

# пермский политех

ГОРНО-НЕФТЯНОЙ ФАКУЛЬТЕТ

КАФЕДРА МАРКШЕЙДЕРСКОГО ДЕЛА, ГЕОДЕЗИИ  
И ГЕОИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ

Геопортал мониторинга  
сдвижений земной  
поверхности ПНИПУ по  
данным Sentinel-1. Обработка  
и предоставление данных



Докладчик - Мусихин Василий Владимирович,  
доцент кафедры МДГиГИС, ПНИПУ, Пермь, 2024г.

### Заказчики РКД:

- Отделы геомеханического (гидрогеомеханического) сопровождения месторождений полезных ископаемых;
- Маркшейдерские отделы;
- Городские департаменты градостроительства и архитектуры;
- Федеральные гранты.



### Недостатки договорных отношений:

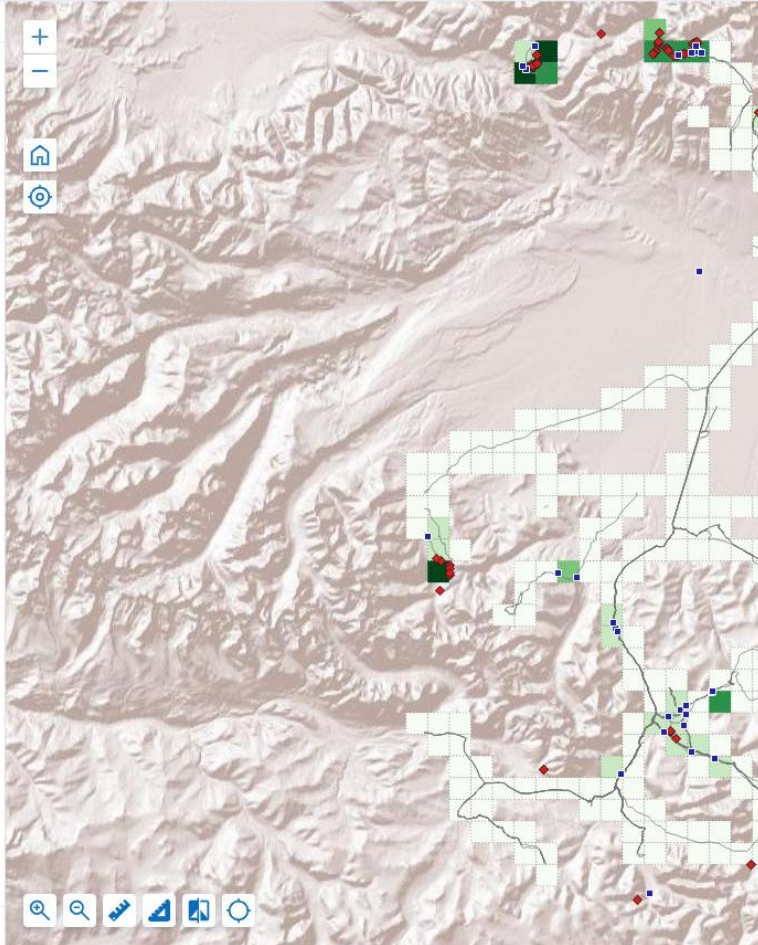
- Смещение сроков съёмки;
- Не оперативное предоставления данных;
- Годовой отчёт о мониторинге, отражающий прошедший факт сдвижений;
- Доступ к результатам мониторинга ограничен;
- Сопутствующие затраты.





### Мониторинг диких животных на Алтае

- Слои**
- Визуальные встречи
  - Следы жизнедеятельности
  - GPS-треки обходов
  - Сеточный анализ встреч и следов
    - На километр GPS-треков
      - Нет встреч
      - Меньше 0.5
      - 0.5 - 1
      - 1 - 3
      - Больше 3
    - На ячейку сетки
      - 0 - 0
      - 0 - 1
      - 1 - 3
      - 3 - 7
      - 7 - 14
      - 14 - 37
      - 37 - 62



ESRI Shaded Relief

### НЭХТГИС

О нас   Цены   Услуги   Продукты   Обучение   Проекты   Контакты   EN

## Создать свою Веб ГИС просто

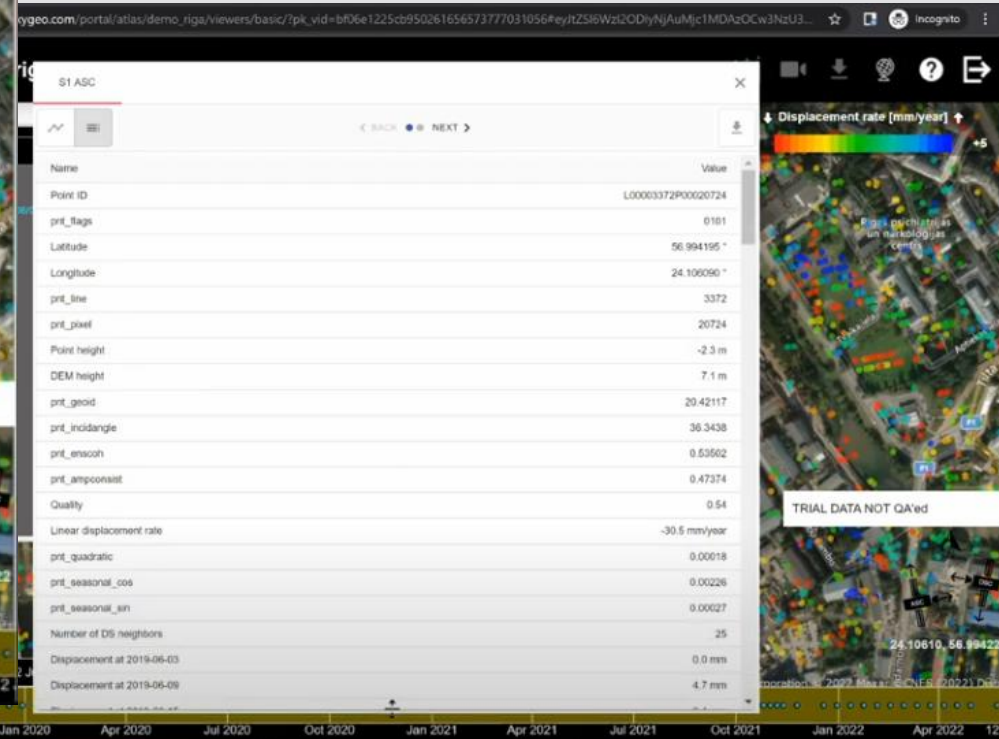
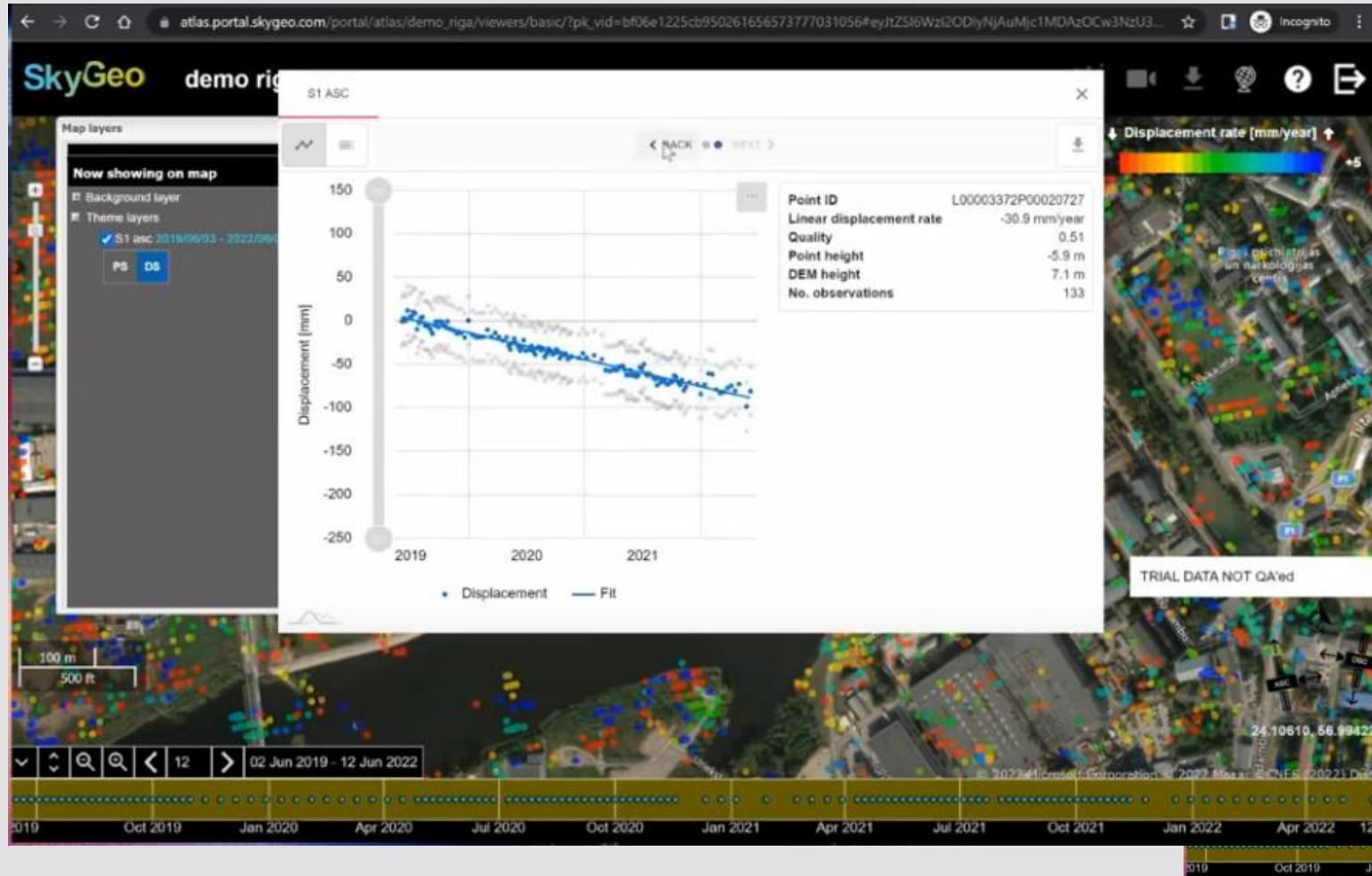
Соберите полноценную Веб ГИС за несколько минут в браузере. Загрузите в нее свои геоданные. Создавайте неограниченное количество веб карт. Работайте со своими геоданными вместе с коллегами и друзьями из любой точки планеты.

[Создать Веб ГИС](#)   [Описание](#)   [Примеры](#)

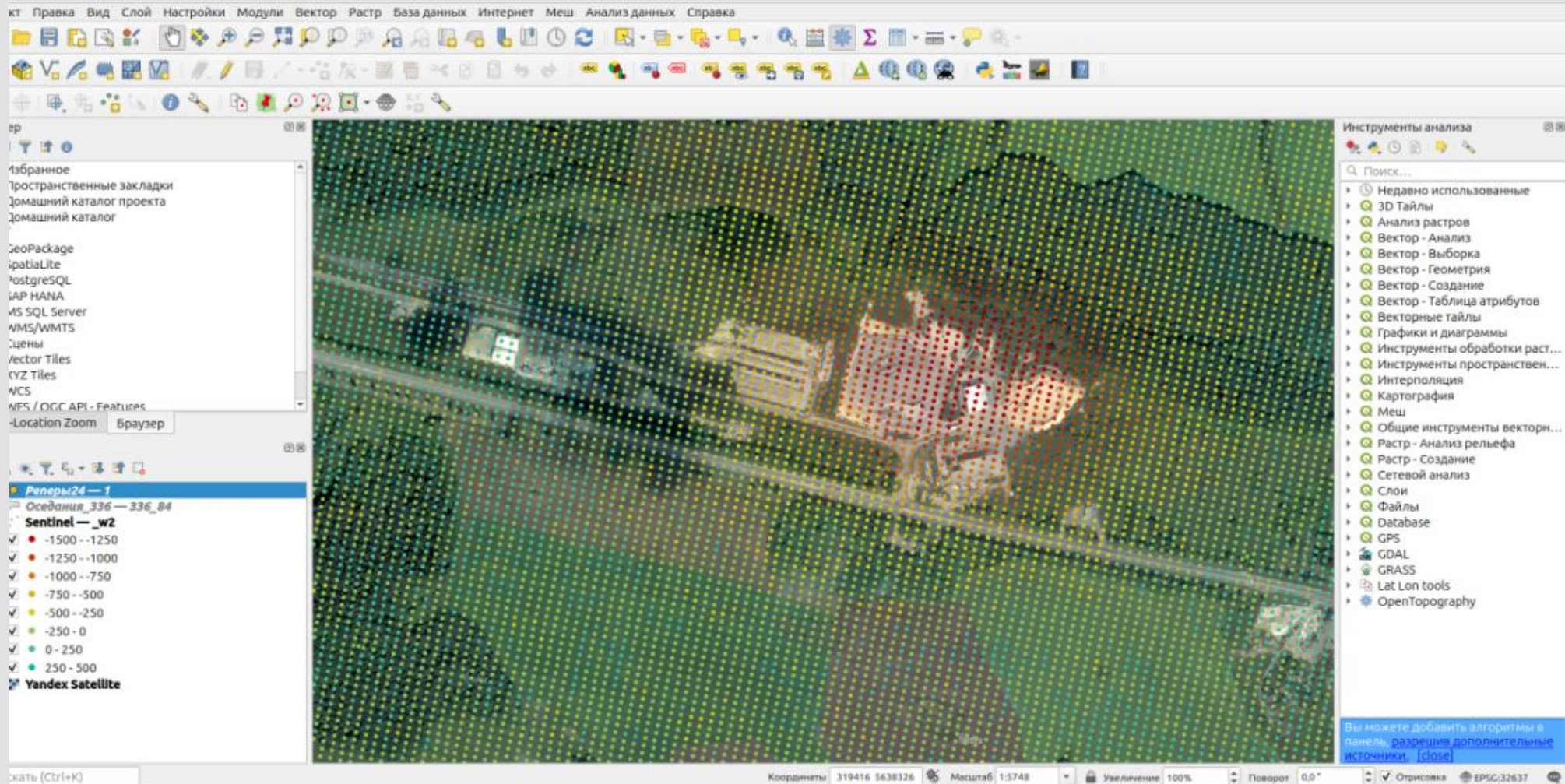


Нас выбирают:













HOME ABOUT US ▾ RESEARCH SOFTWARE INSTRUMENTS SERVICES NEWS ▾

GAMMA Remote Sensing Research and Consulting AG — это швейцарская корпорация, основанная в январе 1995 года. Она расположена в Гюмлигене, недалеко от Берна.

GAMMA хорошо интегрирована в сообщество исследователей дистанционного зондирования и предлагает коммерческие услуги и лицензии на программное обеспечение.

We develop and distribute the GAMMA software

Ключевые сотрудники компании имеют большой опыт в научных исследованиях, обработке сигналов синтезированной апертуры (SAR) и интерферометрии, активных и пассивных методах дистанционного зондирования, теоретическом и эмпирическом моделировании и разработке приложений.



Компания занимается такими техническими аспектами, как обработка SAR, интерферометрия, дифференциальная интерферометрия, геокодирование и мозаикация, а также полностью интегрированной генерацией продуктов на основе данных EO.

The GAMMA Software

Training courses

Research & Publications



Sentinel\_17\_21 — объектов всего: 80903, отфильтровано: 80903, выбрано: 0

Name	X	Y	H	Sigma	range	azimuth	_08_07_2017	_20_07_2017	_25_08_2017	_06_09_2017	_18_09_2017	_30_09_2017	_03_07_2018	_15_07_2018	_08_08_2018	_20_08_2018	_01_09_2018	_22_06_2018
1	475128,88...	7847035,0...	29,93307	-165,33	578	7	0	-1,91	-7,77248	12,97827	12,44005	12,43862	53,30836	53,88122837	57,7543751	55,49153347	56,52261184	88,580
2	473338,00...	7847509,2...	40	-166,63	673	7	0	-0,76	-5,19803	-0,04337	-3,76846	5,22555	22,39523	21,93765837	24,7944751	32,75019347	19,93032184	-5,5144
3	469925,90...	7848412,7...	39,60139	-168,66	854	7	0	2,36	4,16718	13,84372	15,17952	14,58487	62,50657	63,38603837	68,3885351	78,26453347	63,87632184	107,4
4	469002,18...	7848657,3...	20,14172	-171	903	7	0	10,88	12,87683	4,57893	1,44375	12,39355	53,1152	53,68161837	40,2635051	33,40496347	30,08964184	20,609
5	466701,68...	7849266,5...	10	-170,79	1026	7	0	3,12	-11,78512	-14,3202	-14,51651	3,42134	14,66289	13,94756837	4,586115102	-3,207886531	-4,125478163	-67,372
6	466683,05...	7849271,4...	10	-168,88	1027	7	0	1,92	-8,1142	-4,65864	-4,00762	-3,18905	-13,66735	-15,32700163	-22,3552449	-21,23771653	-19,96810816	-108,1
7	465695,82...	7849532,8...	10	-171,9	1080	7	0	13,01	6,41163	-0,39007	3,40625	6,48898	27,80993	27,53284837	29,8054651	34,05999347	41,33549184	49,527
8	474710,21...	7847131,4...	33,85991	-166,39	600	8	0	-13,99	-13,63523	-1,68873	-4,6878	8,75547	37,52346	37,57015837	50,1984051	52,73238347	56,68911184	89,008
9	468300,76...	7848828,6...	34,67422	-170,35	940	8	0	7,34	-1,60301	-6,39649	-6,53843	-1,97616	-8,46926	-9,955651633	-18,6690649	-17,17894653	-15,10392816	-95,602
10	467498,74...	7849041,0...	10,20718	-170,06	983	8	0	6,99	-2,11141	-7,03226	-6,0883	-1,29945	-5,56908	-6,958801633	-1,613344898	4,982753469	5,649591837	-42,236
11	465188,99...	7849652,6...	10	-171,98	1107	8	0	11,63	8,03312	3,0814	4,82701	8,94623	38,34098	38,41492837	30,1352451	24,35016347	22,17046184	0,2459
12	465133,11...	7849667,4...	10	-172,2	1110	8	0	19,33	-9,41089	-17,42653	-17,79624	-9,53173	-40,85028	-43,41603163	-53,9761749	-50,72058653	-50,03962816	-185,4
13	473669,46...	7847392,5...	40	-165,79	655	9	0	-2,59	13,27105	-0,84159	1,93244	-2,01185	-8,62221	-10,11370163	-23,2089249	-10,97826653	-24,60614816	-120,0
14	475486,24...	7846868,1...	29,99942	-165,97	558	12	0	2,38	4,96619	-4,36466	-5,5251	3,91702	16,78724	16,14272837	14,7458451	-12,38204653	-17,92199816	-102,8
15	471602,86...	7847896,5...	40	-166,85	764	12	0	-10,65	-5,91842	-5,01864	-5,22695	-2,55773	-10,96168	-12,53115163	-21,5195349	8,372083469	-4,641888163	-68,700
16	467147,86...	7849076,1...	13,38974	-169,25	1001	12	0	5,39	8,98318	8,89155	9,95669	3,06007	13,11458	12,34764837	-6,404394898	-22,03412653	-22,26703816	-114,0
17	466235,13...	7849317,8...	10	-170,94	1050	12	0	22,41	18,06237	-18,49816	-17,65239	-7,40007	-31,7146	-33,97583163	-52,5067449	-76,29446653	-75,51179816	-250,9
18	466216,51...	7849322,7...	10	-170,31	1051	12	0	24,96	16,65844	-11,24647	-8,52433	1,77924	7,6253	6,675398367	1,878365102	-0,607256531	5,314611837	-43,097
19	464446,94...	7849791,3...	10	-172,36	1146	12	0	29,28	10,25229	-3,76126	-2,24713	-0,20972	-0,89879	-2,132831633	-3,578524898	-21,28064653	-32,71602816	-140,8
20	470543,25...	7848162,6...	40	-169,56	820	13	0	3,82	0,72454	7,078	8,78349	14,11103	60,47584	61,28761837	51,8835651	71,98020347	56,69254184	89,016
21	466212,61...	7849309,3...	10	-170,66	1051	13	0	20,02	-20,36672	-27,43869	-25,21684	-4,97126	-21,3054	-23,21966163	-32,7673949	-72,22138653	-65,22145816	-224,4
22	464443,04...	7849777,9...	10	-171,15	1146	13	0	20,18	2,21519	-5,13595	-3,24364	-7,29851	-31,27935	-33,52607163	-39,0162849	-40,57016653	-47,82360816	-179,7
23	464368,53...	7849797,6...	10	-172,18	1150	13	0	15,8	4,65426	3,45604	4,54556	7,89402	33,83149	33,75512837	31,4725251	37,82338347	39,53407184	44,895
24	463884,23...	7849925,8...	10	-169,33	1176	13	0	16,17	22,83788	-0,58018	0,57865	-8,18254	-35,06804	-37,44105163	-45,7638849	-47,67810653	-47,58211816	-179,1
25	468333,74...	7848733,3...	30,89989	-168,58	937	14	0	3,95	26,29805	1,81292	4,50555	-0,32008	-1,37179	-2,621601633	-12,5008149	-22,55611653	-20,68611816	-109,9
26	466432,23...	7849236,7...	10	-170,5	1039	14	0	-2,2	-4,45266	-17,85289	-15,7587	5,25189	22,50809	22,05427837	7,705065102	-7,691466531	0,202871837	-56,242
27	474437,61...	7847102,5...	33,92369	-167,37	613	15	0	6,78	-6,73411	13,55447	14,31878	12,21999	52,3714	52,91303837	41,3614051	42,95039347	56,11554184	87,533

Все объекты

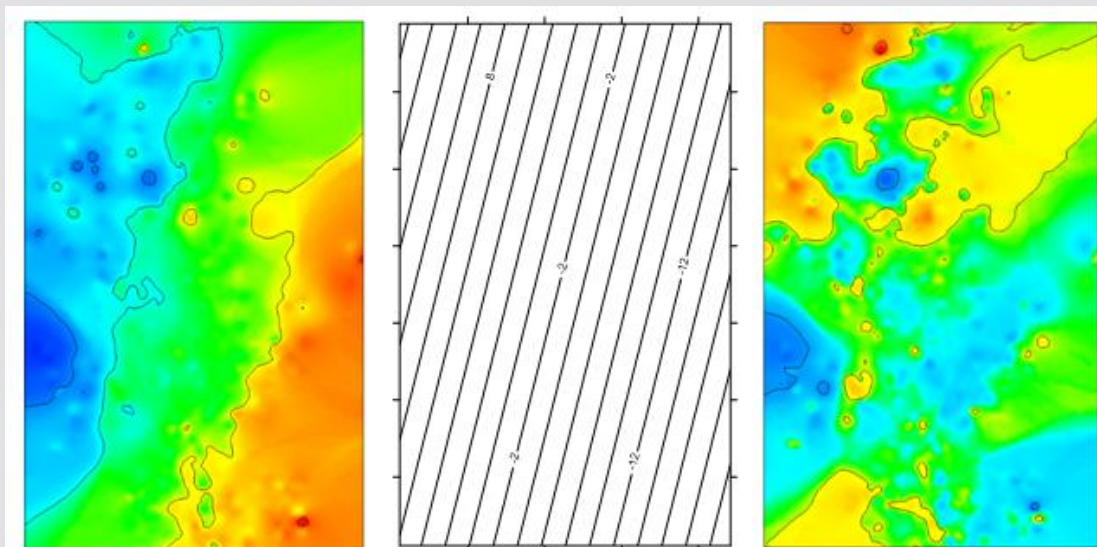




- Ортотрансформирование точек;
- Трансформация в заданную систему координат;
- Наклон интерферограмм (улучшение базиса);
- Анализ ошибок;
- Исследование истории оседаний точек.

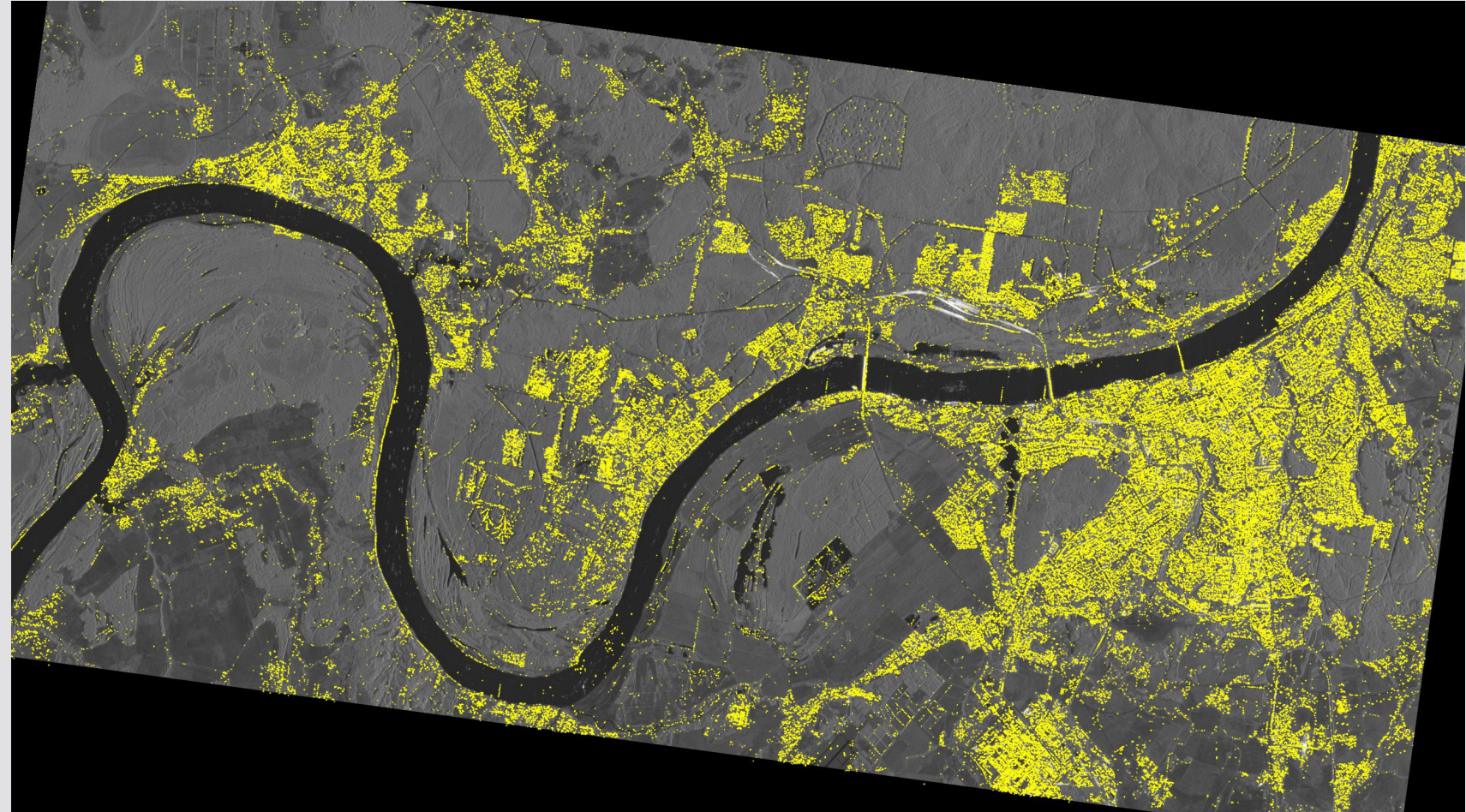
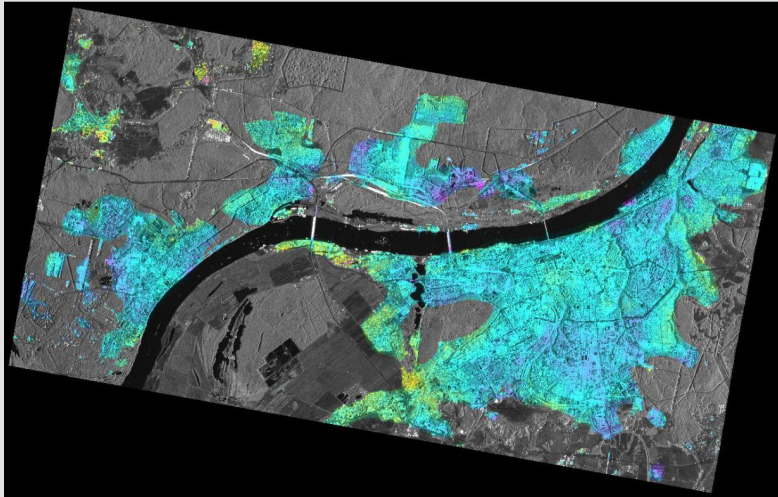
$$V_h = \frac{\sum_{i=1}^N \Delta t_i h_i}{\sum_{i=1}^N \Delta t_i^2} 365$$

$$\sigma_{Vh} = \sum_{i=1}^N \frac{(\varphi_i - \frac{4\pi}{\lambda} V_h \Delta t_i)^2}{\Delta t_i^2}$$

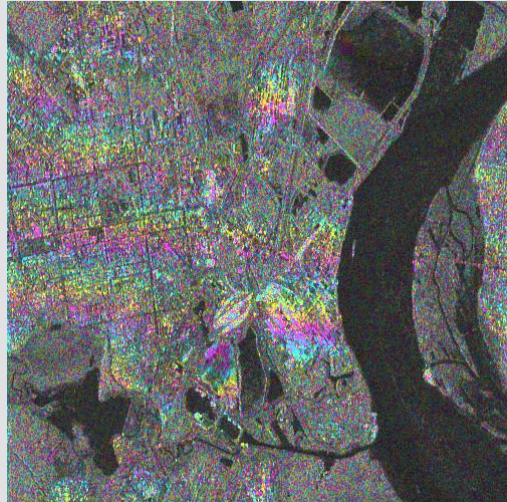


Пример трансформации численных значений карт вертикальных смещений слева направо: исходная карта смещений, карта поправок за смещение и наклон, уравненная карта смещений.

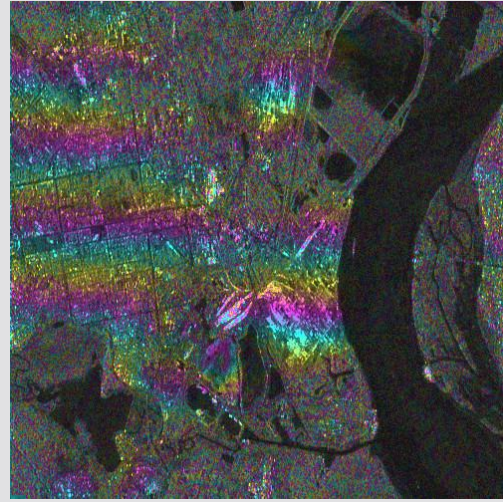




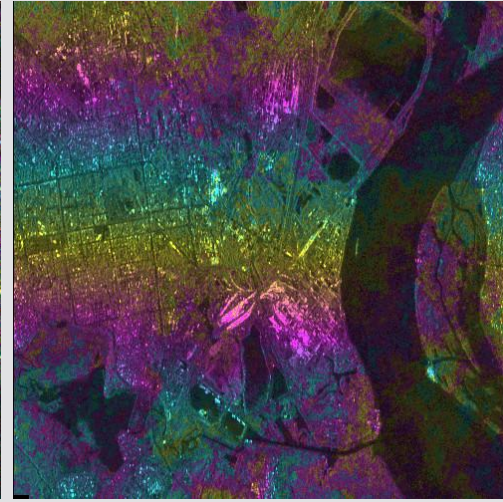




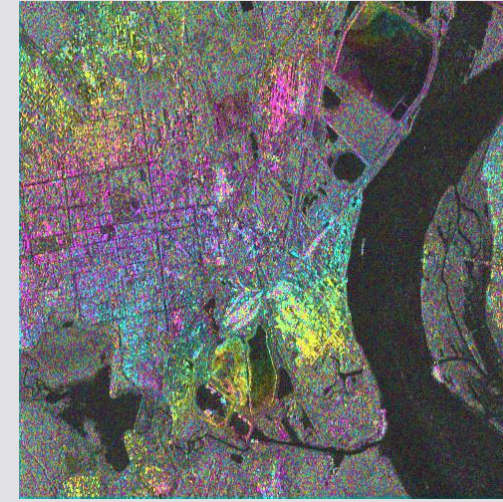
1. интерферограмма



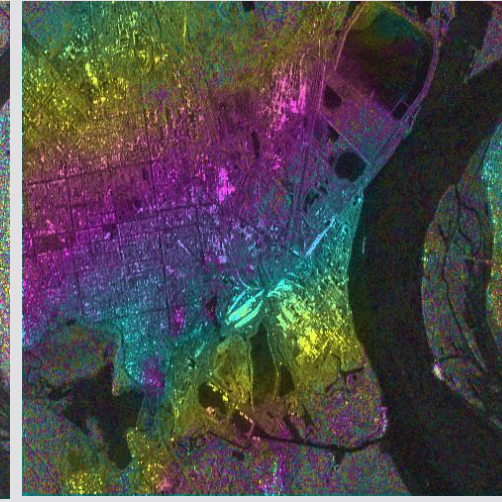
2. фильтрация



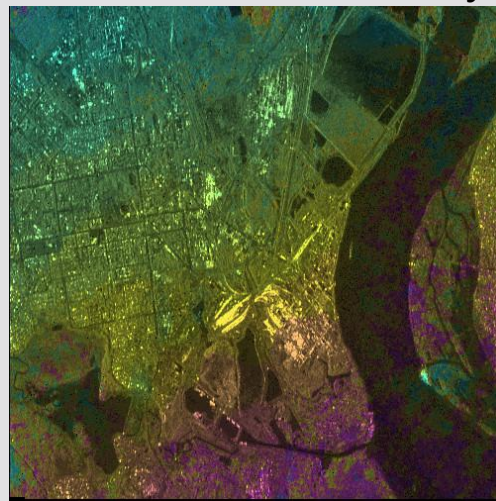
3. развёртка фаз +  
улучшение базисов



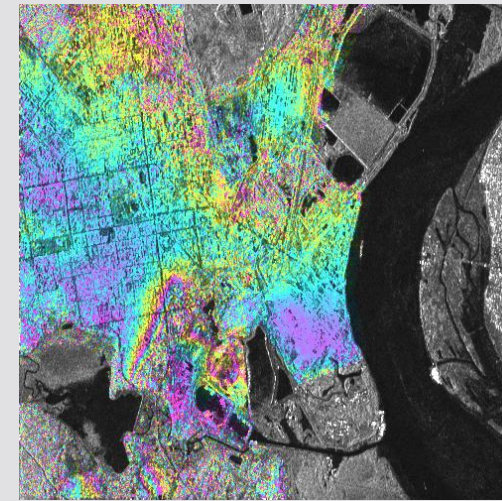
4. интерферограмма



5. фильтрация



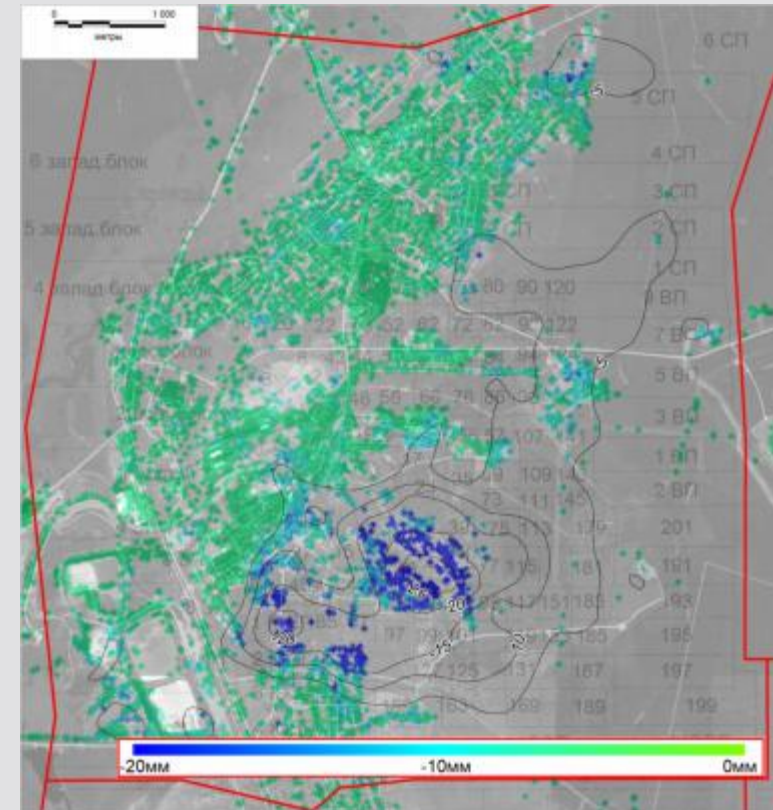
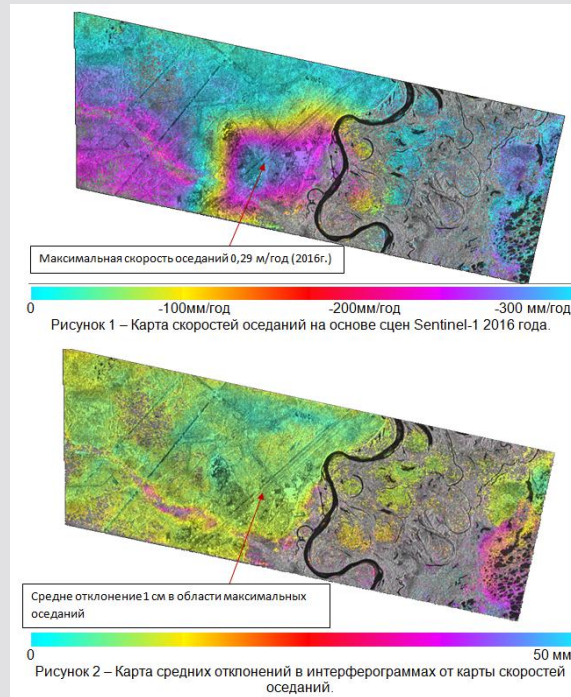
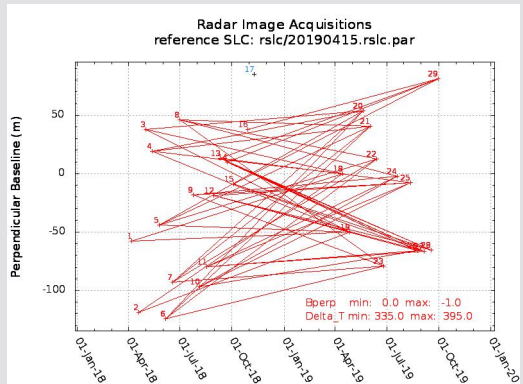
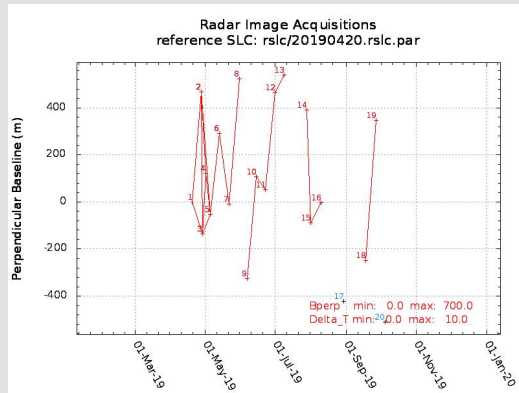
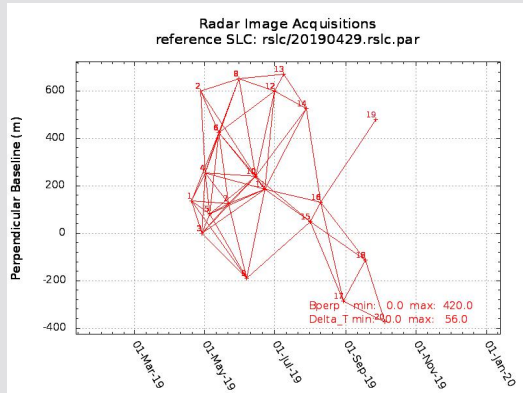
6. развёртка фаз



7. построение  
карты оседаний

2D дифференциальной  
интерферометрия с  
использованием малых  
пространственных и  
временных базисов







The screenshot displays the Copernicus Open Access Hub interface. On the left, a timeline from 2015 to 2030 shows the evolution of the Copernicus satellite constellation. Key missions include Sentinel-1A through Sentinel-6, Sentinel-5P, Sentinel-1C through Sentinel-3C, Sentinel-1D through Sentinel-3D, Sentinel-6B, CHIME-A/B, LSTM-A/B, CRISTAL-A/B, CIMR-A/B, and ROSE-L-A/B. A legend identifies Sentinel-1, Sentinel-2, Sentinel-3, and Sentinel-6. Below the timeline, a data table provides details for a specific Sentinel-1 SAR-C product.

S1B	SAR-C	S1B_IW_SLC__1SDV_20180315T023011_20180315T023039_010036_012335_EF08
		Download URL: <a href="https://scihub.copernicus.eu/dhus/odata/v1/Products('8491aa30-e35b-4324-9a60-7d31ff2684e9')/\$value">https://scihub.copernicus.eu/dhus/odata/v1/Products('8491aa30-e35b-4324-9a60-7d31ff2684e9')/\$value</a> Mission: Sentinel-1 Instrument: SAR-C Sensing Date: 2018-03-15T02:30:11.926Z Size: 7.58 GB

On the right, a map shows a region in Russia with a red polygon highlighting a specific area. The map includes labels for various locations such as Solikamsk, Berezniki, Yekaterinburg, and Kamensk-Uralsky. The Copernicus logo and 'Europe's eyes on Earth' tagline are visible at the bottom left of the interface.





**OSCAR** Observing Systems Capability Analysis and Review Tool [Login](#)

Home | Observation Requirements | Space-based Capabilities | Surface-based Capabilities | Analysis | Quick Search...

Overview | Programmes | **Satellites** | Instruments | Frequencies | Agencies | Satellite Status | Gap Analyses

### Satellite: Sentinel-1C

**Satellite details**

Acronym	Sentinel-1C		
Full name	Sentinel-1C		
WIGOS Station identifier	---		
Satellite Description	<ul style="list-style-type: none"> <li>3rd flight unit of the Sentinel-1 programme, providing SAR observation.</li> <li>Main mission: all-weather ocean and land high resolution multi-purpose observation.</li> </ul>		
Mass at launch	2300 kg	Dry mass	2146 kg
Power	4800 W		
Data access link	<a href="https://sentinel.esa.int/web/sentinel/missions/sentinel-1/data-products">https://sentinel.esa.int/web/sentinel/missions/sentinel-1/data-products</a>		
Data access information	<ul style="list-style-type: none"> <li>Data available from centres of the Payload Data Ground Segment (PDGS).</li> <li>Real-time availability possible at appointed X-band stations.</li> </ul>		
Orbit	Sun-synchronous orbit	Altitude	693 km
ECT	06:00 desc		

Space agency	<a href="#">ESA</a> , <a href="#">EC</a>		
Status	Planned		
Details on Status (as available)			
Launch	Dec 2024	EOI	≥2031
Last update:	2024-07-22		

**Associated satellite programme and related satellites**

Note: red tag: no longer operational, green tag: operational, blue tag: future

- [Sentinel-1](#)
  - [Sentinel-1A](#) (2014 - 2024)
  - [Sentinel-1B](#) (2016 - 2022)
  - [Sentinel-1C](#) (2024-12 - 2031)
  - [Sentinel-1D](#) (2025 - 2032)

**Satellite Payload**

All known Instruments flying on Sentinel-1C

Acronym	Full name
<a href="#">SAR-C</a>	Synthetic Aperture Radar (C-band)

[Show instrument status and calibration](#)



































- Вход через логин и пароль;
- Векторные слои с базой данных;
- Растровые слои;
- Подложки веб-карт;
- Легенды;
- Описания, графические вложения;
- Поиск;
- Возможность поделиться ссылкой;
- Печать в масштабе

Основная группа ресурсов

## ТОО "Корпорация Казахмыс"

Тип ..... Группа ресурсов (resource\_group)  
Владелец ..... Администратор

Результаты радарной интерферометрии для ТОО "Корпорация Казахмыс". г.Жезказган, Казахстан.


Наименование	Тип	Владелец	
 ТОО "Корпорация Казахмыс"	Веб-карта	Администратор	  
 Реперы	Векторный слой	Администратор	   
 Точки_Жезказган	Векторный слой	Администратор	   
 Условные профильные линии	Векторный слой	Администратор	   
 Зоны	Растровый слой	Администратор	 
 Коридоры безопасности	Растровый слой	Администратор	 
 Опасные зоны	Растровый слой	Администратор	 
 Яндекс космоснимок	Подложка веб-карты	Администратор	  

ДОПОЛНИТЕЛЬНО

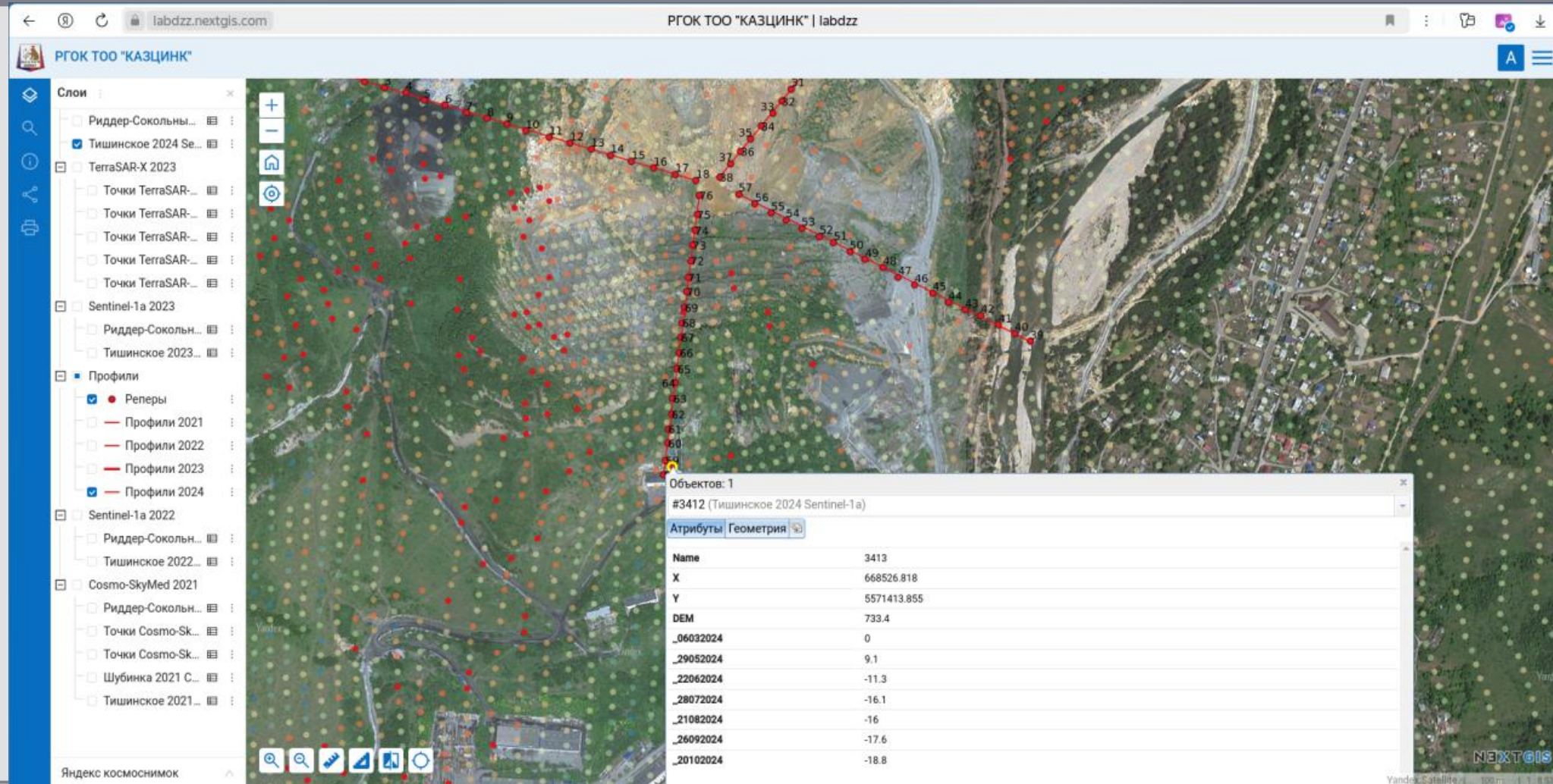
- Права пользователя
- Представление JSON

ДЕЙСТВИЕ

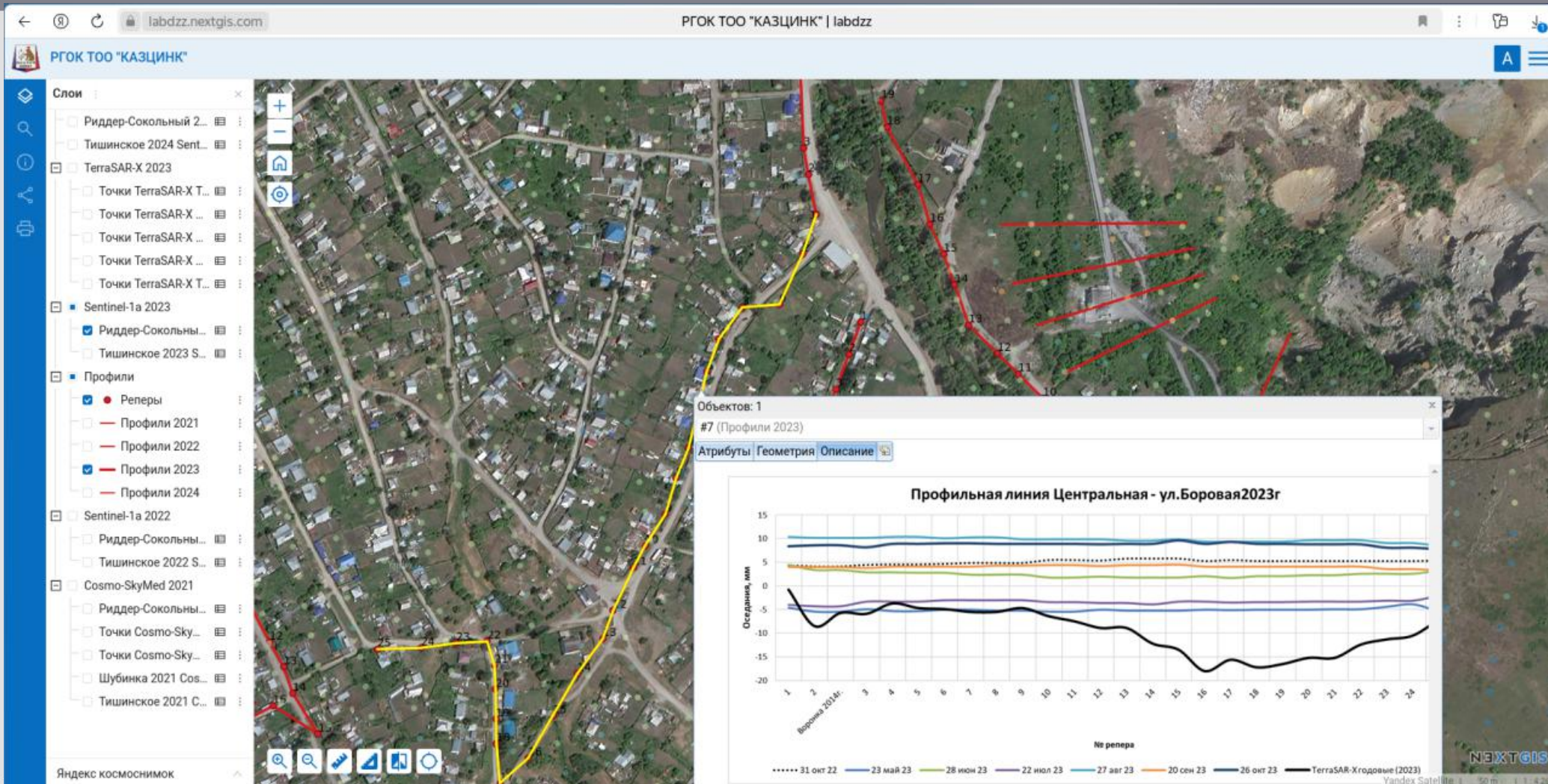
- Изменить
- Удалить



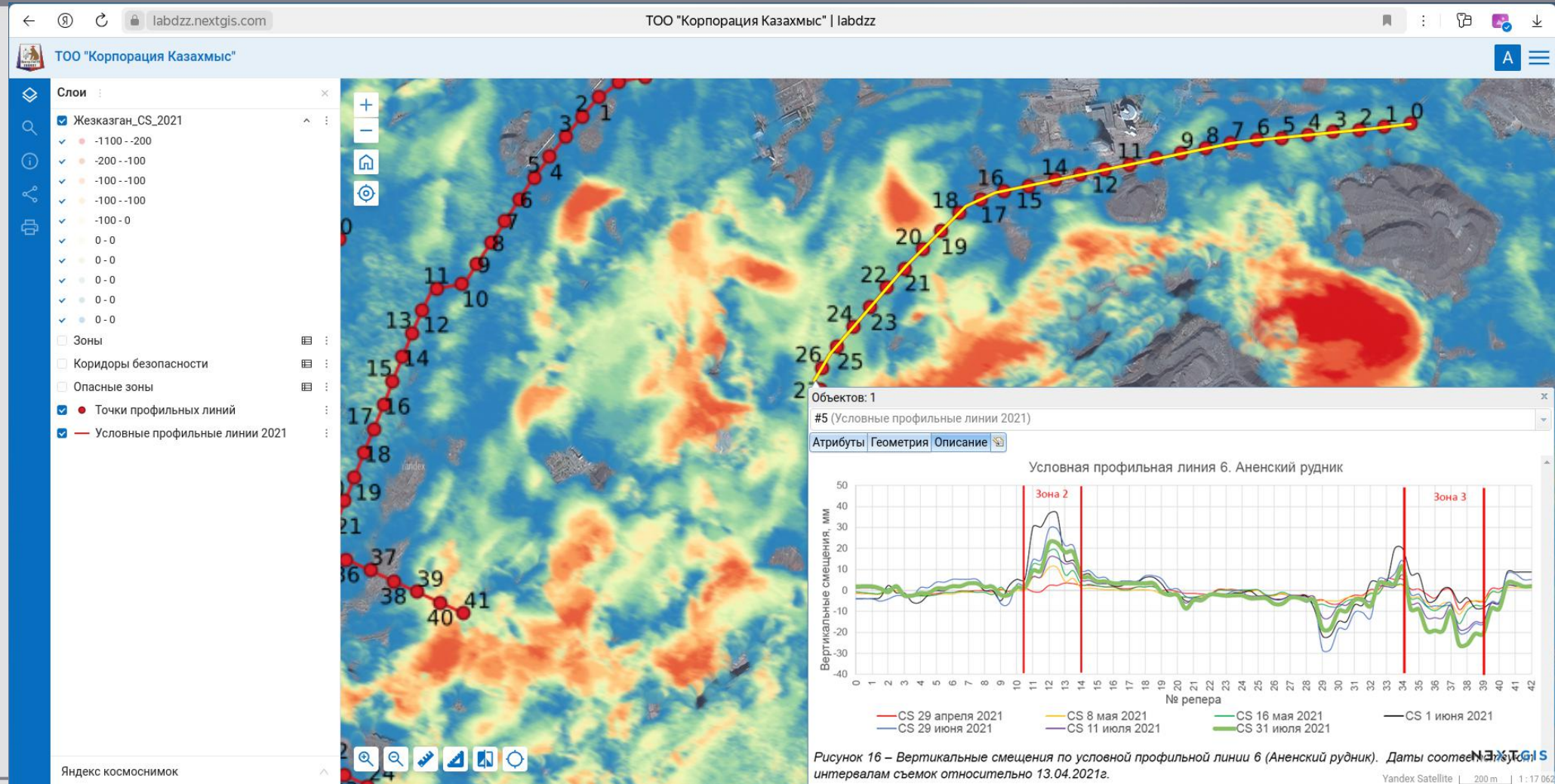




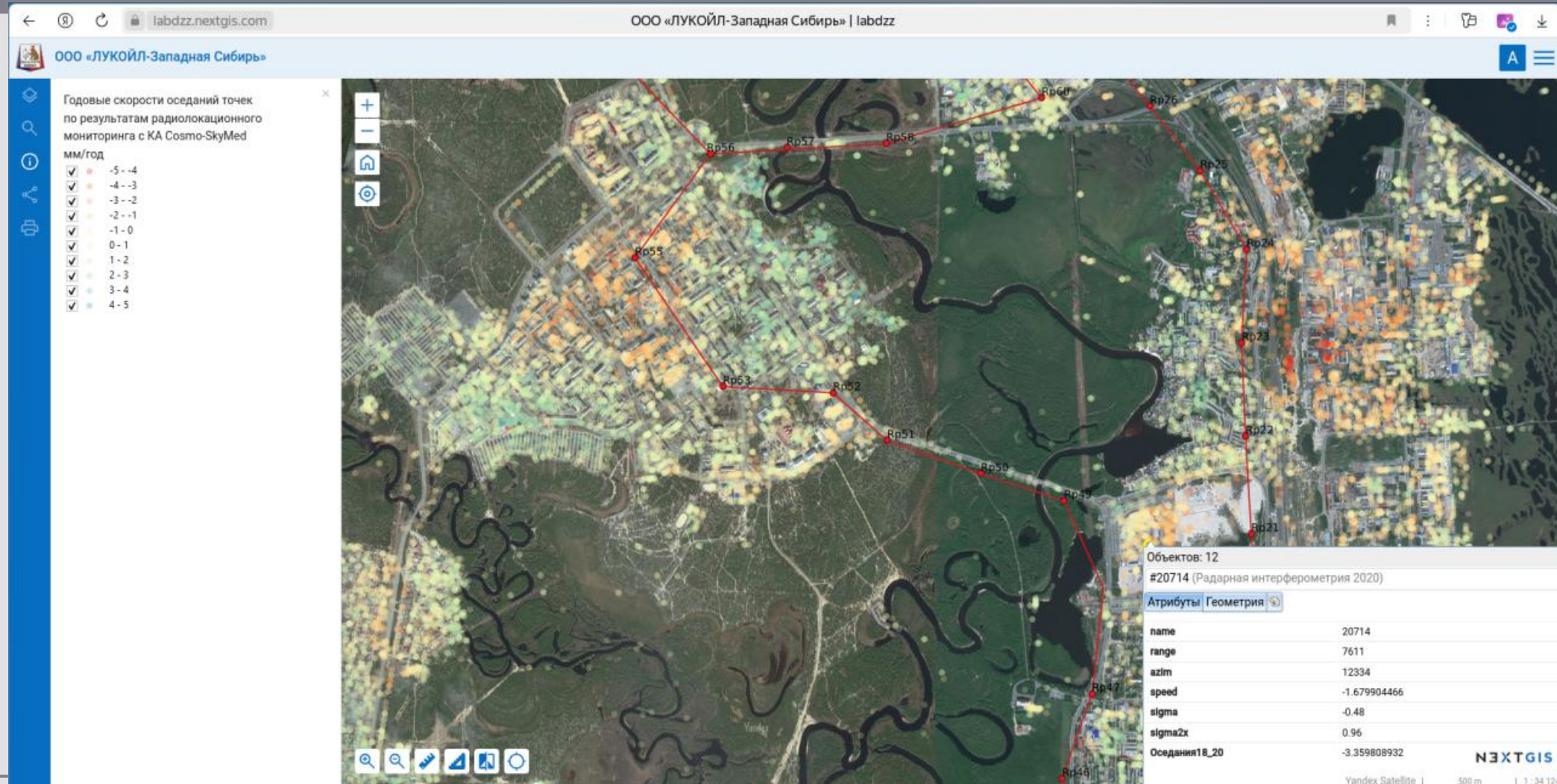




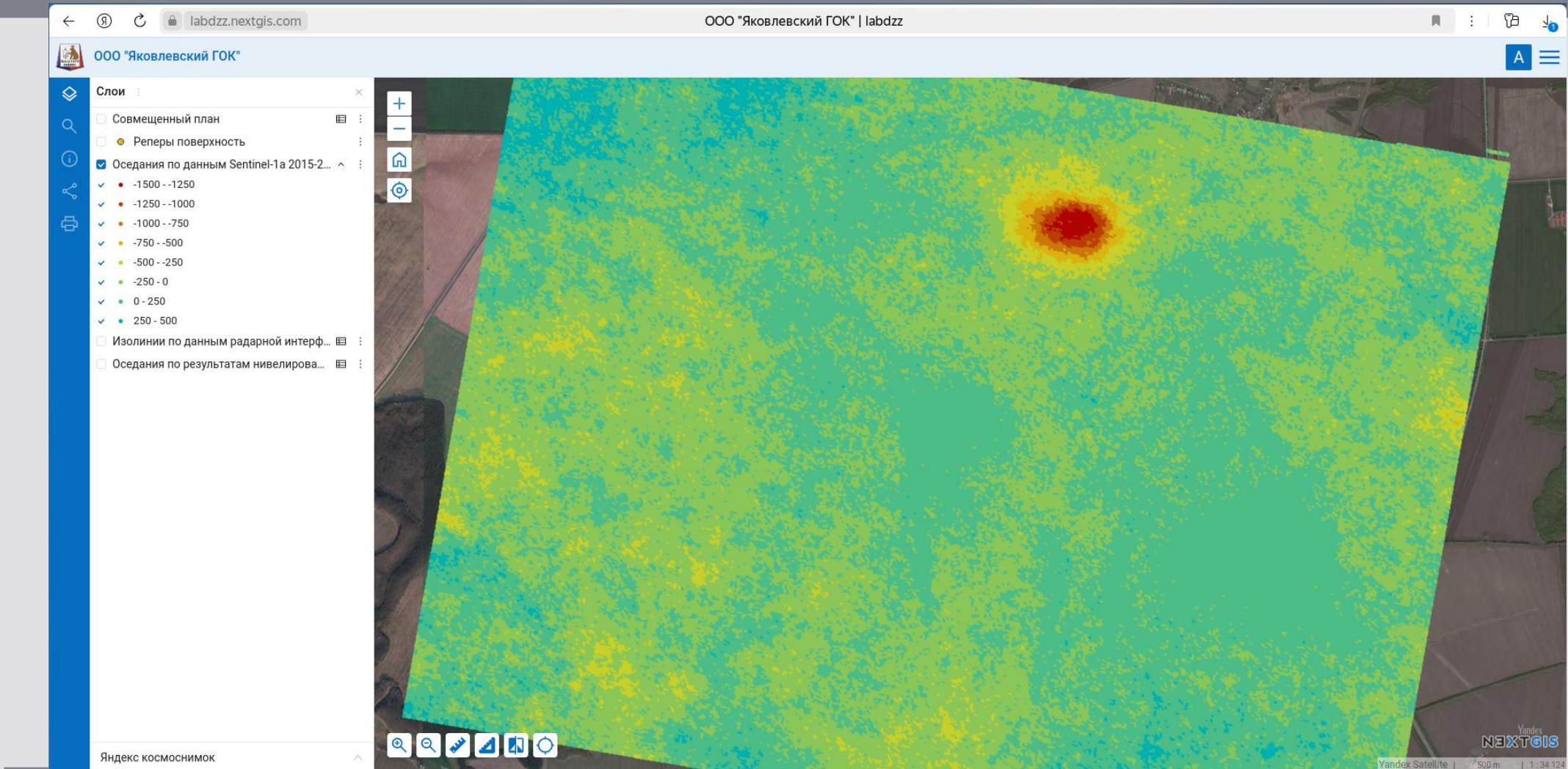




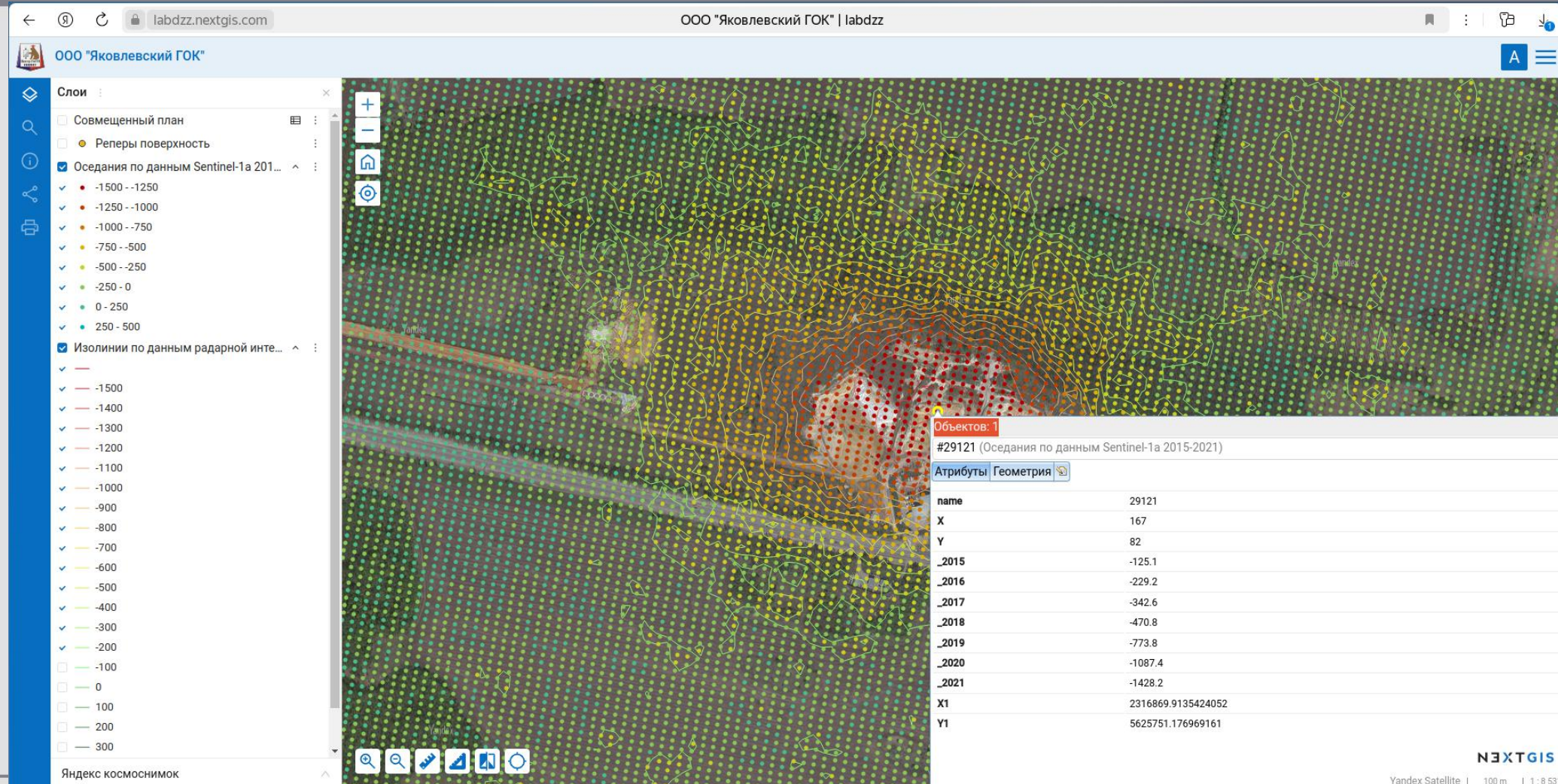




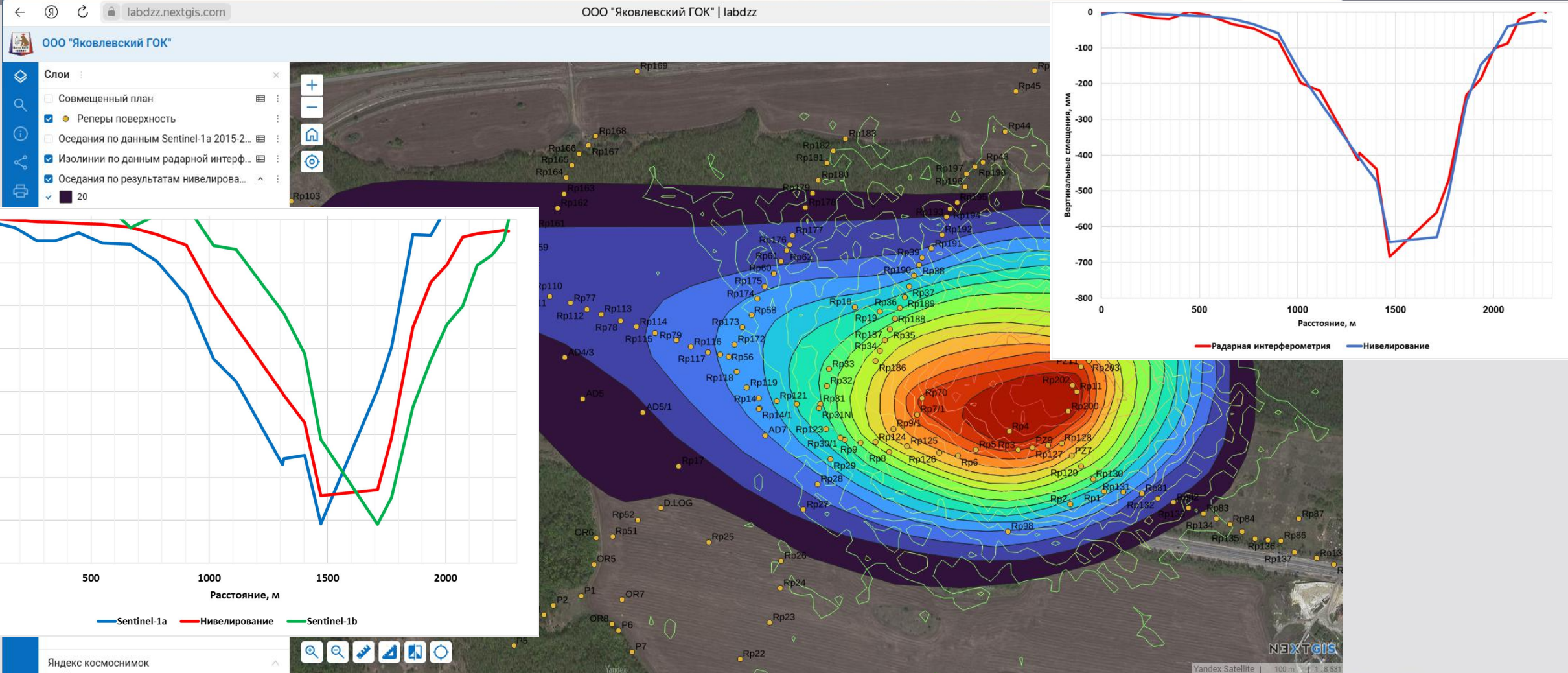


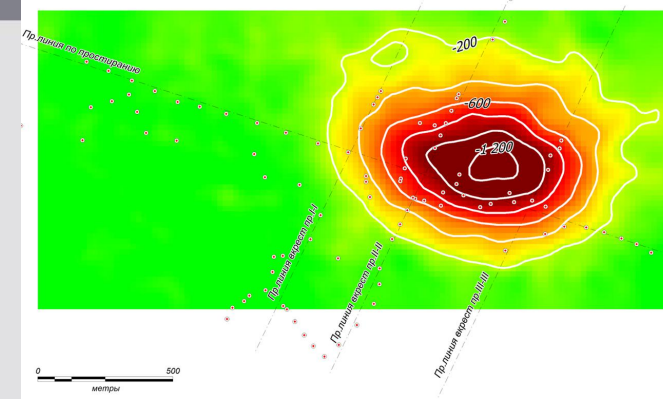
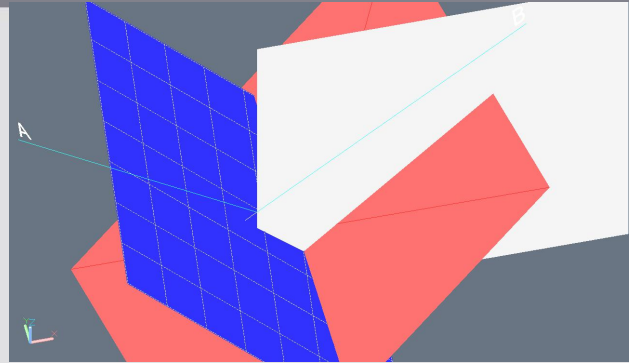
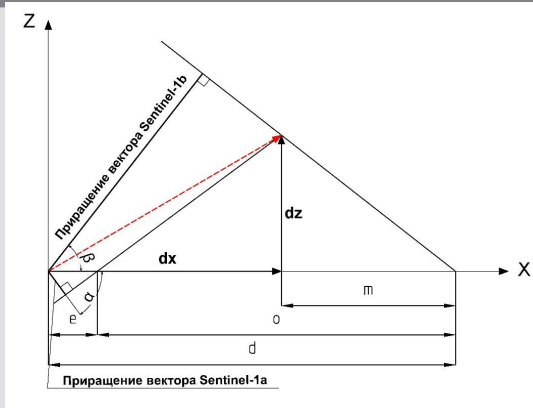












Мульда оседаний по данным Sentinel-1

Схема частного случая нахождения векторов смещений в плоскости Z-X

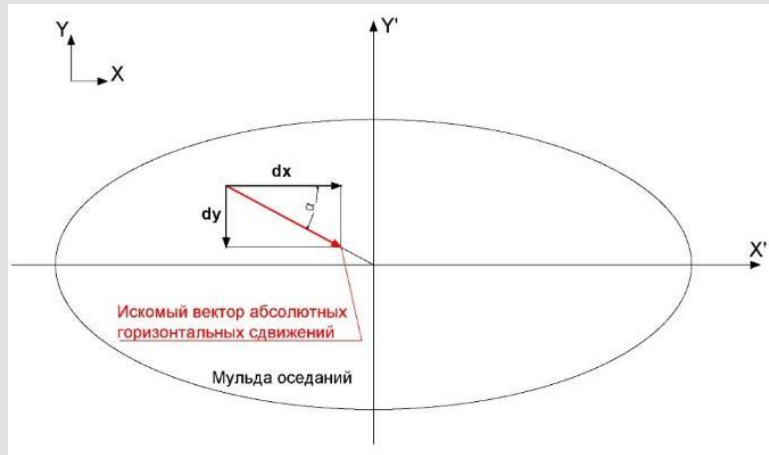


Схема частного случая нахождения векторов смещений в плоскости Z-Y

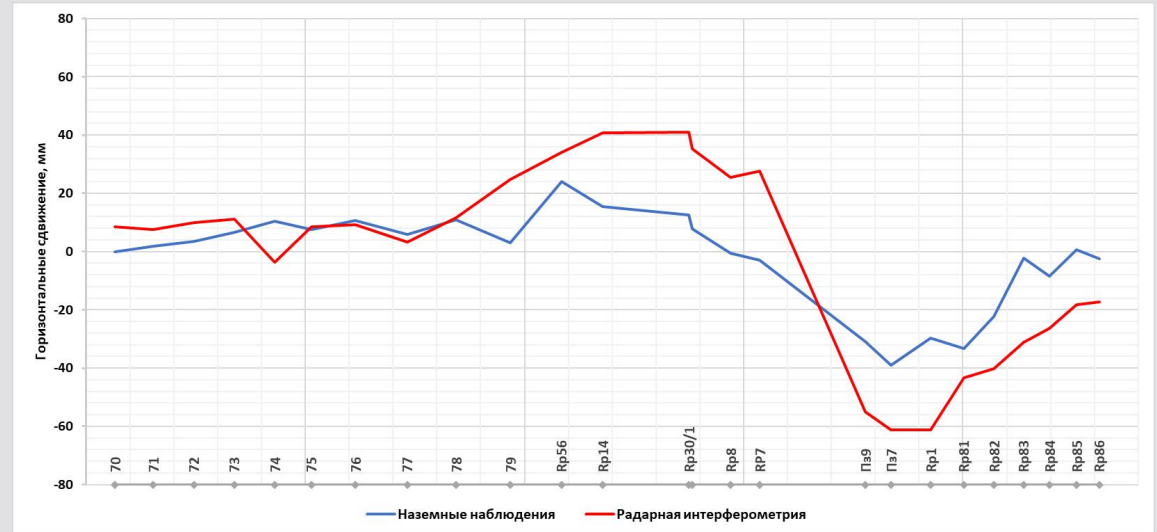
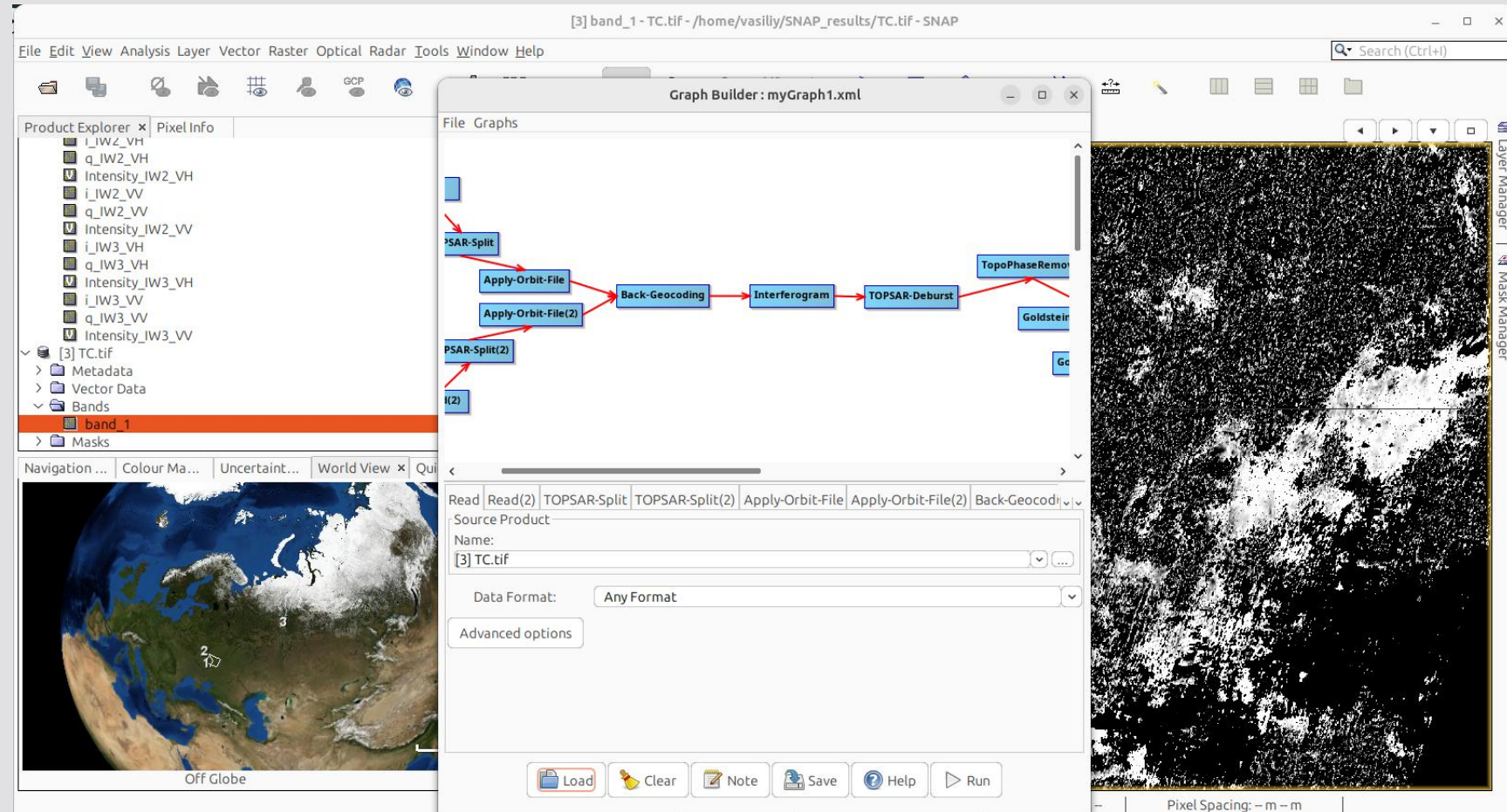


График сопоставления определения горизонтальных сдвижений наземными методами и методом радарной интерферометрии по профильной линии по простиранию I-I



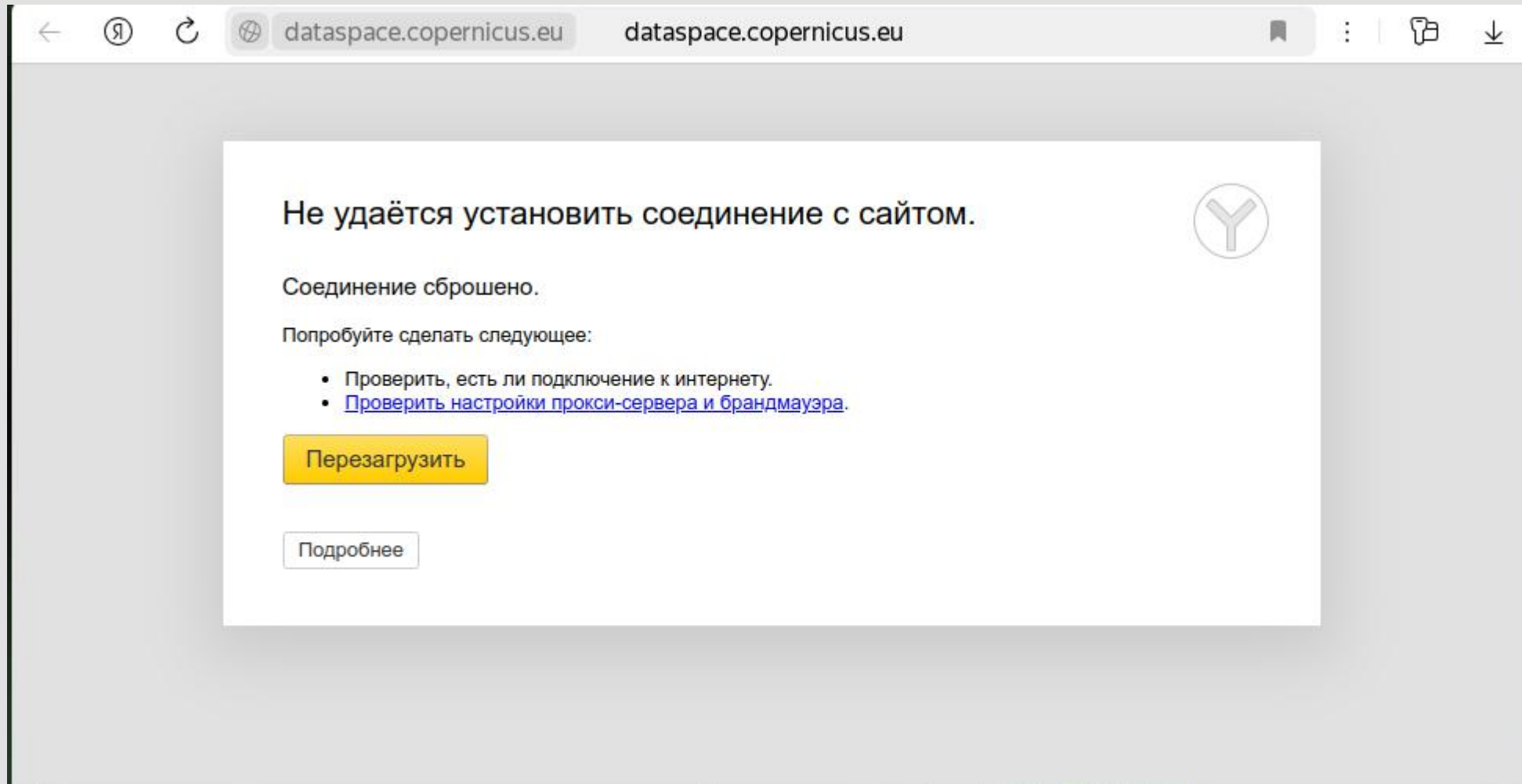


- Sentinel-1 C;
- SNAP;
- Временная развёртка фаз;
- Построение графиков оседаний;
- Разделение оседаний и горизонтальных сдвижений;
- Использование DCI дополнительно к PSI;
- Создание сети референтных станций с уголковыми отражателями.

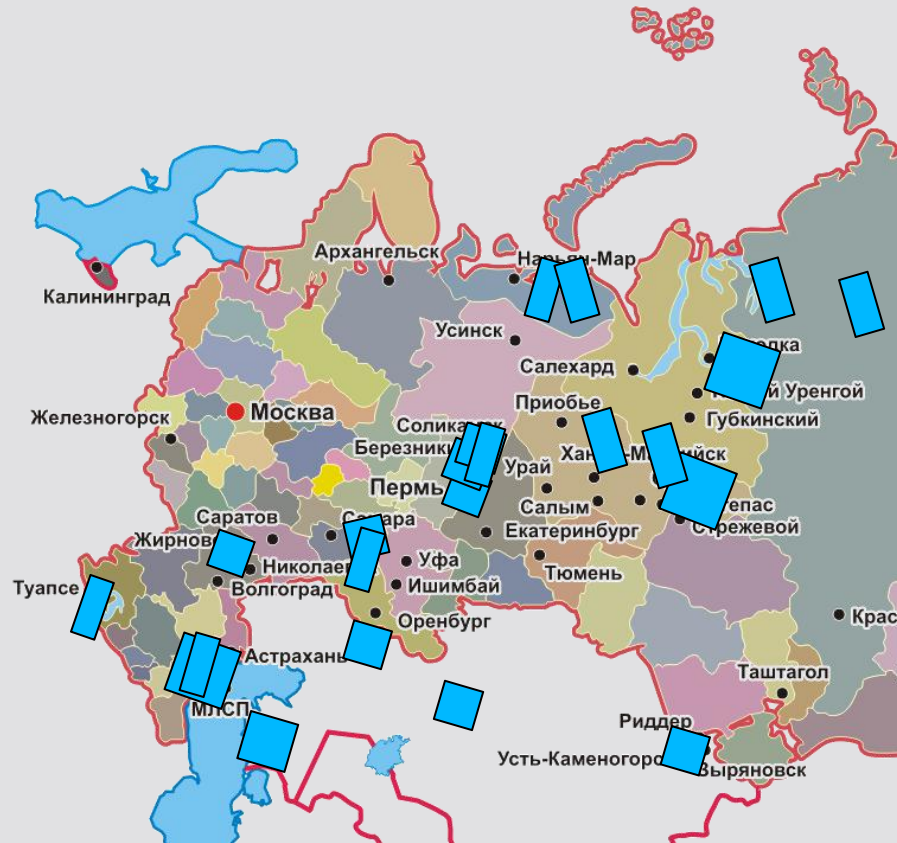




- Санкции;
- Отсутствие съёмки с 2021г.;
- Климатические и ландшафтные проблемы объектов съёмок;
- Не до конца автоматизированный процесс обработки;
- Медленное развитие рынка в России.







С 2008г. по 2010г. данные ENVISAT:

- Березники;
- Оренбург;
- Пермь;
- Астраханское ГКМ;
- Нов. Уренгой;
- С. Бузачи (Казахстан);

С 2014г. по н.в. данные COSMO-SkyMed:

- Когалым;
- Караганда (Казахстан);
- Нефтеюганск;
- Березники;

С 2011г. по н.в. данные TerraSAR-X:

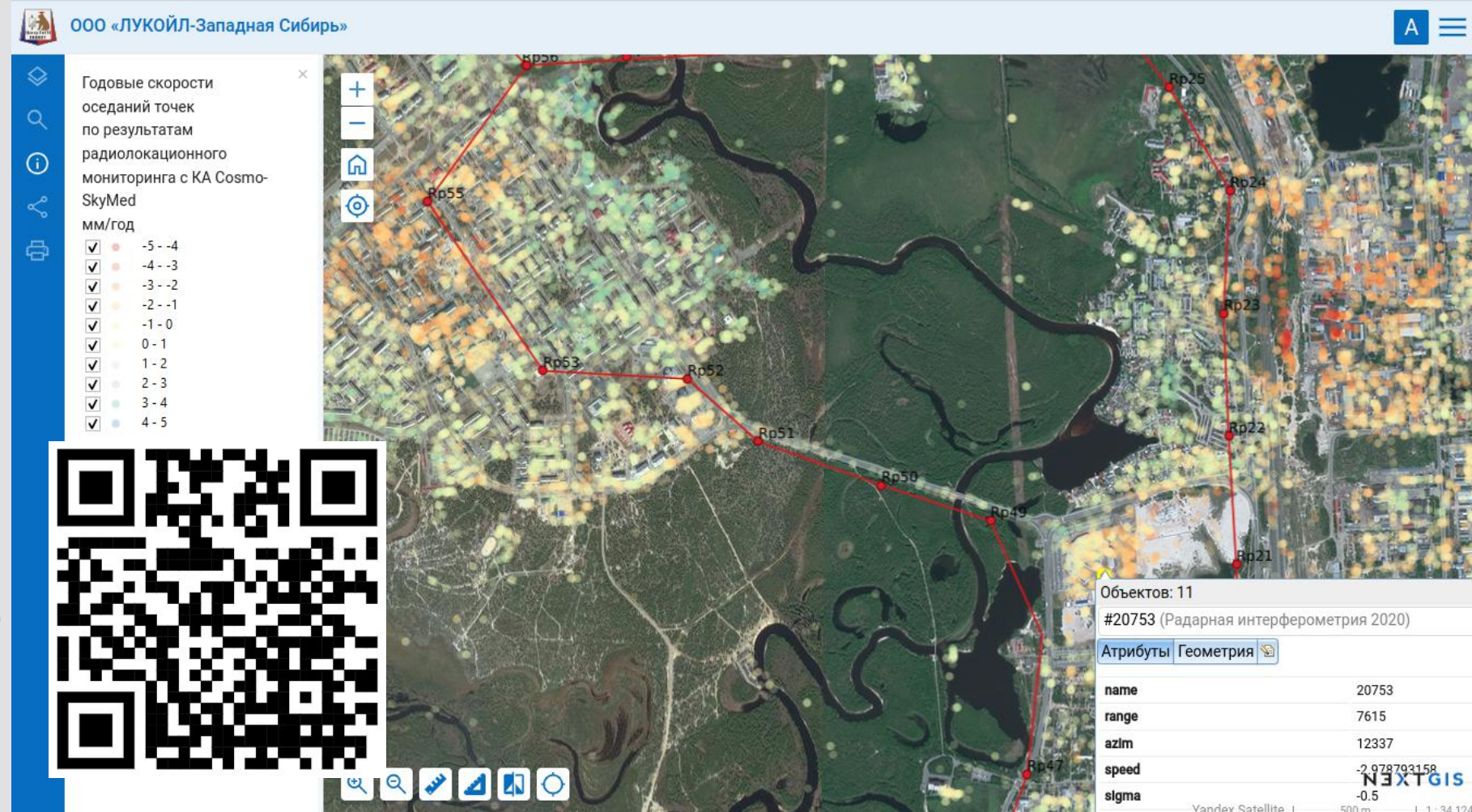
- Туапсе;
- Нарьян-Мар;
- Астраханское ГКМ;
- Соликамск;
- Кулешовское м-е;
- Риддер-Сокольное м-е;
- Южно-Кустовое м-е;
- г.Сургут;
- Арктик СПГ;

С 2016г. по н.в. данные Sentinel-1a, -1b:

- Астраханское ГКМ;
- Березники;
- Соликамск
- Риддер-Сокольное м-е;
- Яковлевский ГОК;
- Южно-Кустовое м-е;



- Месячная подписка;
- Периодичность съёмки Sentinel-1 - 12 дней;
- Время обработки - 3 дня;
- Дополнительно графики, профили;
- Дополнительно горизонтальные сдвигения;
- Дополнительно отчёты по окончанию годовых или квартальных этапов.







пермский  
политех

## Благодарности

*J* **GAMMA REMOTE SENSING**

**Copernicus**  
Europe's eyes on Earth

**QGIS**

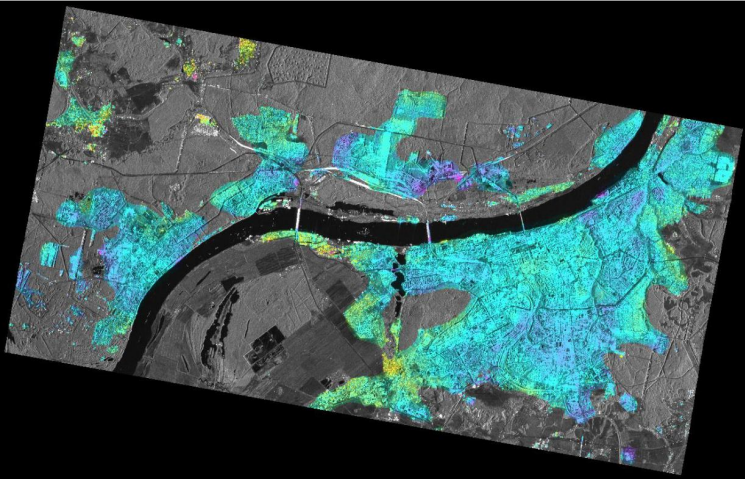


**NEXTGIS**

Кафедра Маркшейдерского дела,  
геодезии и геоинформационных систем







# пермский политех



ГОРНО-НЕФТЯНОЙ ФАКУЛЬТЕТ

КАФЕДРА МАРКШЕЙДЕРСКОГО ДЕЛА, ГЕОДЕЗИИ  
И ГЕОИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ

614990, Россия,  
Пермь, Комсомольский пр-т, 29  
к.207

e-mail:

[geotech@pstu.ac.ru](mailto:geotech@pstu.ac.ru)

[labdzz@pstu.ru](mailto:labdzz@pstu.ru)

тел. +7(342)219-83-21

моб. +7(912)988-81-67

Сайт: [mdgigis.pstu.ru](http://mdgigis.pstu.ru)



- Кашников Юрий Александрович - докт.техн.наук, профессор, зав. каф. МДГиГИС ПНИПУ
- Мусихин Василий Владимирович - к.т.н., вед.инж., каф. МДГиГИС
- Харина Нина Михайловна - инженер каф. МДГиГИС
- Тютюкова Виктория Александровна - инженер каф. МДГиГИС



1. Профессор Рамон Ханссен (Технологический университет Делфта) занятие, посвященное основам SAR-интерферометрии (InSAR), Латвия, 2022г. [https://youtu.be/PaO8TDd9vz0?si=PSg8g6Bl8\\_-dDDUY](https://youtu.be/PaO8TDd9vz0?si=PSg8g6Bl8_-dDDUY)
2. Wegmuller U. Walter D., Spreckels V. and Charles L. Werner. Nonuniform Ground Motion Monitoring with TerraSAR-X Persistent Scatter Interferometry // Transactions on Geoscience and Remote Sensing. – [s.l.]: IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 2010. – 2: Vol. 48. – pp. 895-904.
3. Мусихин В.В. Мониторинг процессов оседаний земной поверхности в районах интенсивного недропользования на основе интерферометрической обработки данных космического радиолокационного зондирования: специальность 25.00.16 «Горнопромышленная и нефтегазопромысловая геология, геофизика, маркшейдерское дело и геометрия недр»: автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук / Василий Владимирович Мусихин; Пермский национальный исследовательский политехнический университет. – Пермь, 2012. – 22с. – Место защиты: Горный институт Уральского отделения РАН.
4. Мусихин В.В., Тютюкова В.А., Харина Н.М. Оценка точности определения оседаний земной поверхности Риддерского ГОКа по результатам интерферометрической обработки данных космического радиолокационного зондирования. // Маркшейдерия и недропользование – 2023. – №1(123). с. 57-63.
5. Mission ends for Copernicus Sentinel-1B satellite. European Space Agency. [https://www.esa.int/Applications/Observing\\_the\\_Earth/Copernicus/Sentinel-1/Mission\\_ends\\_for\\_Copernicus\\_Sentinel-1B\\_satellite](https://www.esa.int/Applications/Observing_the_Earth/Copernicus/Sentinel-1/Mission_ends_for_Copernicus_Sentinel-1B_satellite). 03/08/2022.
6. Forum Vega C VV25 - Sentinel-1C - 3 December 2024 (21:20 UTC) (Read 19798 times) Forums »International Space Flight (ESA, Russia, China and others) »ESA Launchers - Ariane/Vega »Vega C VV25 - Sentinel-1C - 3 December 2024 (21:20 UTC): <https://forum.nasaspaceflight.com/index.php?topic=51661.msg2636676#msg2636676>
7. Мусихин В.В., Соломенников М.Ю.. Опыт применения радарной интерферометрии С и Х диапазона при мониторинге оседаний в различных условиях. XVII Международный маркшейдерский конгресс ISM 2019 26-30 Сентября 2019г. Россия, Иркутск.
8. Vasiliy Musikhin, Mikhail Solomennikov, Khvostanceva Anastasiya, Kharina Nina. Determination of Absolute Displacements of Tishinsky Opencast Mine Sides Based on Sentinel-1 Data. E-posters on FRINGE 2021. 31.05.-04.06.2021. ID 114.
9. Тютюкова, В. А. Определение оседаний земной поверхности по результатам совместной интерферометрической обработки данных космического радиолокационного зондирования Земли со спутников Sentinel-1a и Sentinel-1b / В. А. Тютюкова, Д. В. Голубничий, Д. Х. Гилязов // Маркшейдерия и недропользование. – 2023. – № 2(124). – С. 69–75.