: sio_iv@mail.ru, sukhacheval@mail.ru, raader@mail.ru

2013

Основные задачи

- Изменения термокарстовых озер, выявленные по разновременным космическим снимкам, многими авторами рассматриваются, как возможные индикаторы состояния многолетнемерзлых пород . Однако, даже по одним и тем же регионам получены противоречивые результаты: в одних случаях отмечается уменьшение площади озер, в других – их увеличение.
- На примере собственных исследований авторы делают попытку объяснить причину таких расхождений, исходя из методических аспектов обработки материалов аэро-космических съемок.
- Рассматриваются также изменения береговой линии арктических морей.

Методика исследований

Обработка и анализ данных осуществлялись на базе программного обеспечения ГИС (ERDAS Imagine, Map Info) и включали следующие операции:

- **создание базы данных разновременных космических снимков;**
- **пространственное совмещение разновременных снимков, топографических, геологических и ландшафтных данных;**
- **относительная радиометрическая калибровка снимков ;**
- **интерактивное дешифрирование разновременных снимков, вычисление площади изменившихся объектов;**
- **выявление изменений в автоматическом режиме с использованием различных алгоритмов (создание цветowych композиций RGB из разновременных изображений, создание разностных изображений с последующей классификацией, метод главных компонент);**
- **анализ спектральных характеристик и построение спектральных кривых для различных объектов.**



Используемые данные

Использовались многоспектральные космические снимки:

- **LANDSAT 4 TM (июль-август 1988),**
- **LANDSAT 7 ETM+ (июль 2000)**
- **ALOS AVNIR-2 (июль 2007, октябрь 2006)**

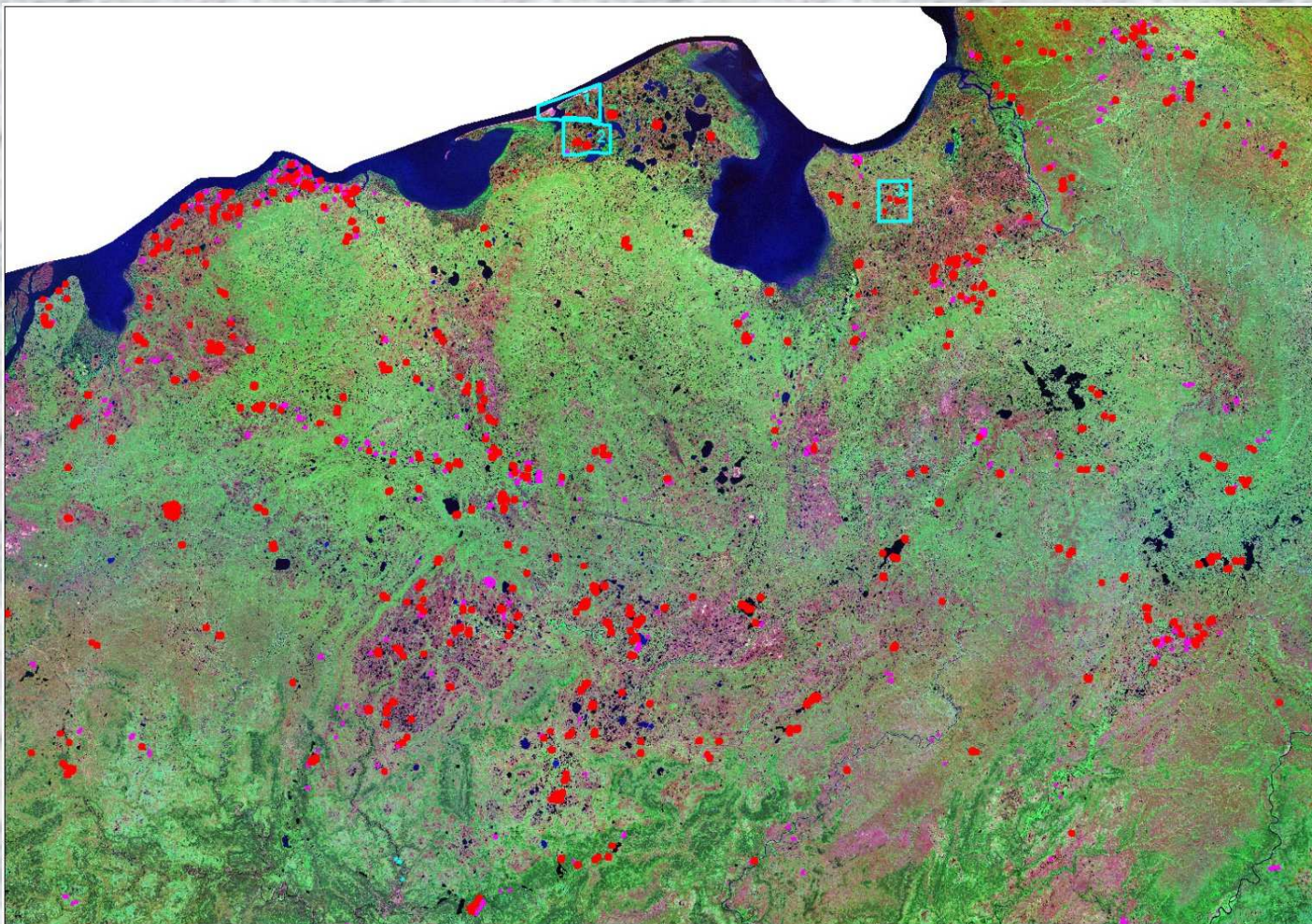
Многоспектральная камера AVNIR-2 (Advanced Visible/Near Infrared Radiometer), установленная на спутнике ALOS (Япония) получает изображения с пространственным разрешением 10 метров в четырех диапазонах (0.42-0.50, 0.52-0.60, 0.61-0.69, 0.76-0.89 мкм), сопоставляющимися с 1-4 каналами LANDSAT 4 TM и LANDSAT 7 ETM+.

Снимки ALOS AVNIR-2 предоставлены Японским Космическим Агентством (JAXA) в рамках международного научного проекта (JAXA PI 200) [1].

1. Smirnova I., Rusanova A. Application of ALOS Data to Study Landscape Changes Related to Petroleum Fields and Their Exploration and Exploitation (JAXA PI 200). Final reports of the ALOS Research Announcement. Programs 1 and 2. JAXA, ESA, ASF, Tokyo, 2011. DVD rom.

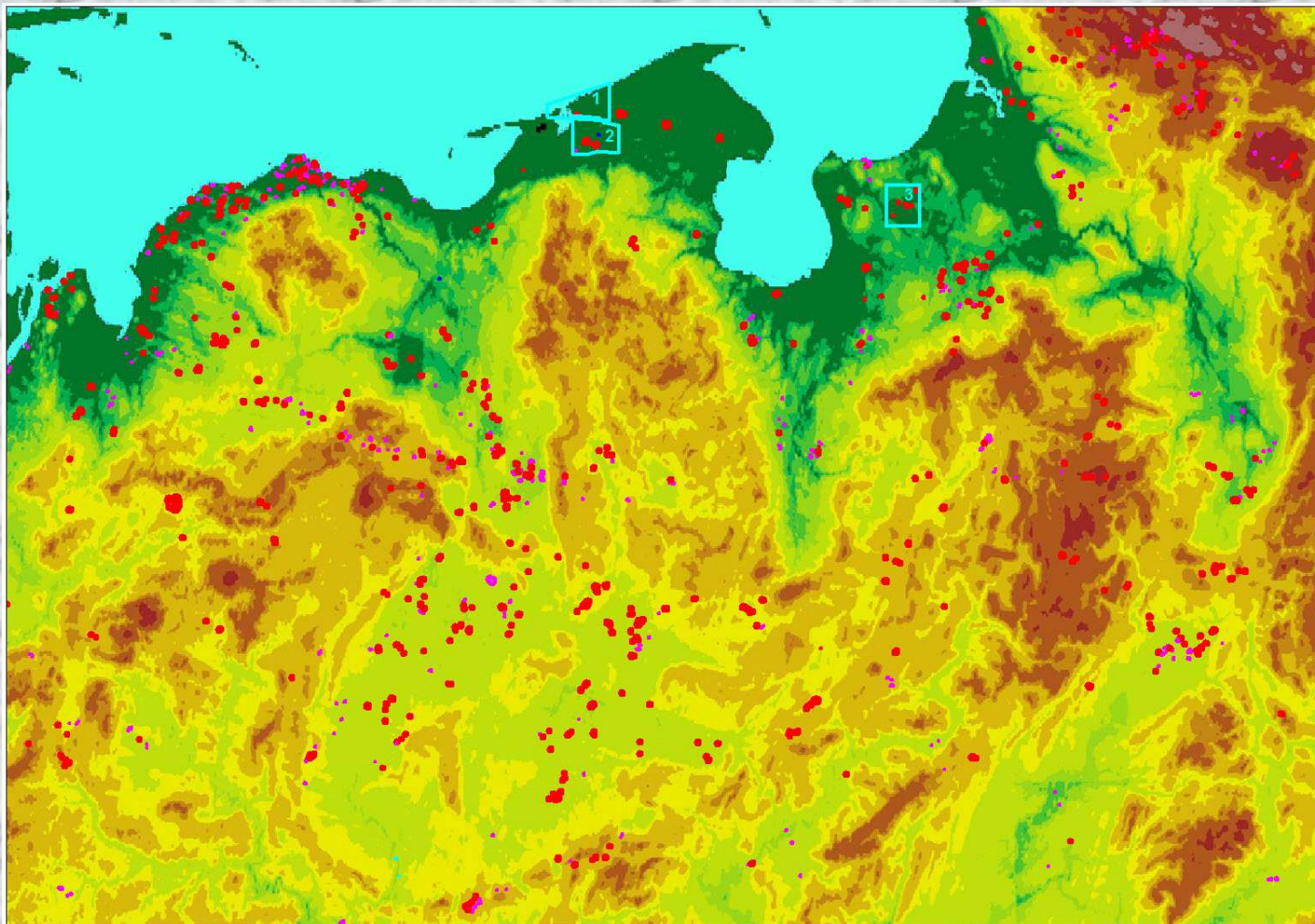
Расположение тестовых участков на дистанционной основе, составленной по КС Landsat 4 (1988)

Район исследований расположен на территории Ненецкого автономного округа и частично Республики Коми (от устья реки Печоры до горных сооружений Пай-Хоя) на севере ТПП в тундровой и лесотундровой зонах.



Результаты интерактивного дешифрирования дистанционных основ, составленных по КС LANSAT 1988 и 2000 гг.

**Контуры высохших термокарстовых озер (красный цвет) наложены
на ЦМР (GTOPO 30)**



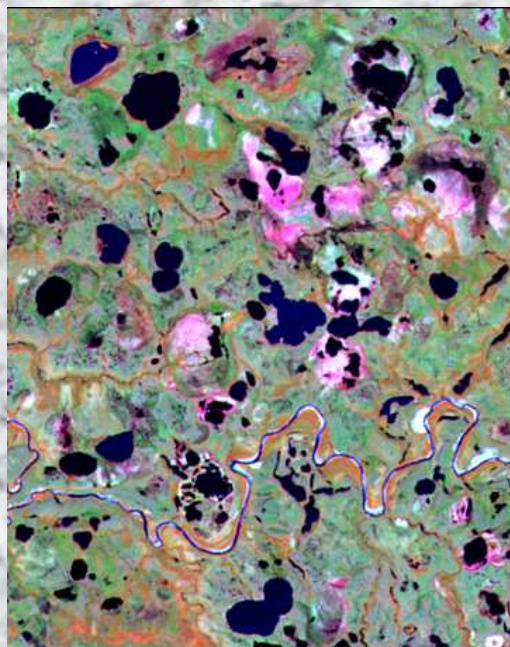
Результаты интерактивного дешифрирования

- **С 1988 по 2000 гг. на исследуемой территории отмечалось интенсивное высыхание термокарстовых озер в тундровой зоне в области сплошного развития ММП.**
- **Наибольшее развитие процессы высыхания озер получили на заболоченных морских аккумулятивных равнинах (абс. отм. 5-20 м) и озерно-ледниковых (озерно-аллювиальных) равнинах высотой 40-80 м, сложенных льдистыми супесями, суглинками и торфом. На водораздельных пространствах, сложенных валунным суглинком или песком и в лесотундровой зоне процессы высыхания озер происходили слабее.**
- **Отмечается приуроченность высохших термокарстовых озер к линиям определенных простираний (СЗ и СВ), совпадающих с разрывными нарушениями осадочного чехла.**
- **Увеличение площади термокарстовых озер на низких гипсометрических уровнях обнаружено при сравнении снимков, полученных в августе и июне, и связано с сезонными изменениями.**
- **С 2000 по 2007 гг. отмечено замедление процессов высыхания озер в тундровой зоне и увеличение их площади в лесотундровой, особенно на участках, где имеет место техногенное воздействие.**

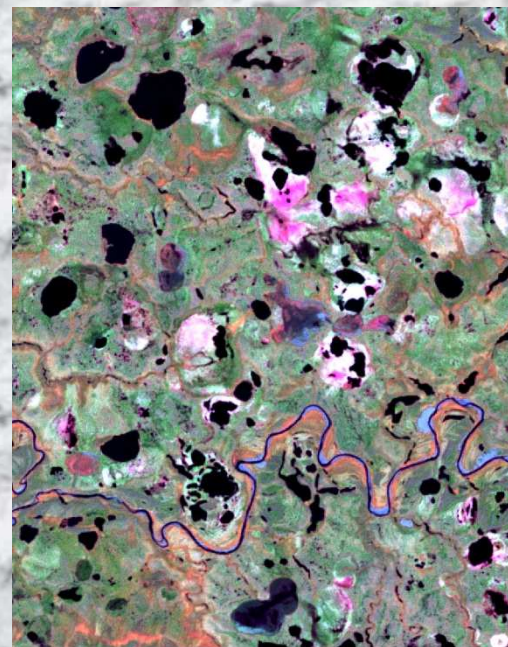
Динамика термокарстовых озер

Исходные данные

Участок 3



LANDSAT 4 TM
RGB 453
(03.08.1988)

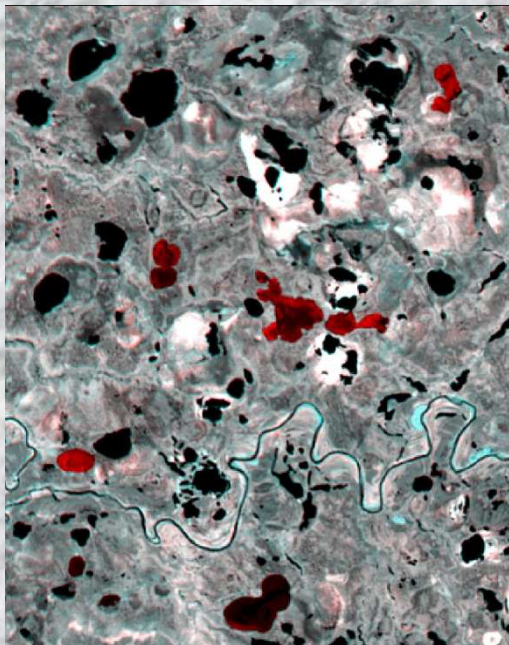


LANDSAT 7 ETM+
RGB 453
(21.07.2000)

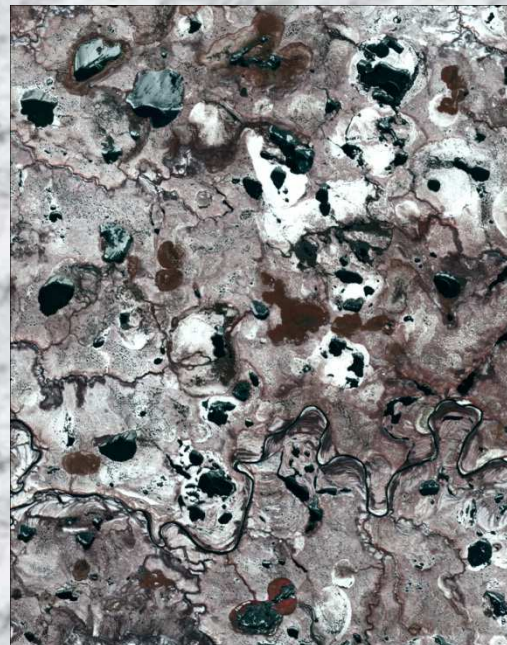
Динамика термокарстовых озер.

Метод создания цветowych композиций

Участок 3



Цветовая композиция RGB:
R–LANDSAT 7 (4), G and B–
LANDSAT 4 (4) (красный цвет –
высохшие к 2000 г. озера, голубой
цвет – участки с повышением
увлажнения)



ALOS AVNIR RGB 432
(09.10.2006). Высохшие озера
– коричневый цвет

Используемые данные

Участок 1



*ALOS AVNIR 2
(21.07.2007),
RGB 432*

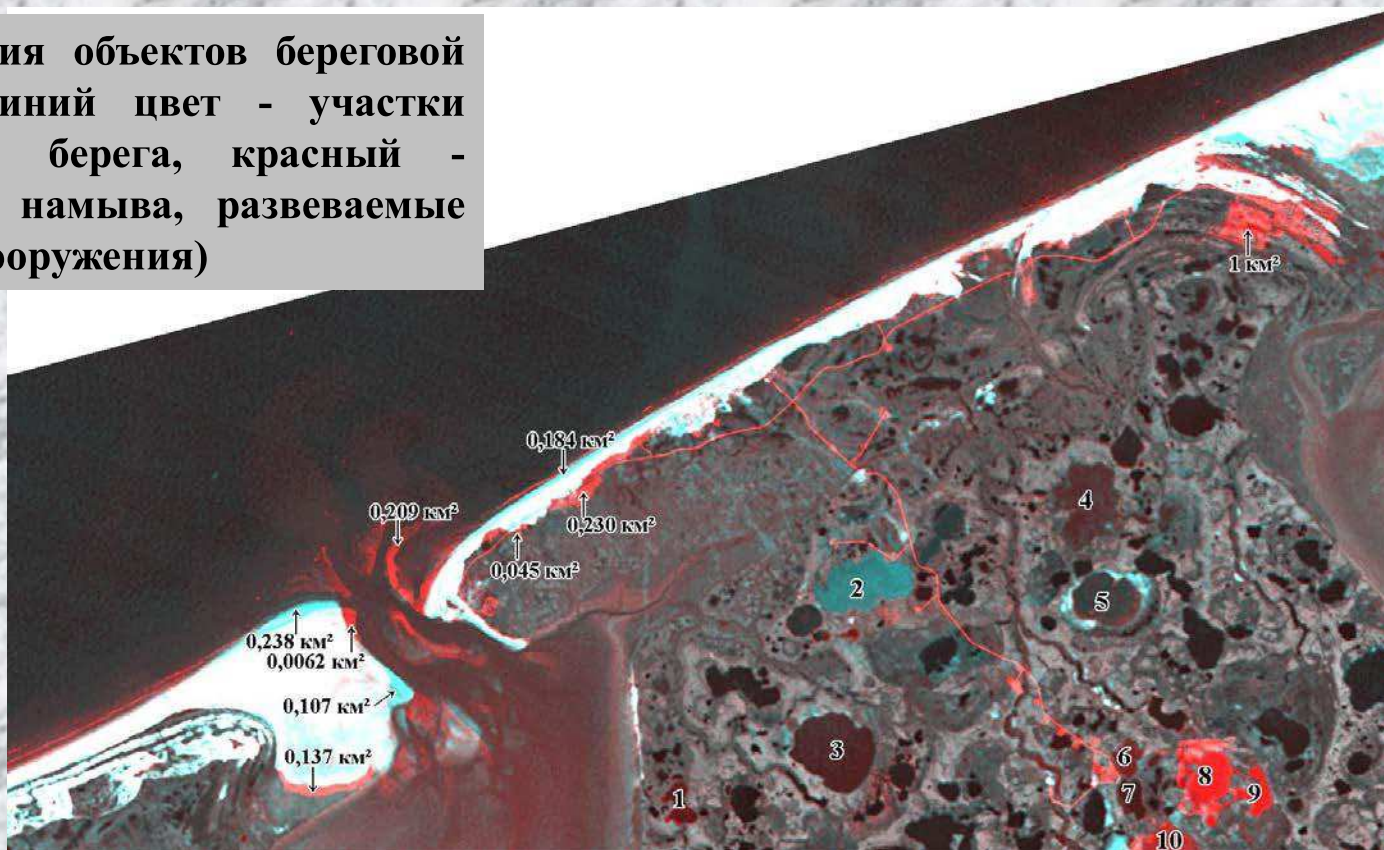


LANDSAT 4 TM (03.08.1988), RGB 432

Изменения ландшафта под действием природных и антропогенных факторов

Участок 1

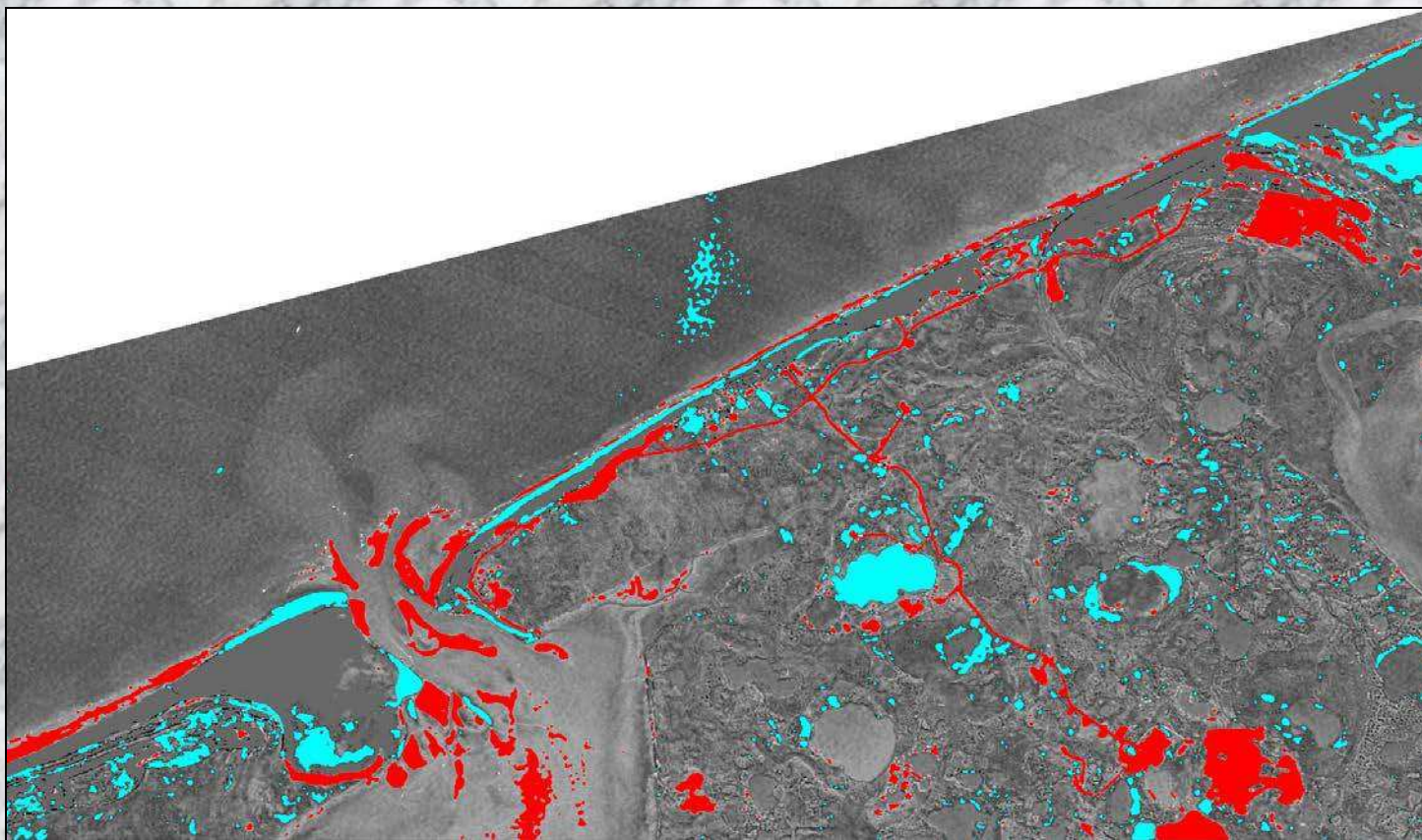
Изменения объектов береговой зоны (синий цвет - участки размыва берега, красный - участки намыва, развееваемые пески, сооружения)



RGB: R – ALOS AVNIR2 (3 канал), 2007; G и B – LANDSAT 4 TM (3 канал), 1988. Цифрами со стрелками указаны площади изменившихся объектов береговой зоны, 1-10 – номера термокарстовых озер, в которых произошли изменения

Создание разностных изображений

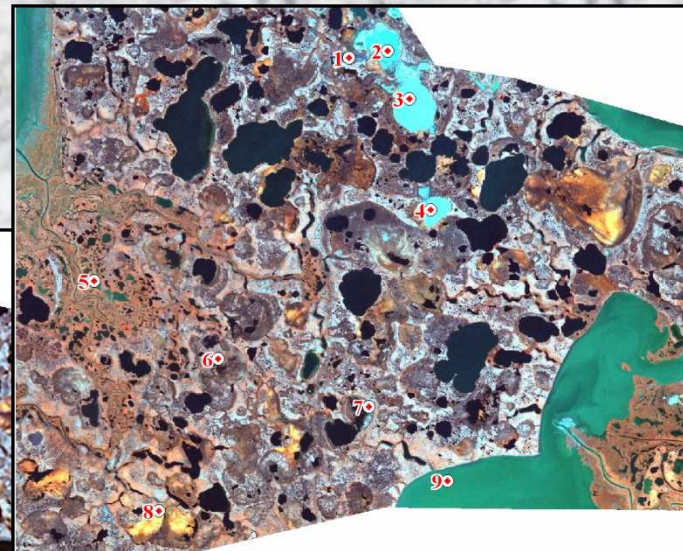
Участок 1



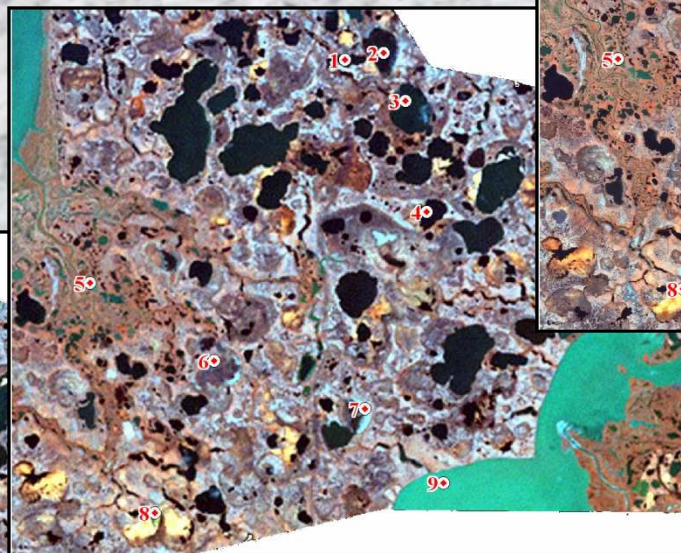
Классификация изменений по изображению разности 3 канала ALOS AVNIR, 2007 и 3 канала LANDSAT 4 TM, 1988 (красный – участки с увеличением значений яркости, синий – участки с уменьшением значений яркости)

Используемые данные

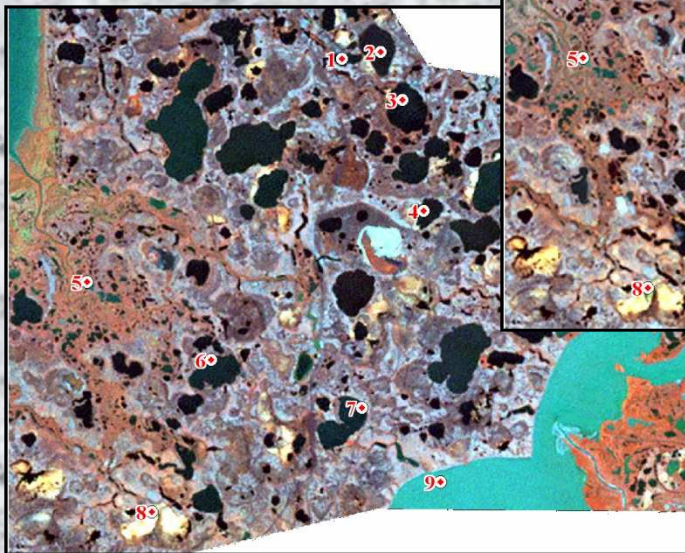
Участок 2



***ALOS AVNIR2
RGB 421 (12.07.2007)***



***LANDSAT 7 ETM+
RGB 421 (21.07.2000)***



***LANDSAT 4 TM RGB
421 (03.08.1988)***



***номера объектов
исследований***

Спектральные кривые, построенные по данным Landsat (1988, 2000) и ALOS AVNIR2 (2007) для различных объектов

Участок 2

Значения яркости



Спектральные каналы

Озеро, загрязненное к 2007

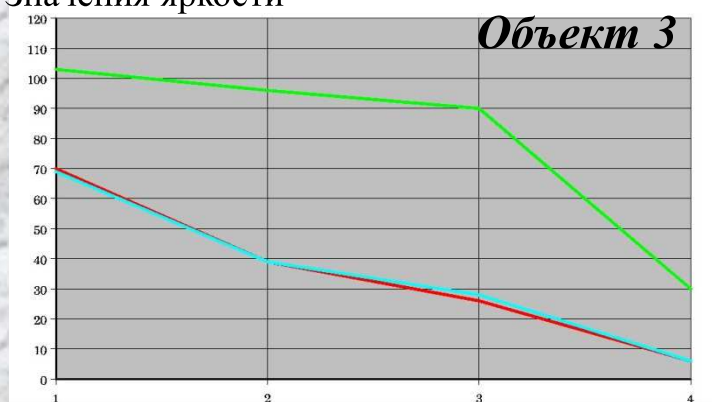
Значения яркости



Спектральные каналы

Озеро, загрязненное к 2007

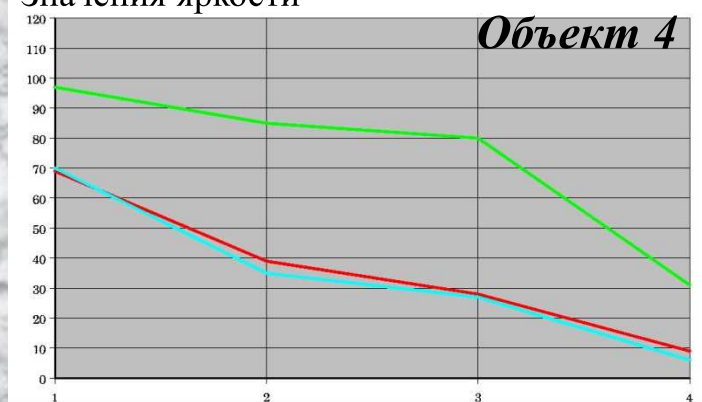
Значения яркости



Спектральные каналы

Озеро, загрязненное к 2007

Значения яркости



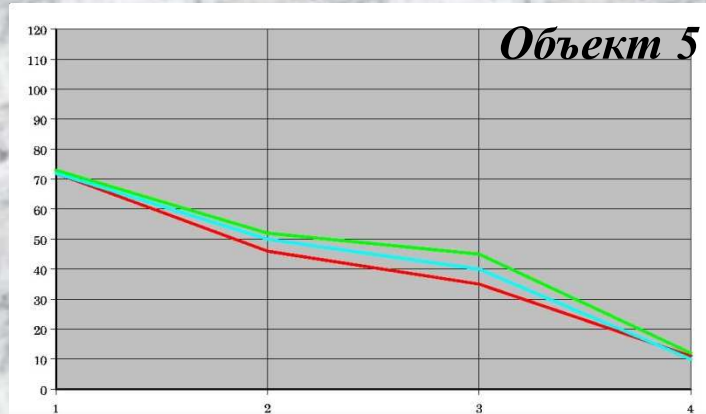
Спектральные каналы

Озеро, загрязненное к 2007

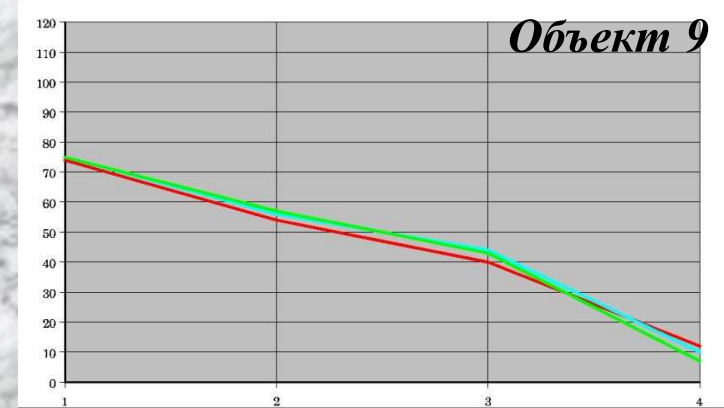
Landsat 4 TM (красный); Landsat 7 ETM+(голубой); ALOS AVNIR2 (зеленый)

Спектральные кривые, построенные по данным Landsat (1988, 2000) и ALOS AVNIR2 (2007) для различных объектов

Участок 2



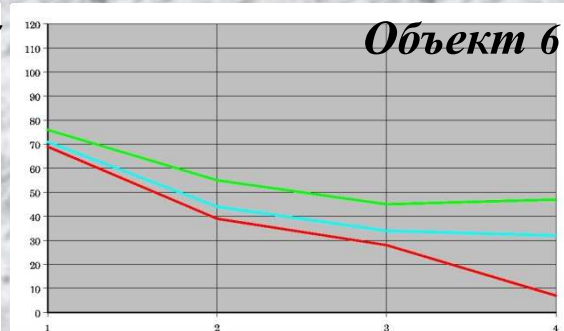
Мелкое озеро (концентрация взвесей увеличилась незначительно)



Озеро с соленой водой



Высохший берег термокарстового озера



Высохшее с 1988 по 2000 г термокарстовое озеро



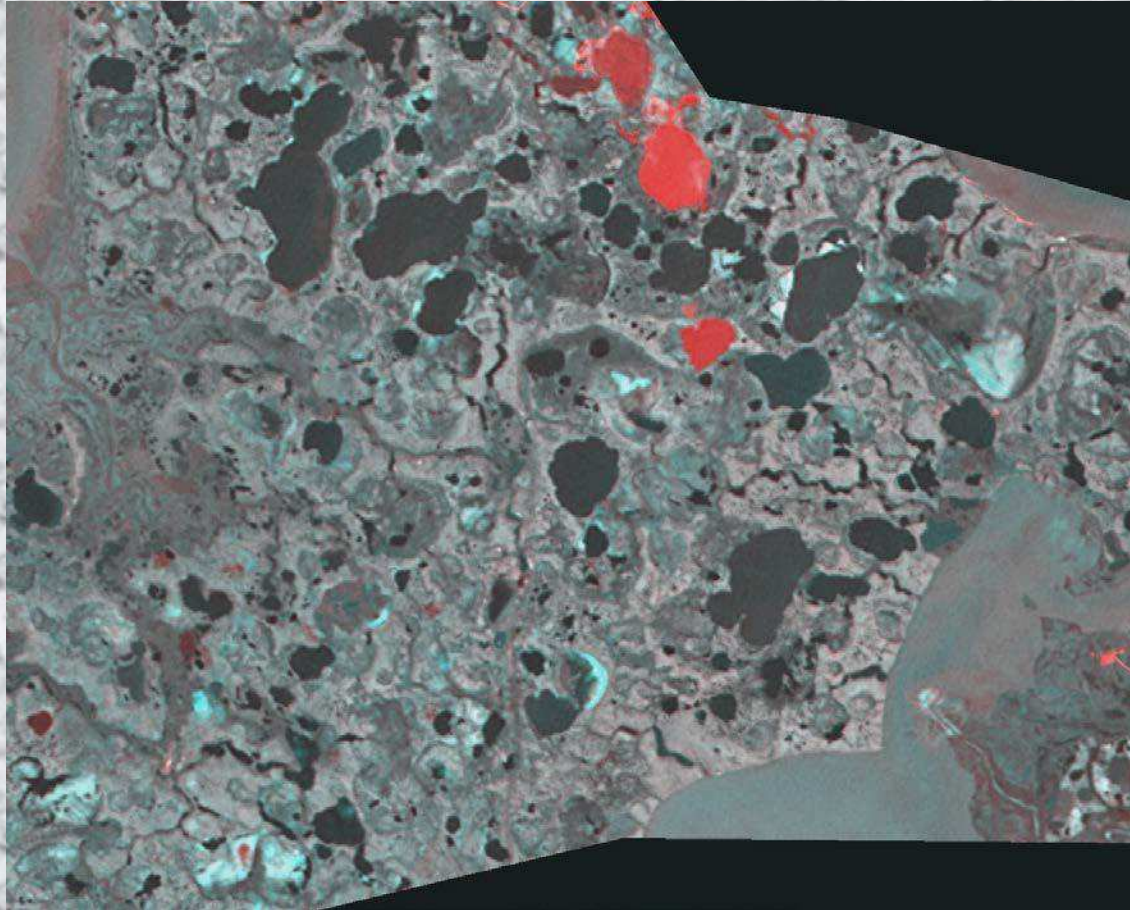
Хасырея (озеро, высохшее до 1988)

Landsat 4 TM (красный); Landsat 7 ETM+(голубой); ALOS AVNIR2 (зеленый)

Загрязнение термокарстовых озер

Создание цветовых композиций

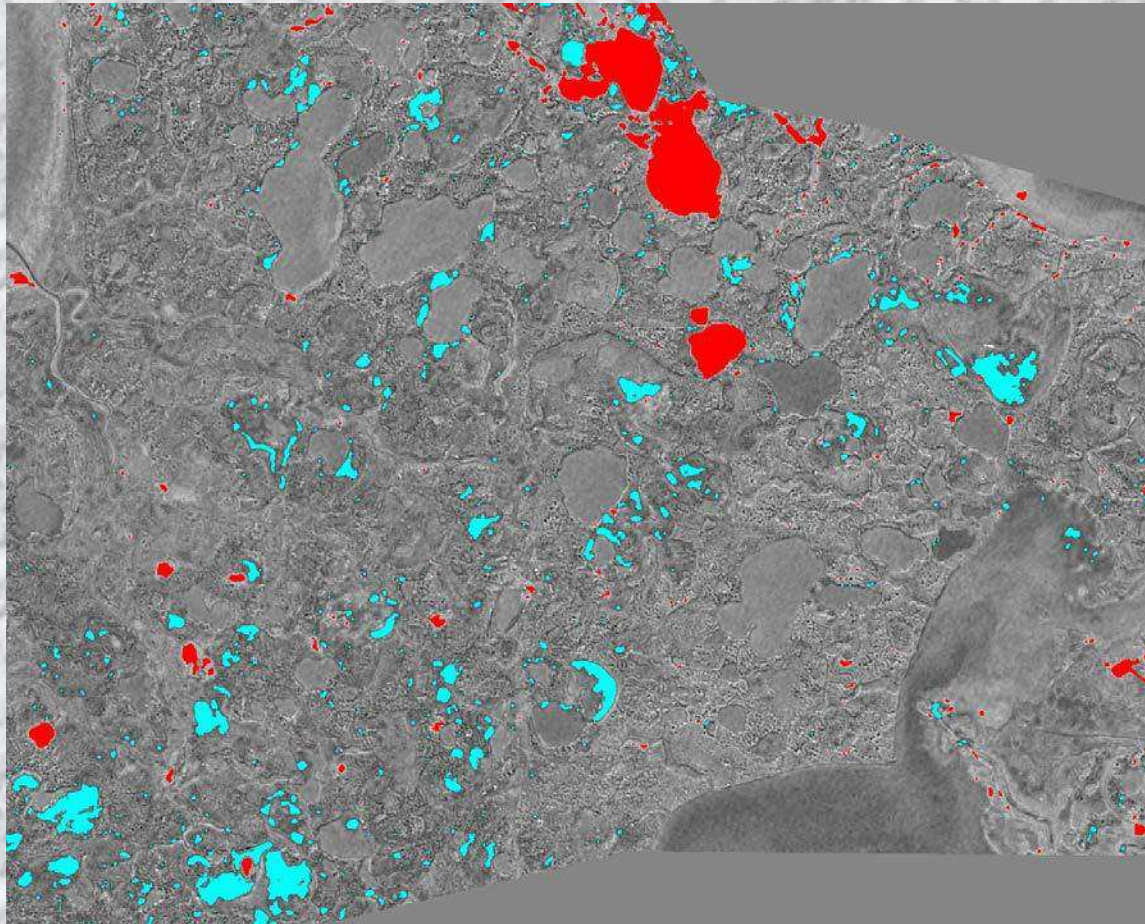
Участок 2



RGB: R—ALOS AVNIR2 (3 канал), 2007; G и B—LANDSAT 7 ETM + (3 канал), 2000. Загрязненные озера - красный цвет.

Создание разностных изображений

Участок 2

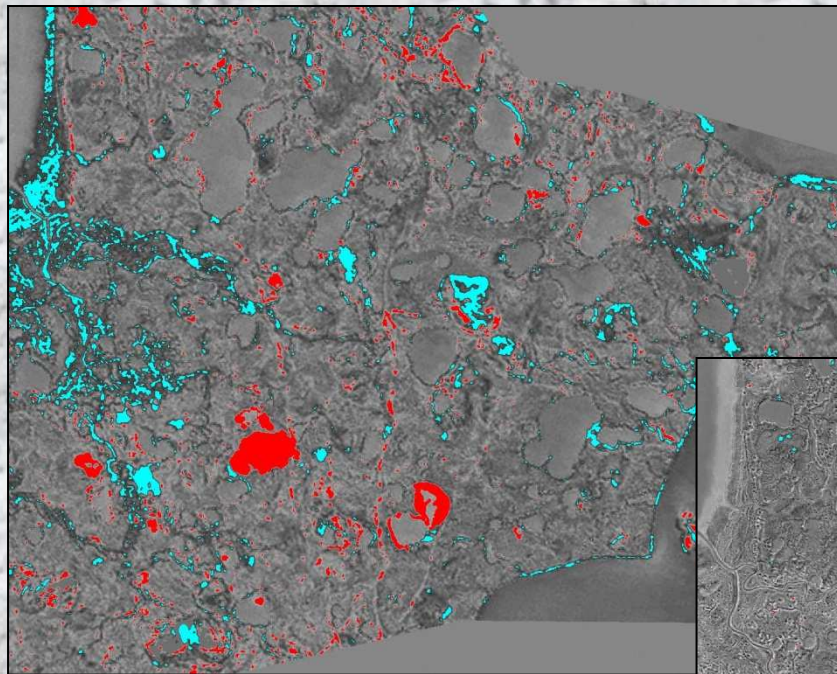


**Классификация изменений по изображению разности 3 канала ALOS
AVNIR, 2007 и 3 канала LANDSAT 7 ETM+, 2000**

Изменения термокарстовых озер

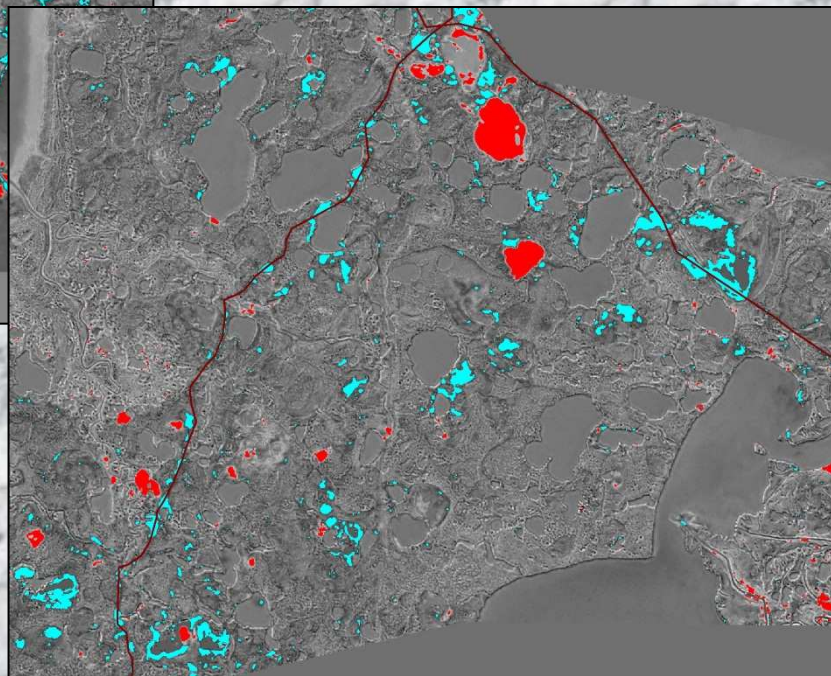
Классификация изменений по изображениям разности

Участок 2



*LANDSAT 7 ETM + (4 канал), 2000
и LANDSAT 4 TM (4 канал), 1988*

*Высохшие и загрязненные озера –
красный цвет, участки с увеличением
увлажнения – голубой.*



*ALOS AVNIR2 (4 канал), 2007 и
LANDSAT 7 ETM + (4 канал), 2000*

Факторы, которые нужно учитывать при анализе динамики термокарстовых озер и береговой линии в криолитозоне

- **Метеорологические (межгодовой ход температур и осадков, распределение температур и осадков по сезонам, анализ высоты снежного покрова)**
- **Ландшафтные (рельеф, особенности распределения почв и растительности)**
- **Геокриологические**
- **Геологические**
- **Тектонические**
- **Гидрологические и гидрогеологические**
- **Особенности формирования вдольберегового потока наносов, направление течений, приливно-отливные явления (для береговой зоны)**

Требования к КС для изучения динамики термокарстовых озер и береговой линии в криолитозоне

- КС должны быть получены в один и тот же сезон и близкие даты в безоблачных условиях (для северных районов это период с конца июля до конца августа).**
- КС должны быть получены одинаковыми съемочными системами, приведены к одинаковой геодезической проекции и системе координат и радиометрически откалиброваны. Если системы различные, обязательны радиометрические коррекции и приведение к одинаковому пространственному разрешению.**
- Сопоставляться должны изображения, полученные в одном диапазоне спектра, предпочтительно в ближней инфракрасной зоне (для изучения динамики термокарстовых озер) и в красной зоне (для определения загрязнений).**
- Методы выявления изменений: векторизация в интерактивном режиме, создание цветowych композиций, классификации.**

Заключение

- **Материалы разновременных космических съемок являются эффективным инструментом для изучения динамики термокарстовых озер и береговой линии морей, а также для оценки степени загрязнения морей, озер и рек. Однако, рассматривать изменения термокарстовых озер в качестве индикатора состояния криолитозоны следует с большой осторожностью, учитывая вышеперечисленные факторы, влияющие на изменения площадей озер, используемые КС и методы их обработки.**
 - **Особые перспективы связываются с использованием КС сверхвысокого разрешения (от 0,5 м) и радиолокационных данных, позволяющих проводить наблюдения в облачную погоду, характерную для криолитозоны, а также измерения просадок земной поверхности, величина которых составляет первые сантиметры.**
 - **Для получения более объективных результатов необходимо проведение комплексных исследований на опытных полигонах с привлечением специалистов различного профиля.**
-



***СПАСИБО
ЗА ВНИМАНИЕ!***