



Методика, алгоритмы и результаты обработки данных бескарданного аэрогравиметра в площадных съемках на разных носителях

В.С. Вязьмин

Лаборатория управления и навигации, МГУ имени М.В. Ломоносова, Москва

v.vyazmin@navlab.ru

Семинар «Навигация и управление движением»

Академии навигации и управления движением (Московское отделение)

Москва, 01.12.2022 г.

План доклада



❑ Бескарданные аэрогравиметры

❑ Методика постобработки

- Обработка спутниковых измерений
- Интегрированная инерциально-спутниковая навигация
- Оценивание аномалии силы тяжести / вектора силы тяжести

❑ Примеры обработки

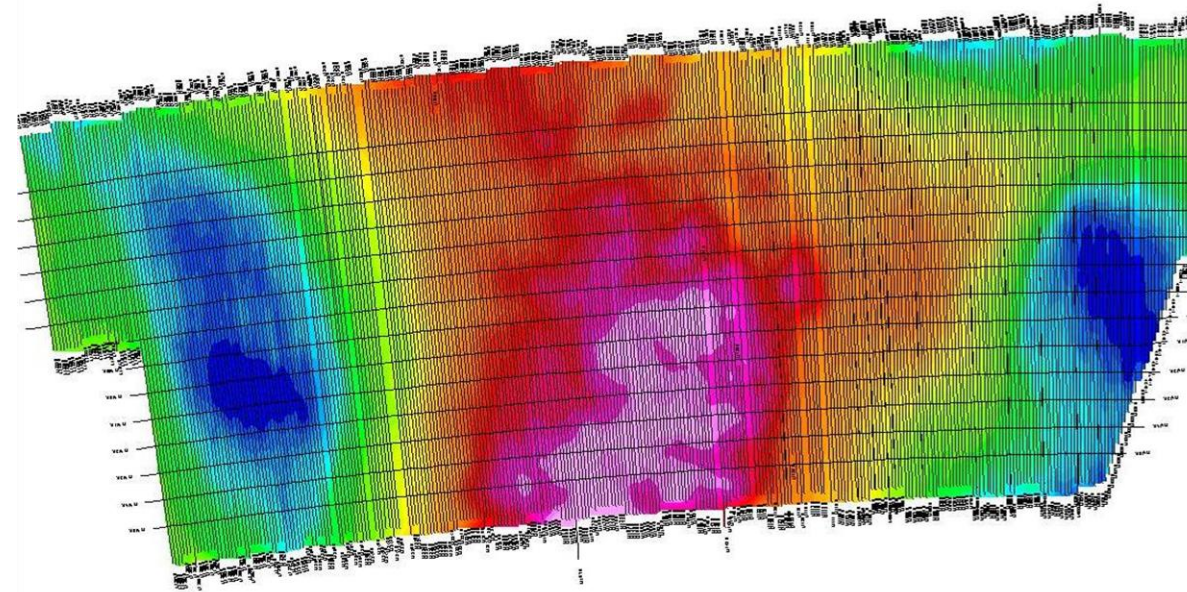
- Съёмки на самолетах разных серий
- Съёмка на БПЛА

❑ Выводы



Аэрогравиметрия

- ❑ Измерение силы тяжести с точностью до 10^{-6} - $10^{-7}g$ с борта летательного аппарата
- ❑ Съёмки в труднодоступных районах (горы, тропические леса, фьорды, шельфы...)
- ❑ Применение
 - Геофизика (разведка полезных ископаемых – в комплексе другими геофизическими методами)
 - Геодезия (определение высот геоида, определение подледного рельефа)
 - Навигация по гравитационному полю
- ❑ Современные тренды – применение **бескарданных** аэрогравиметров, съёмки на **БПЛА**



Карта аномалии силы тяжести и линии галсов съёмки



Платформенные аэрогравиметры

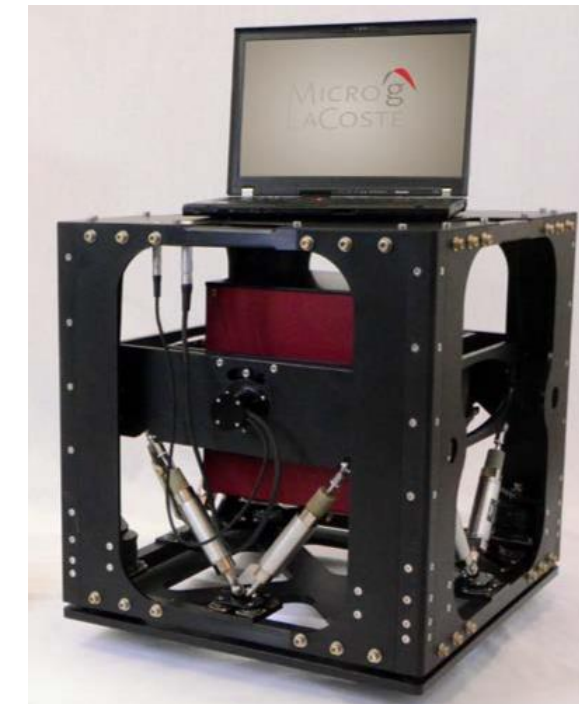
- ❑ В аэрогравиметрии зарекомендовали себя платформенные аэрогравиметры
- ❑ Состав
 - Гиростабилизированная платформа
 - Гравиметрический датчик (акселерометр) с вертикальной осью чувствительности
 - Приемники GPS-ГЛОНАСС (бортовой и наземные базовые станции)
 - Программное обеспечение постобработки
- ❑ Примеры
 - Чекан-АМ (ЦНИИ Электроприбор, С.-Петербург)
 - GT-2А (ЗАО Гравтехнологии, Москва)
 - AIRGrav (Sander Geophysics Ltd., Канада)
 - TAGS (Micro-g LaCoste, США)



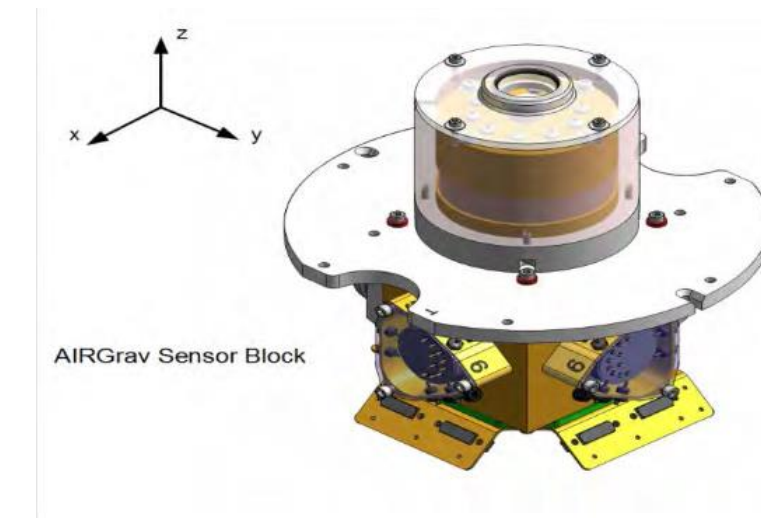
GT-2A на борту Ан-26



Чекан-АМ



TAGS-7



AIRGrav

Бескарданные аэрогравиметры



□ Применение бескарданных ИНС вместо платформенных – современный тренд аэрогравиметрии

- Меньшие габариты, масса (<20 кг), энергопотребление, стоимость
- Возможность установки на легкие носители (включая БПЛА)
- Почти нет ограничений на динамичность полета (важно при облете рельефа)
- Потенциально применимы для векторных измерений

□ Состав

- Бескарданная инерциальная навигационная система (БИНС), включающая:
 - три высокоточных акселерометра, имеющих широкий динамический диапазон ($2g$ и выше)
 - три датчика угловой скорости (дрейфы <0.005 град/ч, стабильны в запуске)
- Прецизионная система термостатирования
- Приемники ГНСС (GPS, ГЛОНАСС, GALILEO, BeiDou...)
- Программное обеспечение постобработки



Бескарданный гравиметр iMAR на борту Ан-30



Бескарданные аэрогравиметры

- ❑ Технология не нова – первые эксперименты в конце 90-х гг (университет Калгари)
 - Недостаточная точность БИНС (Honeywell, Litton), отсутствие термостатирования
- ❑ С 2010-х гг доступны высокоточные БИНС
 - С 2017 г. – бескарданные гравиметры iMAR (ФРГ)
- ❑ Применяются, в основном, научными институтами и университетами (Дания, ФРГ, Турция, США и др.) для целей геодезии
- ❑ Особенности бескарданной аэрогравиметрии:
 - Более сложная обработка измерений (влияние боковых и вертикальных ускорений ЛА напрямую на измерения инерциальных датчиков БИНС)
 - Высокие требования к точности калибровки инерциальных датчиков (в особенности, при измерениях на легких носителях)
 - Высокая частота измерений инерциальных датчиков (~300-400 Гц)
 - Принципиально наличие адекватного программного обеспечения постобработки (разрабатываются прототипы Датским университетом, iMAR, МГУ, ЦНИИ Электроприбором...)



БИНС фирмы iMAR (ФРГ)

Бескарданная аэрогравиметрия в России

- ❑ 2010 – прототип бескарданного гравиметра GT-X (ЗАО Гравтехнологии)
- ❑ 2011 – испытания GT-X на яхте (совместно с Лабораторией управления и навигации МГУ)
- ❑ 2020 - по н.в. – разработка МГУ ПО для бескарданной аэрогравиметрии, 2020 - первая обработка реальных данных (съемка Датского университета с гравиметром iMAR)
- ❑ 2020 – первая площадная съемка (ГНПП Аэрогеофизика, Cessna 208B, iMAR). Обработка - МГУ
- ❑ 2021 – летные испытания прототипа гравиметра ЗАО Гравтехнологии. Обработка - МГУ
- ❑ 2021-2022 – площадные съемки с гравиметрами iMAR (ГНПП Аэрогеофизика). Обработка - МГУ



Гравиметры GT-X и GT-2A



Испытания GT-X на яхте (2011 г.)



Прототип и GT-2A на борту Ан-30 (2021 г.)



Методика, алгоритмы, ПО постобработки

- ❑ Задача постобработки – оценить силу тяжести на траектории ЛА по
 - первичным измерениям инерциальных датчиков БИНС (акселерометров, гироскопов)
 - многочастотным кодовым, доплеровским, фазовым измерениям ГНСС в фазо-дифф. режиме

- ❑ Основные этапы **методики** МГУ постобработки первичных данных:
 1. Экспресс-диагностика измерений ГНСС и гравиметра
 - Важнейшая составляющая ПО при полевых работах
 2. Определение координат, скоростей бортового приемника ГНСС в фазо-дифф. режиме
 3. Интеграция БИНС и ГНСС
 - Оценивание параметров инструментальных погрешностей инерциальных датчиков БИНС
 - Оценивание траекторных параметров (координат, скоростей, углов ориентации БИНС)
 4. Оценивание аномалии силы тяжести / вектора силы тяжести на траектории

Вязьмин В.С., Голован А.А., Болотин Ю.В. Новые алгоритмы бескарданной аэрогравиметрии: проверка на экспериментальных данных. Сб. трудов XXVIII С.-Петербургской международной конференции по интегрированным навигационным системам. ЦНИИ Электроприбор. 2021. С.48-55.

Экспресс-диагностика первичных данных



□ Требования к ПО

- Быстрая проверка кондиционности данных гравиметра и бортового приемника ГНСС после посадки ЛА на аэродром
- Простой интерфейс с минимумом настроечных параметров

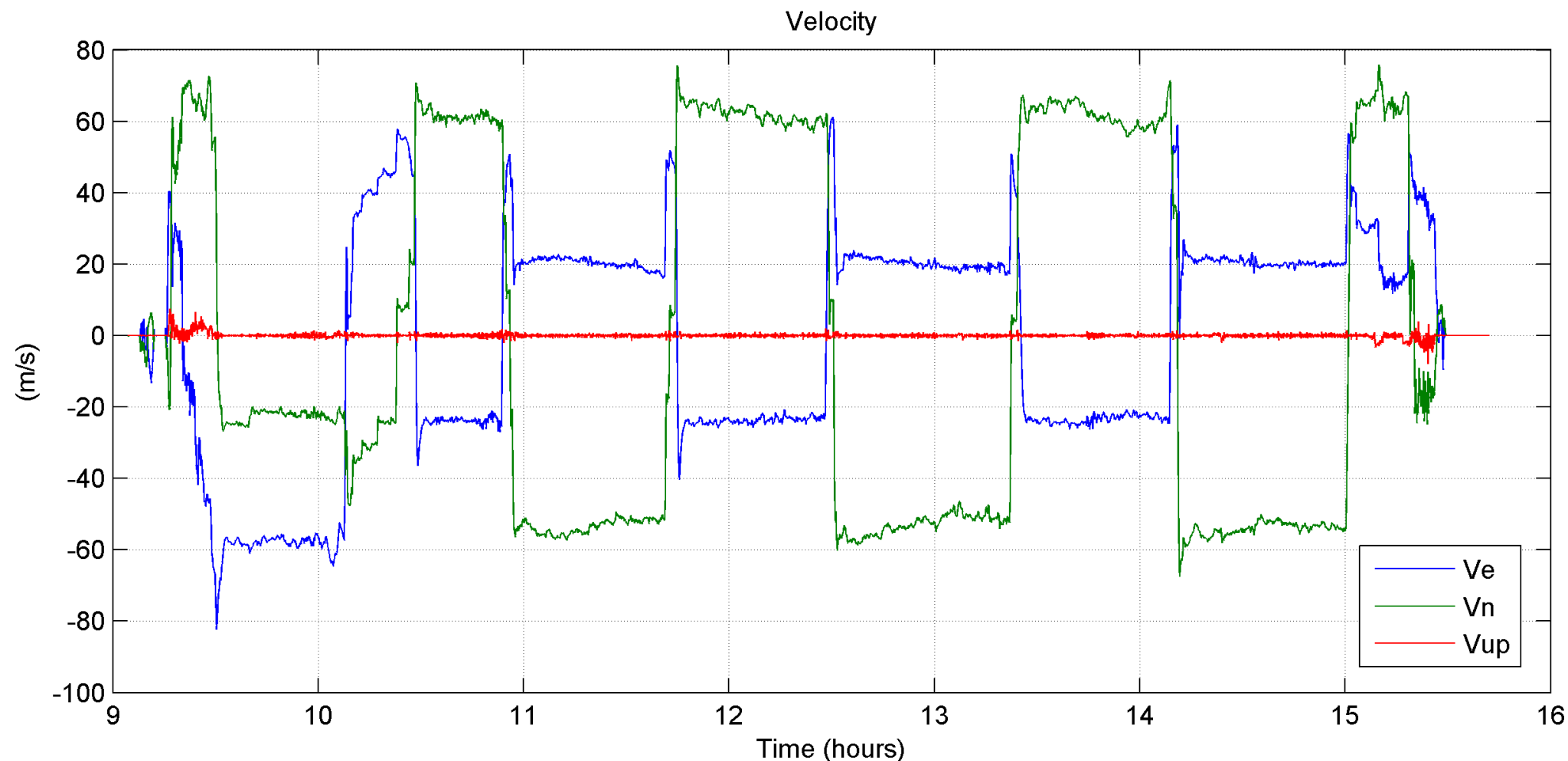
□ Базовые модули разработанного ПО экспресс-диагностики

- Контроль целостности инерциальных данных и ГНСС-данных
- Решение задач **начальной и конечной выставок** БИНС. Оценка **линейного тренда** в смещении нулевого сигнала вертикального акселерометра
- Оценка ошибок инерциального автономного счисления БИНС по координатам точки посадки



Спутниковые навигационные решения

- ❑ Определяются координаты и относительные скорости бортового приемника (фазо-дифф. режим)
- ❑ Требуется высокая точность прежде всего **скоростного** решения ГНСС (~1см/с)
- ❑ Тщательный контроль сбоев измерительной информации (QC)
- ❑ Необходимо специализированное ПО (программы NovAtel Waypoint и пр. не вполне для этого пригодны)

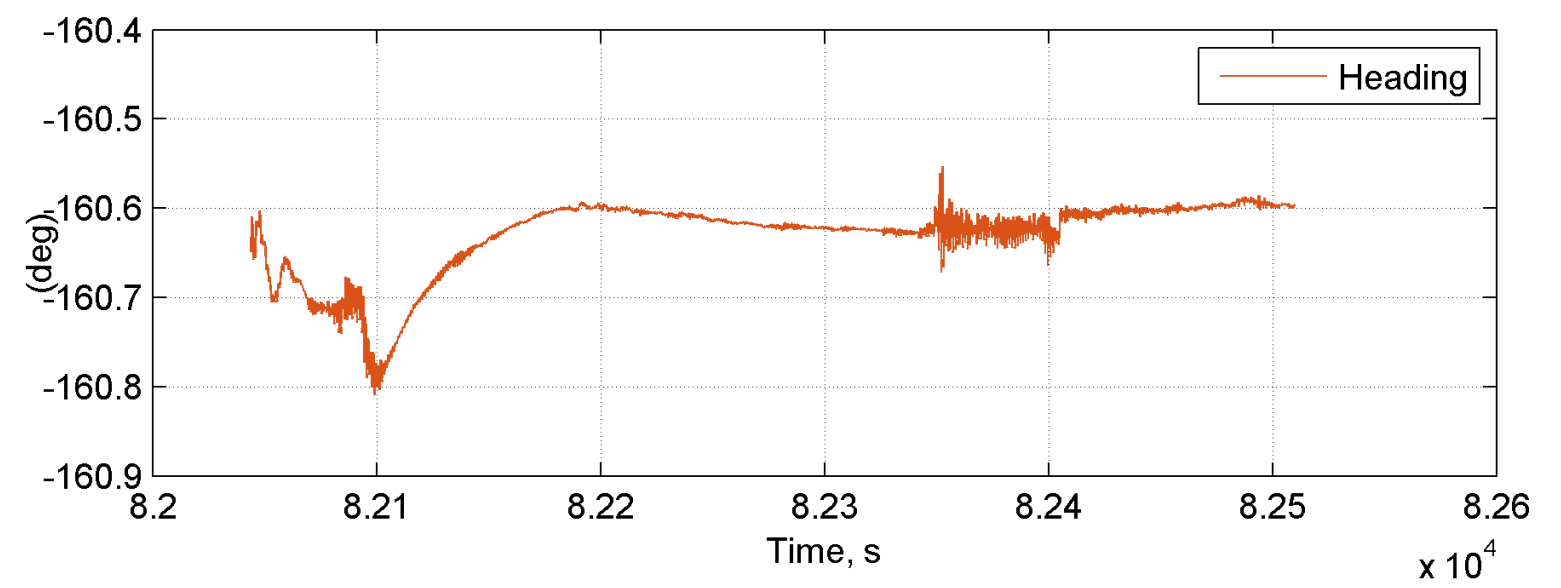
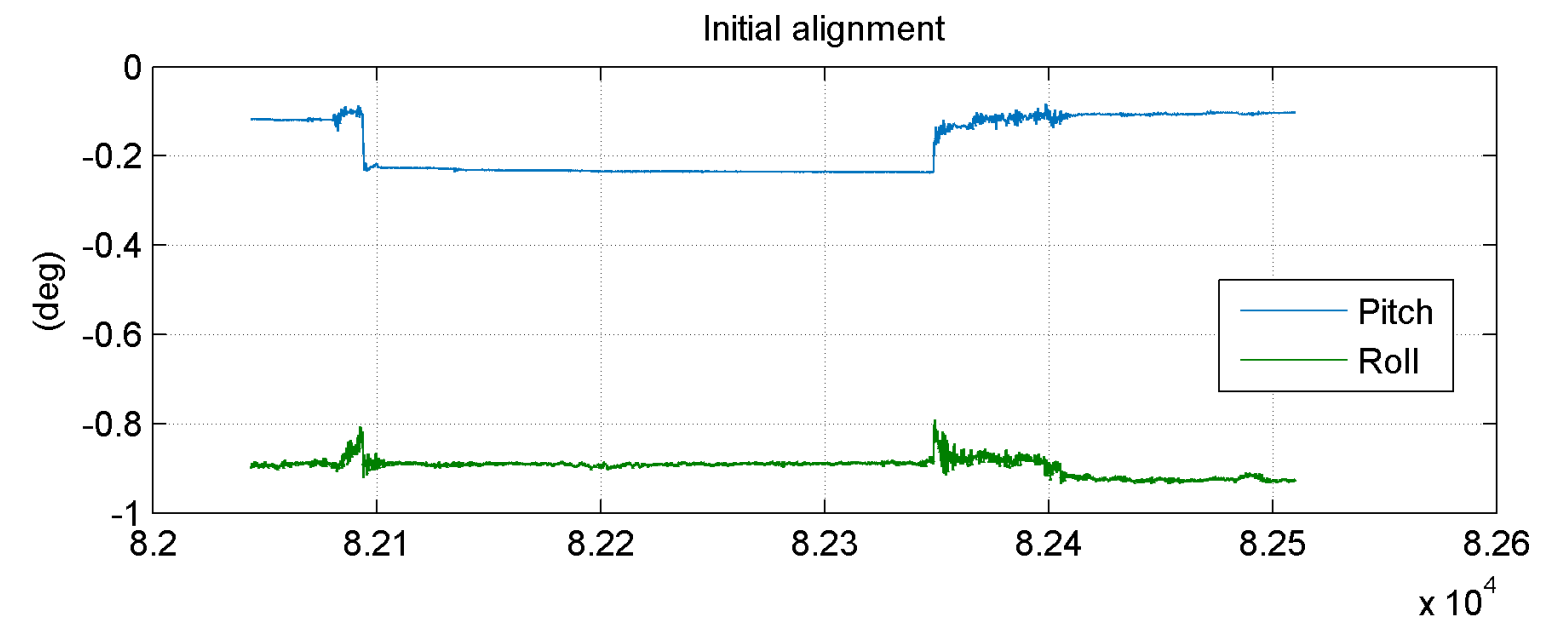
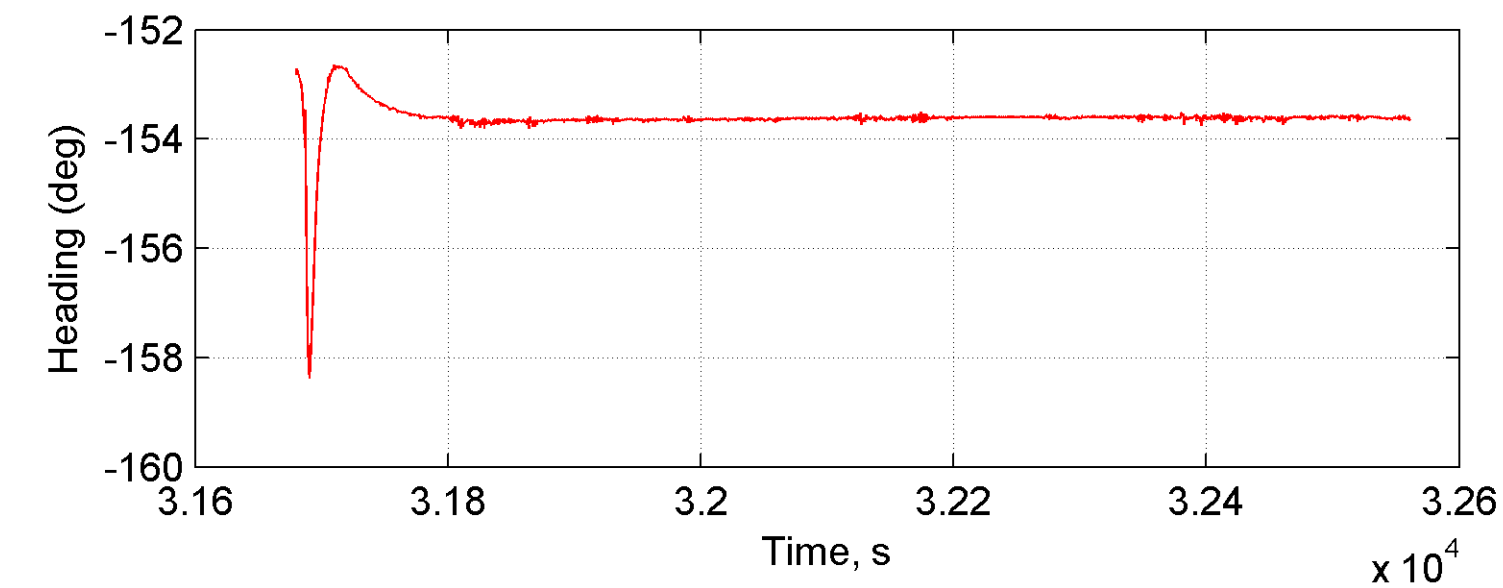
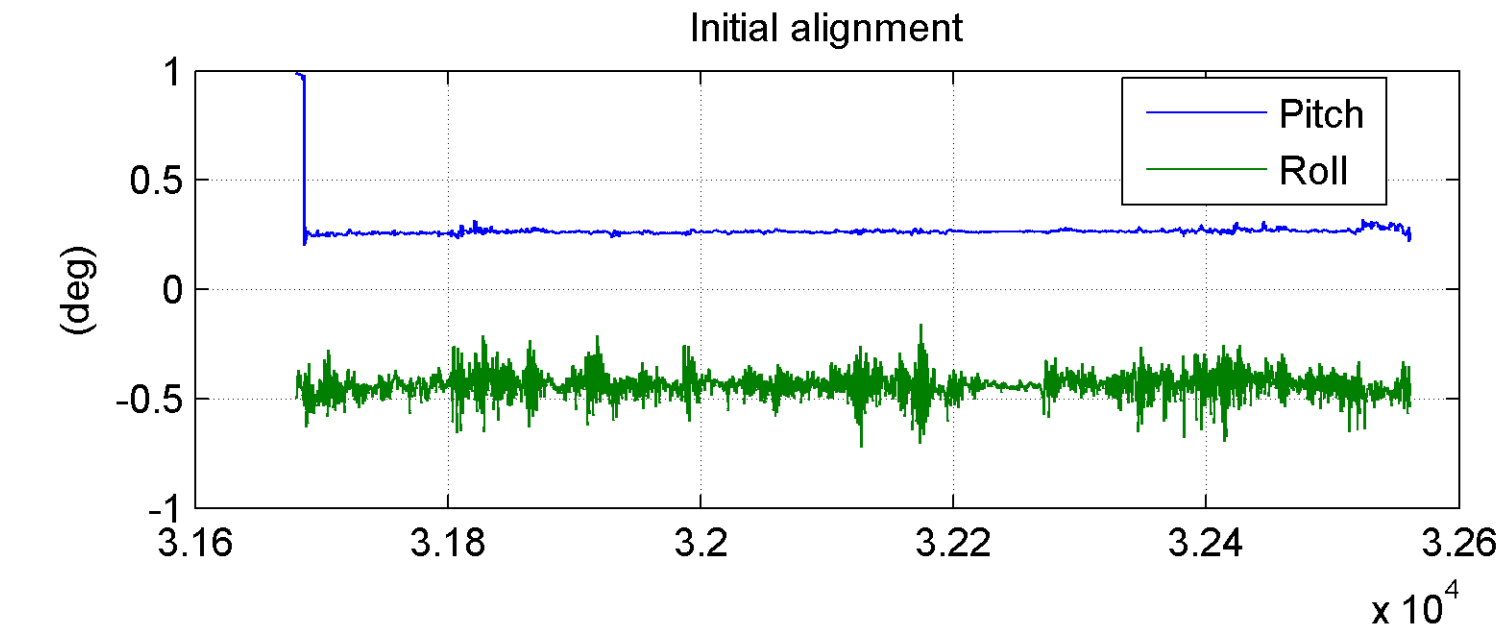


Компоненты скорости бортового приемника ГНСС, м/с. Обработка ПО МГУ



Начальная и конечная выставка БИНС гравиметра

- ❑ Определяются углы ориентации корпуса БИНС на стоянке **до и после полета**
- ❑ Определяется **линейный тренд** в смещении нулевого сигнала вертикального акселерометра
- ❑ **Неконтролируемые угловые движения** корпуса БИНС на стоянках ЛА



Оценки углов курса, крена, тангажа (град) по результатам начальной выставки БИНС гравиметра

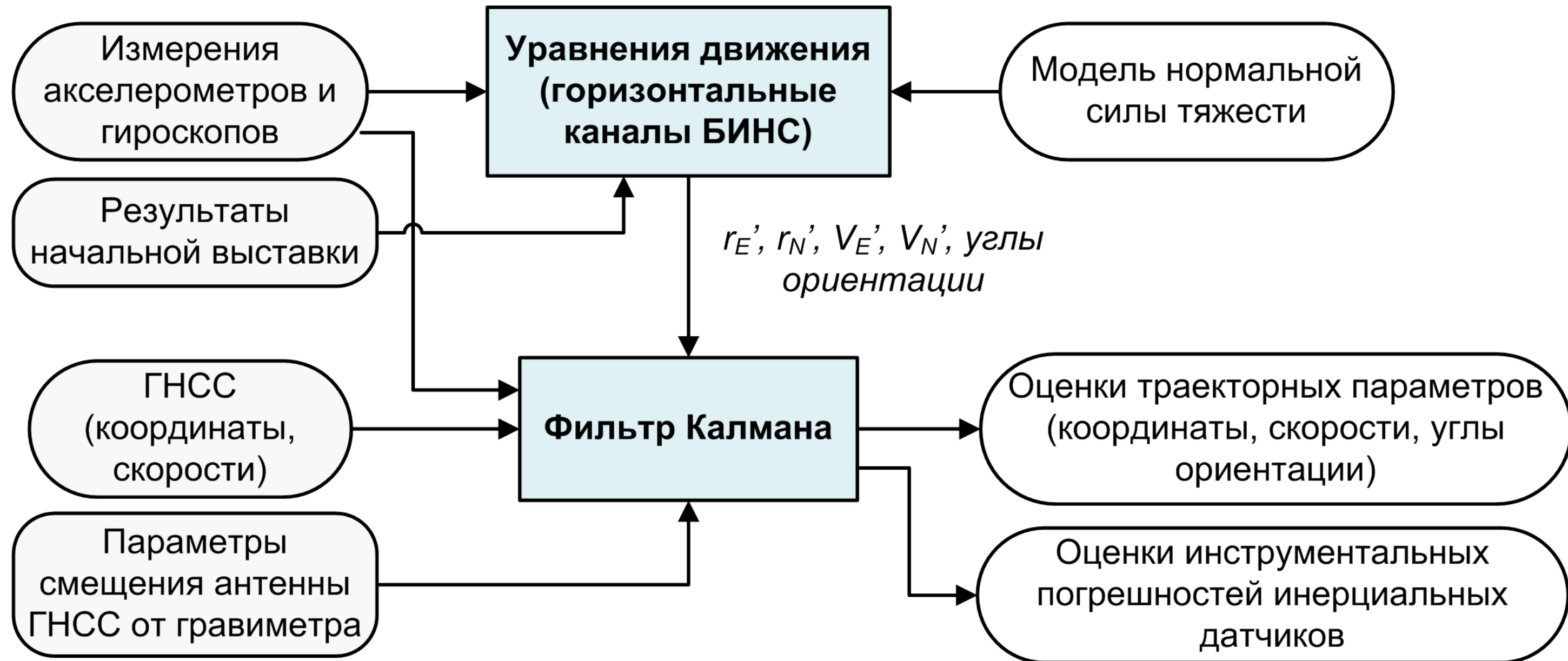


Интеграция БИНС и ГНСС

- ❑ Задача *коррекции* БИНС по данным ГНСС (координатам, скоростям)
- ❑ Разделение на горизонтальные и вертикальный каналы
- ❑ Состав фазового вектора *уравнений ошибок* БИНС
 - Ошибки координат $\Delta r_E, \Delta r_N$
 - Динамические ошибки скорости $\delta V_E, \delta V_N$
 - Угловые ошибки определения вертикали «виртуальной» платформы, азимутальная ошибка
 - Инструментальные погрешности инерциальных датчиков
 - Параметры смещения антенны бортового приемника ГНСС отн-но БИНС
 - Параметры рассинхронизации потоков данных
- ❑ Модели случайных погрешностей измерений датчиков и ГНСС
- ❑ Линейная задача стохастического оценивания
 - Оценка фазового вектора определяется при помощи **фильтра Калмана** и сглаживания

Вавилова Н.Б., Голован А.А., Парусников Н.А. Математические основы инерциальных навигационных систем. М.: Изд-во Московского университета. 2020. 164 с.

Алгоритм интеграции БИНС-ГНСС





Оценивание аномалии силы тяжести

□ Основное уравнение бескарданной гравиметрии в проекции на географическую вертикаль:

$$\ddot{h} = \dot{V}_{Up} = \underbrace{\frac{V_E^2}{R_E} + \frac{V_N^2}{R_N} + 2\omega V_E \cos \varphi}_{\text{поправка Этвеша}} + \underbrace{\mathbf{n}^T \mathbf{f}_z}_{\substack{\text{вертикальная} \\ \text{проекция} \\ \text{удельной} \\ \text{силы реакции}}} - \underbrace{g_0}_{\substack{\text{нормальная} \\ \text{сила тяжести}}} - \underbrace{\Delta g}_{\text{аномалия}}$$

□ Основное уравнение в измерениях:

$$\ddot{h}' = \dot{V}'_{Up} = \frac{V_E'^2}{R_E} + \frac{V_N'^2}{R_N} + 2\omega V_E' \cos \varphi' + \mathbf{n}'^T \mathbf{f}'_z - g_0$$

□ Модель измерений акселерометров в проекции на вертикаль:

$$\mathbf{n}'^T \mathbf{f}'_z = \mathbf{n}^T \mathbf{f}_z + k_N f'_E - k_E f'_N + \tau \mathbf{n}^T \dot{\mathbf{f}}_z + \mathbf{n}^T \mathbf{q}_f$$

□ Совместное определение Δg и параметров k_E , k_N , τ по данным гравиметра и ГНСС

- Широкий частотный диапазон шума измерений, шум-сигнал $\sim 10^4 - 10^5 \Rightarrow$ Необходима гипотеза о Δg
- Априорная модель Δg во времени (стационарный процесс с известной спектр. плотностью)
- Задача стохастического оценивания (алгоритм решения - фильтр Калмана со сглаживанием)



Оценивание уклонений отвесной линии

❑ Основные составляющие задачи:

- Модели интеграции БИНС и ГНСС
- Априорная модель **вектора силы тяжести**

❑ УОЛ $\Delta g_E, \Delta g_N$ наблюдаются в комбинации с систематическими ошибками БИНС:

$$\Delta g_E - g \alpha_N + \Delta f_E, \quad \Delta g_N + g \alpha_E + \Delta f_N$$

- α_E, α_N - угловые ошибки определения вертикали (1" ~ 4.8 мГал)
- $\Delta f_E, \Delta f_N$ - проекции смещений нулей горизонтальных акселерометров БИНС

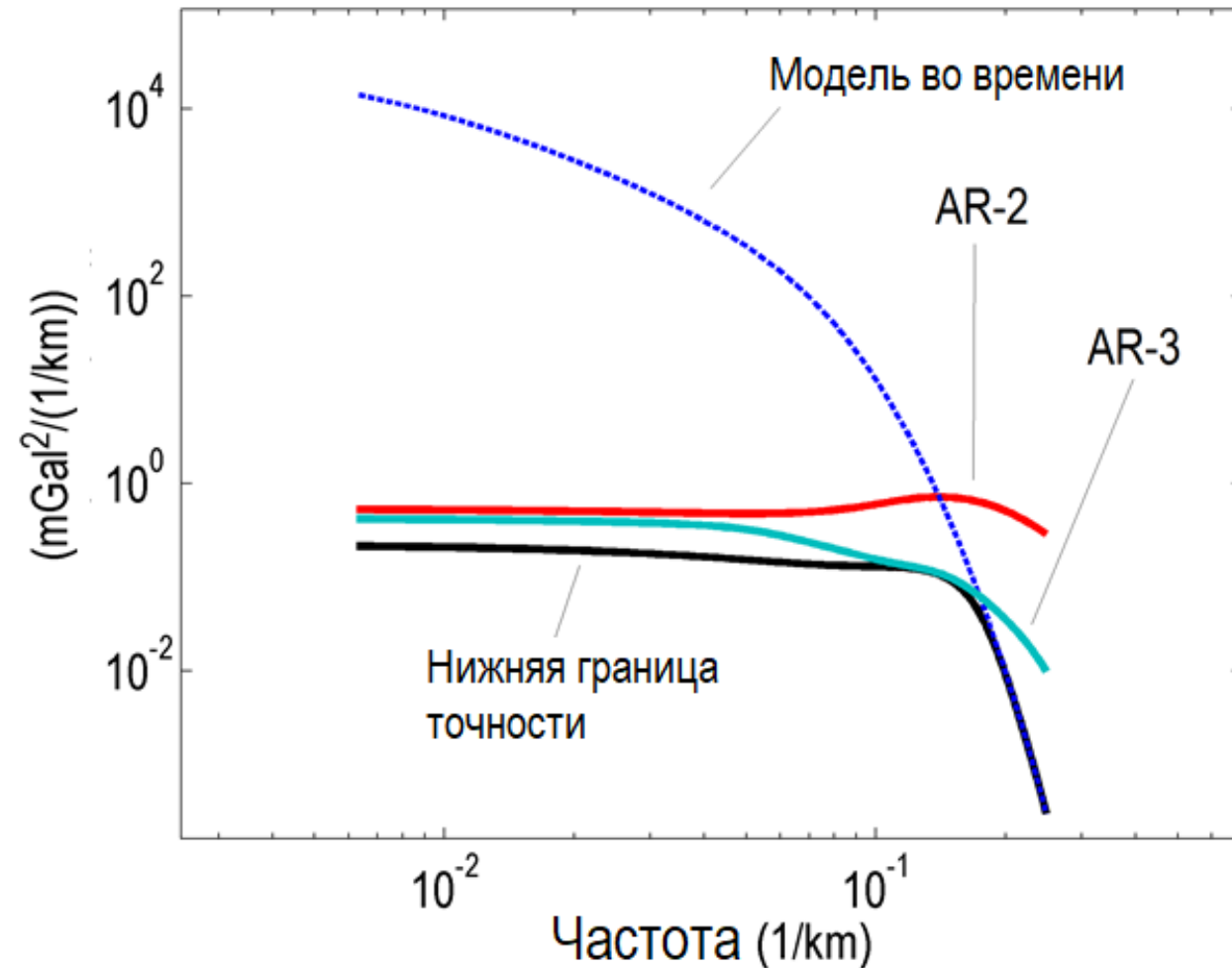
❑ Априорные модели вектора силы тяжести *во времени* **не позволяют** решить задачу. Требуется дополнительная регуляризирующая информация

- Измерения на повторных галсах (К.Джекели, 2001)
- Привлечение данных глобальных моделей поля силы тяжести (Sander Geophysics, 2014)

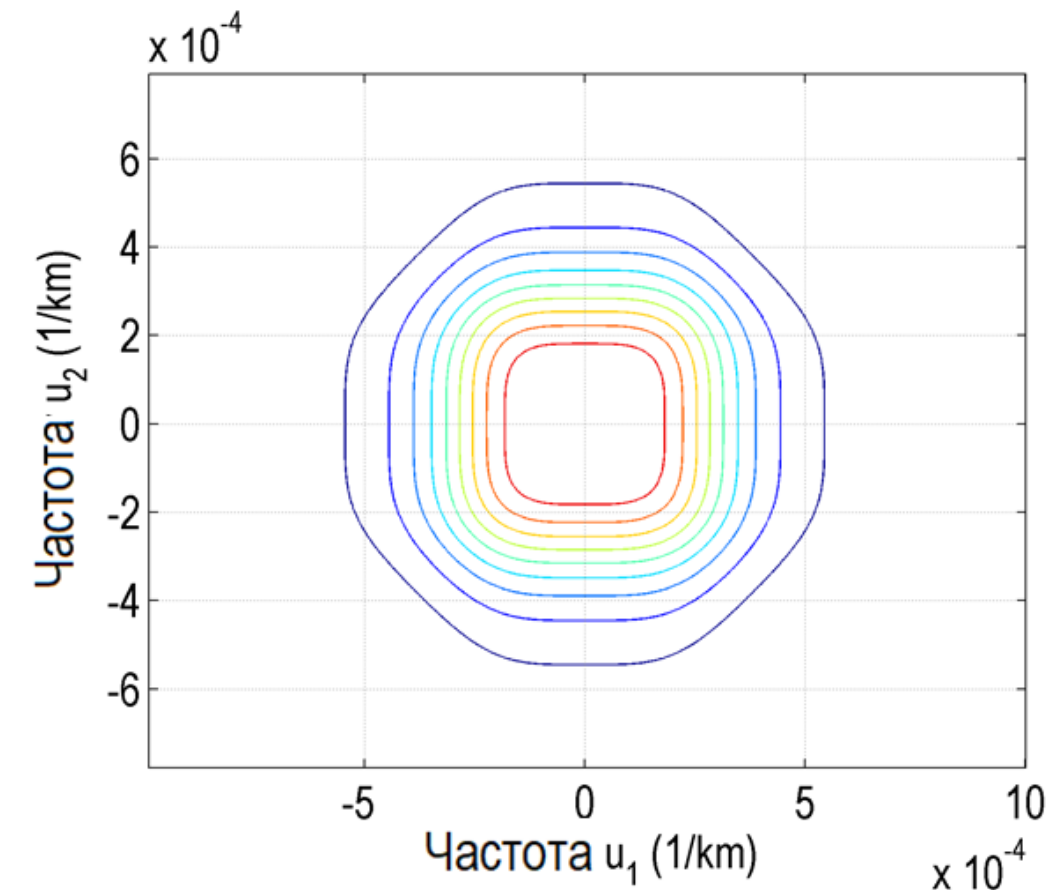


Оценивание уклонений отвесной линии

- ❑ Подход МГУ: априорные модели поля силы тяжести **в пространстве**
- ❑ Теоретическая точность оценивания УОЛ (на основе двумерного спектрального анализа):



Спектральные плотности мощности ошибок оценок УОЛ - на основе модели во времени и моделей в пространстве (двумерные авторегрессии разных порядков)



Изолинии двумерной спектральной плотности мощности априорной модели потенциала (двумерная авторегрессия на высоте полетов)

Болотин Ю.В., Вязьмин В.С. Спектральный анализ точности векторной аэрогравиметрии. Фундам. и прикл. матем. 2018. Т.22. С.33-57.

Оценивание уклонений отвесной линии



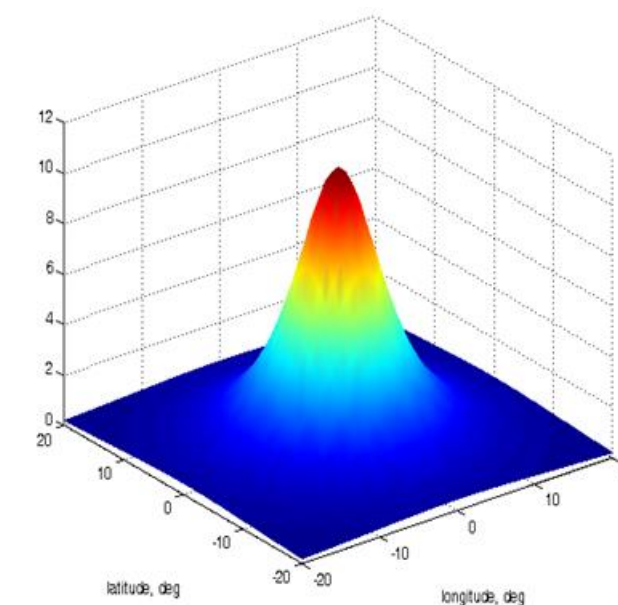
□ Априорная модель потенциала на основе сферических базисных функций Абеля-Пуассона Φ_k :

$$T(\mathbf{r}) = \sum_{k=1}^K a_k \Phi_k(\mathbf{r}), \quad \Phi_k(\mathbf{r}) = \sum_{n=2}^{\infty} \left(\frac{R}{|\mathbf{r}|} \right)^{n+1} (2n+1) e^{-\alpha n} P_n(\cos \psi_k)$$

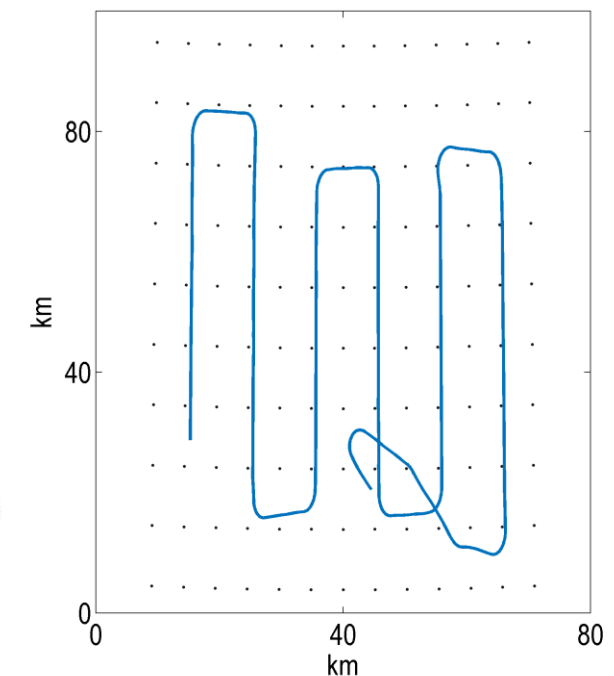
□ Модель аномалии:

$$\Delta g(\mathbf{r}(t)) = - \sum_{k=1}^K a_k \frac{\partial \Phi_k(\mathbf{r}(t))}{\partial |\mathbf{r}|}, \quad \dot{a}_k = 0$$

- Коэффициенты $a_1, \dots, a_K$ входят в вектор состояния
- Оценка определяется фильтром Калмана в *информационной форме* (задача плохо обусловлена)
- Оценки **аномалии** и **УОЛ** вычисляются по оценкам $\{a_k\}$
- Длинноволновые составляющие (длины волн > 200 - 300 км) восстанавливаются по данным глобальной спутниковой модели



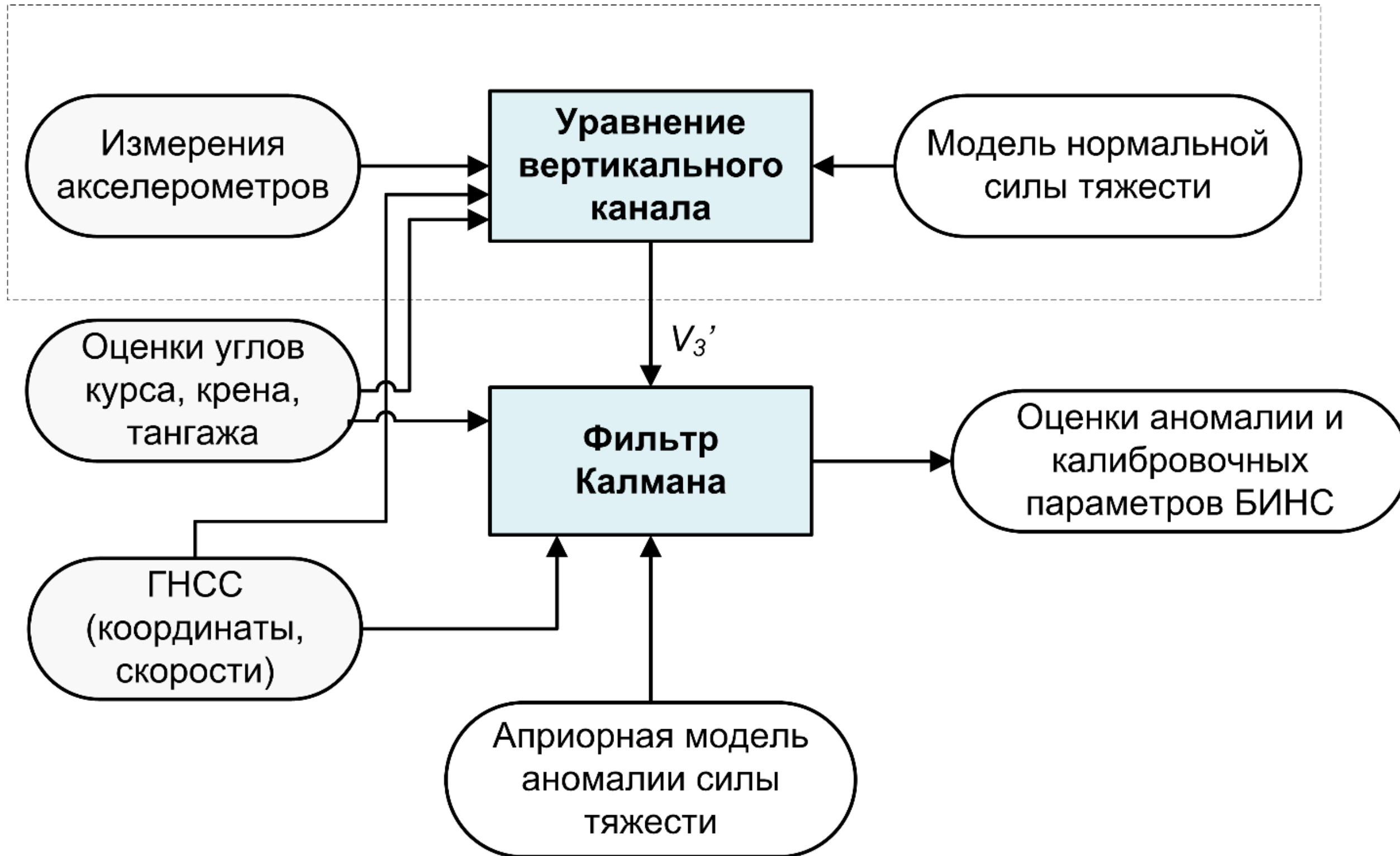
Базисная функция
Абеля-Пуассона



Траектория ЛА и сетка
параметризации

Vyazmin V.S. (2020) New Algorithm for Gravity Vector Estimation from Airborne Data Using Spherical Scaling Functions. In: International Association of Geodesy Symposia. Springer, Berlin, Heidelberg, pp. 1-8.

Алгоритм оценивания аномалии силы тяжести





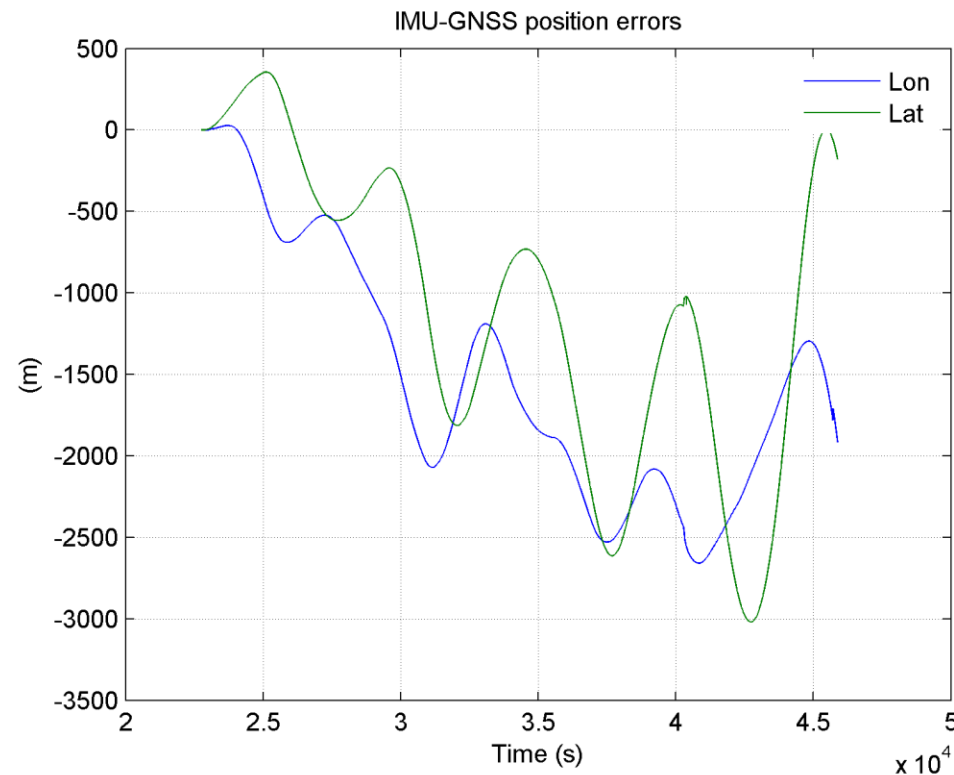
Испытания методики постобработки

- ❑ 2020 – первая обработка экспериментальных данных
 - самолет Vulcanair P68, 900 пог. км, гравиметр iMAR (съемка Датского технического университета)
- ❑ 2020-2021 – обработка площадных съемок
 - самолеты Cessna 208B, Ан-30, 58300 пог. км, iMAR (съемки ГНПП Аэрогеофизика)
- ❑ 2021 – обработка летных испытаний прототипа бескарданного гравиметра
 - самолет Ан-30, 4250 пог. км
- ❑ 2021 – обработка первой съемки с **детальным облетом рельефа**
 - самолет Ан-3Т, 14300 пог. км, iMAR (ГНПП Аэрогеофизика)
- ❑ 2021-по н.в. – обработка экспериментальных съемок на **БПЛА**
 - БПЛА БАС-200, iMAR (ГНПП Аэрогеофизика)
- ❑ 2022-по н.в. – обработка съемки с **детальным облетом рельефа**
 - самолет Ан-3Т, iMAR (ГНПП Аэрогеофизика)

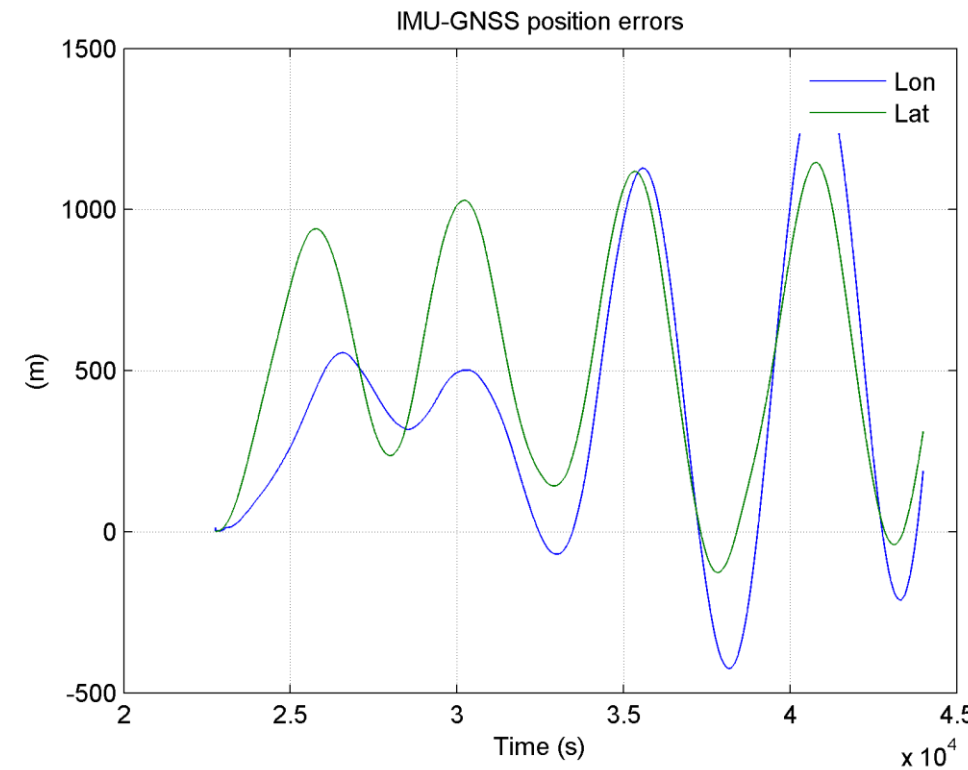


Пример обработки: интеграция БИНС и ГНСС

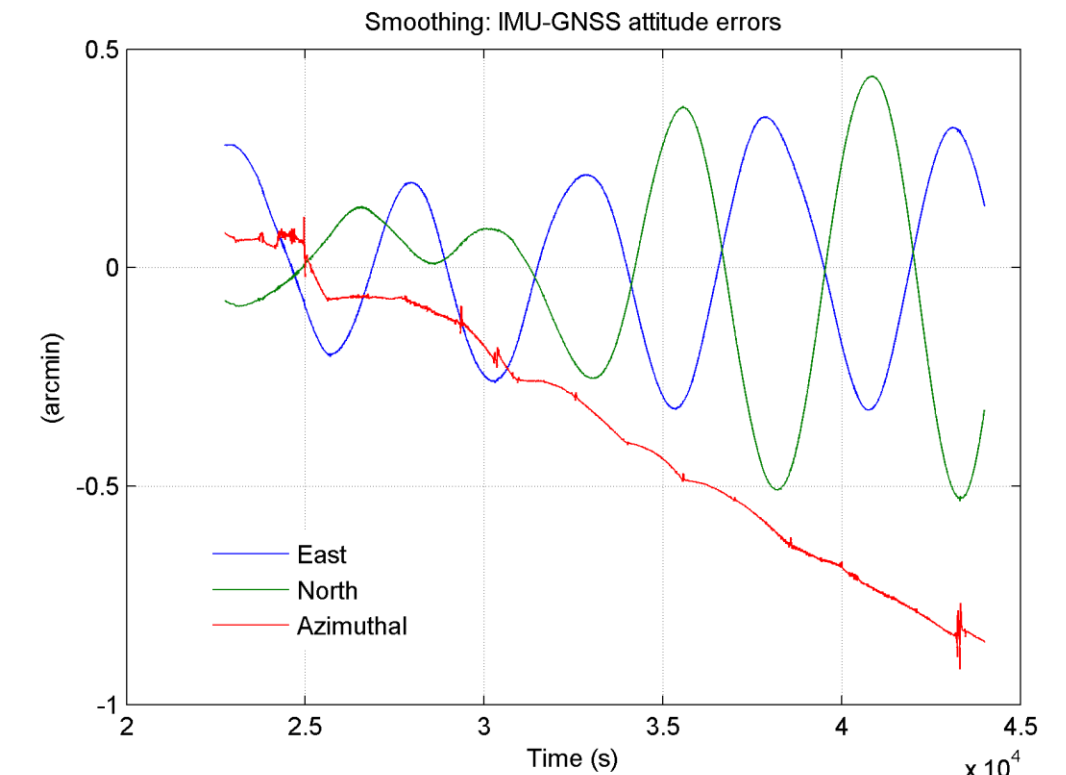
- ❑ Два этапа: 1) Оценивание при помощи ФК. 2) Компенсация систематических ошибок инерциальных датчиков и повторение этапа 1



Ошибки автономного счисления БИНС (относительно ГНСС)



Ошибки координатного счисления БИНС (относительно ГНСС) после компенсации



Оценки ошибок ориентации БИНС в результате интеграции БИНС-ГНСС (угл. мин.)

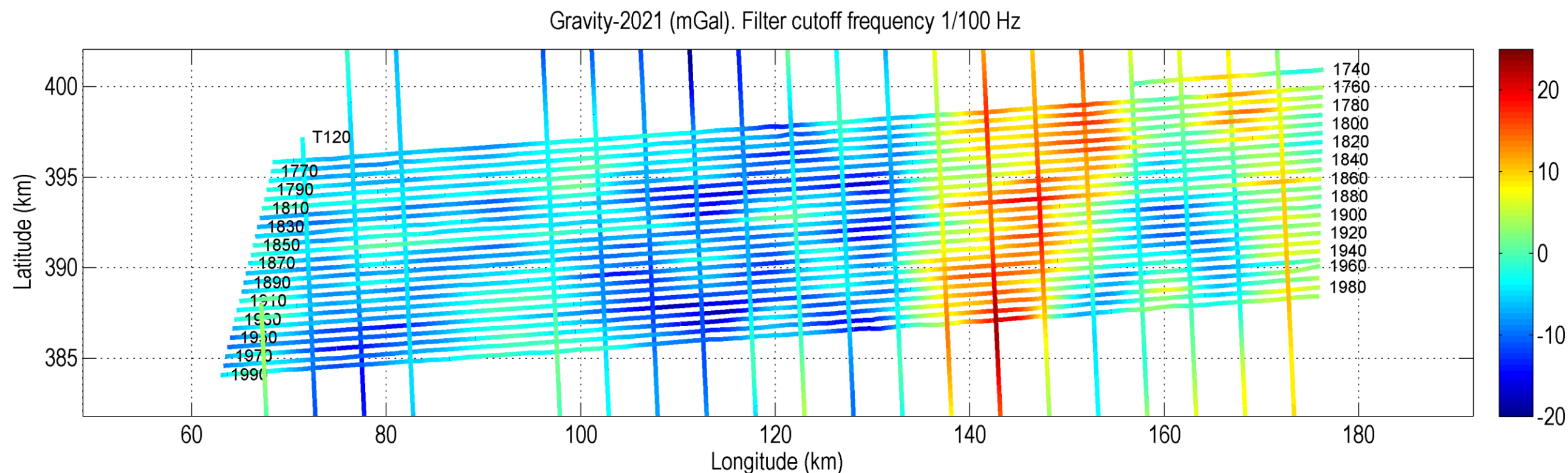
❑ Результаты после компенсации:

- Ошибки координатного счисления БИНС: 1.5 км за 6 ч
- Оценки угловых ошибок вертикали: 20-30 угл. сек.
- Оценка азимутальной ошибки: <1 угл. мин.
- Ошибки оценивания: первые угл. сек.
- Гравиметр: iMAR
- Частота измерений датчиков: ~400 Гц

Оценивание аномалии силы тяжести



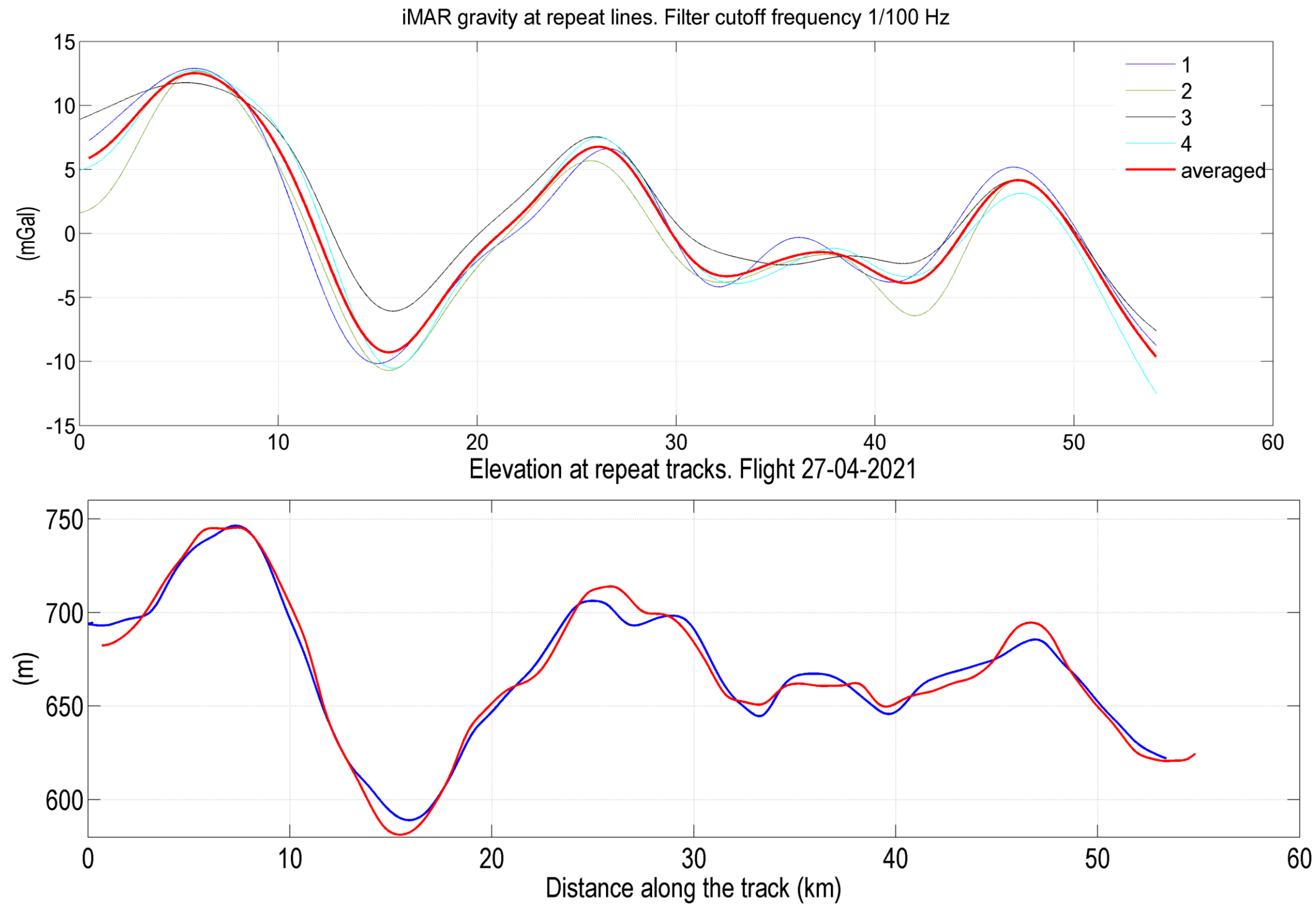
❑ Съемка на самолете Ан-30. Высота полетов: 800-1200 м (облет рельефа)



Оценки аномалии силы тяжести на галсах (мГал) – фрагмент.

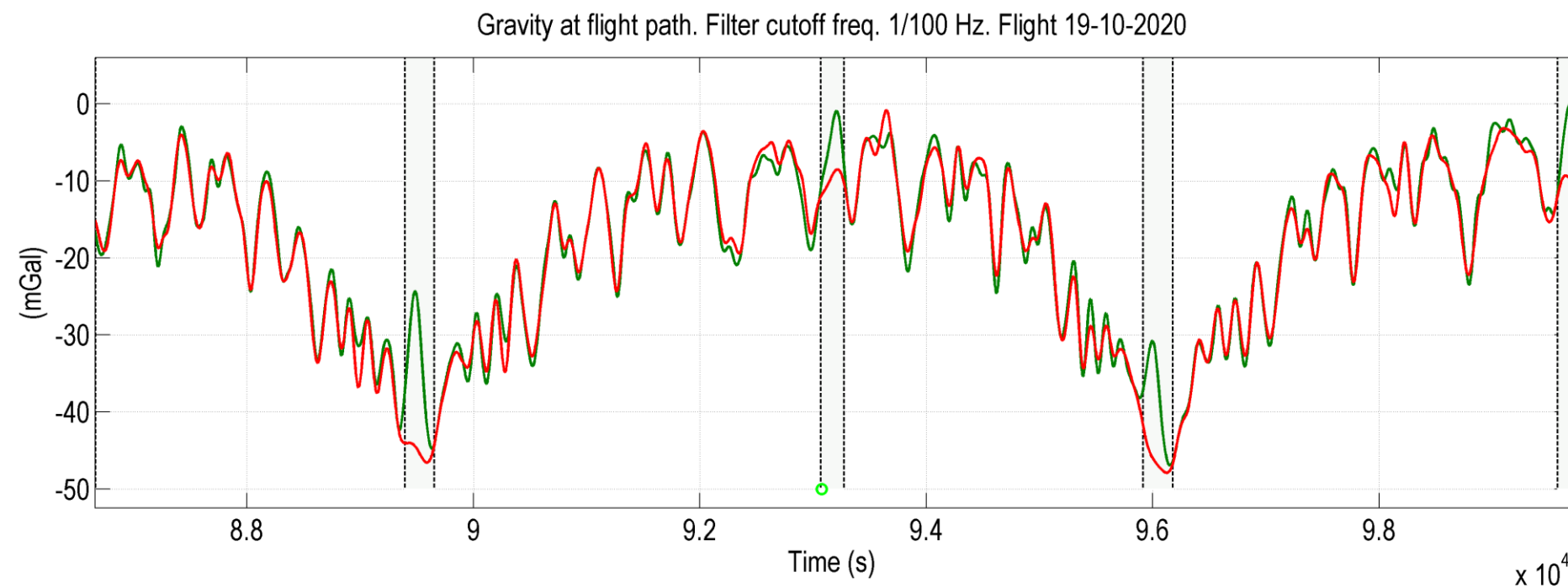
- Гравиметрический фильтр с частотой среза 0.01 Гц (эквивал. разрешение 3.5 км) – эффективен для подавления высокочастотного шума от ГНСС
- Долгопериодические ошибки измерений (нестабильность смещения нуля вертикального акселерометра) минимальны за счет термостатирования (температурные вариации <0.2 °C)
- Линейный тренд в смещении нуля определялся начальной и конечной выставками БИНС
- Контроль качества оценок аномалий – по невязкам ФК на галсах, статистике по пересечениям галсов (СКО **1.4 мГал**), сравнению с глобальной моделью поля

Оценки аномалии силы тяжести



Вверху: оценки аномалии на повторных галсах. СКО: **1.0 мГал.**
Внизу: профиль рельефа

Сравнение с платформенным гравиметром GT-2A

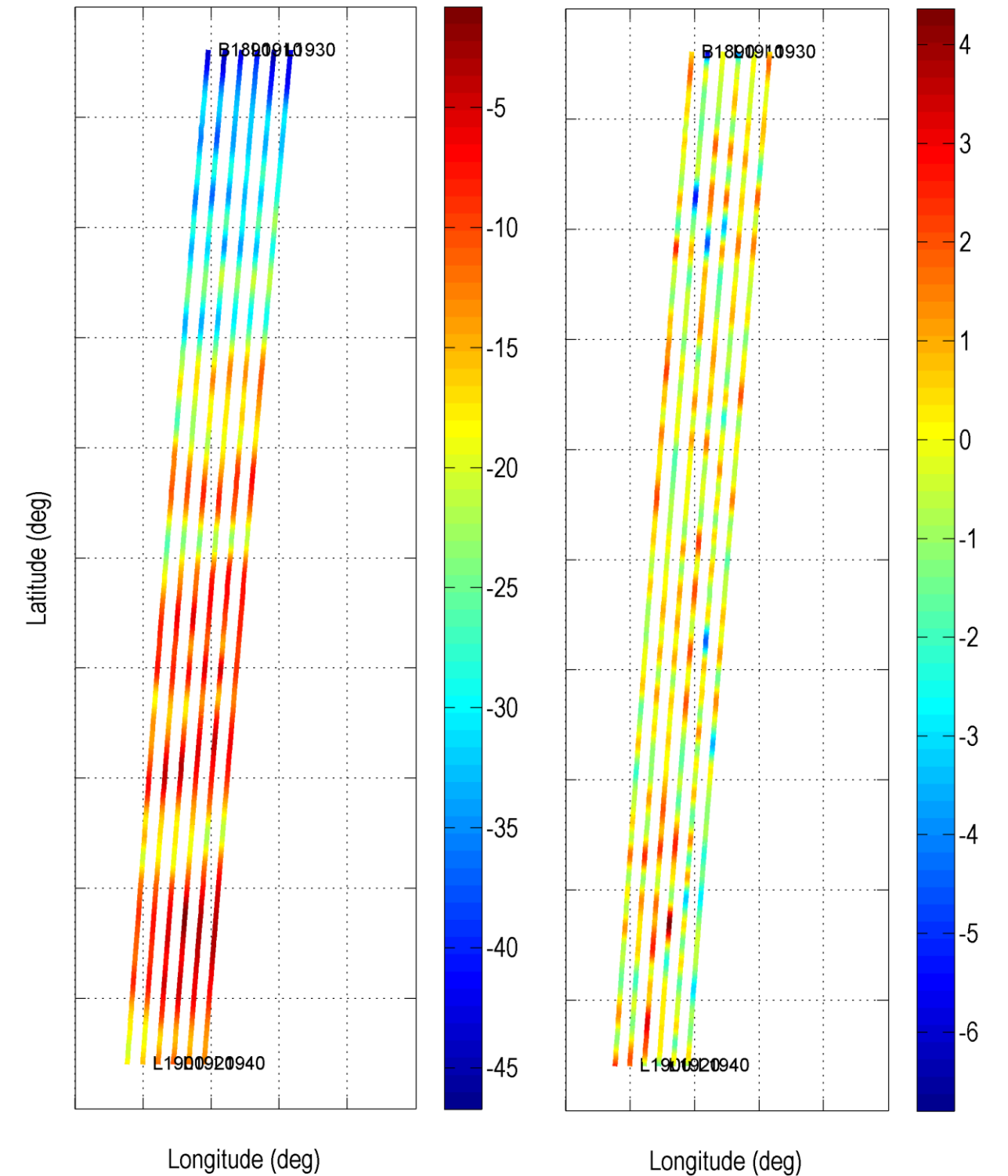


Оценки аномалии от времени полета по данным iMAR (красн.)
и GT-2A (зелен.), мГал

□ Разность результатов по данным гравиметров
iMAR и GT-2A:

- Среднее: -0.1 мГал
- СКО: 1.1 мГал

iMAR gravity (mGal). Filter cutoff frequency 1/100 Hz



Результаты iMAR (мГал)

Разность iMAR и GT2A

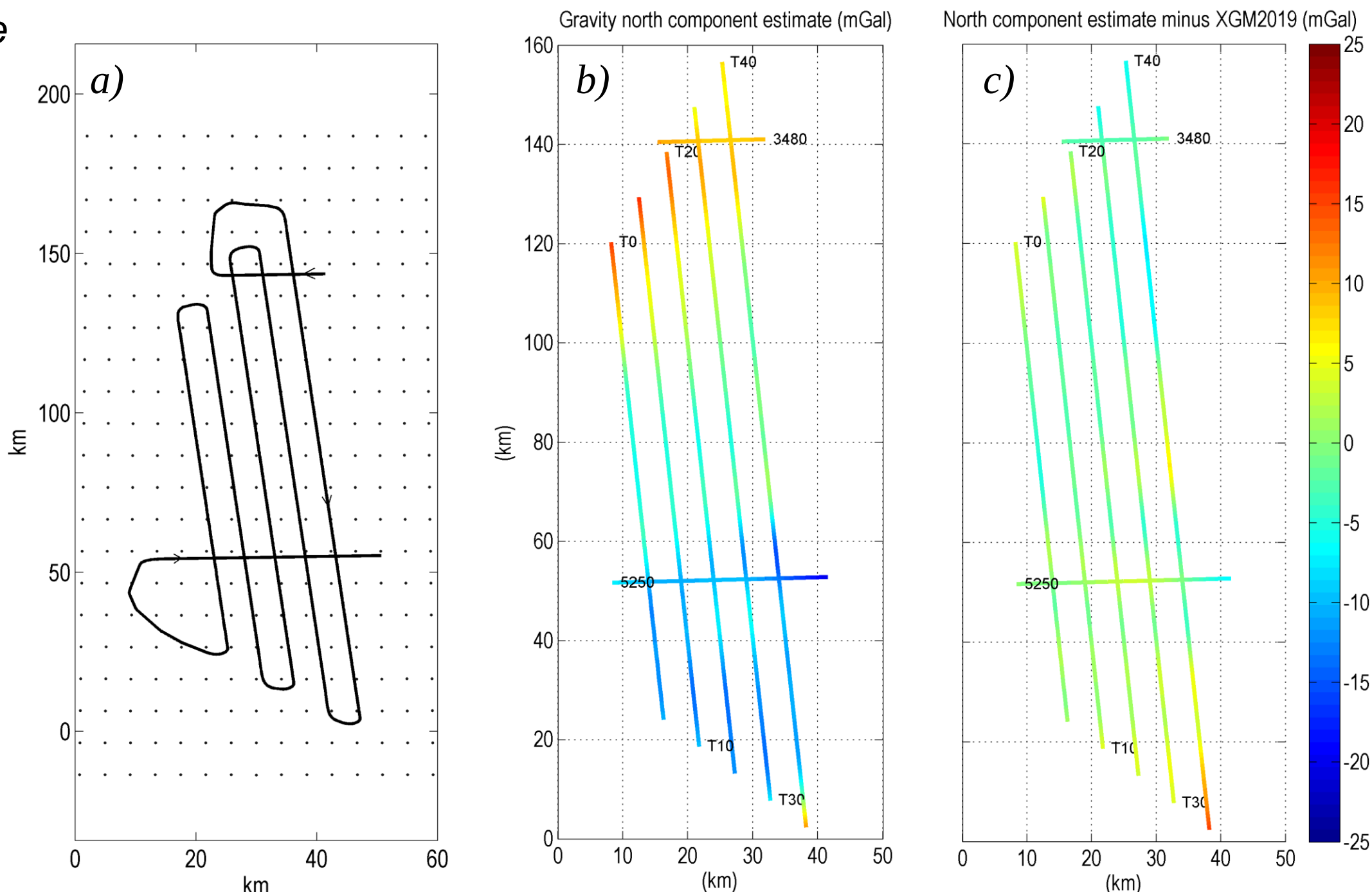
Оценивание уклонений отвесной линии



- Априорная модель поля в пространстве (сферические функции Абеля-Пуассона)
- Число искомых коэффициентов параметризации: 315
- Алгоритм оценивания: фильтр Калмана
- Точность оценок УОЛ (СКО): **2.2 мГал** (север) и **2.8 мГал** (восток) (0.5" и 0.6") - из сравнения с моделью XGM2019



Гравиметр iMAR

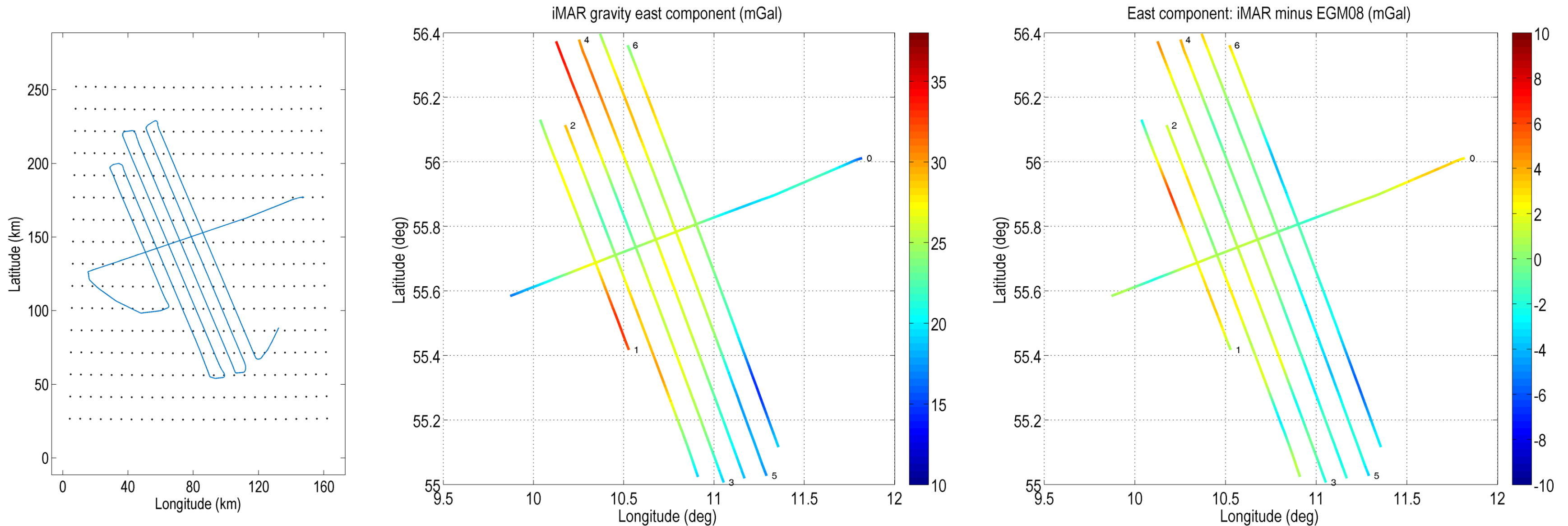


a) Траектория полета и центры сферических базисных функций

b) Оценки северной компоненты УОЛ на галсах (мГал)

c) Разность оценок УОЛ и данных глобальной модели поля (мГал)

Оценивание уклонений отвесной линии



Съемка в Дании: область параметризации (слева), оценка восточной компоненты УОЛ (в центре) и ее разность с глобальной моделью поля (справа). СКО: **2.2 мГал**

Vyazmin V.S., Golovan A.A., Bolotin Y.V. New strapdown airborne gravimetry algorithms: Testing with real flight data. In: 28th Saint Petersburg International Conference on Integrated Navigation Systems (ICINS 2021). Proceedings. 2021. P. 1–8.



Съемка с детальным облетом рельефа

- ❑ Первая аэрогравиметрическая съемка на Ан-3Т (скорость на галсе - 160 км/ч)
- ❑ Высота полетов - 300-1200 м
- ❑ 24 полета (14300 пог. км), выполненные ГНПП Аэрогеофизика в августе-октябре 2021
- ❑ Измерения: магнитометрия, электроразведка, гамма-спектрометрия, гравиметрия

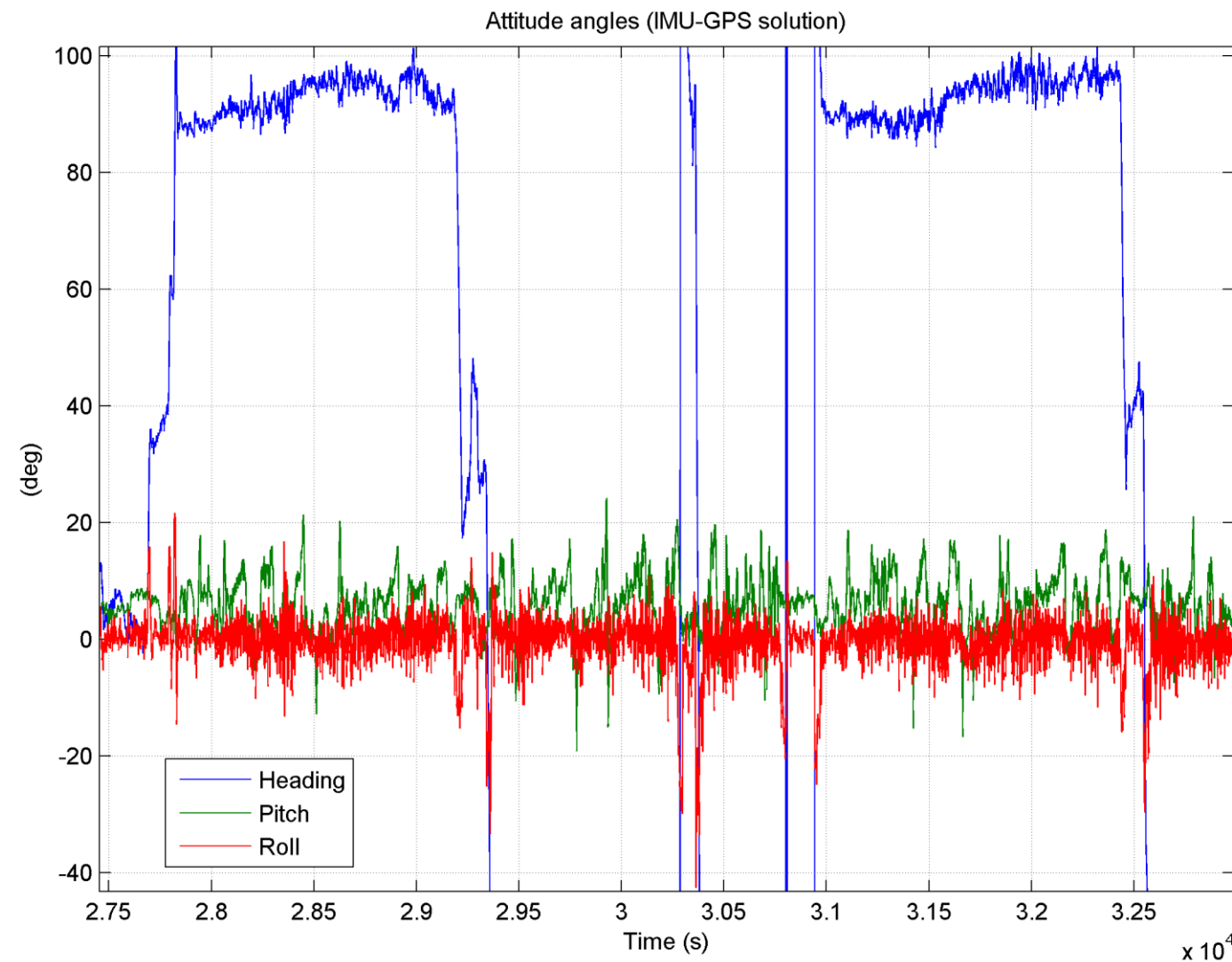


Самолет Ан-3Т

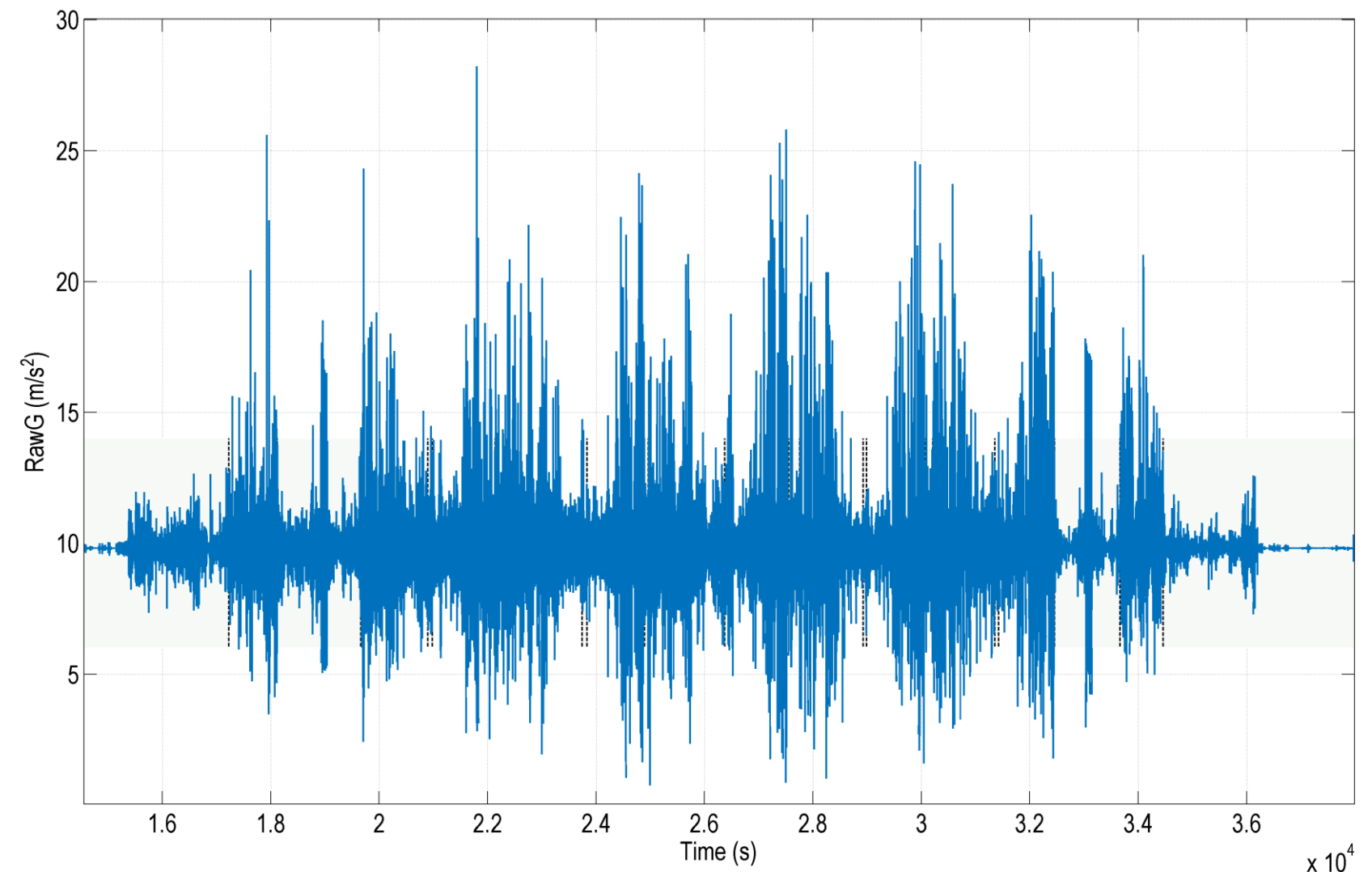


iMAR на борту Ан-3Т

Съемка с детальным облетом рельефа



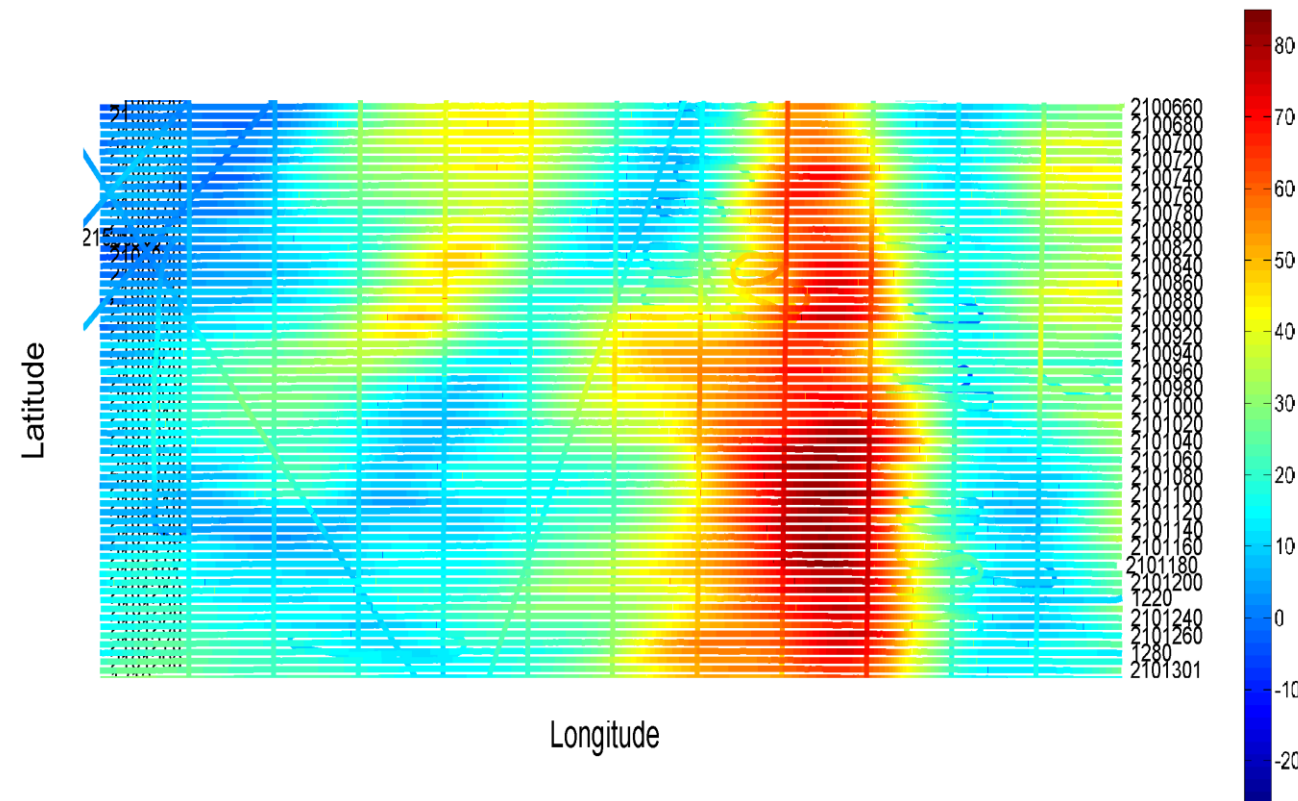
Оценки углов ориентации корпуса БИНС



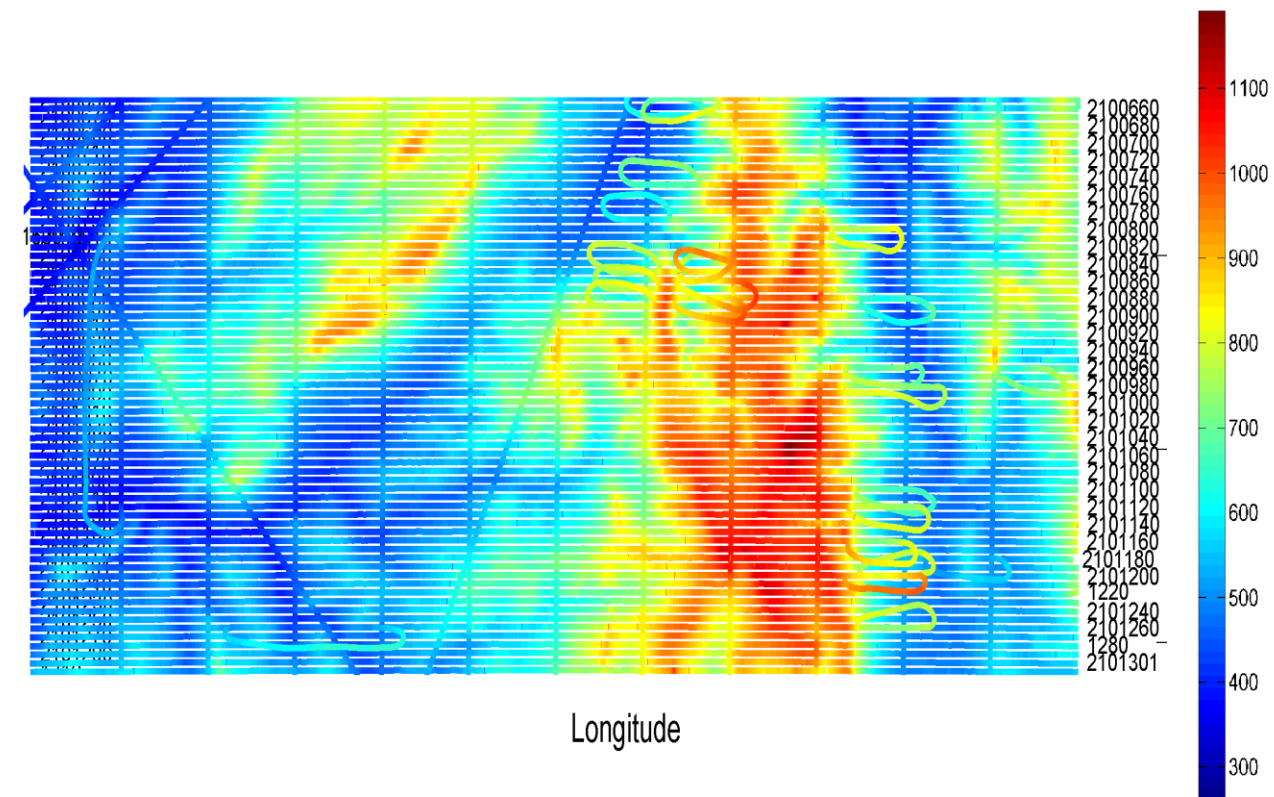
Измерения вертикального акселерометра (м/с²)

- Углы крена и тангажа достигают 30° на галсах
- Вертикальные кажущиеся ускорения - до 3g

Оценивание аномалии силы тяжести



Оценки аномалии на галсах (мГал).
Фрагмент 30 км x 60 км



Высота полетов по данным ГНСС

- ❑ Частота среза гравиметрического фильтра: 1/120 Гц (эквив. разрешение 2.7 км)
- ❑ Температурные вариации внутри БИНС: <0.2 °C
- ❑ Сходимость по пересечениям (СКО): **2.3 мГал**. Сходимость высоты на пересечениях: **6.8 м**
- ❑ Сходимость на повторных галсах: **1.2 мГал**

Аэрогравиметрия на БПЛА

- ❑ Съёмки на БПЛА – будущий тренд в аэрогравиметрии
- ❑ 2019 – первые пробные измерения на БПЛА Prion Mk3 (Датский университет и iMAR)
- ❑ 2021 – измерения на 4 повторных галсах (тот же коллектив). СКО: 4 мГал / 1 мГал.
- ❑ 2021-2022 – первые в России измерения на БПЛА (ГНПП Аэрогеофизика и МГУ)



БПЛА Prion Mk3 (UAVE Ltd.)

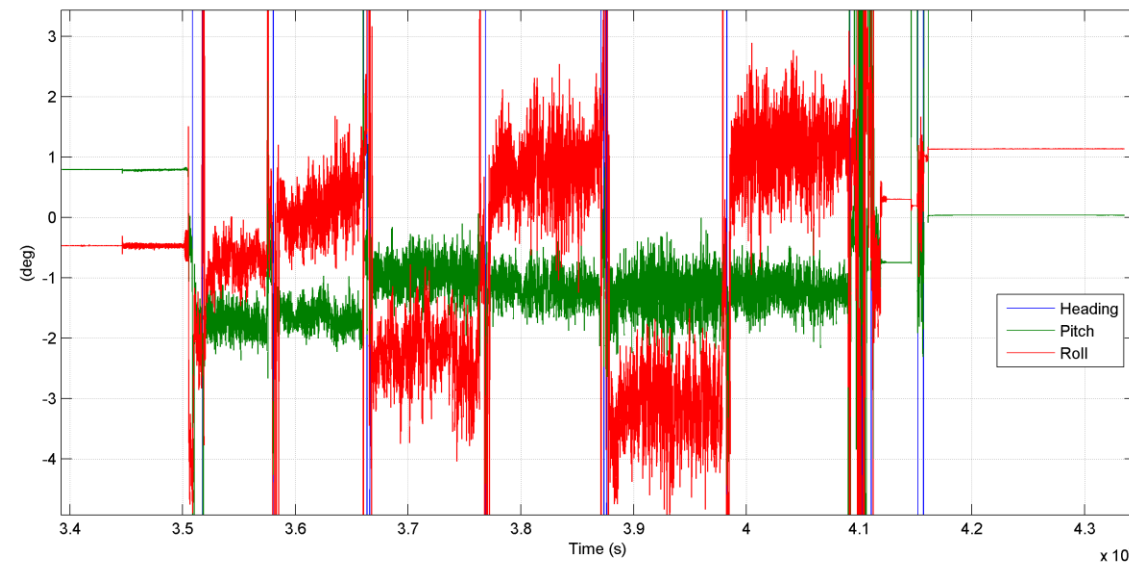


БПЛА БАС-200, Тверская обл.

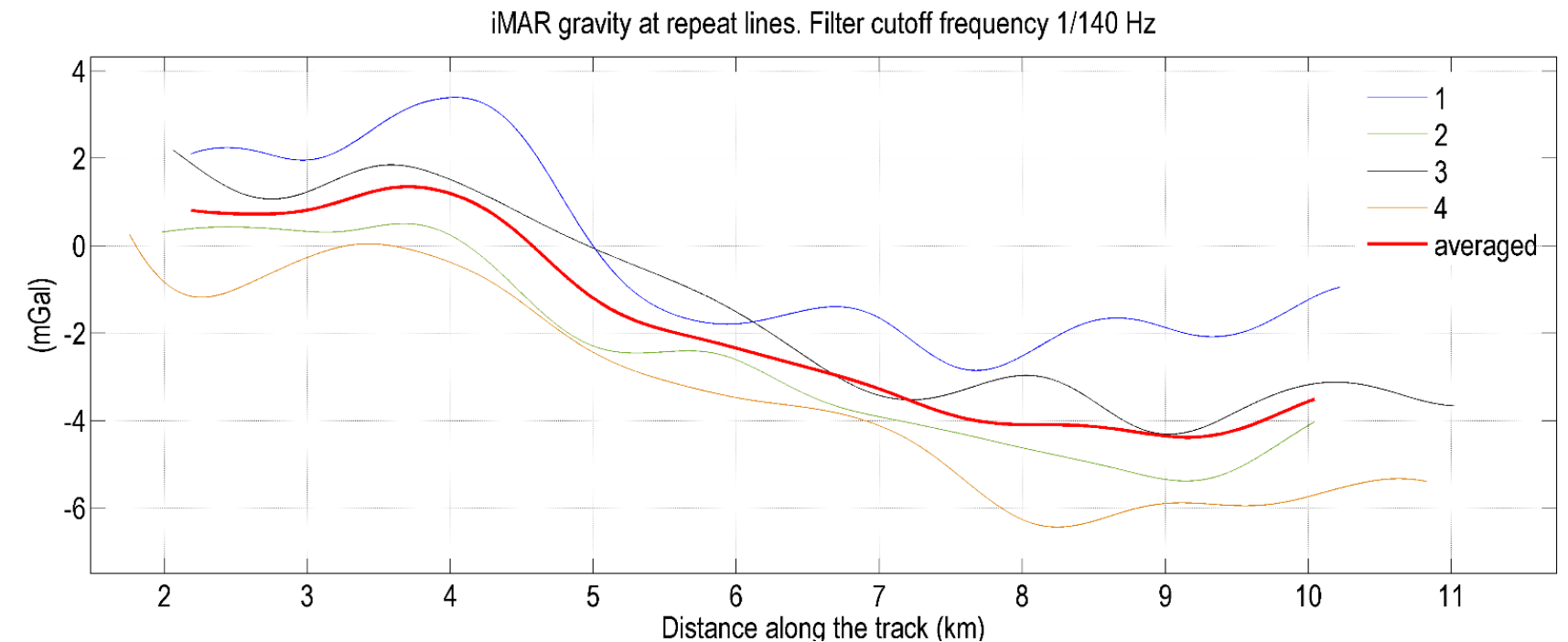


Первые успешные измерения на БПЛА

- ❑ Дата полета: 18.12.2021 (Тверская обл.)
- ❑ Повторные галсы на высоте 300 м
- ❑ Длительность полета 2.5 ч, скорость - 40 км/ч
- ❑ Особенности – сильные вибрации корпуса БИНС на стоянках и в полете



Оценки углов крена и тангажа корпуса БИНС в полете



Оценки аномалии на повторных галсах, мГал

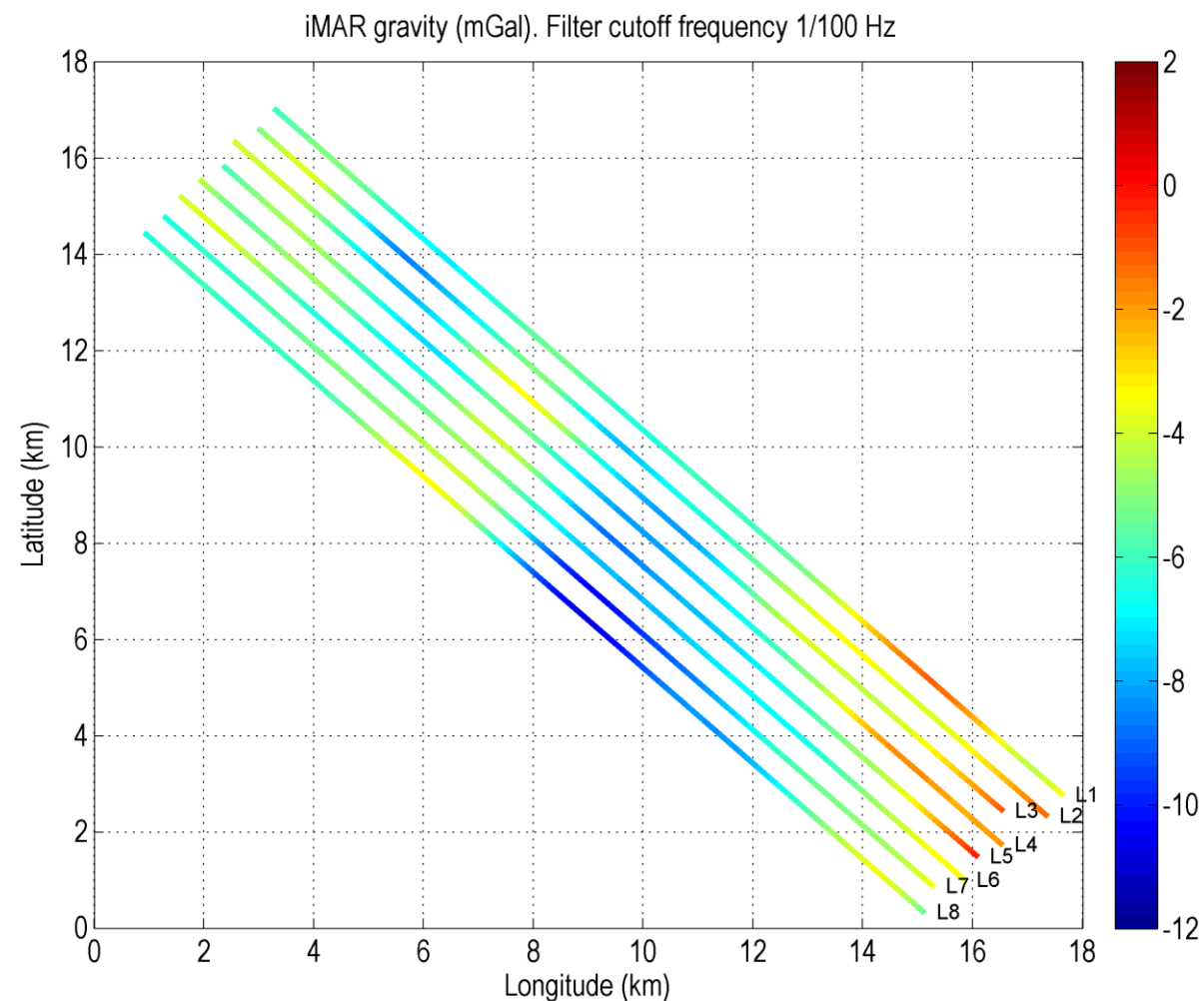


- ❑ Сходимость оценок аномалии на повторных галсах: **0.50 мГал (СКО)**
- ❑ Частота среза фильтра 1/140 Гц (эквивалентно разрешению ~800 м)

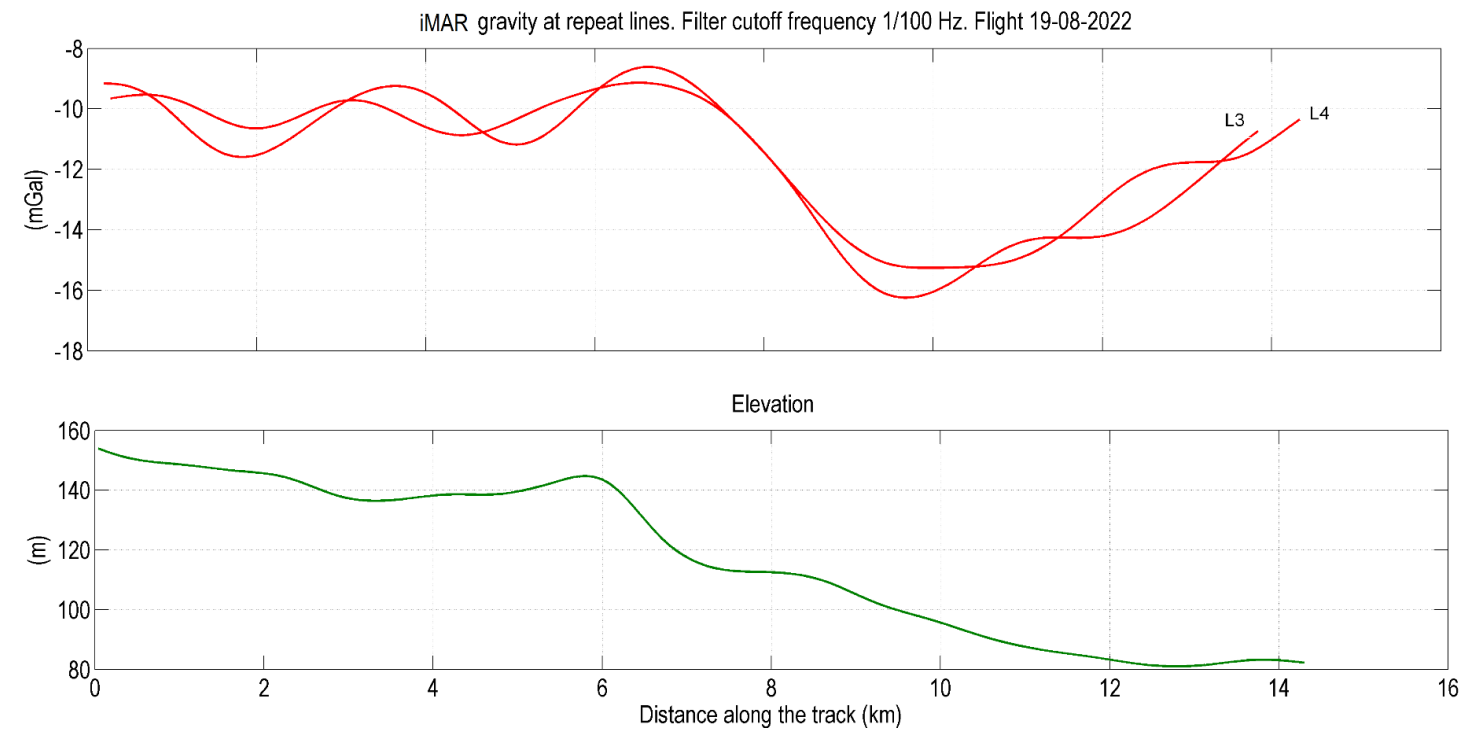
Видео: <https://aerogeo.ru/news/...>

Съемка на БПЛА

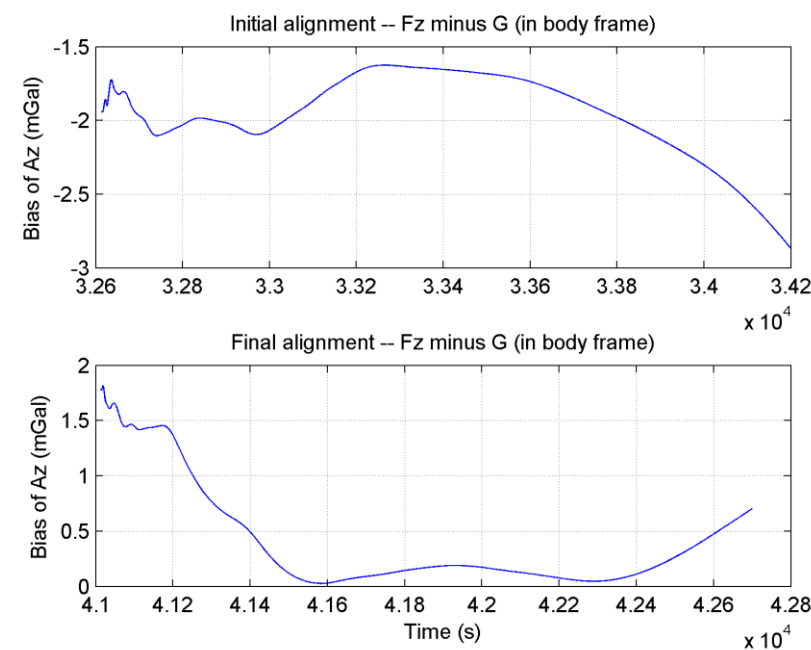
- Даты полетов: август-по н.в. 2022 г.
- Высота полетов: 340 м, скорость: 70 км/ч
- Измерения на повторных галсах
- Площадные измерения



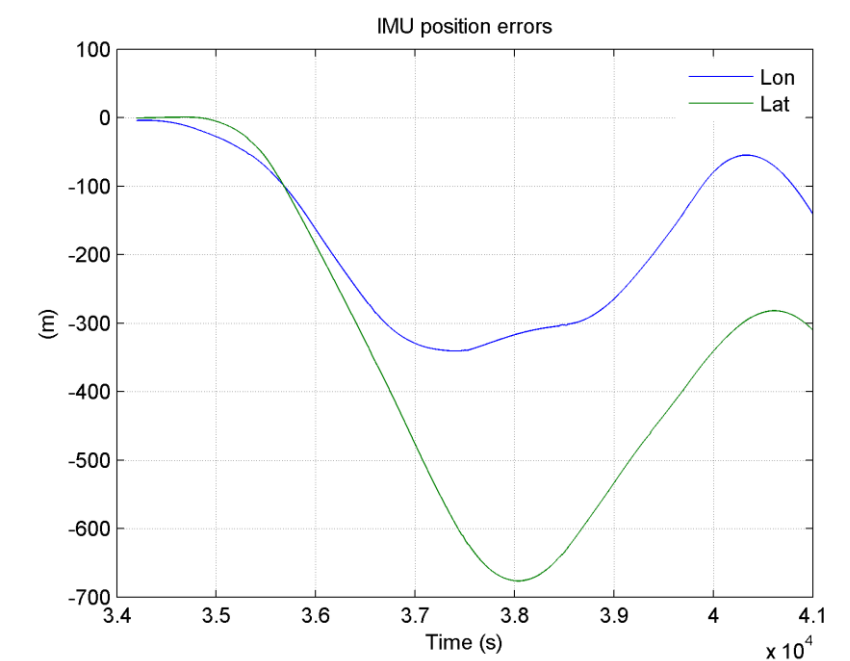
Оценки аномалии на галсах. Частота среза фильтра: 0.01 Гц, эквивалентно разрешению 1 км



Оценки аномалии на повторных галсах и профиль рельефа.
Сходимость оценок: **0.70 мГал (СКО)**



Линейный тренд в смещении нуля гравиметра: 2.1 мГал за 2.5 ч



Ошибки инерциального счисления БИНС



Выводы



- ❑ В 2020-2022гг. Лабораторией управления и навигации МГУ разработана **методика постобработки** первичных данных **бескарданного аэрогравиметра**, развита **методика** проведения съемок
- ❑ Проведены испытания алгоритмов и ПО постобработки в съемках ГНПП Аэрогеофизики и Датского университета на разных носителях – самолетах различных серий и БПЛА. Использовались три аэрогравиметра iMAR. Общая длина галсов – более 70000 пог. км.
- ❑ Методика обработки успешно применена к данным первых испытаний на **БПЛА**. Точность оценивания аномалии составила 0.5 - 0.7 мГал при разрешении 800 - 1000 м.
- ❑ Разработан алгоритм **векторной аэрогравиметрии** на основе локальной гармонической модели поля. Достигнутая точность оценок УОЛ – 2-3 мГал (0.4-0.6 угл. сек.). Требование алгоритма: наличие нескольких галсов.
- ❑ Дальнейшее развитие:
 - Исследование результатов стендовой калибровки гравиметра iMAR
 - Развитие алгоритмов ГНСС (совместная обработка GPS, GLONASS, GALILEO, BeiDou)

Спасибо за внимание!

- Вязьмин В.С., Голован А.А., Болотин Ю.В. Новые алгоритмы бескарданной аэрогравиметрии: проверка на экспериментальных данных. В сб. материалов XXVIII Санкт-Петербургской международной конференции по интегрированным навигационным системам. ЦНИИ Электроприбор. 2021. С. 48-55.
- Баранцев Г.О., Голован А.А., Кузнецов П.Ю. Модели задачи начальной выставки БИНС при угловом движении основания. Вестник Московского университета. Серия 1: Математика. Механика. 2021. С. 12-16.
- Vyazmin V.S. (2020) New Algorithm for Gravity Vector Estimation from Airborne Data Using Spherical Scaling Functions. In: International Association of Geodesy Symposia. Springer, Berlin, Heidelberg, pp. 1-8.
- Вавилова Н.Б., Голован А.А., Парусников Н.А. Математические основы инерциальных навигационных систем. М.: Изд-во Московского университета. 2020. 164 с.
- Современные методы и средства измерения параметров гравитационного поля Земли. Под общ. ред. Пешехонова В.Г., науч. ред. Степанова О.А. СПб.: АО «Концерн «ЦНИИ «Электроприбор», 2017. 390 с.
- Golovan A.A., Vavilova N.B. Satellite navigation. Raw data processing for geophysical applications. J. Math. Sci. 2007. V. 146. № 3. P. 5920–5930.
- Могилевский В.Е., Бровкин Г.И., Смирнов А.С., Прозорова Г.В. Оценка погрешности данных аэрогравиметрической съемки. Мониторинг. Наука и технологии. 2018. Т. 36. № 3. С. 6-17.