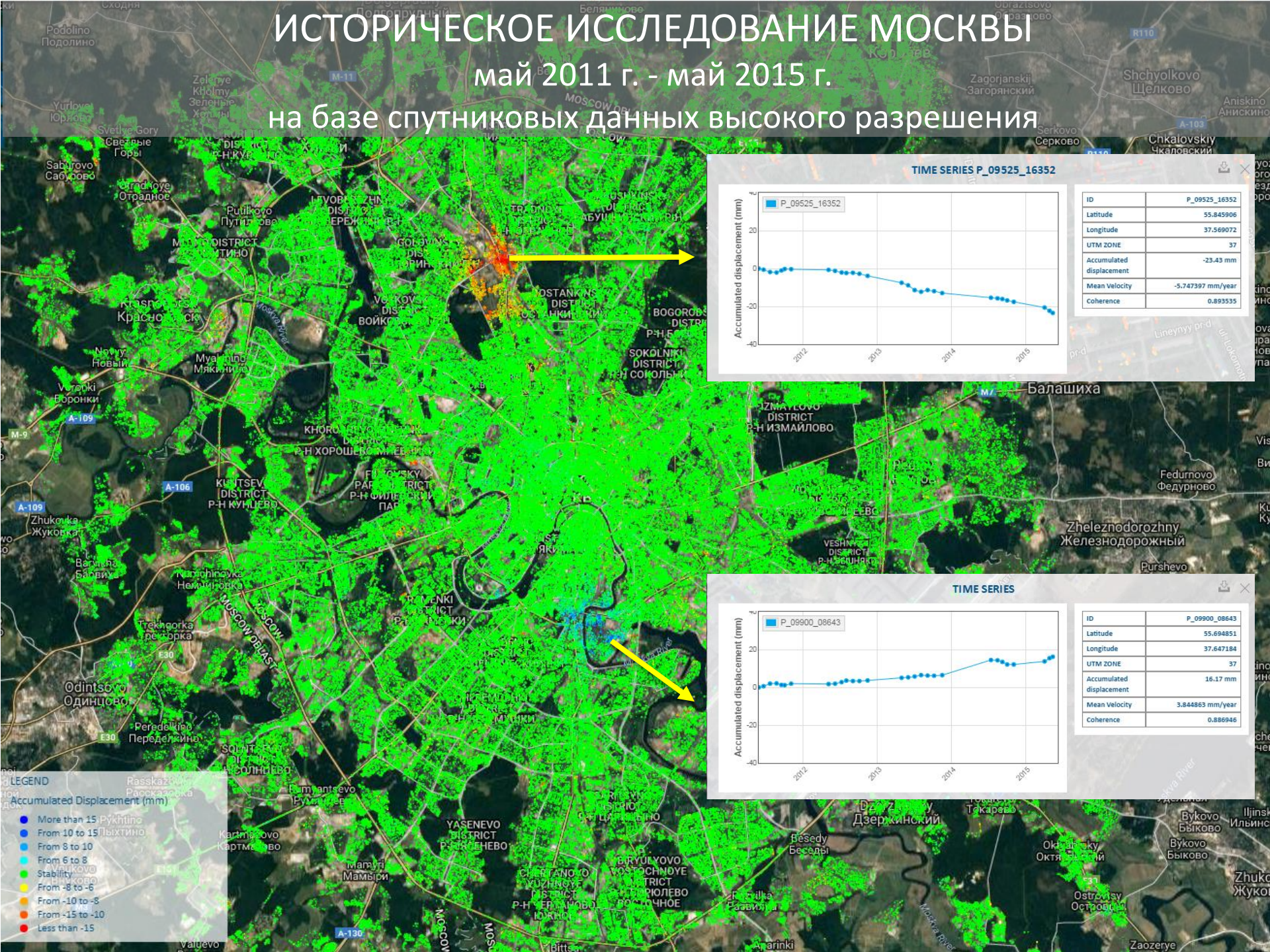
TRE ALTAMIRA
A CLS Group Company

Спутниковый мониторинг деформаций земной поверхности и смещений объектов инфраструктуры

ИСТОРИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ МОСКВЫ

май 2011 г. - май 2015 г.

на базе спутниковых данных высокого разрешения

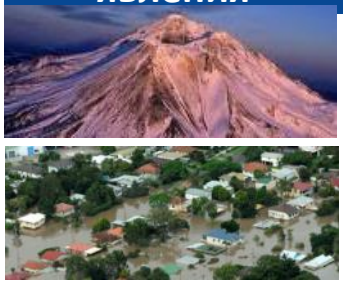


Филиалы и представительства

Компания TRE ALTAMIRA INFORMATION объединяет группу технических экспертов в области InSAR. Деятельность компании опирается на широкую международную сеть коммерческих представительств.

Направления деятельности

Интегрированные услуги для производства, экологии и безопасности

Объекты инфраструктуры	Горная промышленность	Нефтегазовая промышленность	Геотермические проекты проекты	Природные явления
				

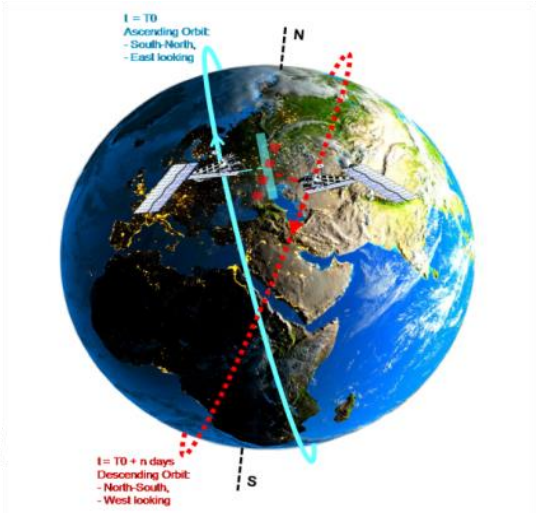
Предоставление с 1999 года услуг в области мониторинга деформаций земной поверхности на базе спутниковых данных

Технология InSAR

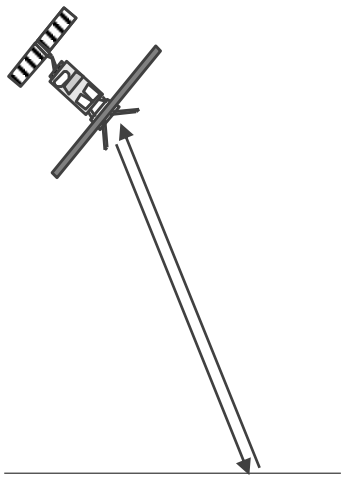
Методология измерения смещений земной поверхности

Радиолокационные спутники

In интерферометрия	=	Суперпозиция волн для выявления различий
S радиолокатор с **A** синтезированной **R** апертурой	=	Радиолокационная система высокого разрешения

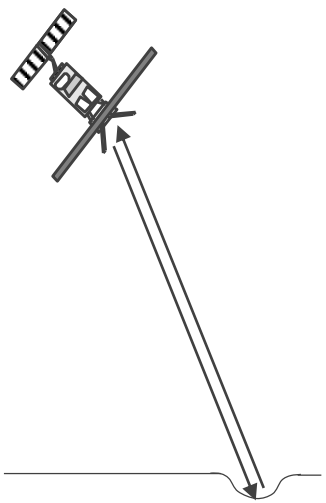


Первый пролет спутника
Первое измерение



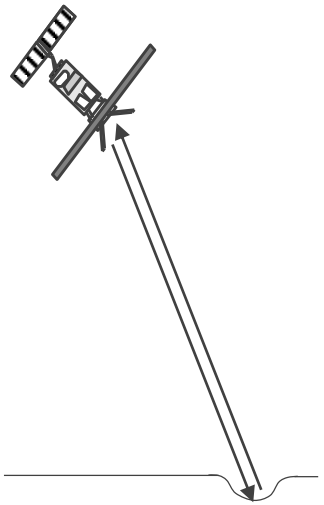
Расстояние между спутником и земной поверхностью определяется с миллиметровой точностью.

Повторный пролет спутника
Повторное измерение



Обнаружение изменения расстояния между спутником и земной поверхностью свидетельствует о выявленной деформации.

N пролетов спутника
N измерений



Обнаружение изменения расстояния между спутником и земной поверхностью свидетельствует о выявленной деформации.

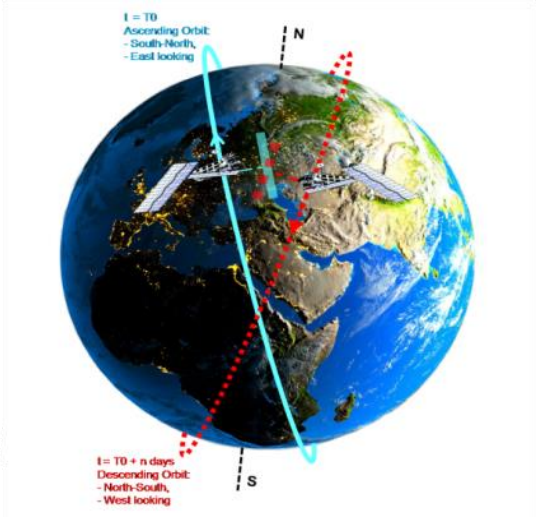
Измерения смещений выполняются путем сопоставления расстояний между спутником и земной поверхностью в различные моменты времени

Технология InSAR

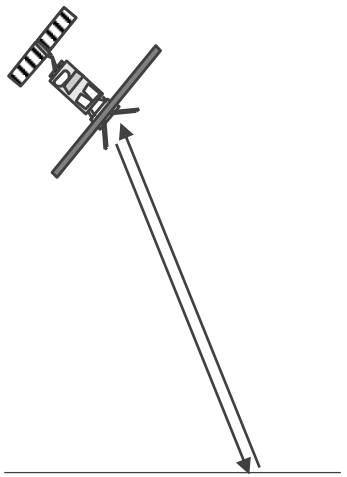
Методология измерения смещений земной поверхности

Радиолокационные спутники

In интерферометрия	=	Суперпозиция волн для выявления различий
S радиолокатор с **A** синтезированной **R** апертурой	=	Радиолокационная система высокого разрешения

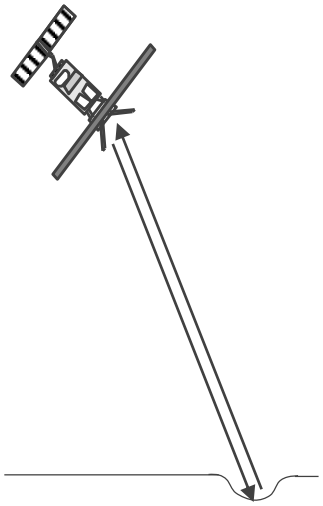


Первый пролет спутника
Первое измерение



Расстояние между спутником и земной поверхностью определяется с миллиметровой точностью.

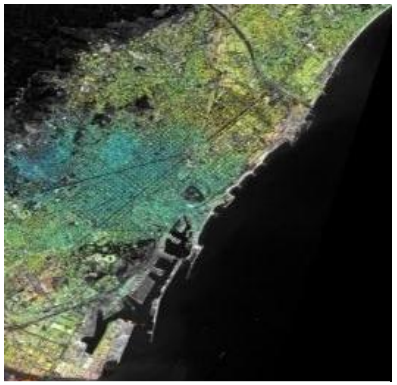
N пролетов спутника
N измерений

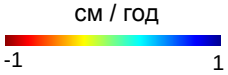


Обнаружение изменения расстояния между спутником и земной поверхностью свидетельствует о выявленной деформации.

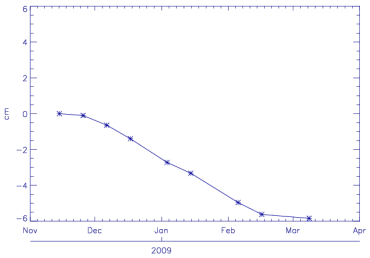
Результаты

Карта деформаций земной поверхности





Временные графики смещения для каждой точки

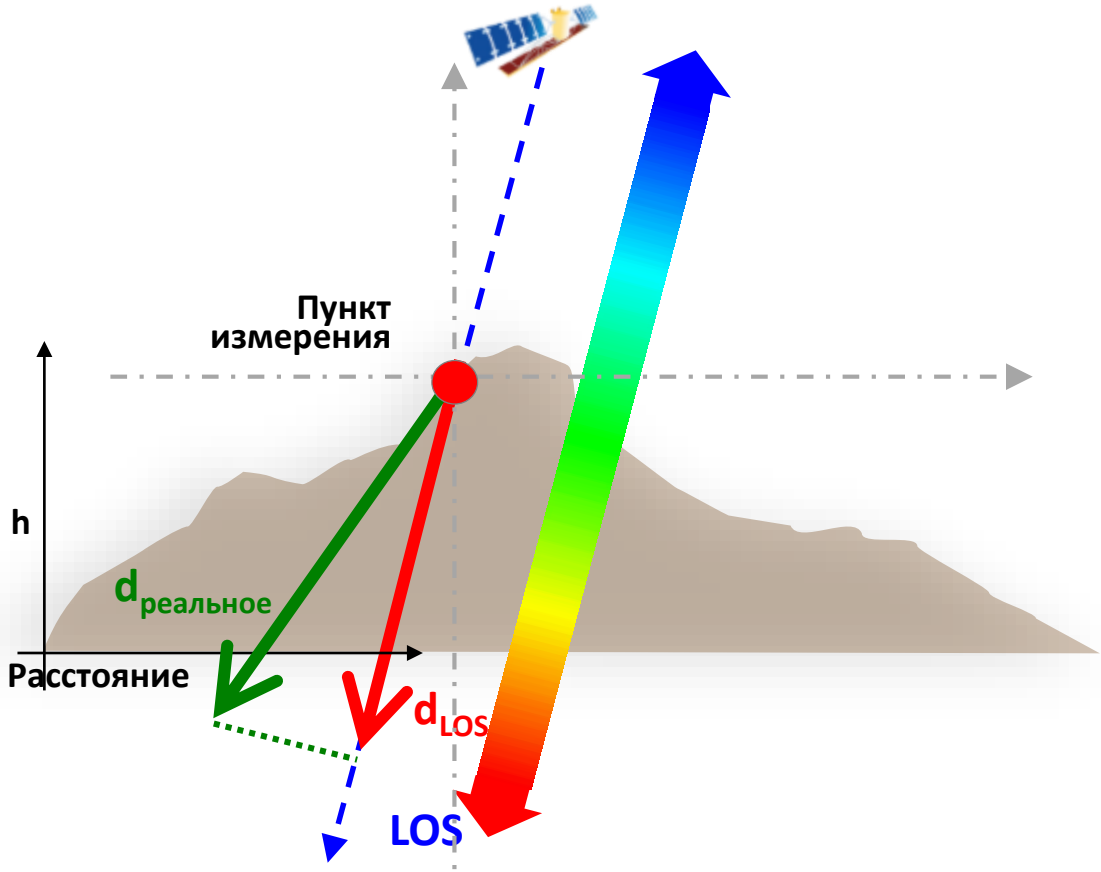


Измерения смещений выполняются путем сопоставления расстояний между спутником и земной поверхностью в различные моменты времени

Измерение деформаций земной поверхности

Измерение вдоль линии визирования (LOS)

- Радиолокационные спутники измеряют смещения вдоль направления съемки, то есть вдоль линии визирования (*Line-of-Sight* или *LOS*).
- *LOS* это то направление, вдоль которого спутник сканирует земную поверхность.



- Пункты измерения, которые смещаются по направлению к спутнику, отмечаются цветами от голубого до темно-синего.
- Пункты измерения, остающиеся неподвижными, отмечаются зеленым цветом.
- Пункты измерения, отдаляющиеся от спутника, отмечаются цветами от желтого до красного.

Измерение деформаций земной поверхности

Опорный пункт и точность измерений

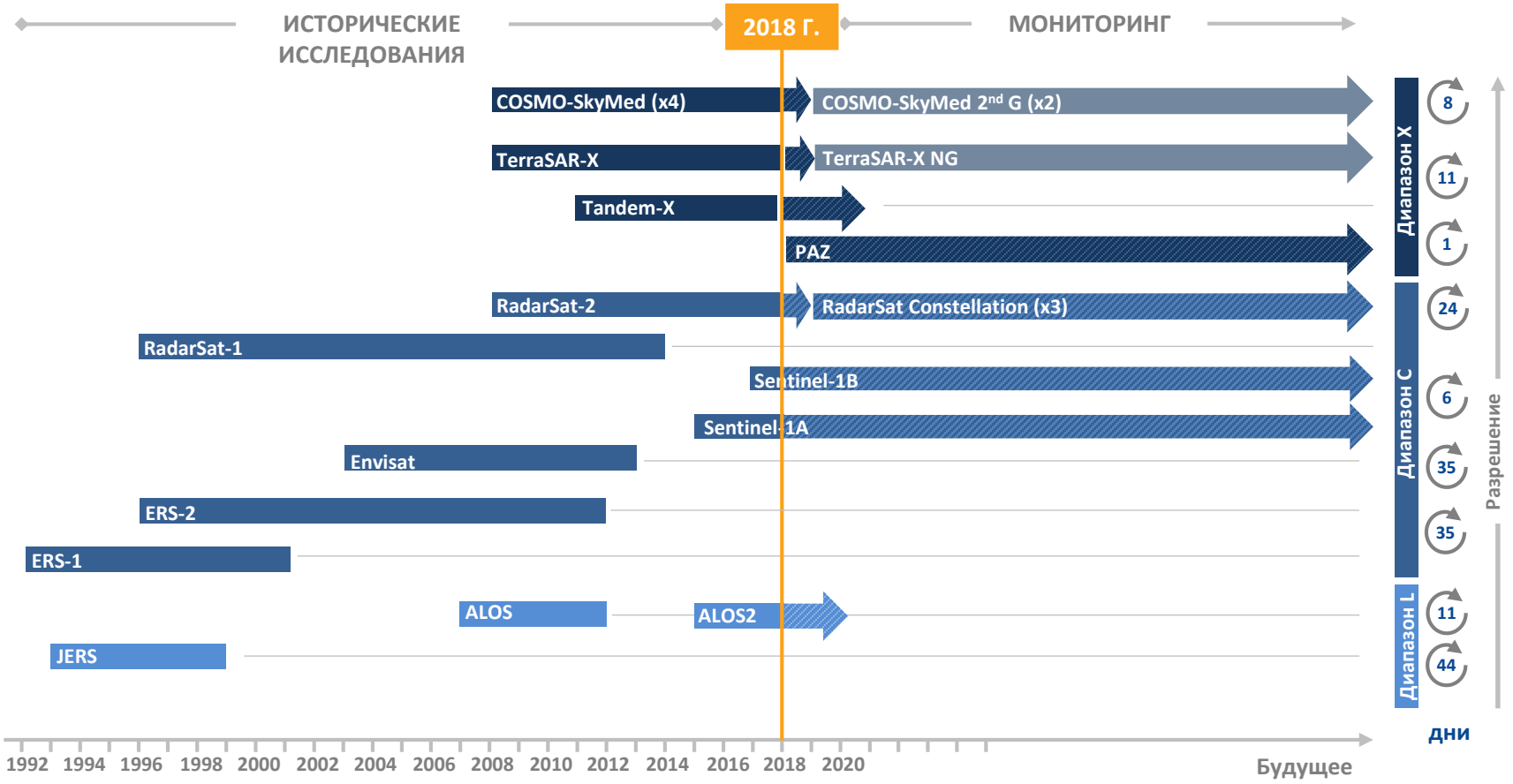
- Технология InSAR является средством выполнения **относительных измерений**.
- Измерения SqueeSAR™ выполняются относительно опорного пункта (REF), который считается стабильным.
- Опорный пункт выбирается в процессе обработки данных с учетом его характеристик (хорошее отражение сигнала, высокое качество измерений и т. д.)
- Измерения смещений выполняется со следующими **точностными параметрами:**

Стандартное отклонение	
Средняя скорость смещений	± 1 мм в год
Отдельные измерения смещений	± 5 мм

Теоретические значения для набора исходных данных,
превышающего 40 изображений, которые получены за период менее 2 лет

Технология InSAR

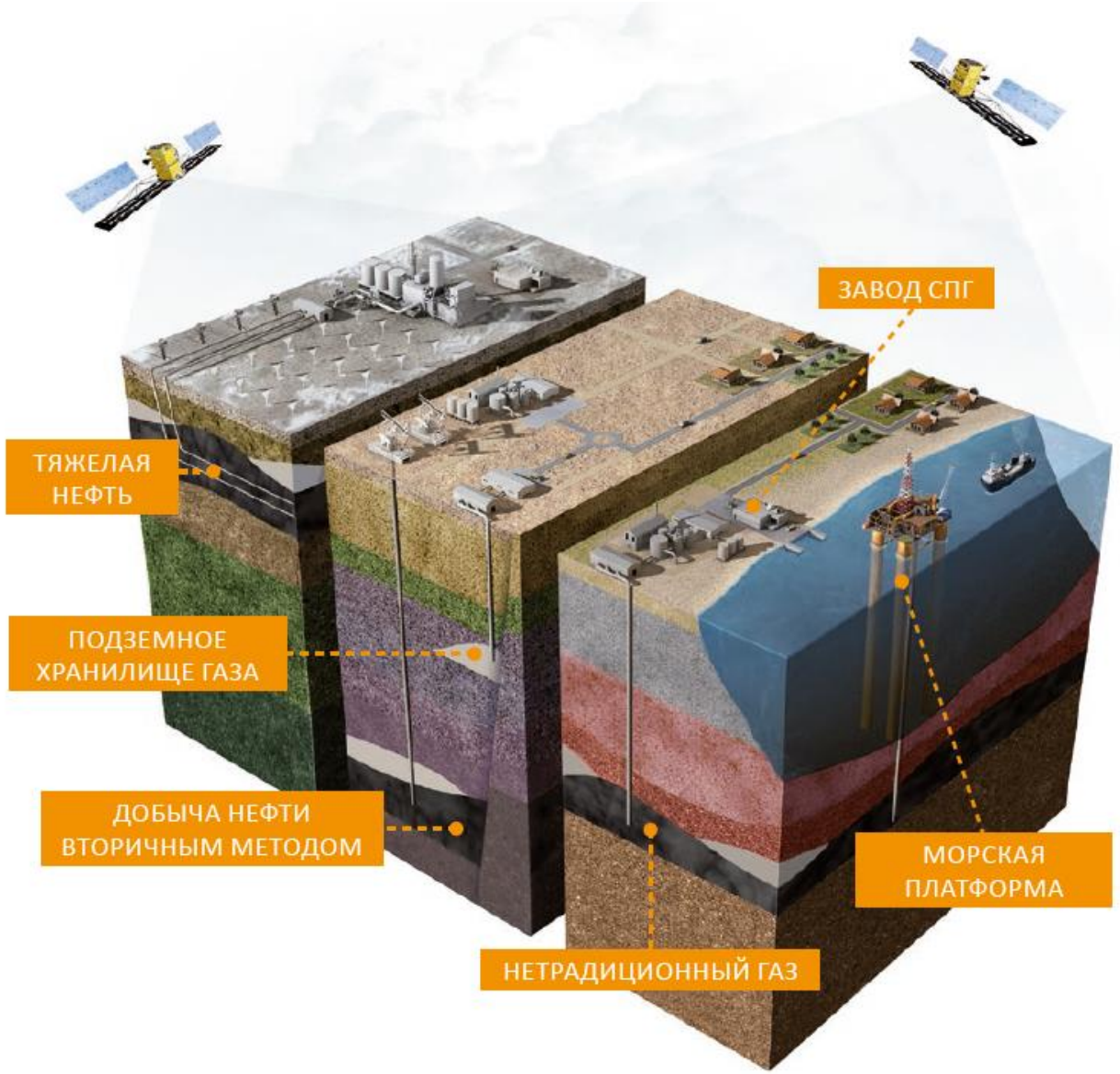
Радиолокационные спутниковые системы



Спутниковые системы нового поколения позволяют получать данные высокого разрешения с высокой интенсивностью и выполнять интерферометрические измерения с высокой точностью.

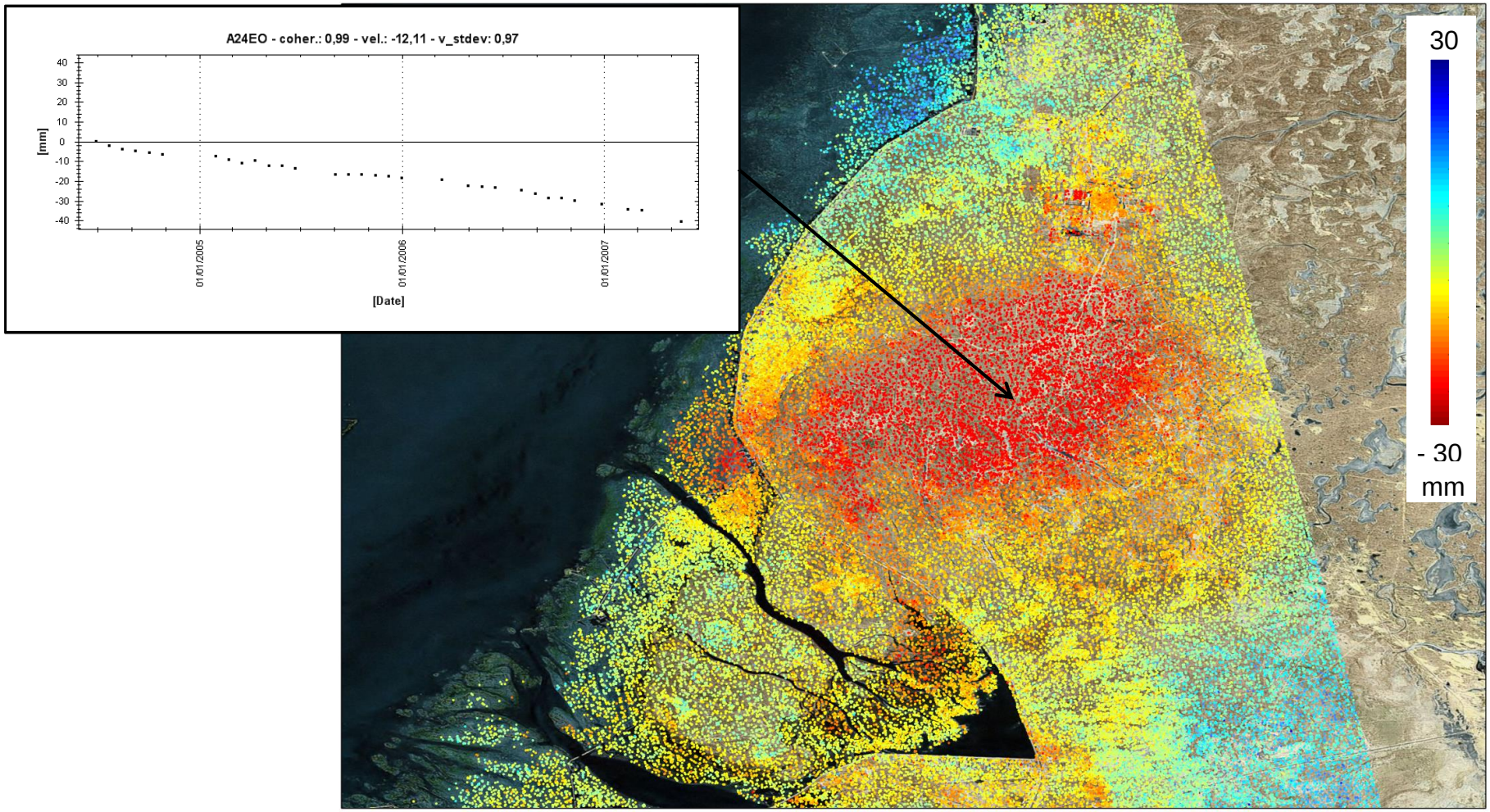
Нефтегазовая промышленность

TRE ALTAMIRA



Нефтегазовые проекты

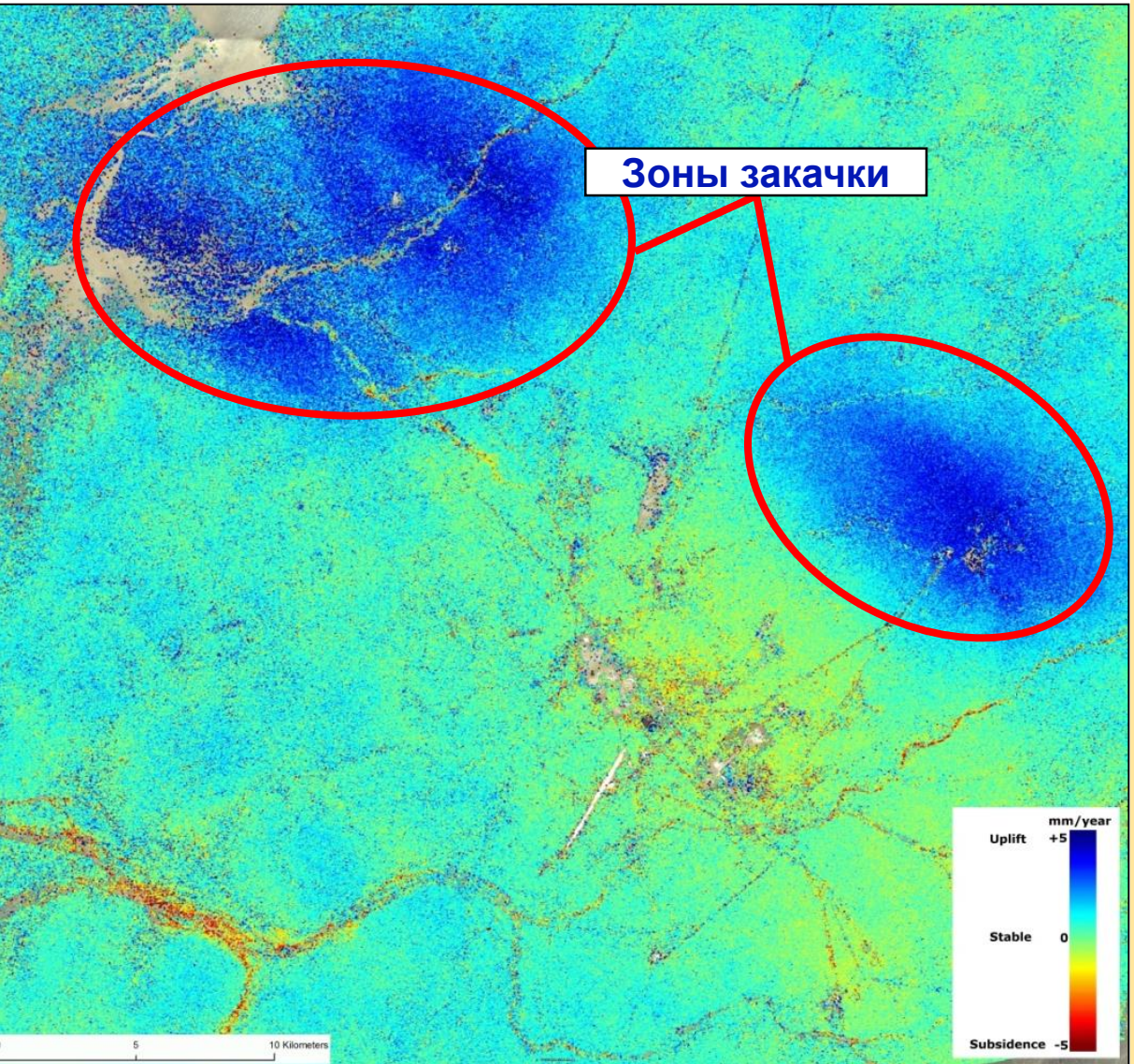
Мониторинг нефтегазового месторождения Тенгиз в Казахстане



Интерферометрическое исследование месторождения за период с 2004 по 2007 гг.

Нефтегазовые проекты

Мониторинг закачки CO_2 в Северной Африке



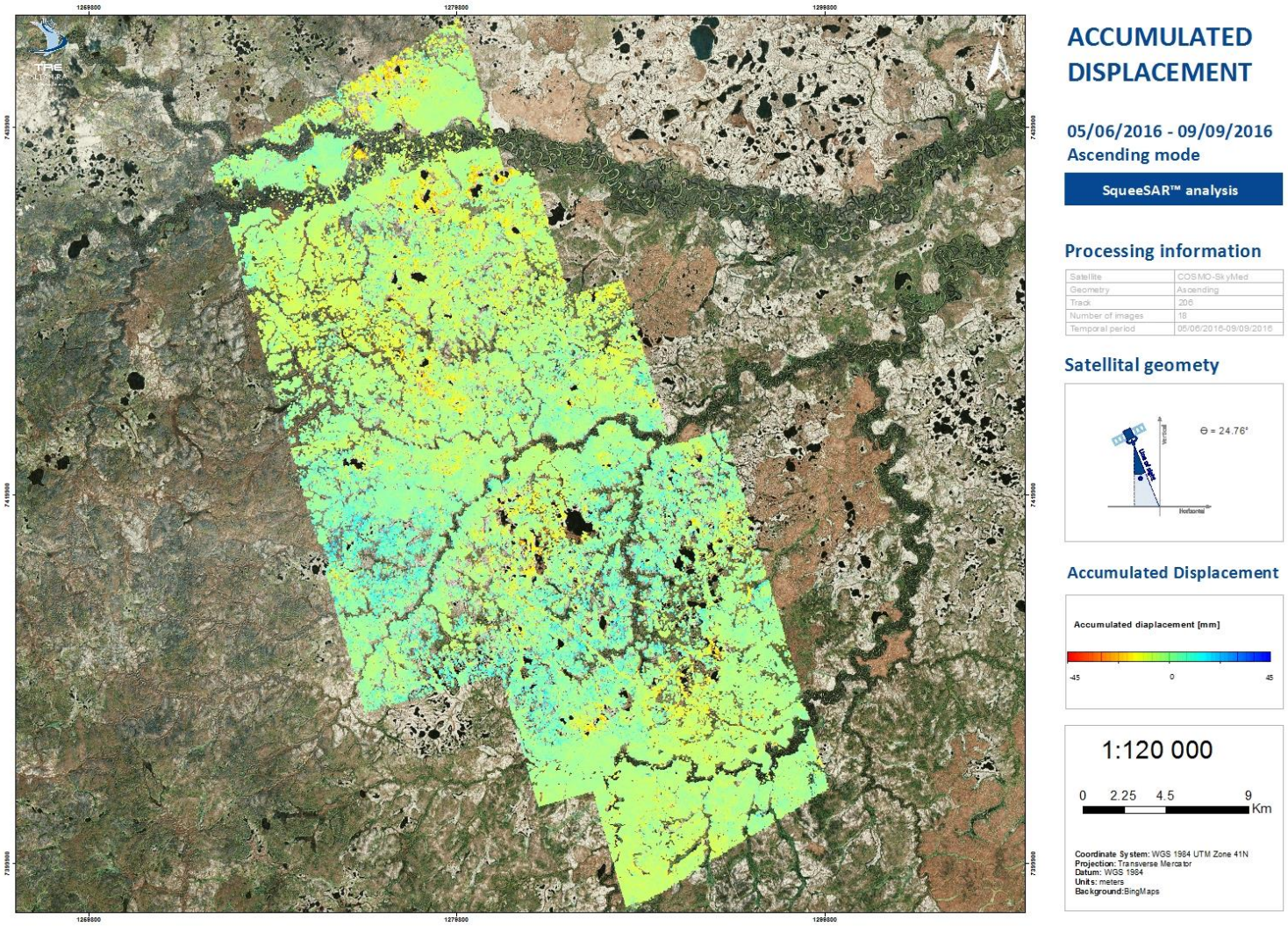
Хранилище CO_2 размещено на глубине 1900 м. Период исследования: 2003 – 2010 гг.

Зоны подъема земной поверхности (5 мм в год) выявлены вблизи технологических скважин (голубые зоны).

Зоны оседания земной поверхности (2.5 мм в год) оказывают влияние на важные объекты инфраструктуры.

Газоконденсатное месторождение в России

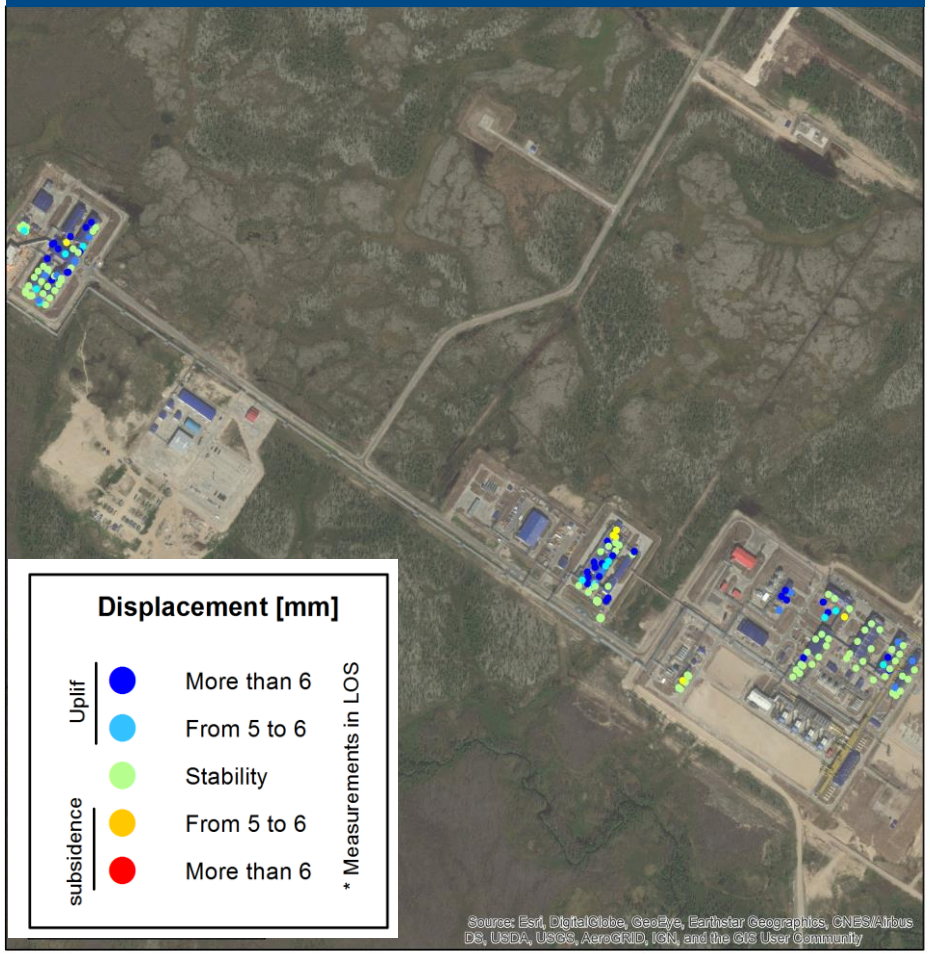
Карта накопленных деформаций



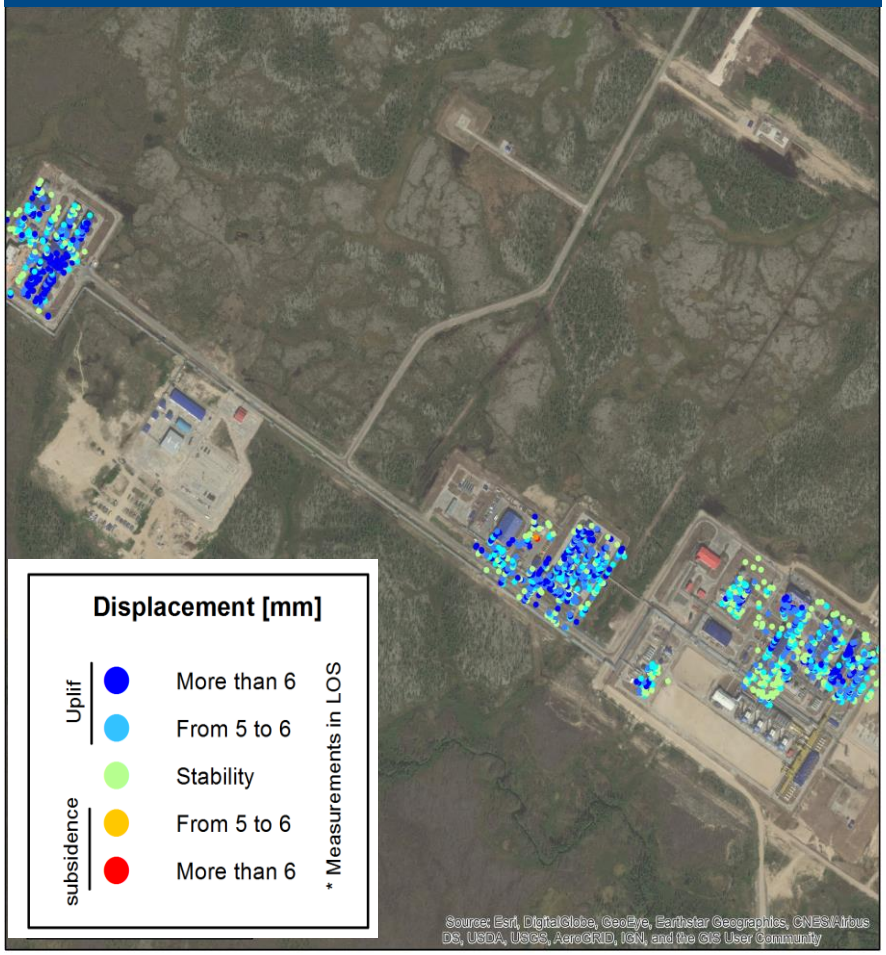
Газоконденсатное месторождение в России

Сравнение с результатами наземных измерений

Наземные измерения

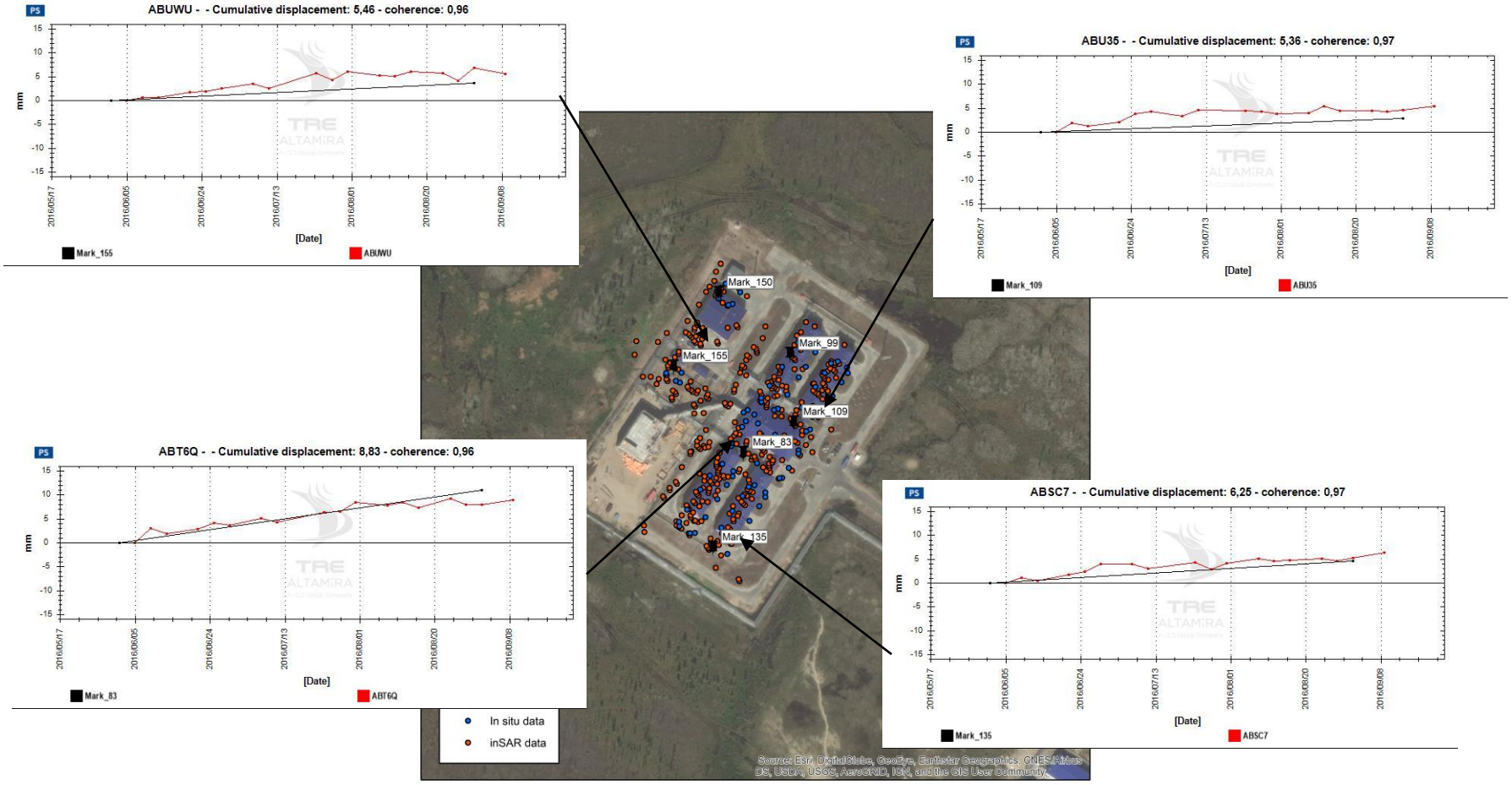


Результаты InSAR



Газоконденсатное месторождение в России

Сравнение с результатами наземных измерений



Газоконденсатное месторождение в России

Сравнение с результатами наземных измерений

Горная промышленность

TRE ALTAMIRA

Медный рудник

Медный рудник

Цели проекта	- Выявить неизвестные нестабильные зоны - Очертить периметр оседания карьера - Измерить деформации земной поверхности, влияющие на ключевые объекты инфраструктуры и на старые отвалы пород

Историческое исследование

2007 – 2011 гг.
(спутник ALOS)

- Выполненное исследование позволило получить общее понимание о распространении и о магнитуде деформаций вокруг карьера, отвалов, дамбы, штабелей кучного выщелачивания и других ключевых объектов.
- Были выявлены зоны оседания, в дальнейшем эти зоны изучались в процессе мониторинга.

Мониторинг

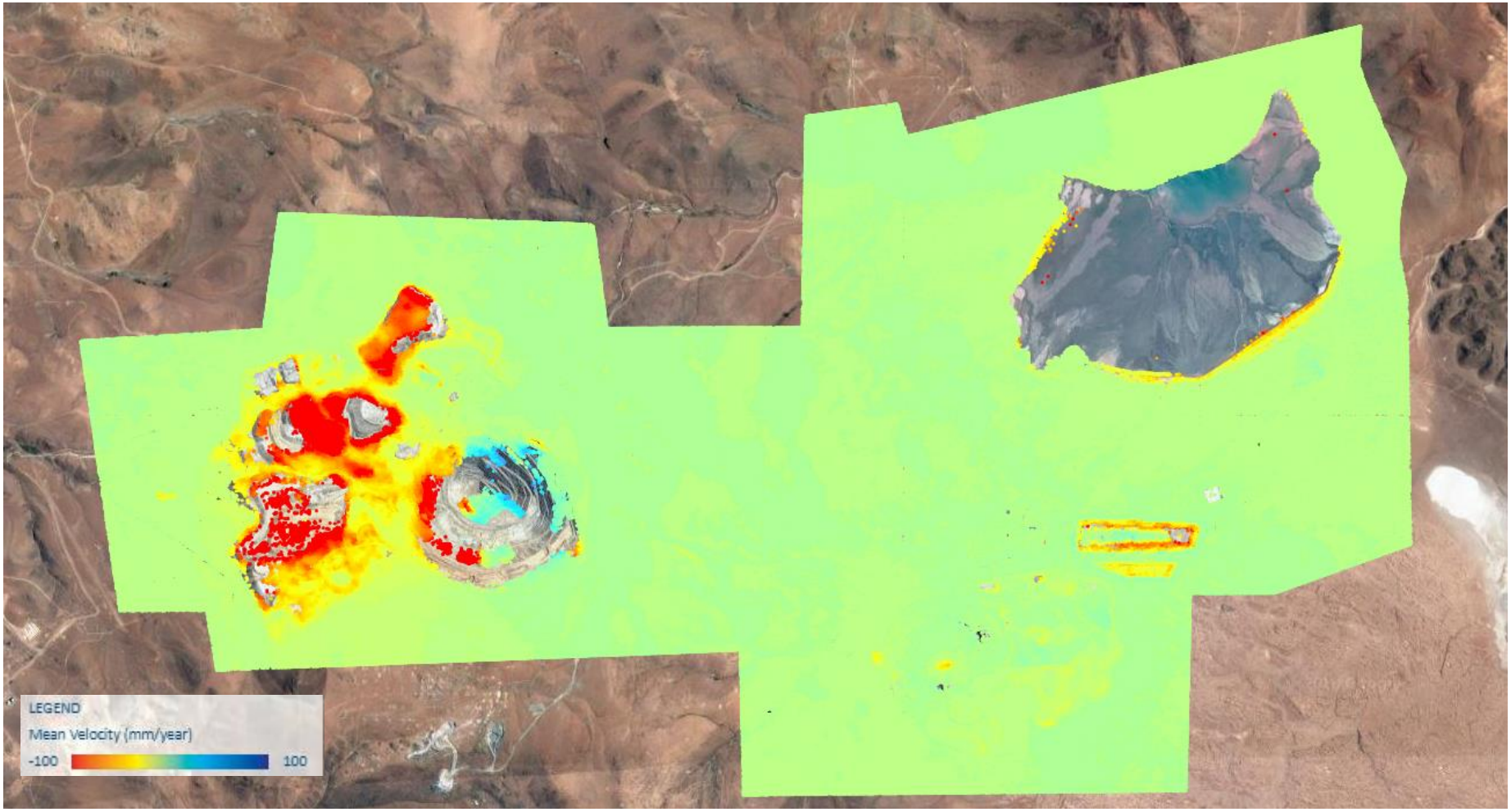
Раз в 6 месяцев
(спутники диапазона X)

- В рамках мониторинга ведется наблюдение за развитием и за магнитудами деформаций, выявленных к рамках исторического исследования, в частности анализируются деформации карьера, отвалов, дамбы.
- Были выявлены некоторые нестабильные зоны, которые не были обнаружены ранее.

Историческое исследование позволяет оценить состояние карьера
и определить оптимальный вариант мониторинга его дальнейшей разработки.

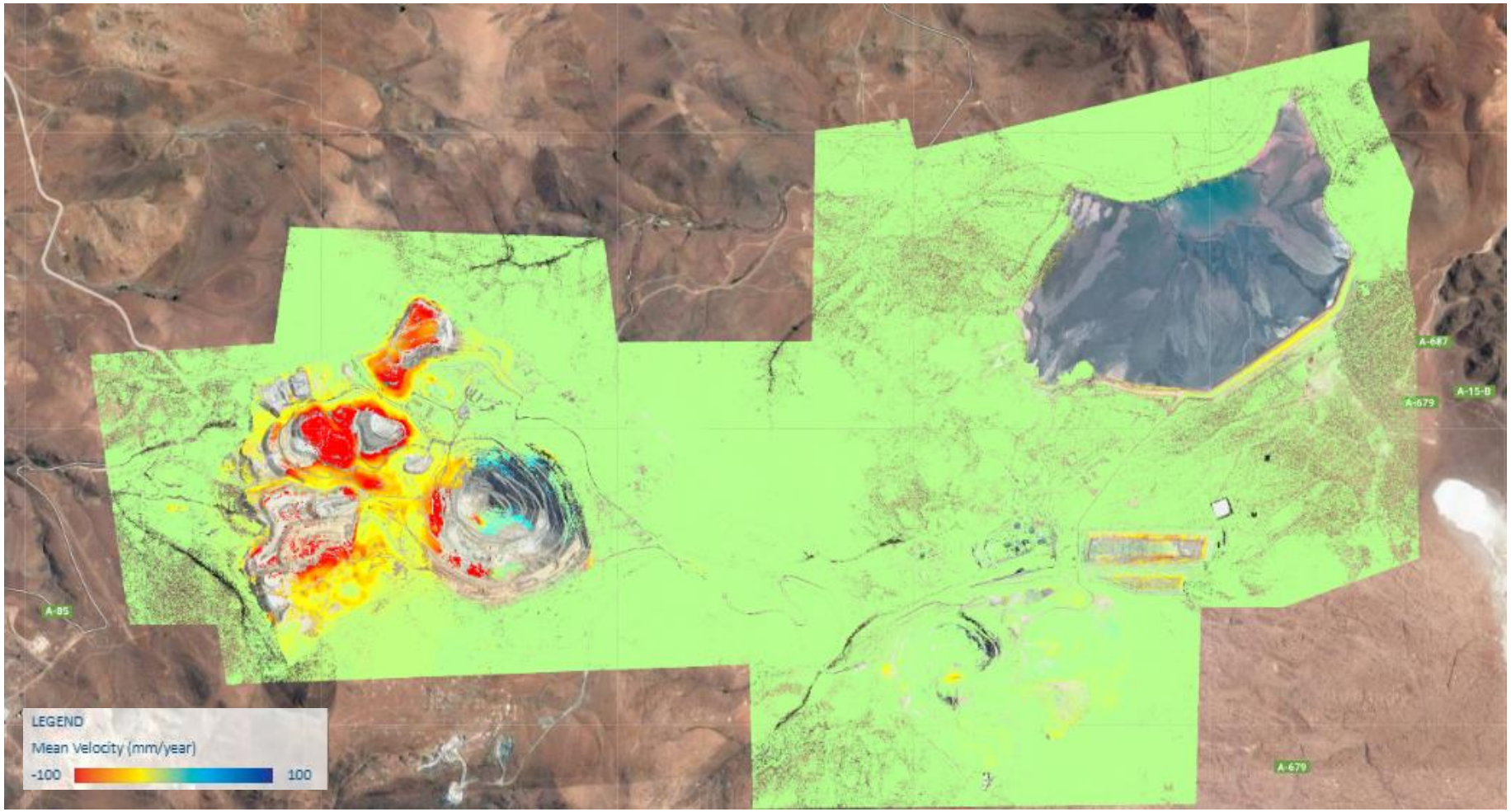
Медный рудник

Данные высокого разрешения: TerraSAR-X (2015 – 2016 гг.)



Медный рудник

Данные среднего разрешения: Sentinel (2014 – 2017 гг.)

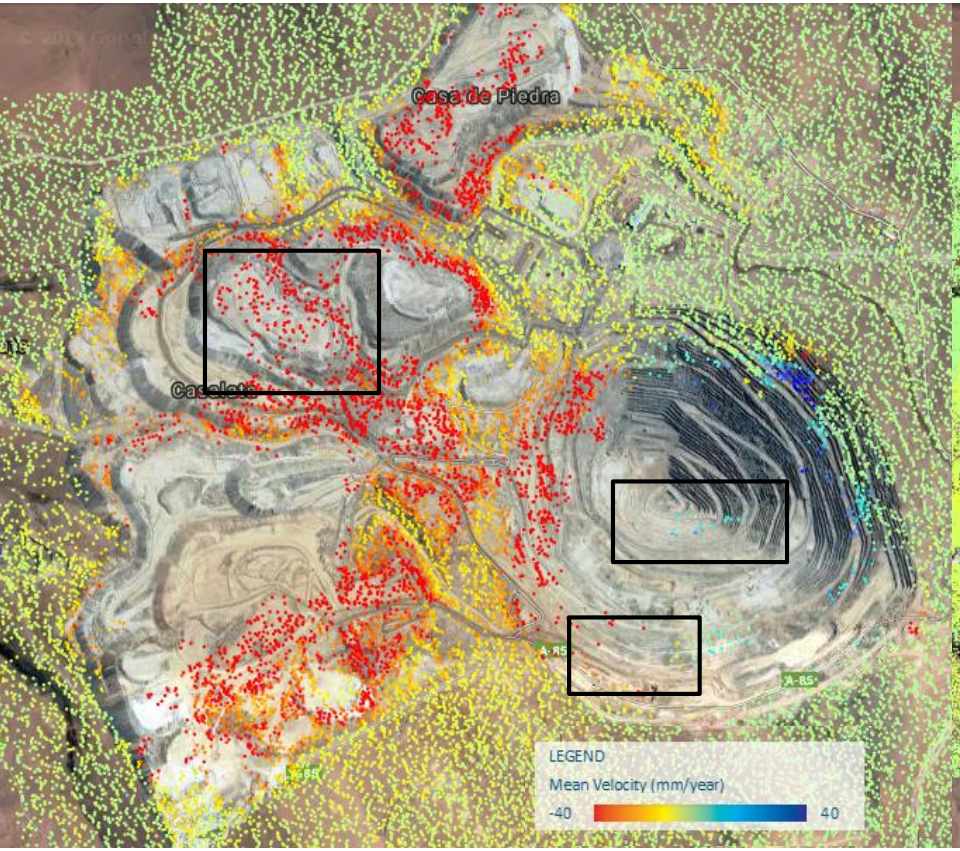


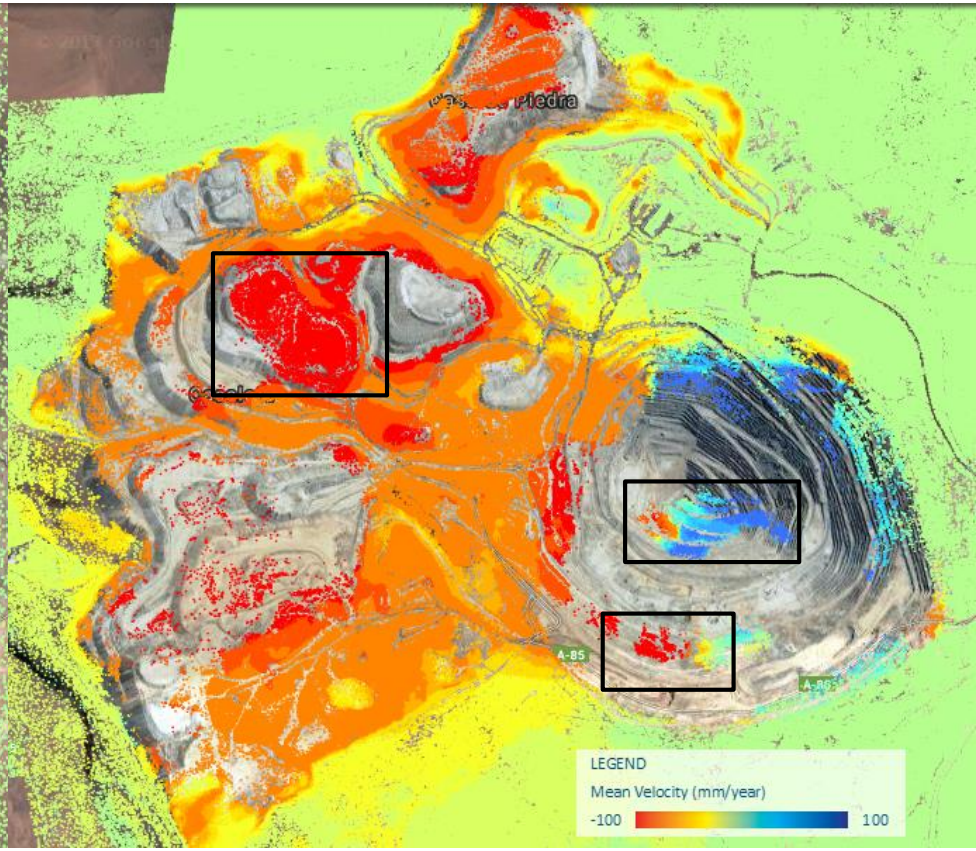
Медный рудник

Карьер: сравнение результатов

Sentinel
октябрь 2014 г. – март 2017 г.
2 года и 5 месяцев

TerraSAR-X
январь 2015 г. – ноябрь 2016 г.
1 год и 11 месяцев

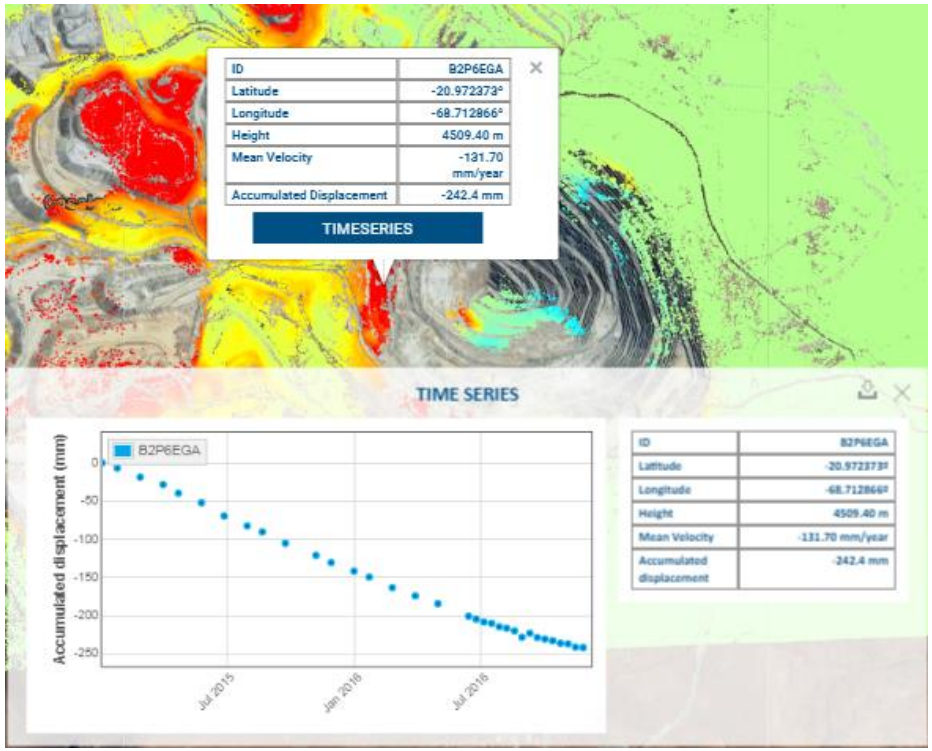




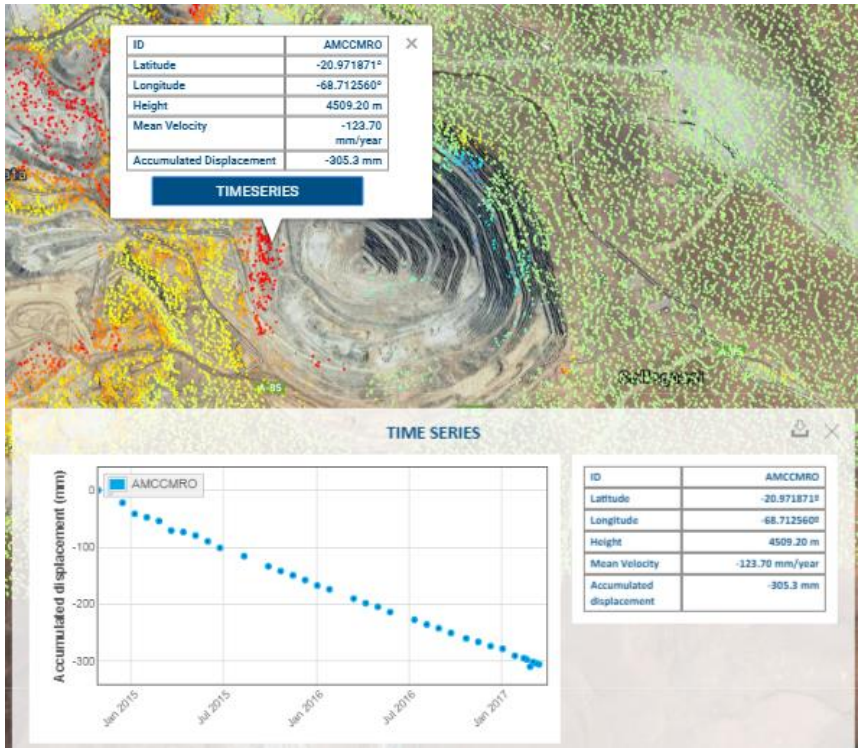
Медный рудник

Карьер: сравнение результатов

Sentinel
октябрь 2014 г. – март 2017 г.
2 года и 5 месяцев



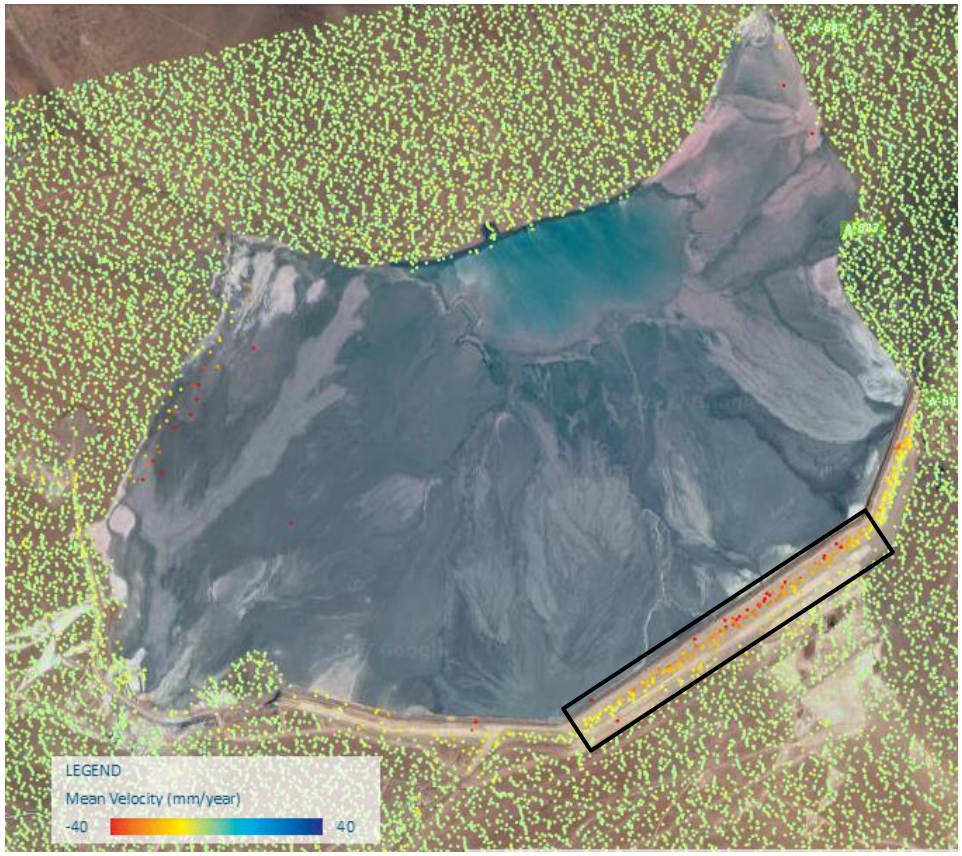
TerraSAR-X
январь 2015 г. – ноябрь 2016 г.
1 год и 11 месяцев



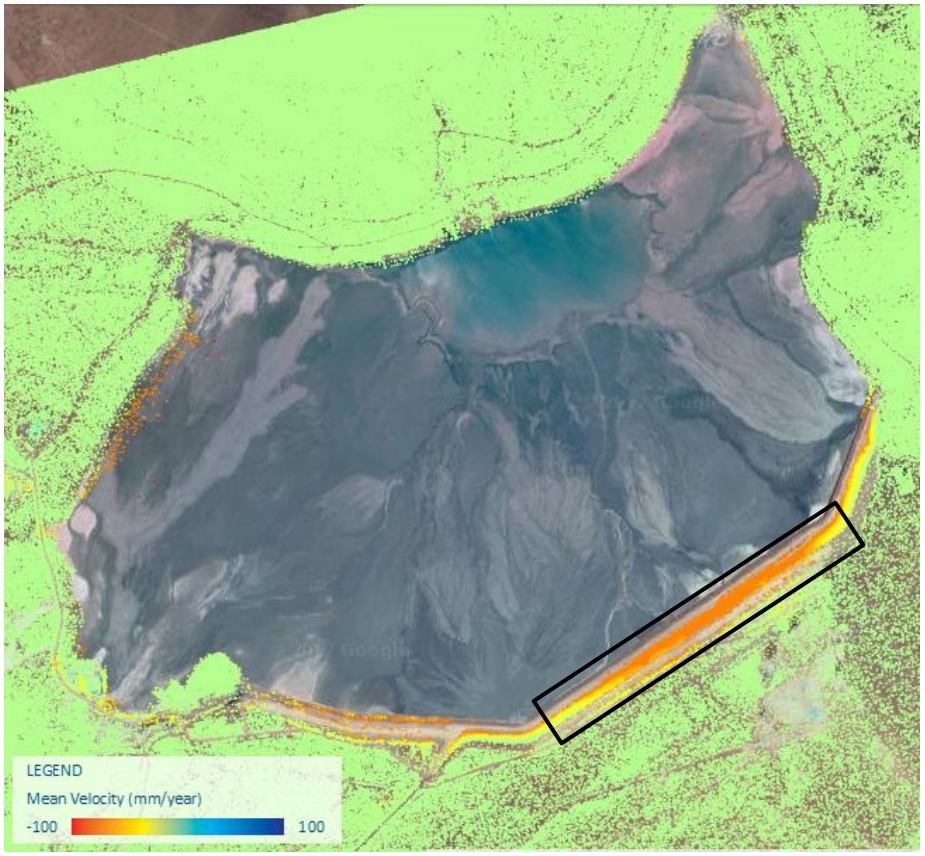
Медный рудник

Карьер: сравнение результатов

Sentinel
октябрь 2014 г. – март 2017 г.
2 года и 5 месяцев



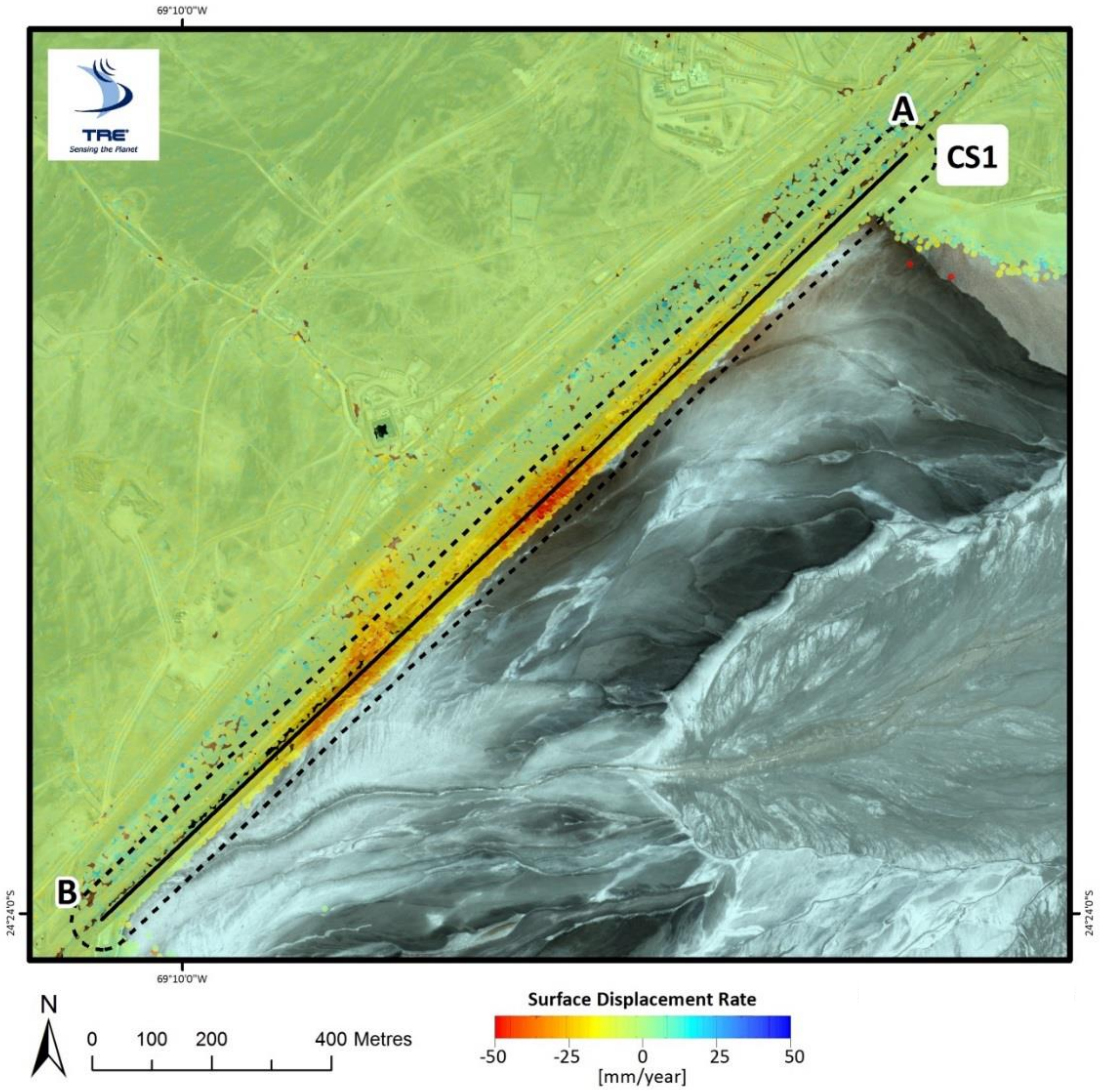
TerraSAR-X
январь 2015 г. – ноябрь 2016 г.
1 год и 11 месяцев



Дамба хвостохранилища

Дамба хвостохранилища

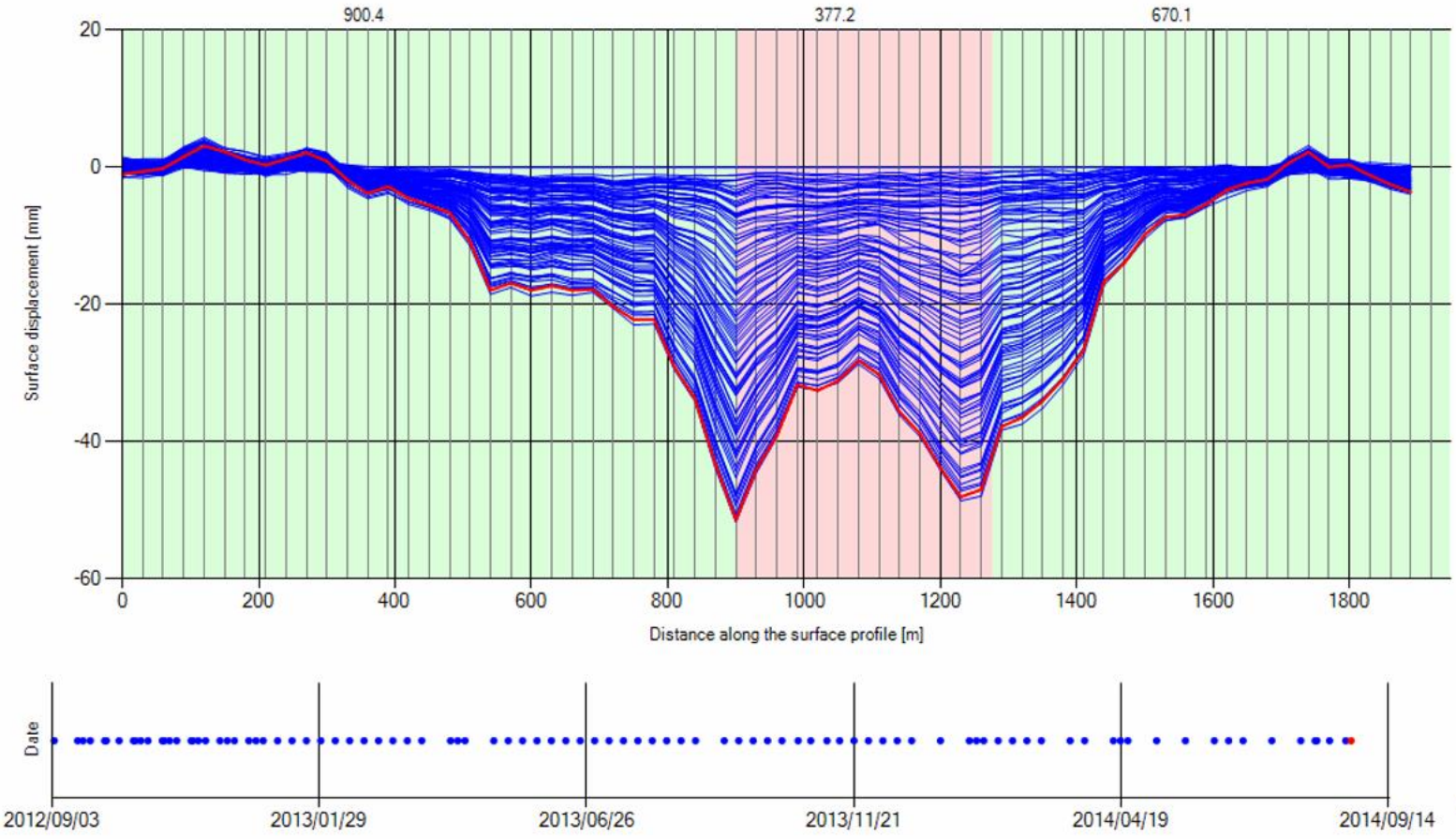
Карта смещений



Дамба хвостохранилища

Профили

2014/08/25



TRE Sensing the Planet

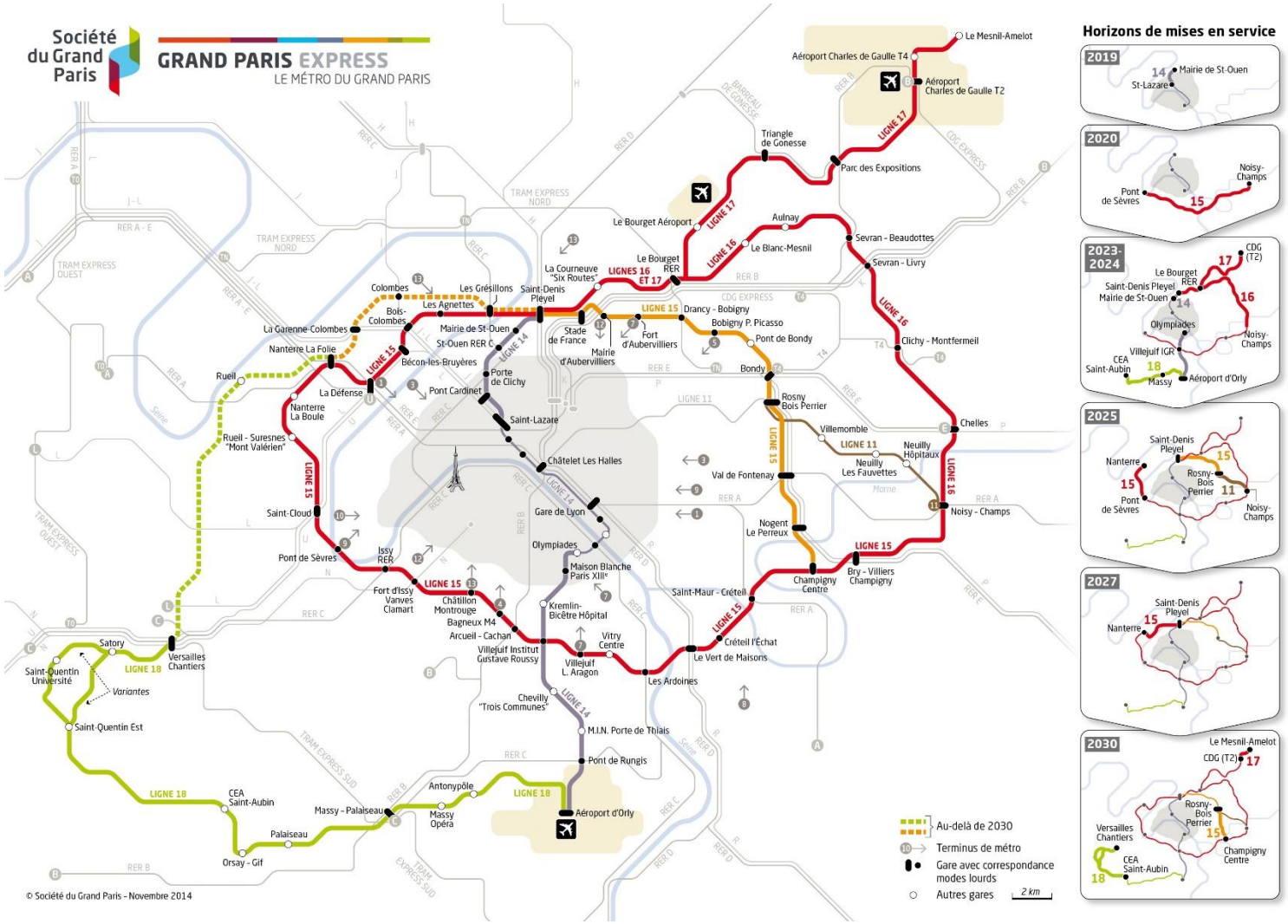
TRE ALTAMIRA

Мониторинг объектов инфраструктуры

TRE ALTAMIRA

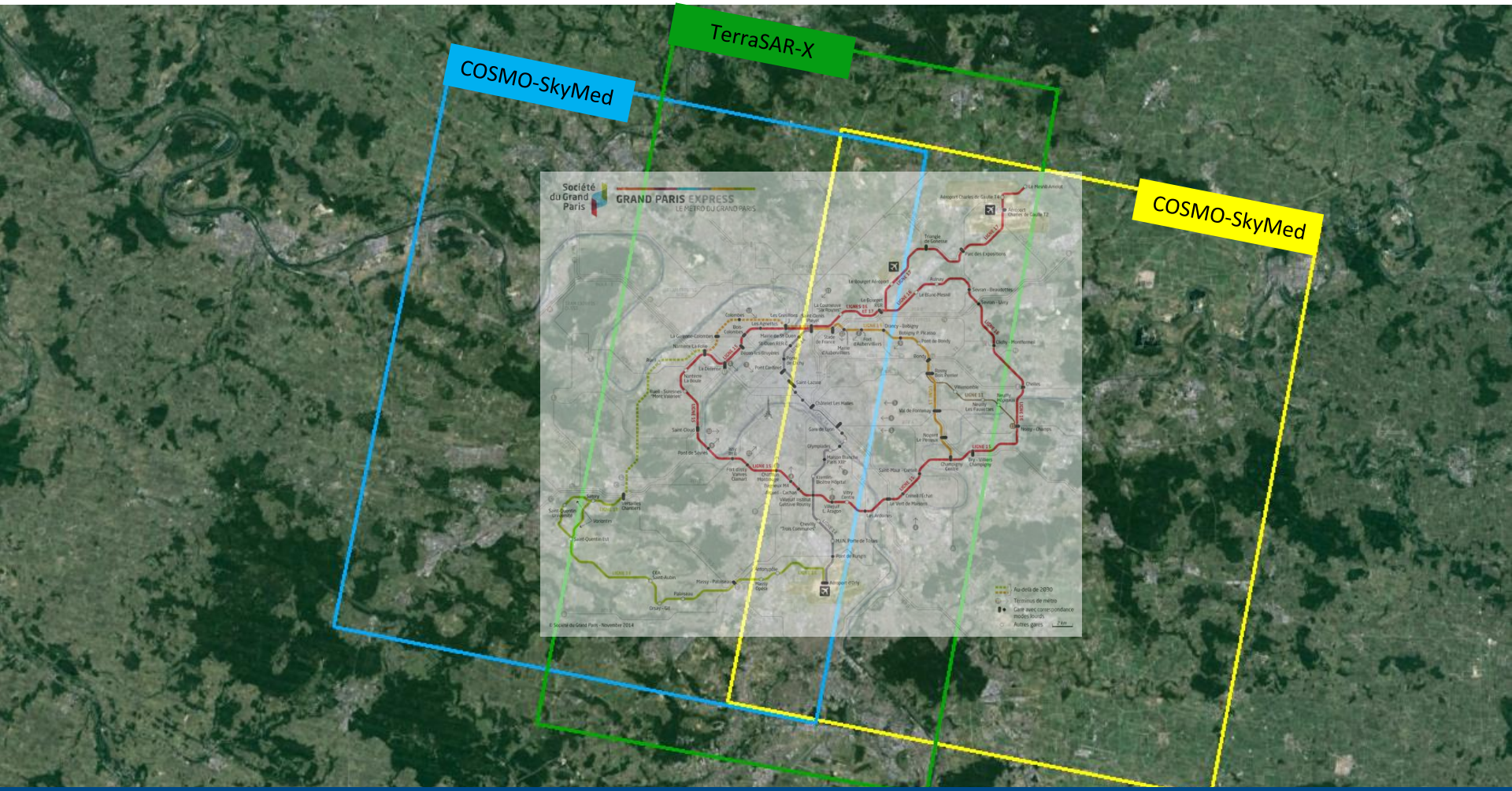
Проект InSAR в интересах Grand Paris Express

Строительство метро Grand Paris Express



Проект InSAR в интересах Grand Paris Express

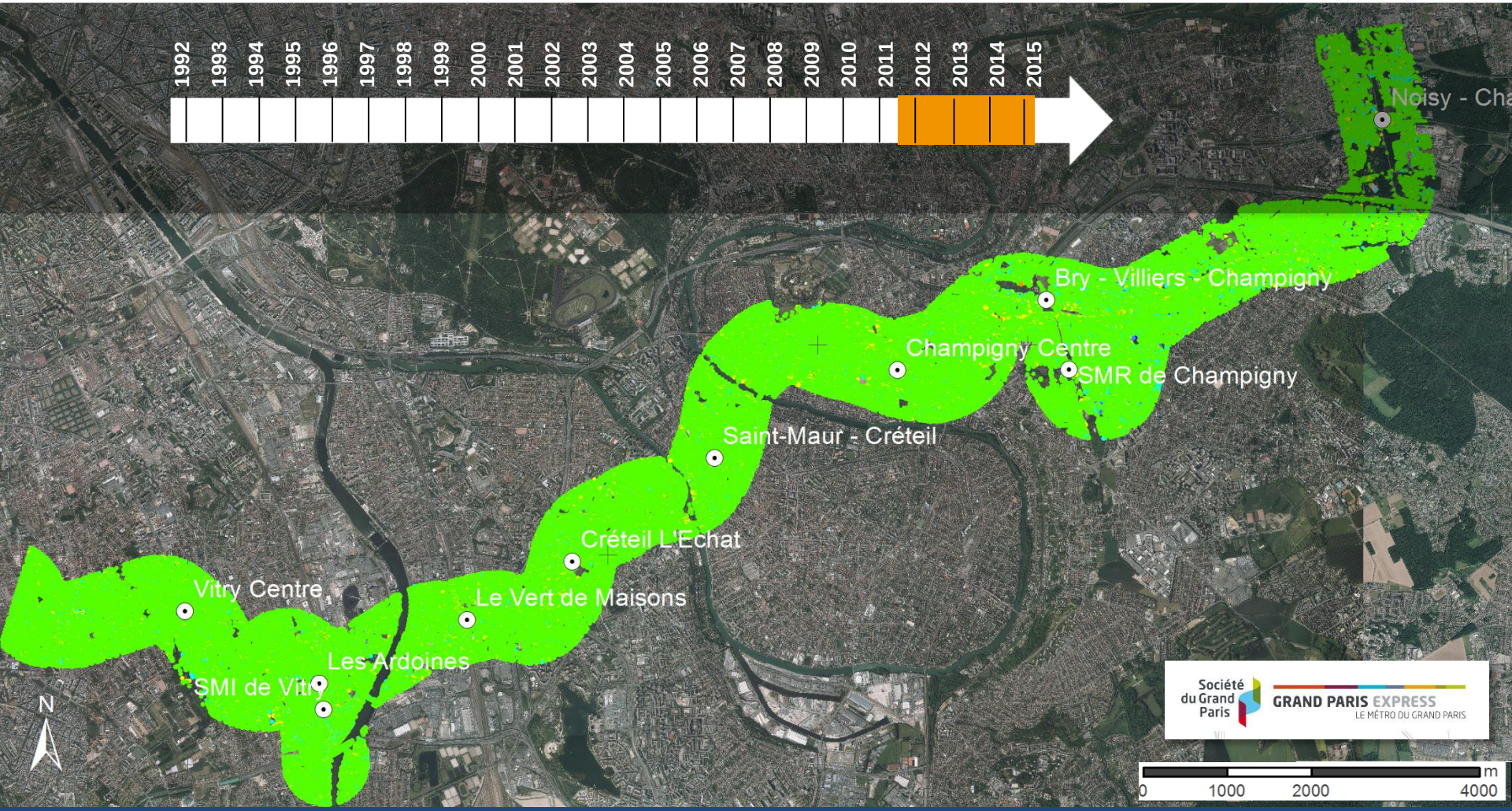
Историческое исследование на базе данных высокого разрешения



Историческое исследование на базе данных высокого разрешения 2011-2015 гг. позволило оценить до начала строительства состояние всей территории, на которой будут проводиться работы в рамках проекта Grand Paris Express.

Проект InSAR в интересах Grand Paris Express

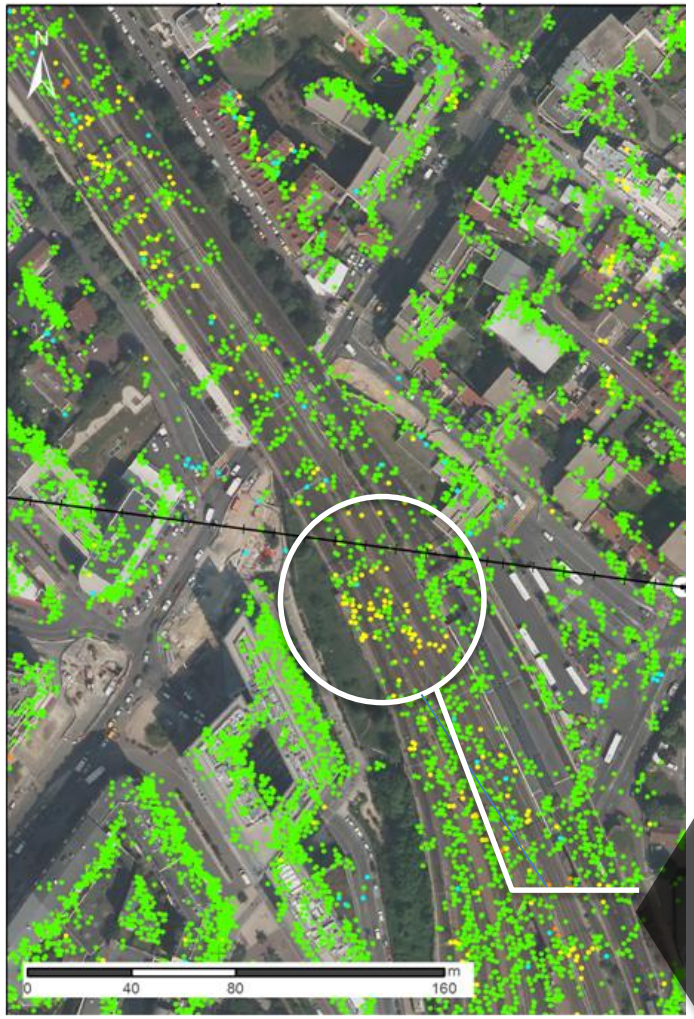
Историческое исследование коридора шириной 1 км вдоль линии



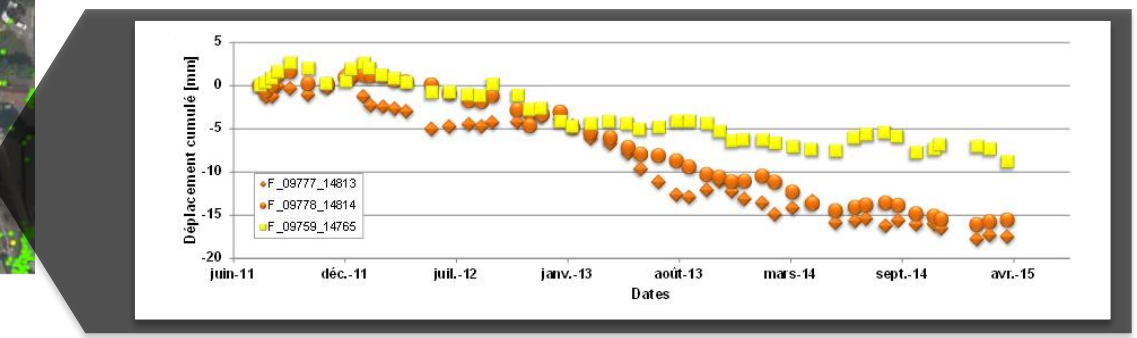
Исследование этого коридора, выполненное на базе данных высокого разрешения, подтвердило возможность обеспечения высокой плотности измерений без установки какого-либо оборудования на местности. Каждая цветная метка соответствует одному измерению смещений.

Проект InSAR в интересах Grand Paris Express

Историческое исследование: пример зоны, в которой выявлены смещения



- Историческое исследование позволило выявить зоны, которые были нестабильны в период с 1992 по 2015 гг. Графики, сгенерированные для некоторых точек, позволяют проследить развитие смещений, как это показано на представленном ниже примере.
- В случае необходимости могут быть выполнены разведывательные работы для получения дополнительных геологических и геотехнических данных о выявленных проблемных зонах.



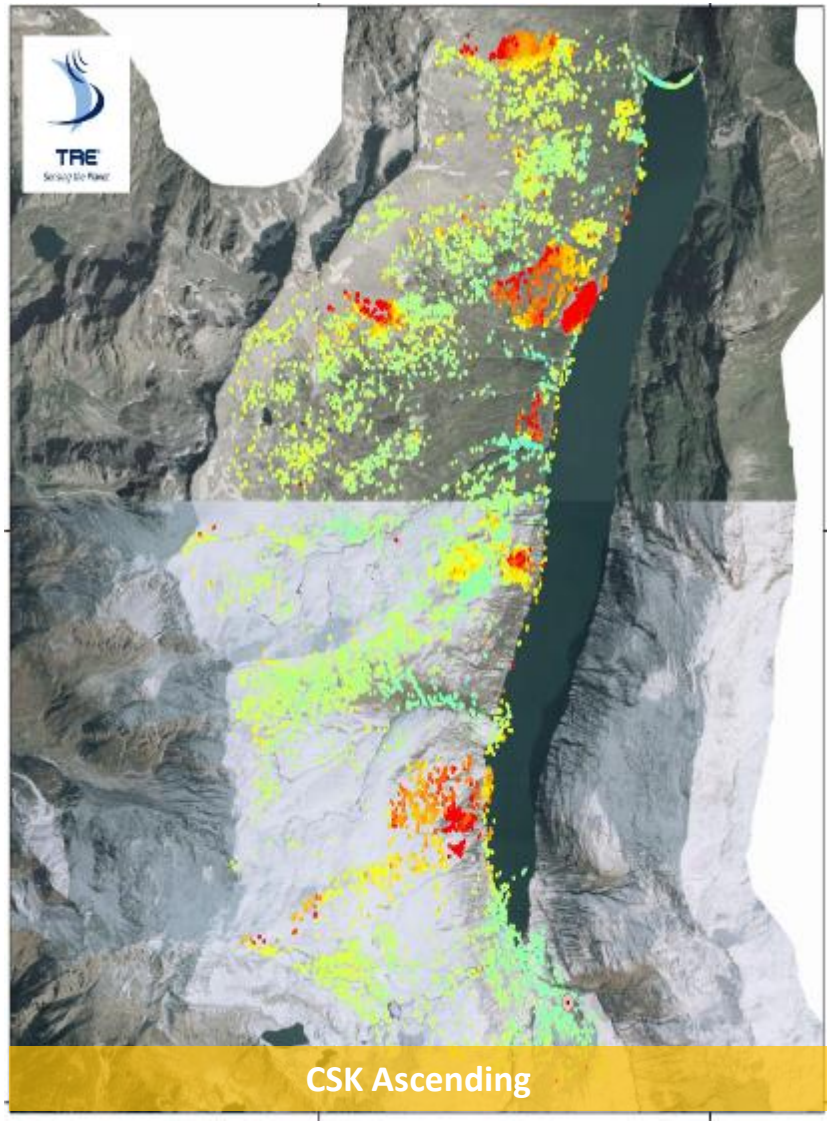
Плотина в Альпах

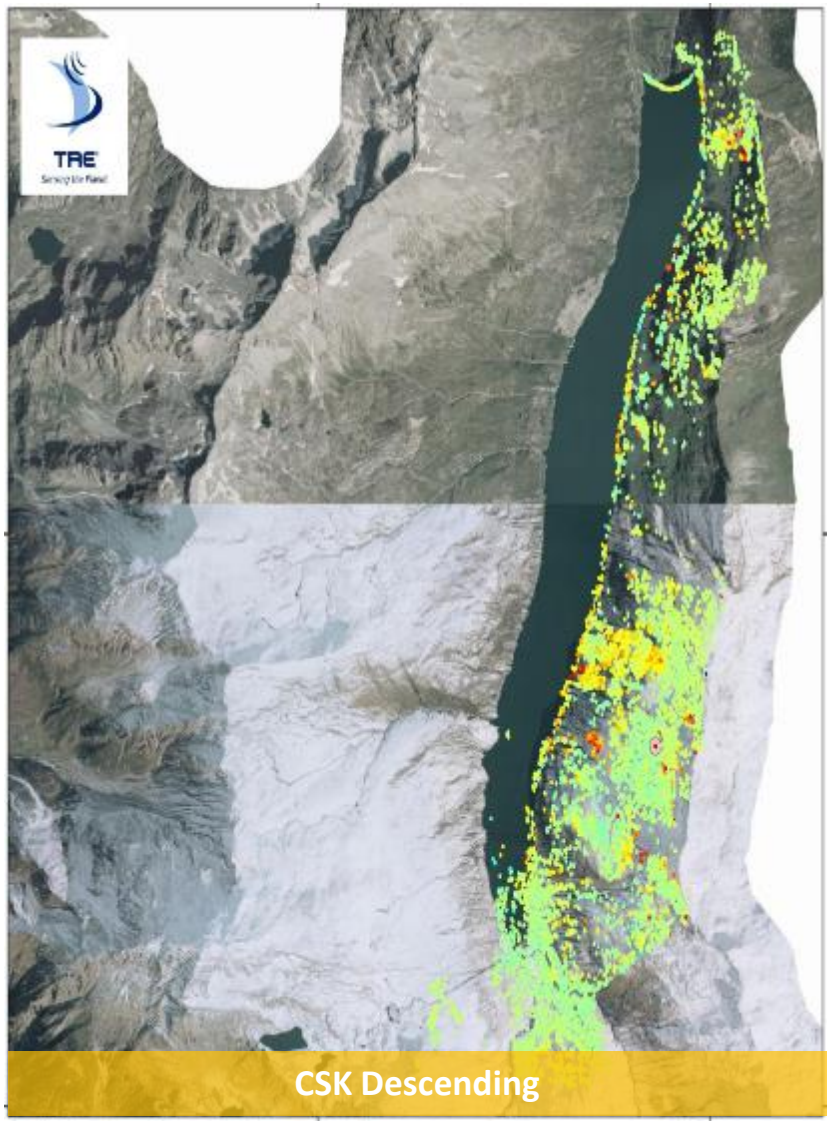
Историческое исследование и мониторинг

- Интерферометрическое исследование плотины и склонов над водохранилищем
- Историческое исследование на базе данных RADARSAT и мониторинг на базе данных COSMO-SkyMed

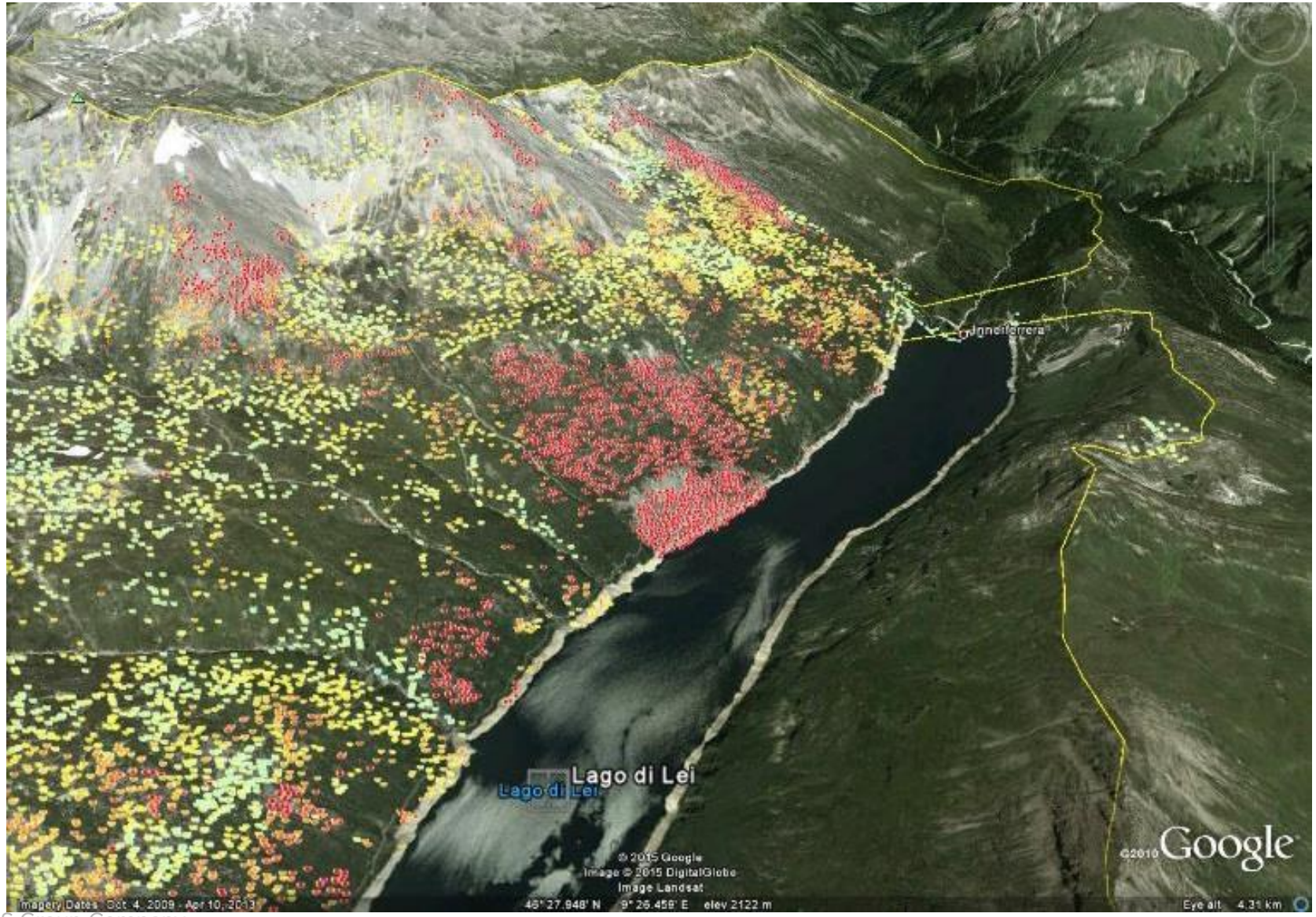
Плотина в Альпах

Результаты интерферометрического исследования



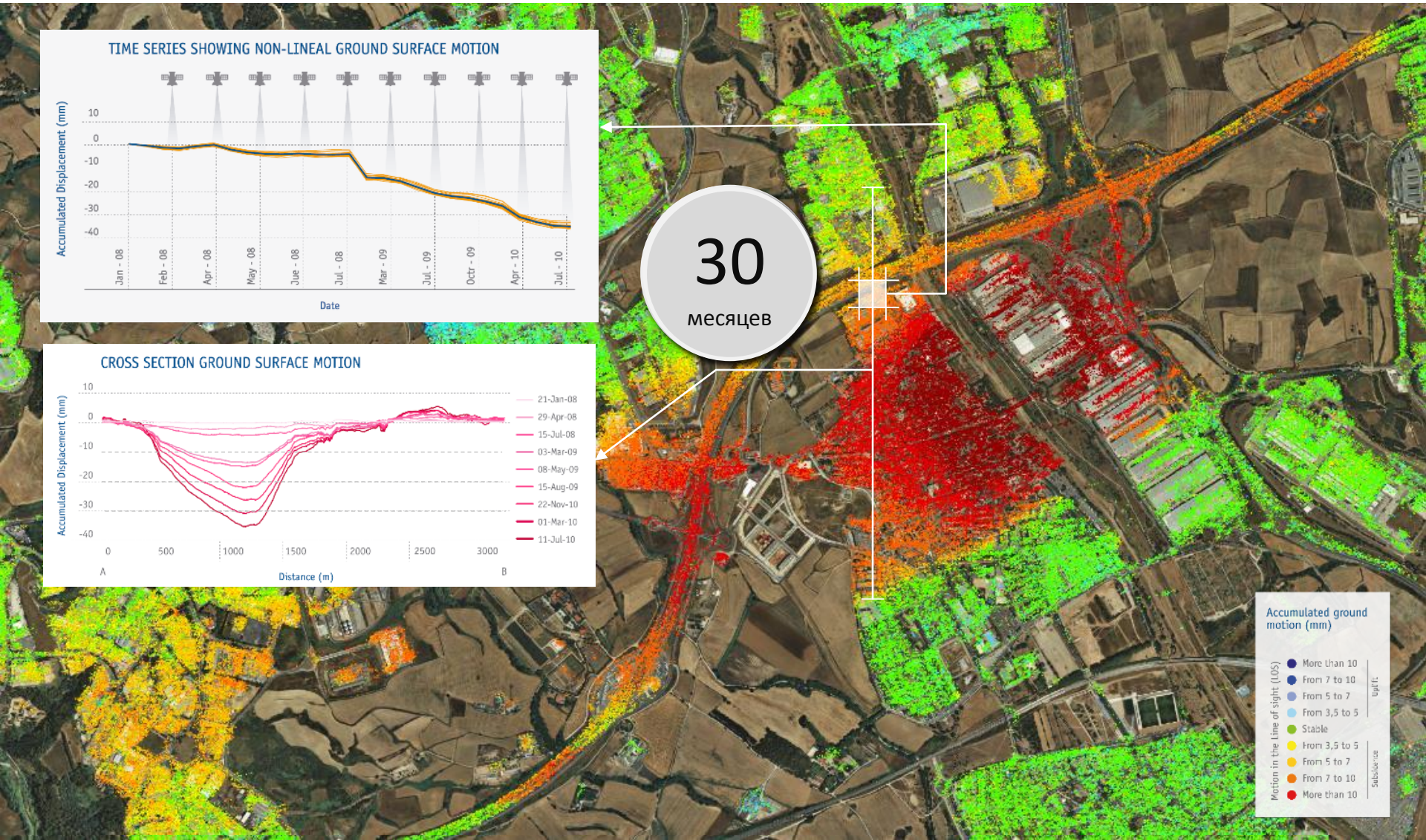


Визуализация 3D



Влияние откачки воды на автомагистраль

Карта деформаций земной поверхности

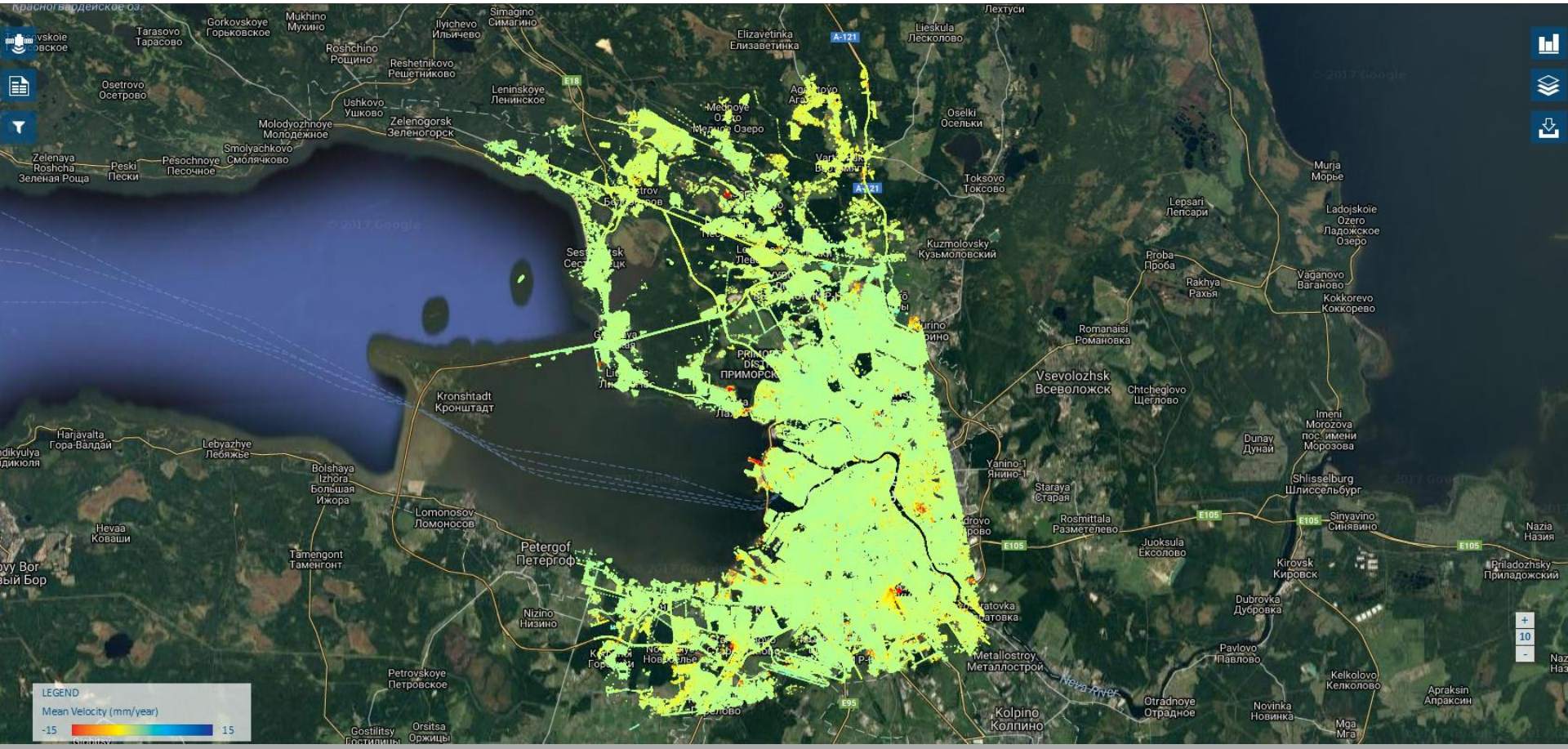


Отдельные здания и исторические памятники

Millennium Tower в Сан-Франциско

Мониторинг городской застройки

Санкт-Петербург

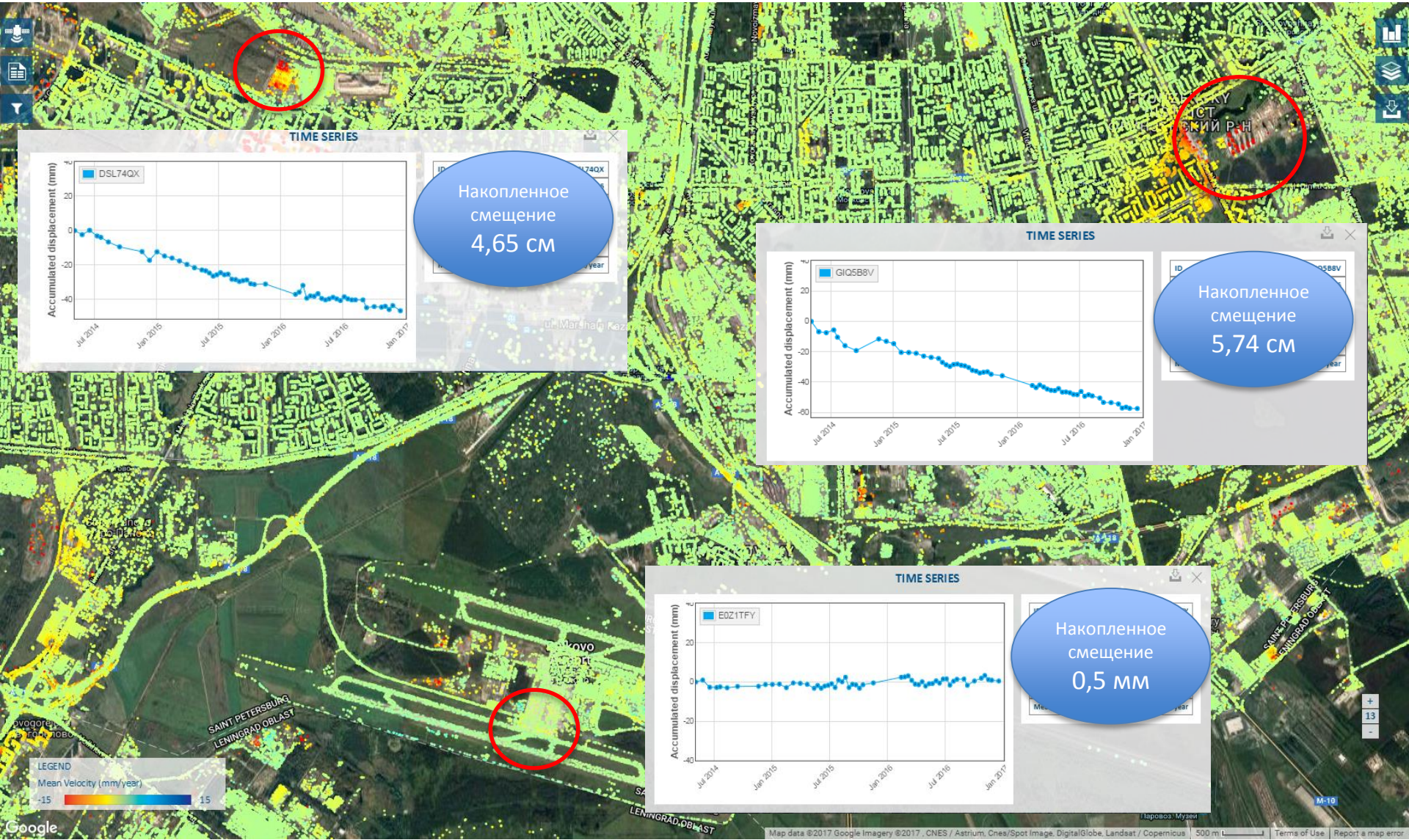


май 2014 г. - декабрь 2016 г.

56 спутниковых изображений высокого разрешения

Мониторинг городской застройки

Санкт-Петербург



Монито

TIME SERIES HRXWIRI
HRXWIRI
Accumulated displacement (mm)
Накопленное смещение
2,29 см

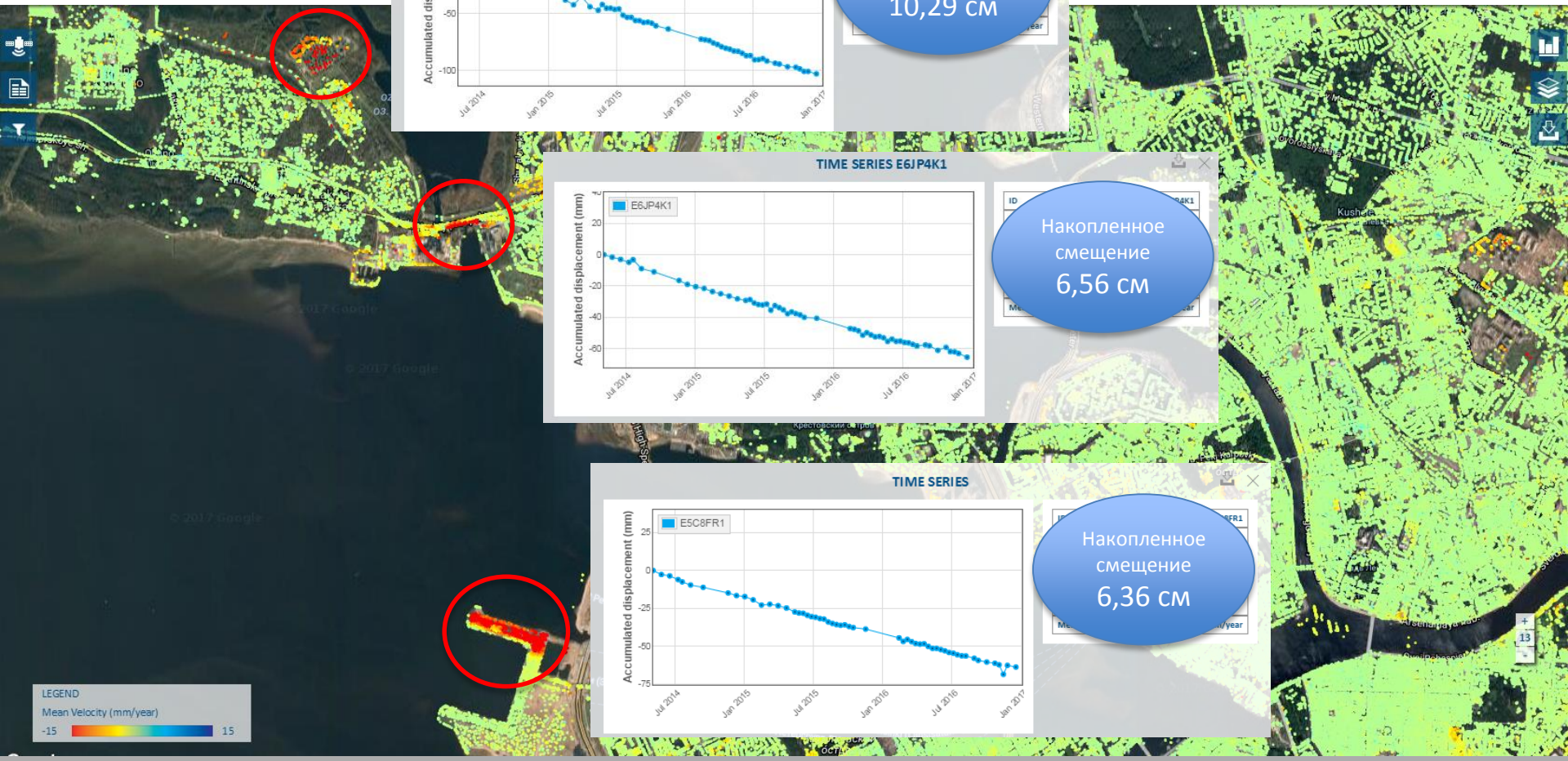
TIME SERIES
H7UIV8B
Accumulated displacement (mm)
Накопленное смещение
5,07 см

TIME SERIES
GFM7WF4
Accumulated displacement (mm)
Накопленное смещение
4,51 см

TIME SERIES
HCD25MR
Accumulated displacement (mm)
Накопленное смещение
4,35 см

...одской застройки

Санкт-Петербург



май 2014 г. - декабрь 2016 г.

56 спутниковых изображений высокого разрешения

Поставка результатов

Поставка результатов

Шейп-файл с результатами измерений

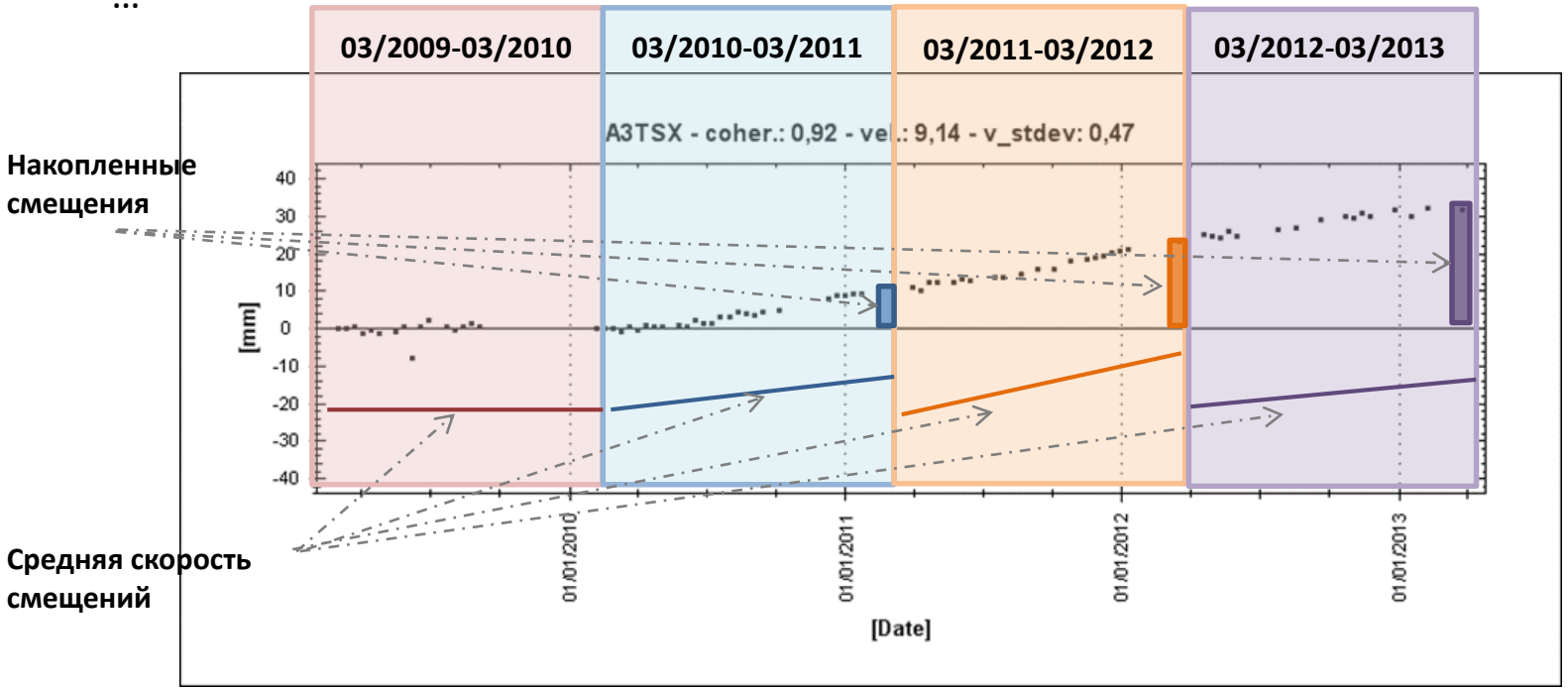
- **CODE**: идентификационный код пункта измерения
- **HEIGHT:** высота пункта измерения [м]
- **H_STDEV:** стандартное отклонение результатов измерения высоты по сравнению с высотой опорного пункта REF
- **VEL:** средняя скорость смещения [мм в год]
- **V_STDEV:** стандартное отклонение результатов измерения скорости смещений по сравнению со скоростью опорного пункта REF
- **COHERENCE:** показатель качества измерения, изменяющийся от 0 до 1
- **EFF_AREA:** площадь, занимаемая распределенными отражателями, равна нулю в случае использования точечных отражателей [м^2]
- **D[yyyymmdd]:** смещения пунктов измерения, соответствующие датам спутниковой съемки [мм]

CODE	HEIGHT	H_STDEV	VEL	V_STDEV	COHERENCE	EFF_AREA	D20030522	D20030615	D20030709	D20030802	D20030826	D20030919
BAAKY	296.39	0.69	-0.41	0.38	0.81	0	0.00	-6.29	-4.94	-5.01	-9.92	-5.58
BBR2X	281.40	0.74	-1.71	0.38	0.72	0	0.00	10.85	-5.72	-6.46	-6.33	-5.60
BARNR	325.28	0.74	0.32	0.36	0.80	6641	0.00	1.42	-0.83	4.68	-4.69	-0.32
BAQG6	341.17	0.67	0.04	0.33	0.90	0	0.00	0.12	-2.93	-0.70	-0.25	-3.85
BAP4S	332.51	0.83	-0.88	0.41	0.81	1180	0.00	-6.79	8.05	0.65	-4.17	-4.10
A9W7X	309.46	0.81	0.15	0.40	0.74	10823	0.00	4.51	-2.76	3.66	5.70	1.61
A9VM6	311.10	0.76	0.14	0.38	0.93	4870	0.00	0.83	0.16	3.07	0.59	1.27
BBQJD	284.04	0.73	-3.46	0.36	0.88	0	0.00	-4.67	-2.36	-2.53	-5.44	-2.60
BARTA	329.71	0.75	-0.08	0.37	0.80	12053	0.00	1.19	1.77	1.76	-2.80	0.01
BAQ5I	338.61	0.73	0.35	0.36	0.91	1672	0.00	0.00	0.84	1.03	-0.66	0.29
BAQ2E	336.20	0.84	0.42	0.42	0.80	1082	0.00	-2.37	0.00	1.24	-1.26	1.20

Поставка результатов

Использование шейп-файлов

- На базе сформированных шейп-файлов возможно создание нескольких типов карт деформаций для всестороннего изучения смещений:
  - карты средней скорости смещений;
  - карты накопленных смещений;
  - кифференциальные карты смещений;
  - карты ускорений;
  - …



Спасибо за внимание!

Beatriz Royo
Региональный менеджер
TRE-ALTAMIRA, Барселона
beatriz.royo@tre-altamira.com

TRE ALTAMIRA входит в состав Группы компаний CLS и состоит из трех отделений:

БАРСЕЛОНА

C/ Corsega, 381-387
E-08037 Barcelona Spain
Tel.: +34 93 183 57 50
Fax: +34 93 183 57 59

МИЛАН

Ripa di Porta Ticinese, 79
20143 Milan Italy
Tel: +39 02 4343 121
Fax: +39 02 4343 1230

ВАНКУВЕР

Suite #410 475 W. Georgia Street
Vancouver, BC V6B 4M9 Canada
Tel: +1 604 331 2512
Fax: +1 604 331 2513

Представительства:

ФРАНЦИЯ

Parc Technologique du Canal
11, Rue Hermès
F-31520 Ramonville St Agne
France
Tel.: +33 561 39 47 19
Fax: +33 561 39 39 33

ЧИЛИ

Almirante Señoret 70, oficina 74,
Valparaíso
Chile
Tel:+56 32 225 2843

Настоящий документ содержит конфиденциальную информацию и предназначен исключительно для получателя. Содержание настоящего документа, включая информацию о методологии и ноу-хау TRE ALTAMIRA, не может быть раскрыто полностью или частично третьим лицам и не может быть использовано для каких-либо иных целей без предварительного письменного разрешения компании TRE ALTAMIRA.