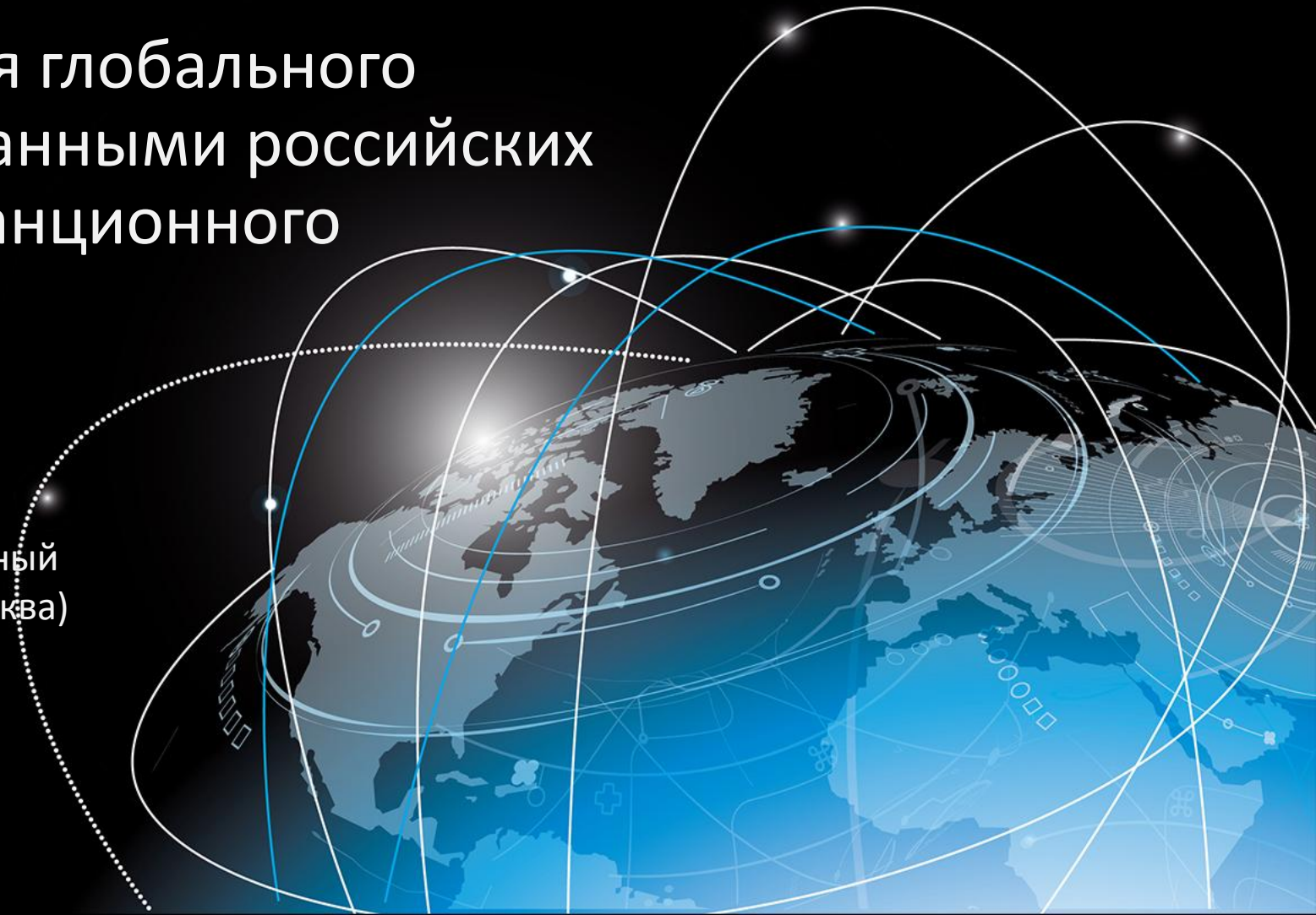
РКС
РОССИЙСКИЕ КОСМИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ

Геосервис предоставления глобального спутникового покрытия данными российских космических систем дистанционного зондирования Земли

А.Н.Марков, А.И.Васильев, Н.А. Ольшевский, Н.А. Козырев, А.А.Михеев, И.Д. Мурашова, А.А.Пестряков, А.А.Емельянов

АО «Российские космические системы», Научный центр оперативного мониторинга Земли (Москва)



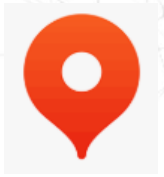
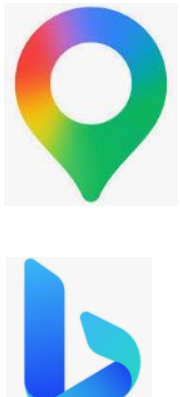
XXIV Международная конференция
«Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса»
(9 – 13 ноября 2026 г., Москва)

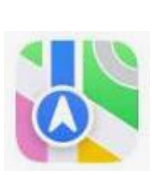
Актуальность и назначение

Многоуровневые спутниковые картографические основы являются ключевым инфраструктурным элементом современных геоинформационных систем и сервисов. В мире данные картографические подложки предоставляются преимущественно западными крупными IT-корпорациями на основе снимков зарубежных КС ДЗЗ.

Известные сервисы предоставления картографической основы:

- Google Maps
- Apple Maps
- Яндекс Карты
- ESRI
- Bing Maps
- Mapbox



Уровни спутниковых покрытий сервисов (на примере mapbox):

Zoom levels	Используемые данные
0…8	Безоблачные композиты NASA MODIS
9…12	Преимущественно данные Maxar, но также используются данные USGS Landsat
13…16	Глобальное покрытие Maxar Vivid
17+	Данные аэрофотосъемки

РКС
РОССИЙСКИЕ КОСМИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ

Исходные данные

Оператором КС ДЗЗ накоплены значительные архивы снимков, на основе которых в рамках сервиса «Банк базовых продуктов» НЦОМЗ разработаны уникальные технологии создания композитных мозаик, бесшовных сплошных покрытий и таймлапсов

Тип	КА/ Аппаратура	GSD	Каналы	Регион	Периодичность
Таймлапсы	Арктика-М №1, №2 / МСУ-ГС	1-4км	NIR-RED-GREEN, TIR	Арктика, РФ	Ежесуточно
	Электро-Л №3-№5 / МСУ-ГС	1-4км	NIR-RED-GREEN, TIR	Глобально, РФ	Ежесуточно
Регламентные покрытия	Арктика-М №1, №2 / МСУ-ГС	1 км	NIR-RED-GREEN	Северное полушарие	Ежесуточно
	Метеор-М №2-4/ МСУ-МР	1км	SWIR-NIR-RED	Глобально	Ежесуточно/ еженедельно
	Метеор-М №2-4/ КМСС	60м	NIR-RED-GREEN	Северная Евразия, РФ	Ежесуточно/ ежемесячно
	Канопус-В №1 - №6 / МСС, ПСС	2.1 м	Паншарп. (RGB)	РФ	Ежегодно
Многолетние покрытия	Метеор-М №2, №2-2, №2-4 / КМСС	60м	NIR-RED-GREEN	Глобально	-
	Канопус-В №1 - №6 / МСС, ПСС	2.1 м	Паншарп. (RGB)	РФ, Евразия, Африка	-
	Ресурс-П №1-№3 / Геотон-Л1	0.7м	Паншарп. (RGB)	Регионы РФ	-

Концепция построения многоуровневой спутниковой основы

Zoom 0-11

Zoom 11-16

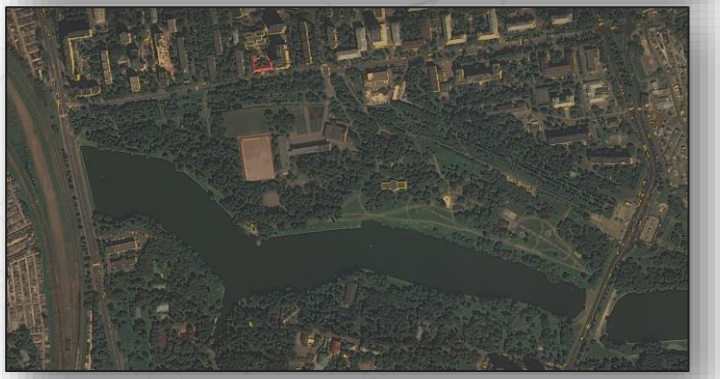
Zoom 13-17



Композитное покрытие сформировано по данным многолетней съемки КС ДЗЗ типа «Метеор-М»



Бесшовное сплошное покрытие сформировано на основе комплексированных данных съемки КС ДЗЗ типа «Канопус-В»



Бесшовное покрытие регионов РФ сформировано на основе комплексированных данных съемки КС ДЗЗ типа «Ресурс-П»

Математическая модель преобразования квадродерева для высоконагруженного сервиса предоставления тайлового покрытия

Квадродерево - модель предоставления тайловых спутниковых покрытий (например, Google, Яндекс и др.)

Известные программные технологии и решения для высокопроизводительной выдачи тайлов:

- Закрытые решения – Microsoft (Quadkey), Google (Bigtable), Yandex (аналог PMTiles)
- Открытые форматы - MBTiles, GeoPackege, PMTiles
- ПО – GeoServer, mbtileserver, Martin Tile Server

Для открытых решений – характерно архитектурная несовместимость открытых форматов (на основе SQLite) с задачей оперативного обновления данных ДЗЗ

Вычислительная сложность поиска по идентификатору записи в БД для квадродерева тайлов

$$O(\log(N)) = O(\log(4^{Z_{max}})) = O(Z_{max})$$

Пусть $T(N, Z)$ - полное *N*-арное дерево глубиной Z, $T_4(Z)$ - полное квадродерево глубиной Z.

Оператор свертки $T_4(Z_{max})$ в полное *N*-арное дерево, так что каждой вершине соответствует поддерево $T_4(Z_{max})$, при этом глубина поддерева - Z_0:

$$\mathbf{M}(Z_0): T_4(Z_{max}) \rightarrow T\left(4^{Z_0}, \left\lceil \frac{Z_{max}}{Z_0} \right\rceil\right)$$

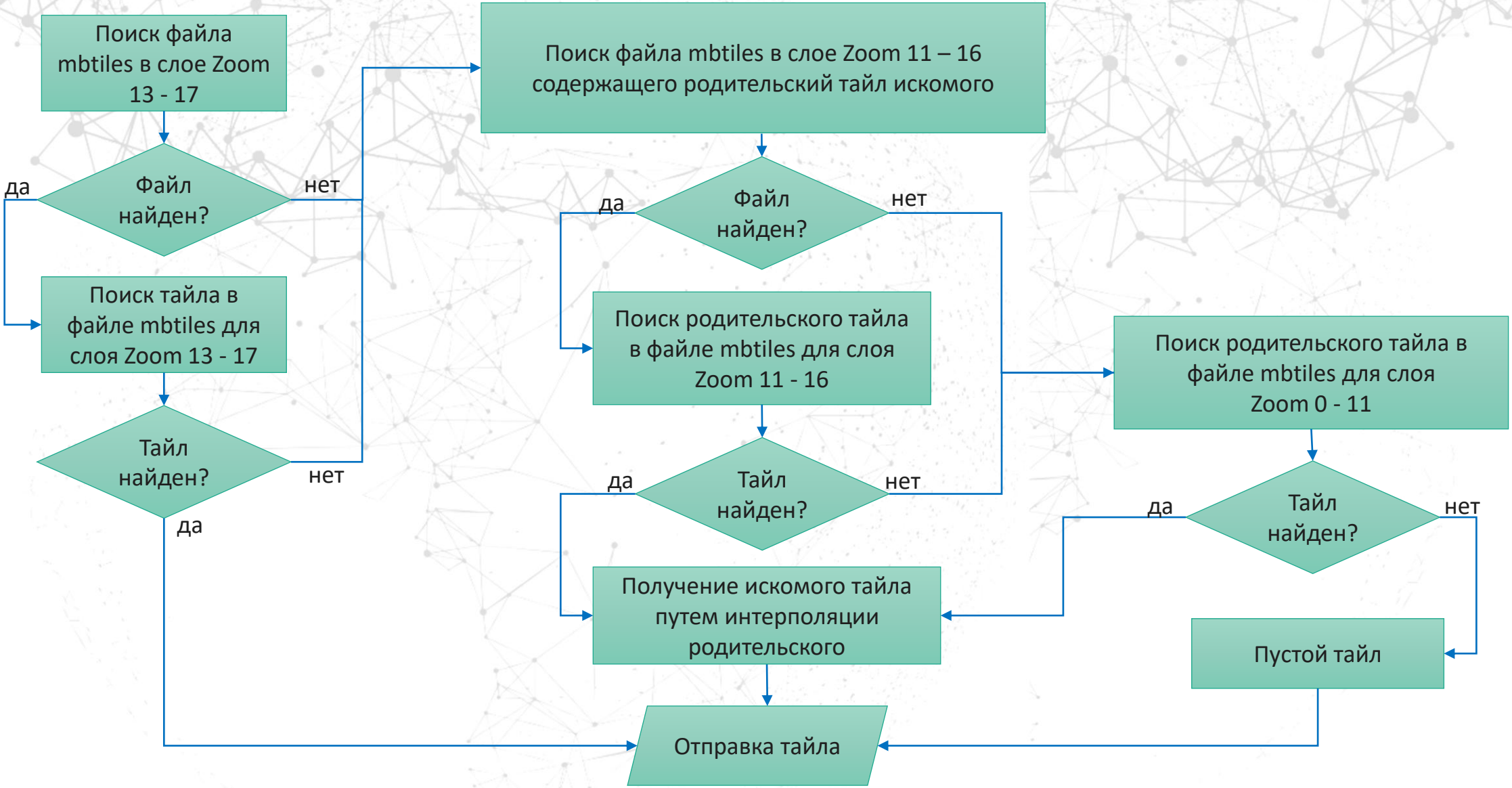
Вычисление индекса вершины N-арного дерева для каждой вершины исходного квадродерева

$$\begin{cases} x' = \left\lfloor {x}/{2^{z - Z_0 \cdot z'}} \right\rfloor \\ y' = \left\lfloor {y}/{2^{z - Z_0 \cdot z'}} \right\rfloor \\ z' = \left\lfloor \frac{z}{Z_0} \right\rfloor \end{cases}$$

(x', y', z') – координаты вершины *N*-арного дерева;

(x, y, z) – координаты вершины исходного квадродерева

Алгоритм серверной части предоставления тайлов (на примере обращения к тайлам высокодеальных зумов)



Оценки производительности геосервиса

Аппаратное обеспечение экспериментов:
- система хранения данных Dell EMC ME4024;
- сервер на базе процессора Intel Xeon Gold 6248R (512 GB RAM);
- сетевая инфраструктура 25 GbE.

Виртуальная машина:
- 12 vCPU, 8 GB RAM, Debian 11

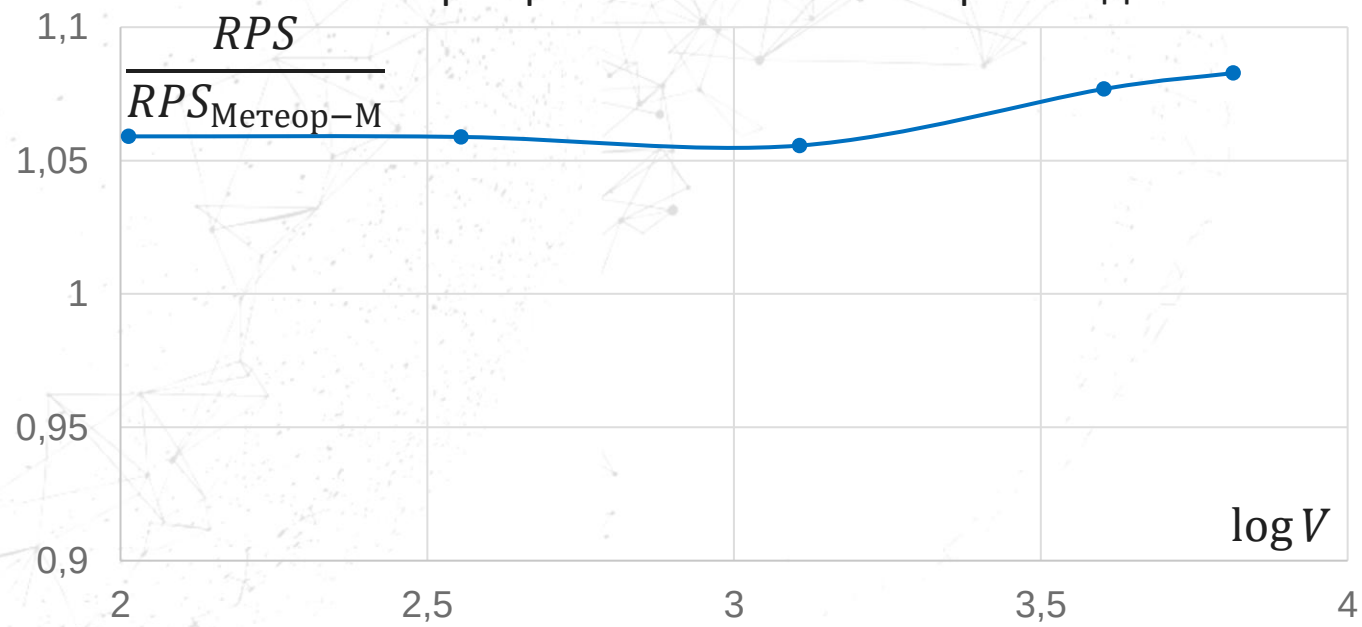
Приложение генерации нагрузки:
- wrk(https://github.com/wg/wrk)

Сравнение с mbtiles-server :
- Проигрыш в два раза, если выполнять открытие MBTiles в каждой транзакции
- Выигрыш до 30% RPS, при 16 тредах обработки транзакций без повторного открытия

Результаты оценки RPS на основе wrk -бенчмарка

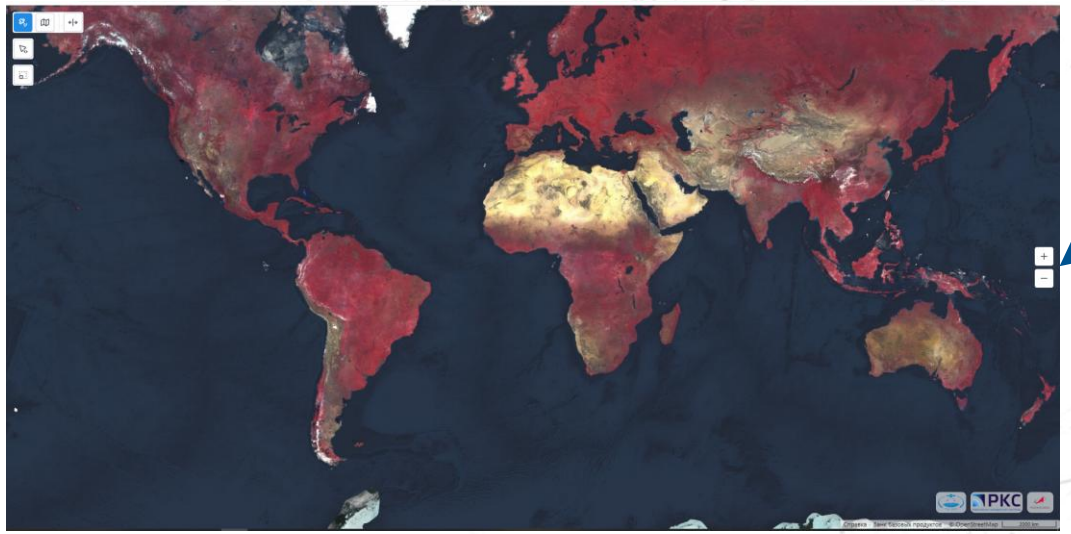
Данные	Объем, ГБ	RPS
1 файл покрытия Метеор-М	50	9278±286
1 файл покрытия Канопус-В	103	9826±218
4 файла покрытия Канопус-В	359	9824±178
16 файлов покрытия Канопус-В	1278	9794±200
64 файла покрытия Канопус-В	4008	9991±208
98 файлов детального покрытия	6507	10046±215

Нормированная величина производительности



Геосервис maps.ntsomz.ru





Многоуровневое динамическое спутниковое покрытие

Глобальное покрытие по данным КМСС в цветовом представлении псевдо-RGB

Глобальное покрытие по данным КМСС в цветовом представлении NRG

Многоуровневое покрытие Метеор-М + Канопус-В

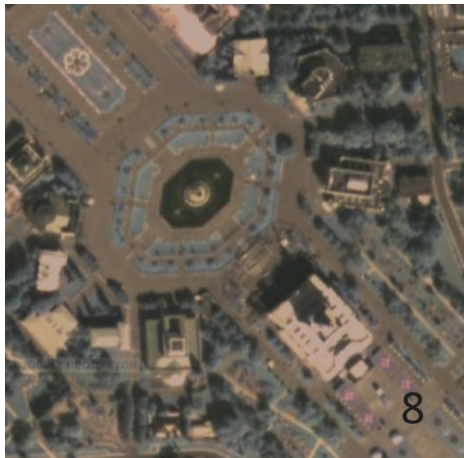
Глобальный уровень Метеор-М

Федеральный уровень Канопус-В

Региональный уровень Ресурс-П





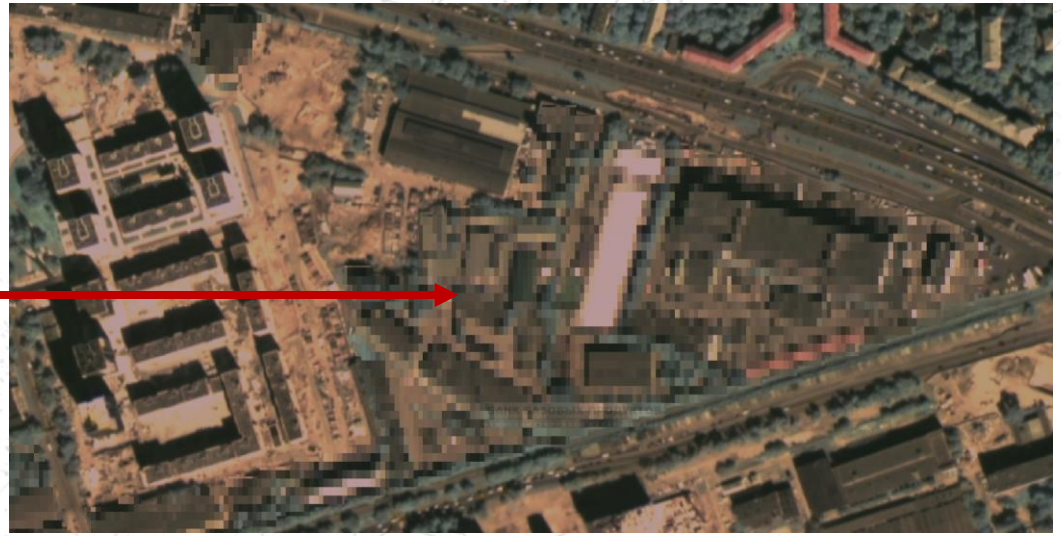


Геосервис maps.ntsomz.ru



Отображение координат курсора

Отображение мини-карты



Понижение детальности изображений для важных объектов инфраструктуры

Картографическая подложка OpenStreetMap и функция «шторка»



Дополнение детальных покрытий данными более низкого разрешения



Заключение

1. Создан первый геоинформационный сервис (maps.ntsomz.ru) предоставления спутниковой картографической основы на основе данных исключительно отечественных КС ДЗЗ, включающий:
   - глобальное спутниковое покрытие на основе данных Метеор-М
   - детальное бесшовное покрытие на основе данных Канопус-В (Евразия и Африка)
   - сверхдетальное бесшовное покрытие на основе данных Ресурс-П городских агломераций РФ

2. Для сервиса предложена математическая модель снижения вычислительной сложности поиска по квадродереву тайлов на основе свертки квадродерева в N-арное дерево общего вида. Данная модель также обеспечивает эффективную модель обновления покрытия

3. Разработан алгоритм выбор тайлов соответствующего покрытия на основе использования открытого формата хранения MBTiles. На основе алгоритма приведены результаты высоконагруженного тестирования, демонстрирующие константную скорость выдачи при увеличении объемов более чем в 100 раз

4. Сервис поддерживает открытый программный интерфейс доступа к отдельным покрытиям, а также различным вариантам их комплексирования.

Спасибо за внимание!



