

РУДН

Распространение и активность термоденудационных процессов на Центральном Ямале по полевым и дистанционным данным

**А.В. Хомутов, Р.Р. Хайруллин, Е.А. Бабкина,
М.О. Лейбман, Ю.А. Дворников, Н.Б. Нестерова**

Институт криосферы Земли ТюмНЦ СО РАН

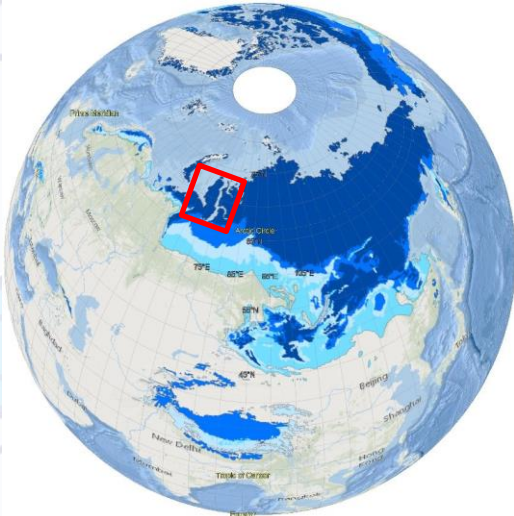
Тюменский государственный университет

*Департамент ландшафтного проектирования и
устойчивых экосистем, Аграрно-технологический
институт, РУДН*

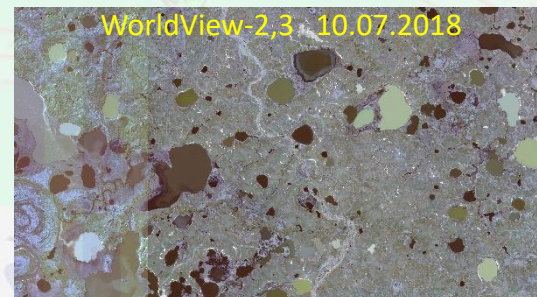
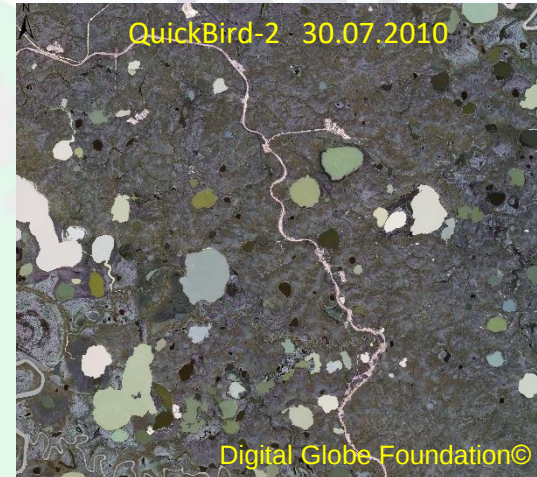


Термоденудация – деструктивный рельефообразующий криогенный процесс, необходимым условием которого является наличие в разрезе подземных льдов и сильнольдистых мерзлых пород (Кизяков, Лейбман 2016). Активизация этого процесса вызывается, как правило, увеличением глубины сезонного протаивания на участках близкого к поверхности залегания подземных льдов. В зависимости от сочетания криолитологических, геоморфологических и климатических условий на разных участках и в разные промежутки времени происходит вскрытие пластовых льдов и формирование специфических форм рельефа – термоцирков и термотеррас (Лейбман, Кизяков 2007)

Район исследований

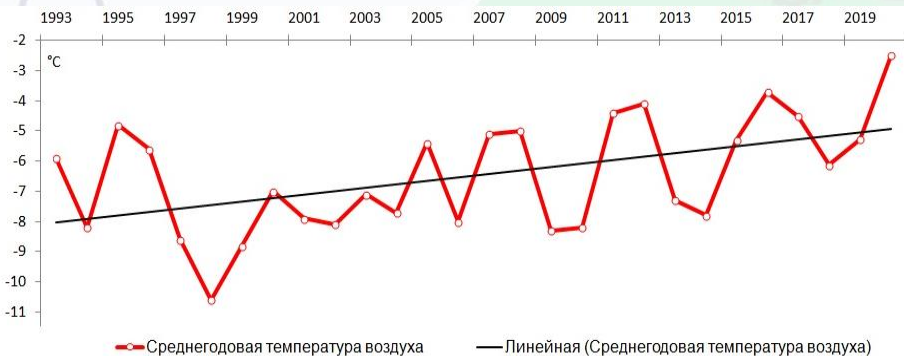


Методы исследований

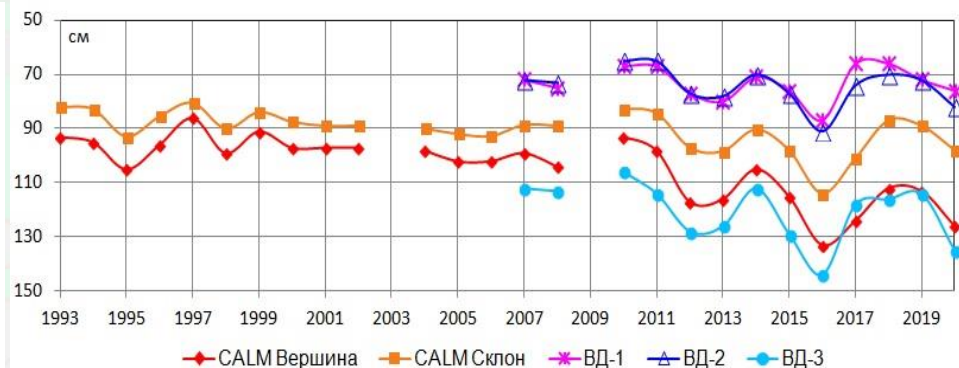


Колебания климата как причины активизации термоденудации

Динамика среднегодовой температуры воздуха, м/с Марресале



Динамика глубины сезонного протаивания по площадкам CALM R5, R5abcd



Начало активности термоцирков



Активное развитие термоцирков



Пример термоцирка, возникшего в 2012 г.



Пример термоцирка, возникшего в 2012 г.

2010



Пример термоцирка, возникшего в 2012 г.

2012



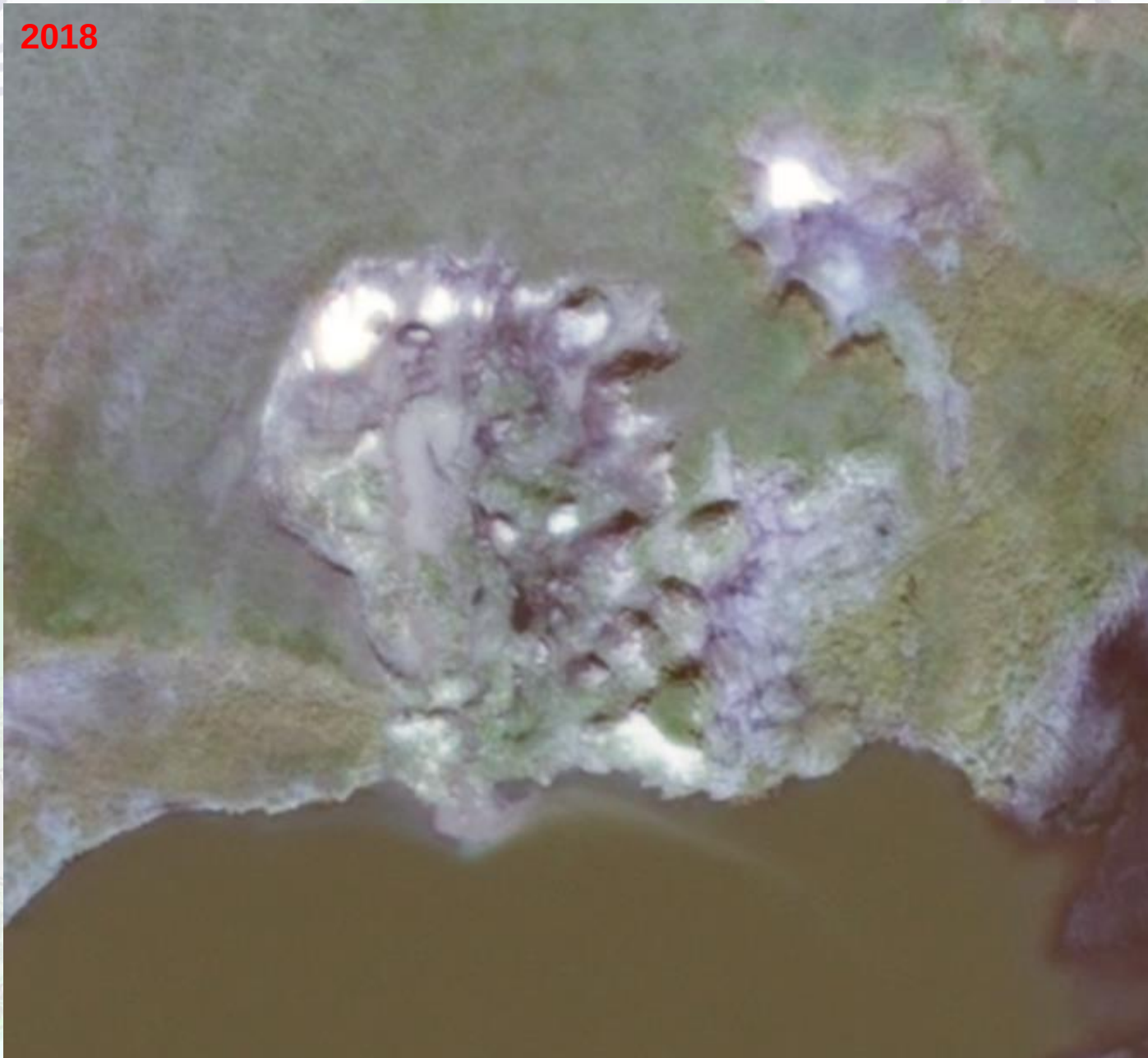
Пример термоцирка, возникшего в 2012 г.

2013

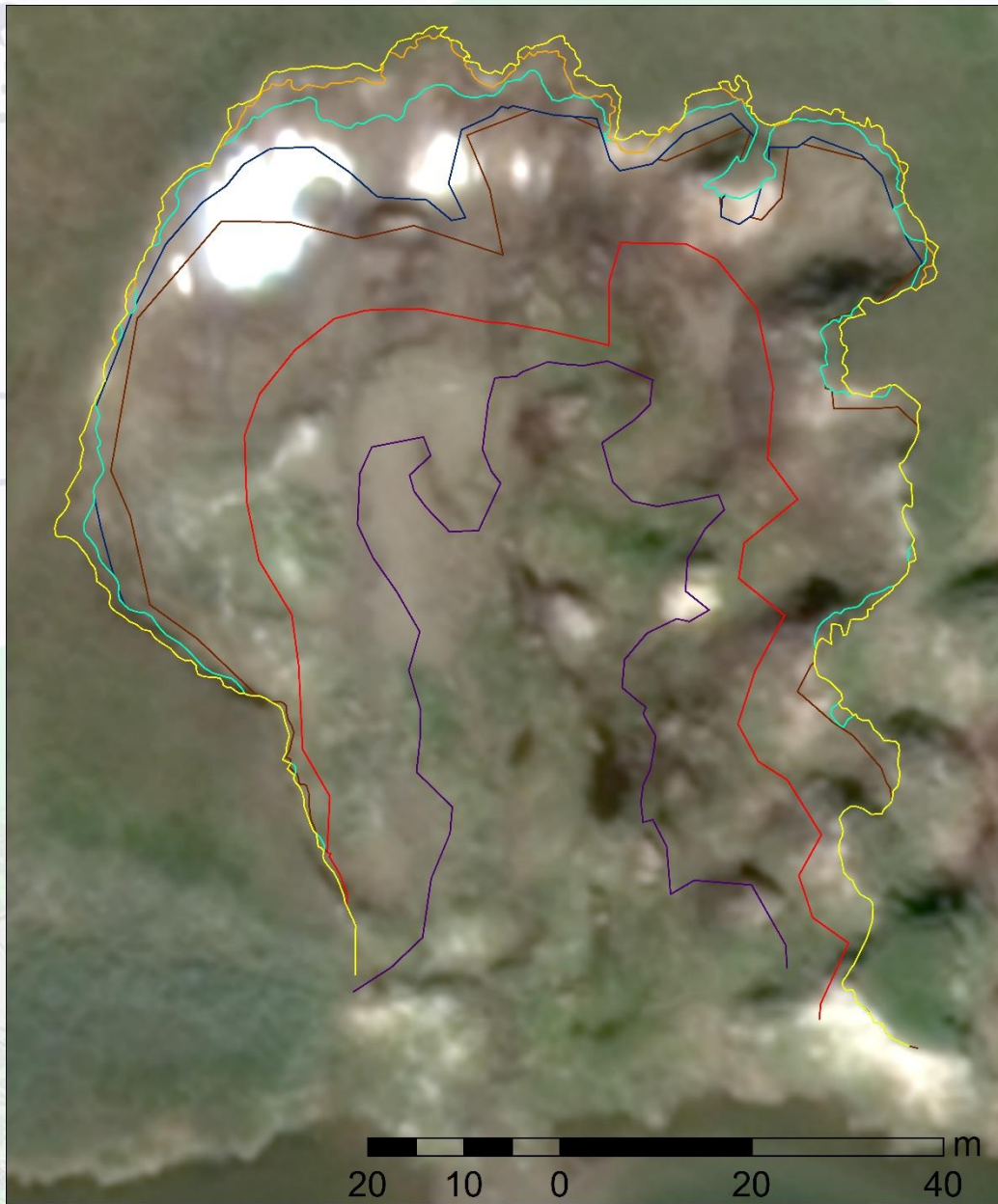


Пример термоцирка, возникшего в 2012 г.

2018



Пример термоцирка, возникшего в 2012 г.



Бровка ТЦ

— 2012	— 2013
— 2014	— 2015
— 2016	— 2017
— 2018	— 2019

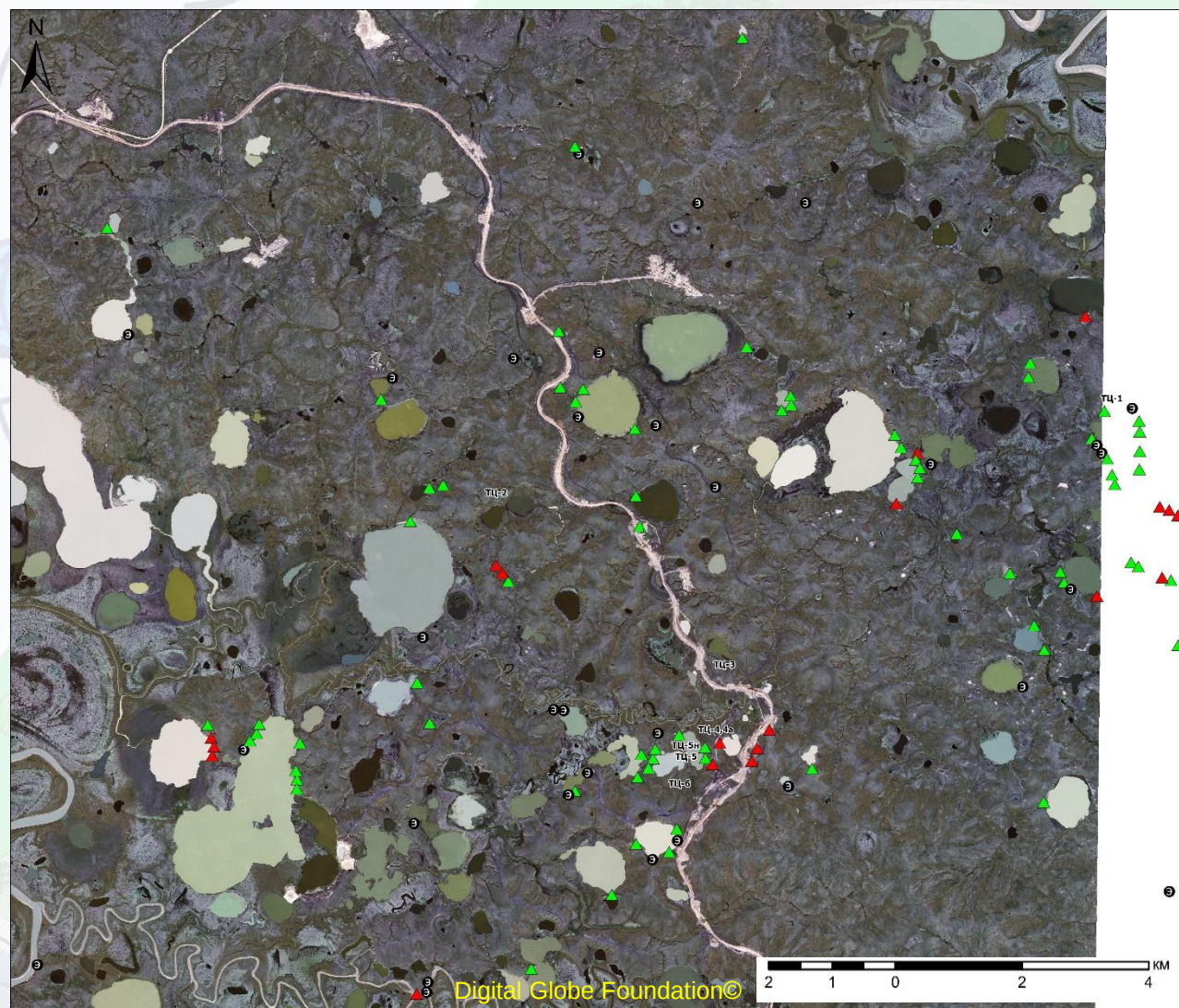
Пределы дешифрирования термоденудационных форм рельефа



0,05 0,025 0 0,05 0,1 км

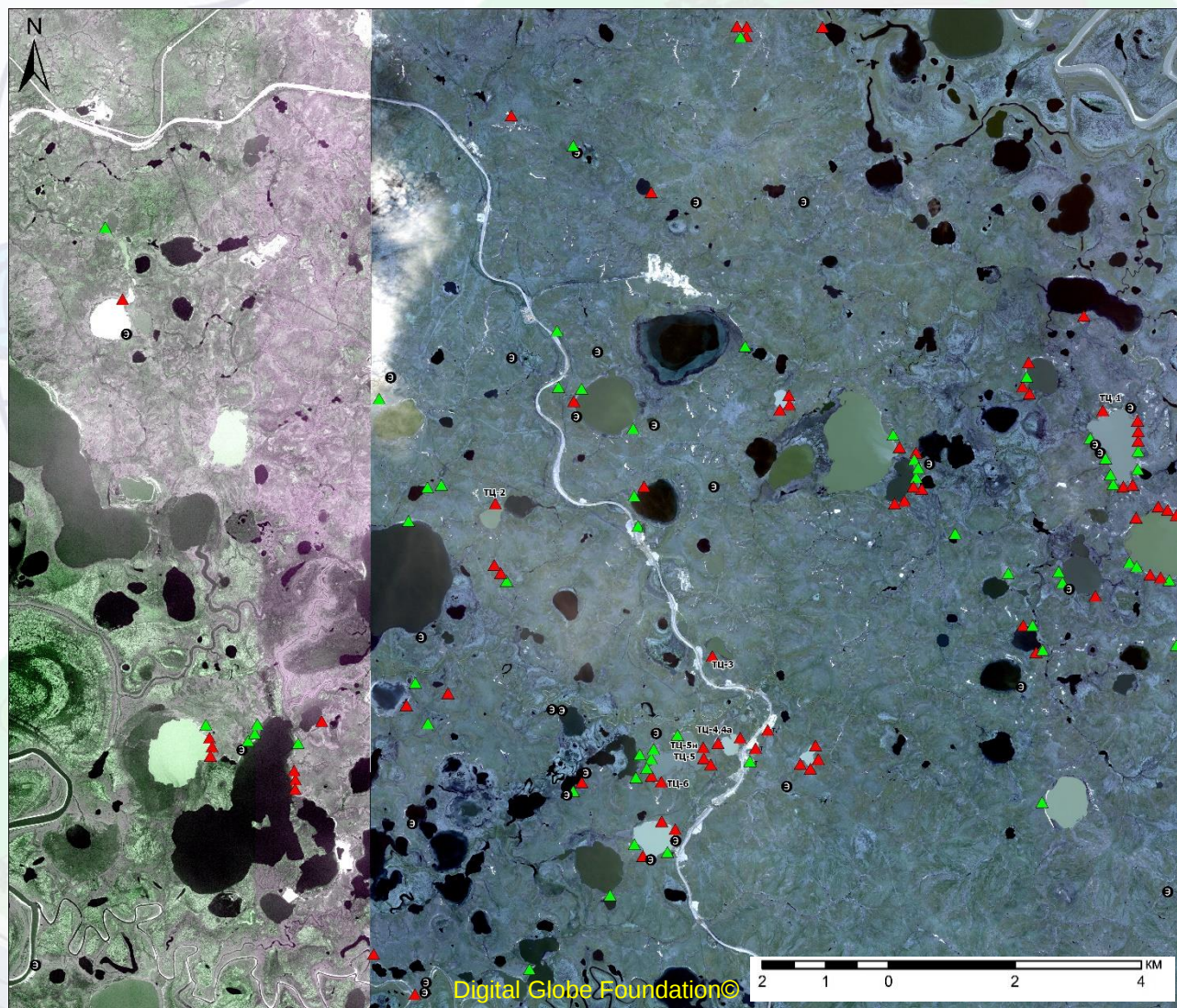
Термоцирки по сост. на 30.07.2010

QuickBird-2



- Термоцирки
- ▲ активные (19)
 - ▲ зарастающие (65)
 - эмбриональные (31)

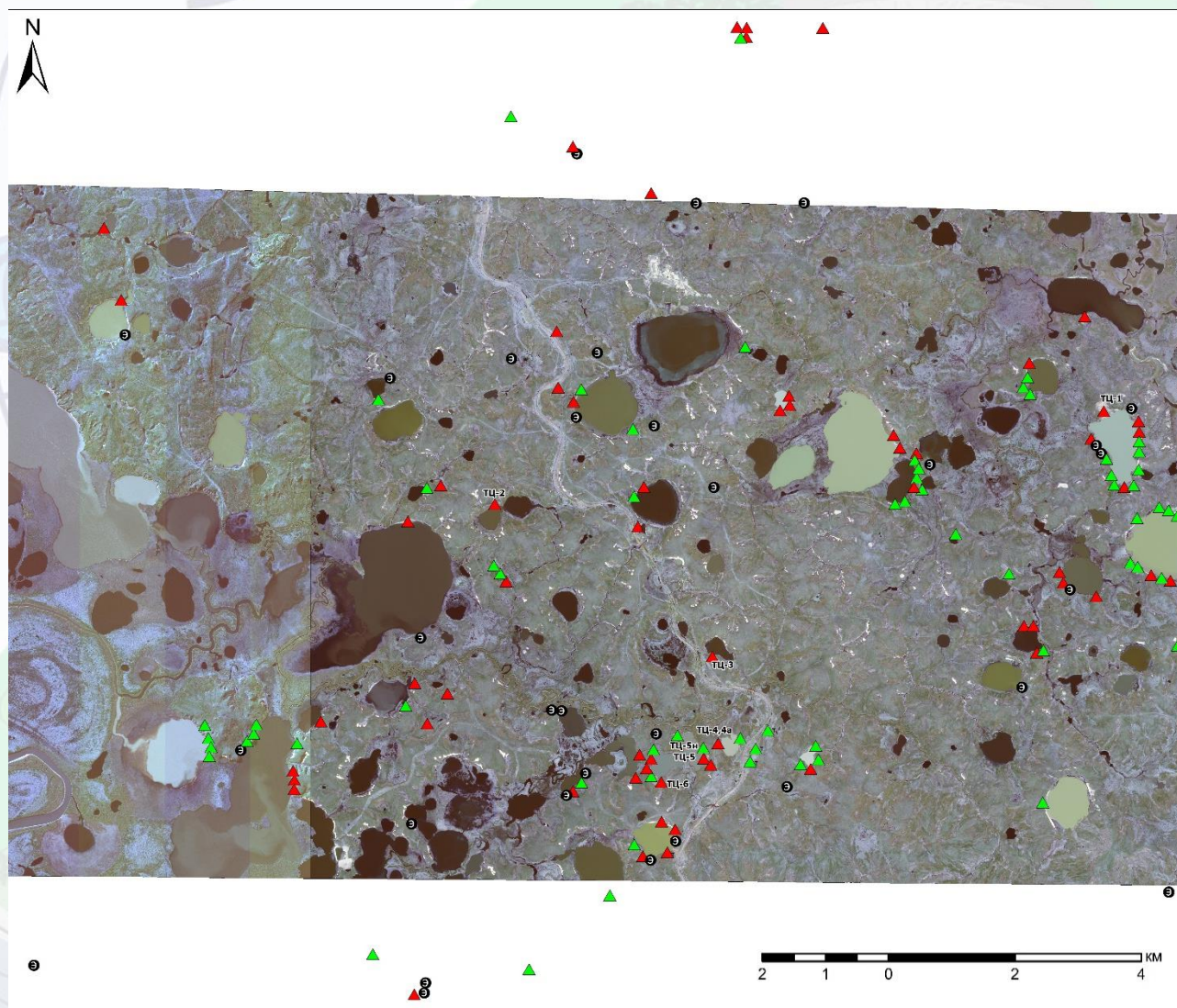
Термоцирки по сост. на 05(21).07.2013 GeoEye-1 (WorldView-2)



- Термоцирки
- ▲ активные (92)
 - ▲ растающие (35)
 - эмбриональные (31)

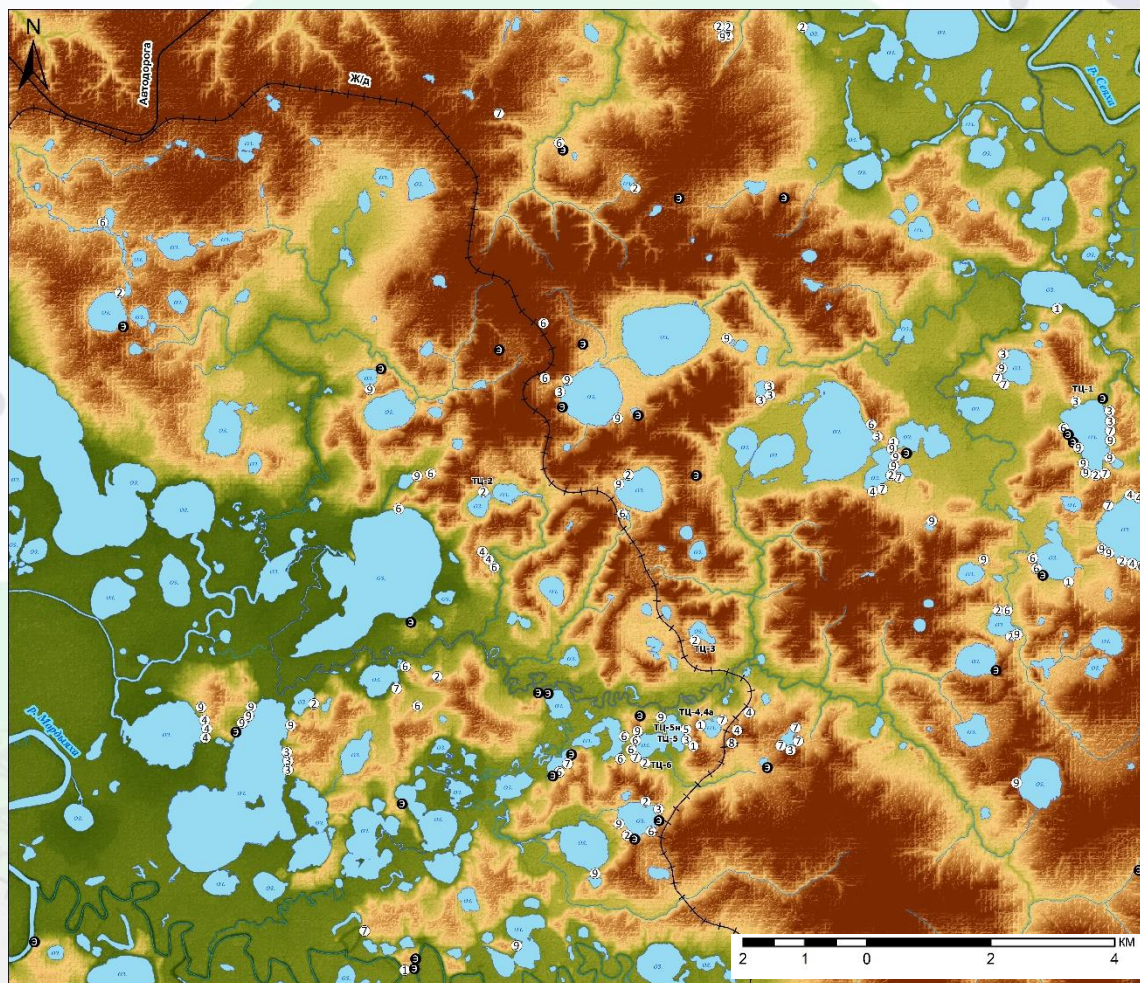
Термоцирки по сост. на 10.07.2018

WorldView-2,3



- Термоцирки
- ▲ активные (41)
 - ▲ растущие (86)
 - ⊙ эмбриональные (31)

Карта распространения термоцирков с разной активностью в 2010, 2013 и 2018



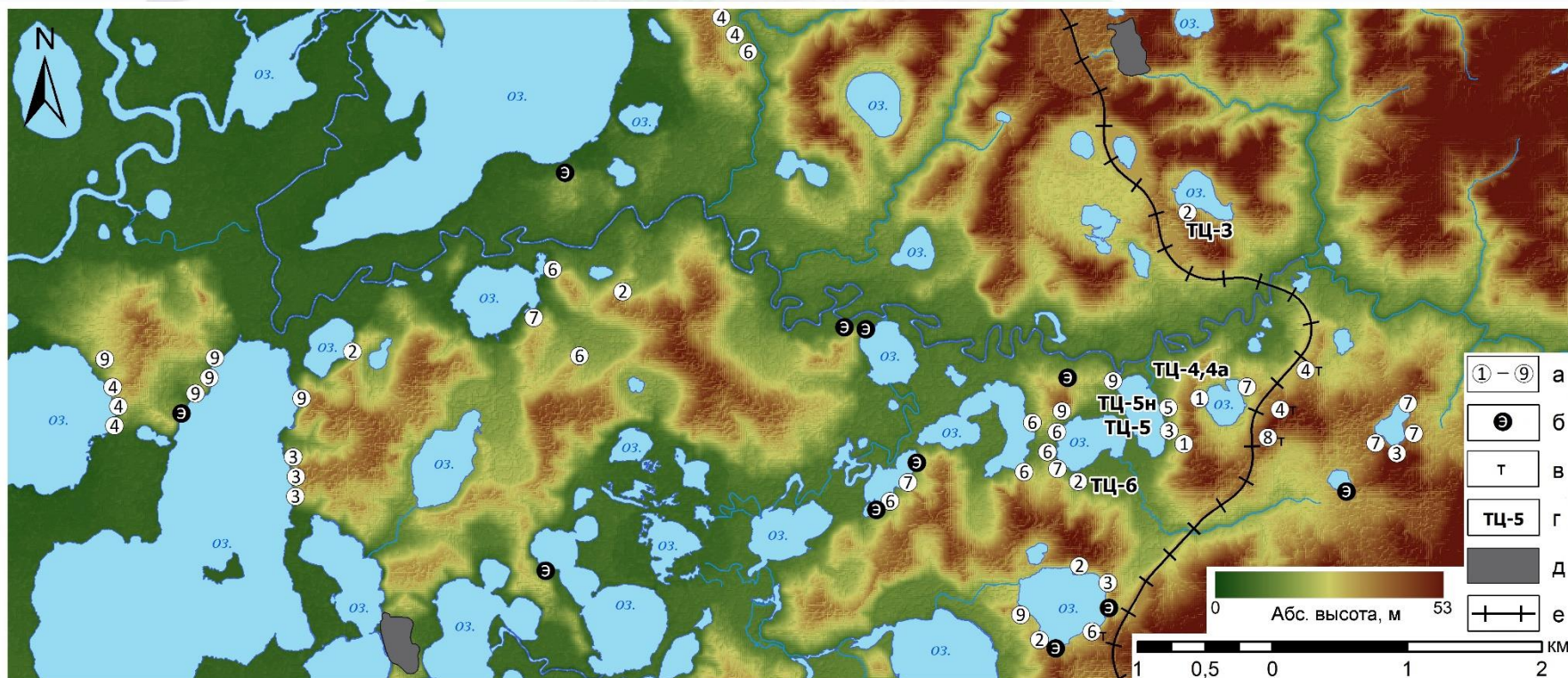
Типы ТЦ по стадиям активизации-зарастания

ТЦ	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨	⊖
год	2010									
2013										
2018										
п ТЦ	6	19	15	12	1	24	16	1	33	31

Состояние ТЦ

- отсутствует
- активен
- зарастает

Карта распространения термоцирков с разной активностью в 2010, 2013 и 2018 (фрагмент)



Типы ТЦ по стадиям активизации-зарастания

ТЦ	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨	Э
год	2010	активен	отсутствует	зарастает	активен	зарастает	отсутствует	активен	зарастает	активен
2013	активен	активен	активен	активен	зарастает	активен	активен	зарастает	активен	активен
2018	активен	активен	активен	зарастает	активен	зарастает	активен	зарастает	активен	активен
n ТЦ	6	19	15	12	1	24	16	1	33	31

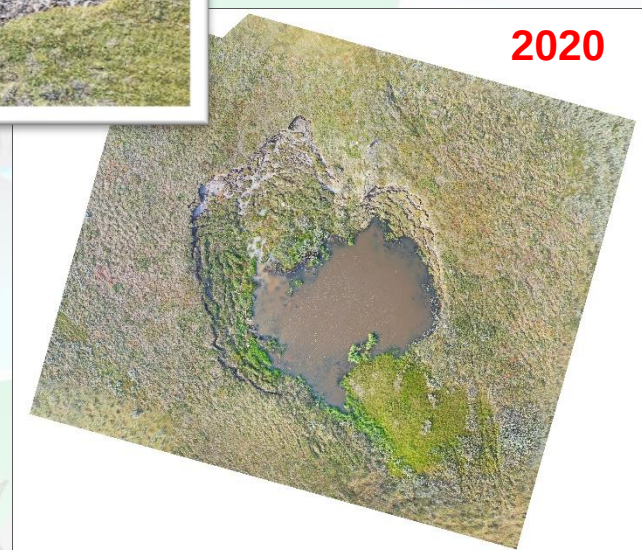
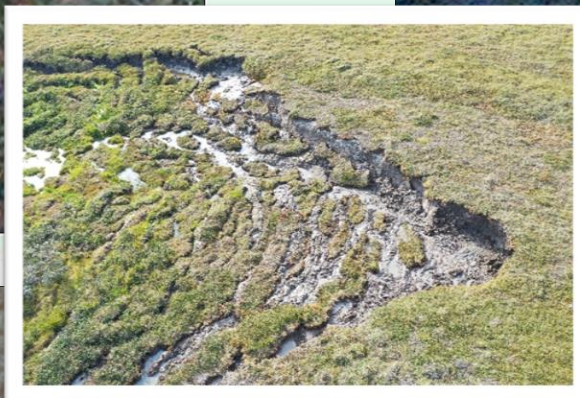
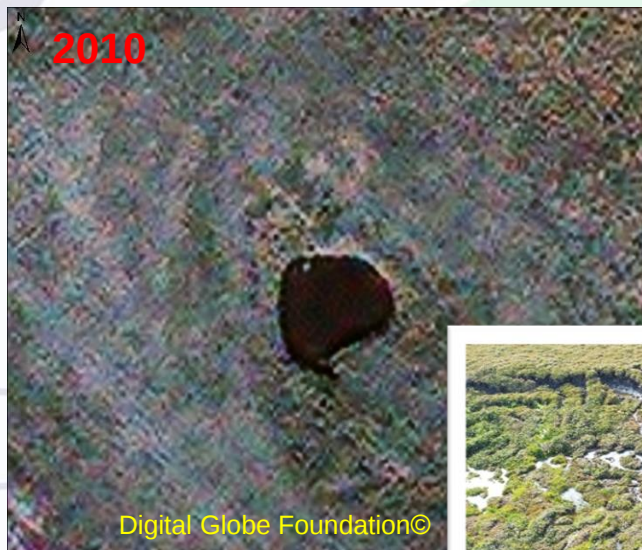
Состояние ТЦ

- отсутствует
- активен
- зарастает

*ТЦ – термоцирк

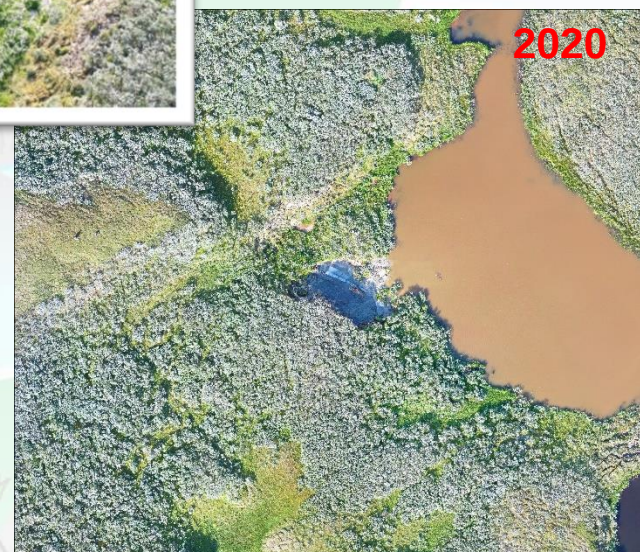
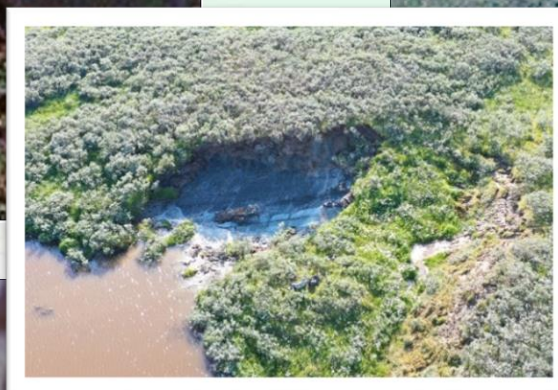
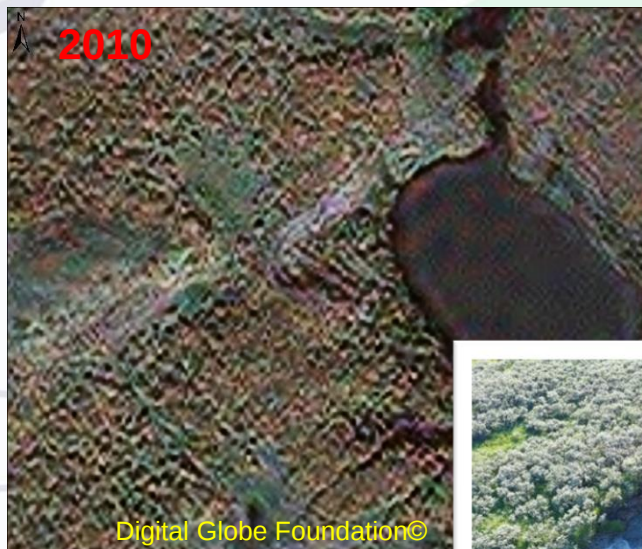
Усл.обозн.: а – термоцирки; б – эмбриональные термоцирки; в – термоцирки, возникшие при техногенном воздействии; г – индексы термоцирков, регулярно наблюдаемых с 2012-2013 гг.; д – техногенные объекты (карьеры, отсыпки); е – железная дорога

Примеры новых эмбриональных термоцирков



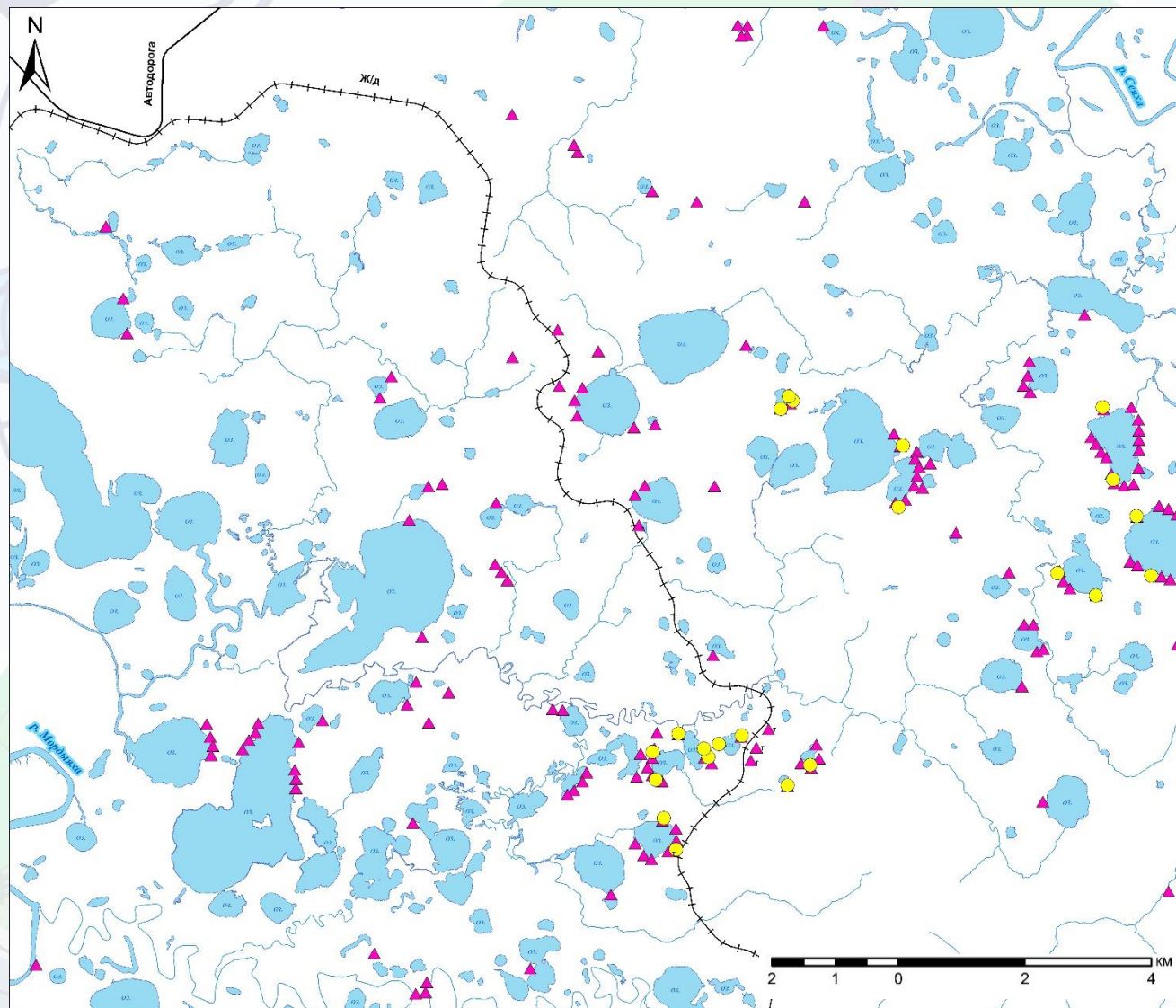
0,01 0,005 0 0,01 0,02 KM

Примеры новых эмбриональных термоцирков



0,01 0,005 0 0,01 0,02 KM

Соотношение разных по детальности уровней инвентаризации термоцирков по территории



Термоцирки

- ▲ по снимкам сверхвысокого разрешения
- по сервису Яндекс.Карты

Выводы

Формирование большого числа термоцирков в районе исследований именно в 2012 г. не носит случайного характера. Теплый сезон 2012 характеризовался ранней весной, индекс оттаивания до даты измерения протаивания более чем в 1,5 раза превысил среднее значение предыдущего почти 20-летнего периода, а летних осадков выпало почти в 2 раза больше. При этом, условия аномально жаркого лета 2016 не внесли существенного вклада в активность термоденудации. Вероятно, это связано с отсутствием участков склонов с близкозалегающим к поверхности пластовым льдом, на которых сезонное протаивание не достигло кровли пластового льда в 2012 г. Иными словами, для следующего витка активизации термоденудации в районе исследований необходимо более глубокое протаивание, чем в 2012, 2013 и 2016 гг.

Подробная классификация характера развития термоцирков по имеющимся данным ДЗЗ из космоса показала, что помимо крупных термоцирков, находящихся в эти три временных среза (2010, 2013, 2018) на разных стадиях активности, выделено существенное количество эмбриональных термоцирков, которые, как и большинство небольших термоцирков, могут быть выявлены только по космическим снимкам со сверхвысоким разрешением. В то же время, как показывают полевые наблюдения 2020 г., не все эмбриональные термоцирки дешифрируются по космическим снимкам.

При сравнении результатов анализа проявления термоденудации на локальном уровне с результатами регионального исследования, снимки сверхвысокого разрешения позволяют выявить почти в 7 раз больше термоденудационных форм рельефа на одной и той же территории.

Полученные результаты доказывают, что активизация термоденудации на Центральном Ямале в 2012-2013 гг. является одним из этапов постепенно возрастающей активности склоновых криогенных процессов во внутренних районах Карского региона или вдоль Карской субширотной трансекты.



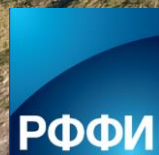
Спасибо за внимание!



Мониторинг глубины
протаивания проводится
в рамках международной
программы «Circumpolar
Active Layer Monitoring»



Экспедиции в 2014-2019 гг.
организованы при поддержке
Российского центра освоения
Арктика



При поддержке гранта РФФИ 18-05-60222
«Криогенные рельефообразующие процессы
Арктических равнин с подземными льдами в
условиях современных климатических колебаний
вдоль Карской субширотной трансекты»