

МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМ. М. В. ЛОМОНОСОВА
ФИЗИЧЕСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ
КАФЕДРА НЕБЕСНОЙ МЕХАНИКИ, АСТРОМЕТРИИ И ГРАВИМЕТРИИ

Климанович А. Л.
Наблюдение приливных вариаций
силы тяжести во ВНИИФТРИ

Научный руководитель: с.н.с. Копаев А.В.

Введение

Приборы и условия наблюдений

Цели работы

Предварительная обработка

Анализ данных

Результаты

Выводы

ЦЕЛЬ ИЗУЧЕНИЯ ЗЕМНЫХ ПРИЛИВОВ

Вселенная

Модель Вселенной

Земля

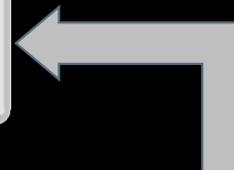
Модель Земли

Прибор

Предварительная обработка сигнала

Анализ полученных данных

Наблюдаемое – Вычисляемое



Единицы измерения, используемые в гравиметрии

$$1 \text{ Гал} = 1 \text{ см/с}^2$$

$$1 \text{ мГал} = 10^{-3} \text{ см/с}^2$$

$$1 \text{ мкГал} = 10^{-6} \text{ см/с}^2$$

$$1 \text{ нГал} = 10^{-9} \text{ см/с}^2$$

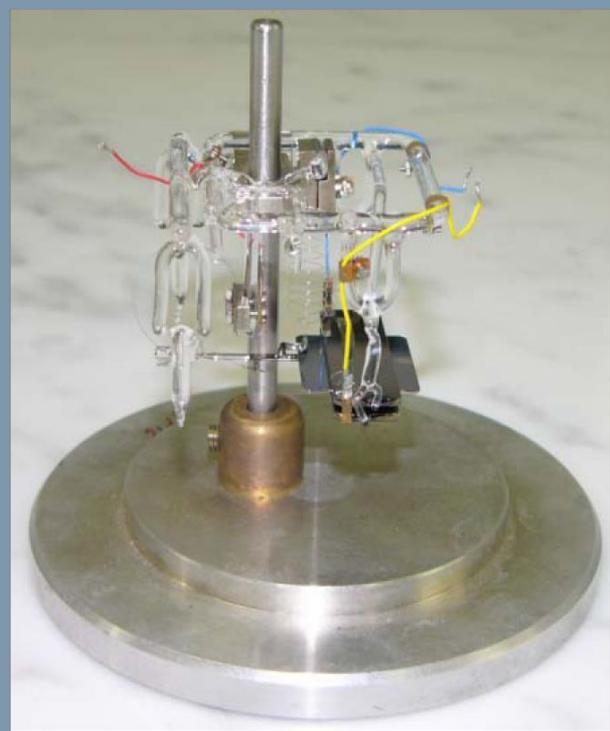
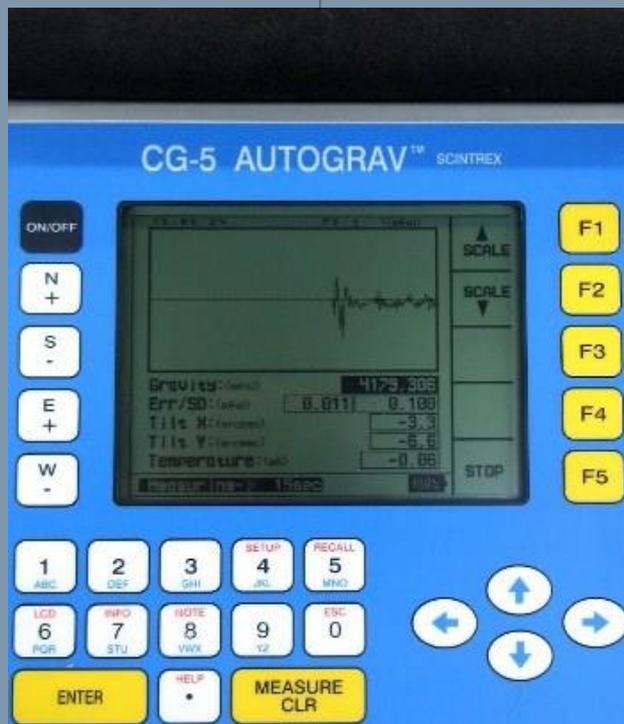
$$1 \text{ нм/с}^2 = 100 \text{ нГал} = 0.1 \text{ мкГал}$$

Основные приливные волны

Символ	Период	Амплитуда, мкГал	Периодическая функция	Происхождение
M_f	13.66 сут.	6	$A\cos(2s)$	Лунная деклинационная
O1	25ч 49мин	35	$A\cos(\tau-s)$	Главная лунная
P1	24ч 04мин	16	$A\cos(t-h)$	Главная солнечная
K_1^m	23ч 56мин	33	$A\cos(\tau+s)$	Лунная деклинационная
K_1^s	23ч 56мин	15	$A\cos(t+h)$	Солнечная деклинационная
M2	12ч 25мин	36	$A\cos(2\tau)$	Главная лунная
S2	12ч 00мин	17	$A\cos(2t)$	Главная солнечная

Примечание: s – средняя долгота Луны, τ – среднее лунное время, t – среднее солнечное время, h – средняя долгота Солнца. $1\text{Гал} = 1\text{см}/\text{с}^2$, $1\text{мкГал} = 10^{-6}\text{см}/\text{с}^2$.

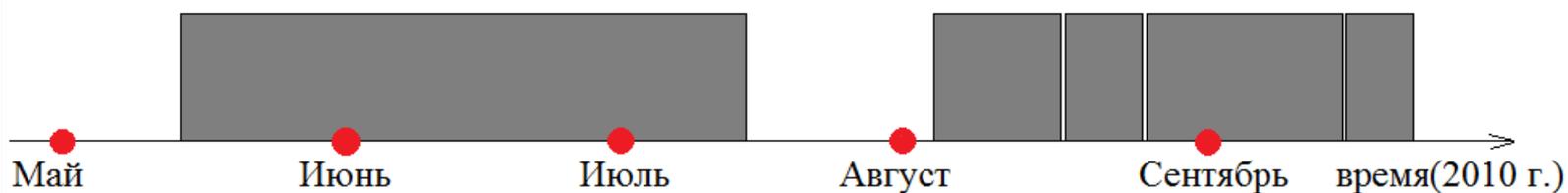
Scintrex CG5 Autograv – кварцевая неастиризованная система



- Термостабилизация (система находится в вакуумной камере)
- Немагнитный плавленный кварц нечувствителен к изменениям магнитного поля
- Кварцевая упругая система чрезвычайно устойчива
- Встроенные датчики угла наклона
- Разрешающая способность : 1 мкГал

Визуальное представление объёма обрабатываемых данных

ВНИИФТРИ. Запись приливов одновременно двумя приборами (Scintrex CG-5 №543 и №570) в 2010 году (107 дней).



ВНИИФТРИ. Запись приливов прибором Scintrex CG-5 №543 в 2013 году (169 дней).



Цели работы

1. Обработка приливных наблюдений, проведённых в часовом подвале ВНИИФТРИ с июня по декабрь 2013 гравиметром Scintrex CG-5 Autograv № 543. Определение приливных параметров для основных приливных волн M2 и O1, а также Mf.

2. Уточнение приливных параметров для приливного пункта ВНИИФТРИ с учётом всех имеющихся данных.

3. Совершенствование методики наблюдений приливов с гравиметром Scintrex CG-5.

4. Учёт атмосферного давления при обработке приливных записей.

Какие приливные параметры определяются?

δ -фактор – коэффициент усиления Землёй приливной волны, которая наблюдалась бы в случае твёрдой Земли

Фазовая задержка – угол запаздывания приливной волны относительно той же волны в случае твёрдой Земли

Введение

Приборы и условия наблюдений

Цели работы

Предварительная обработка

Анализ данных

Результаты

Выводы

СХЕМА ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЙ ОБРАБОТКИ

TSoft



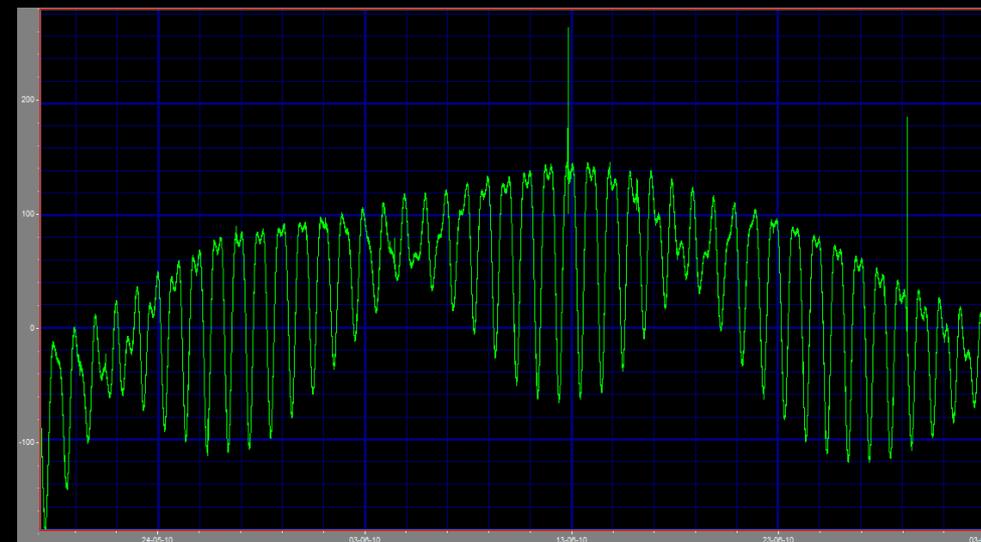
PRETERNA

Проверка данных и калибровка

Расчёт дрейфа прибора и модельных приливов

Устранение оставшихся выбросов, скачков, интерполяция пробелов

Фильтрация и переоцифровка минутных данных к часовым



Введение

Приборы и условия наблюдений

Цели работы

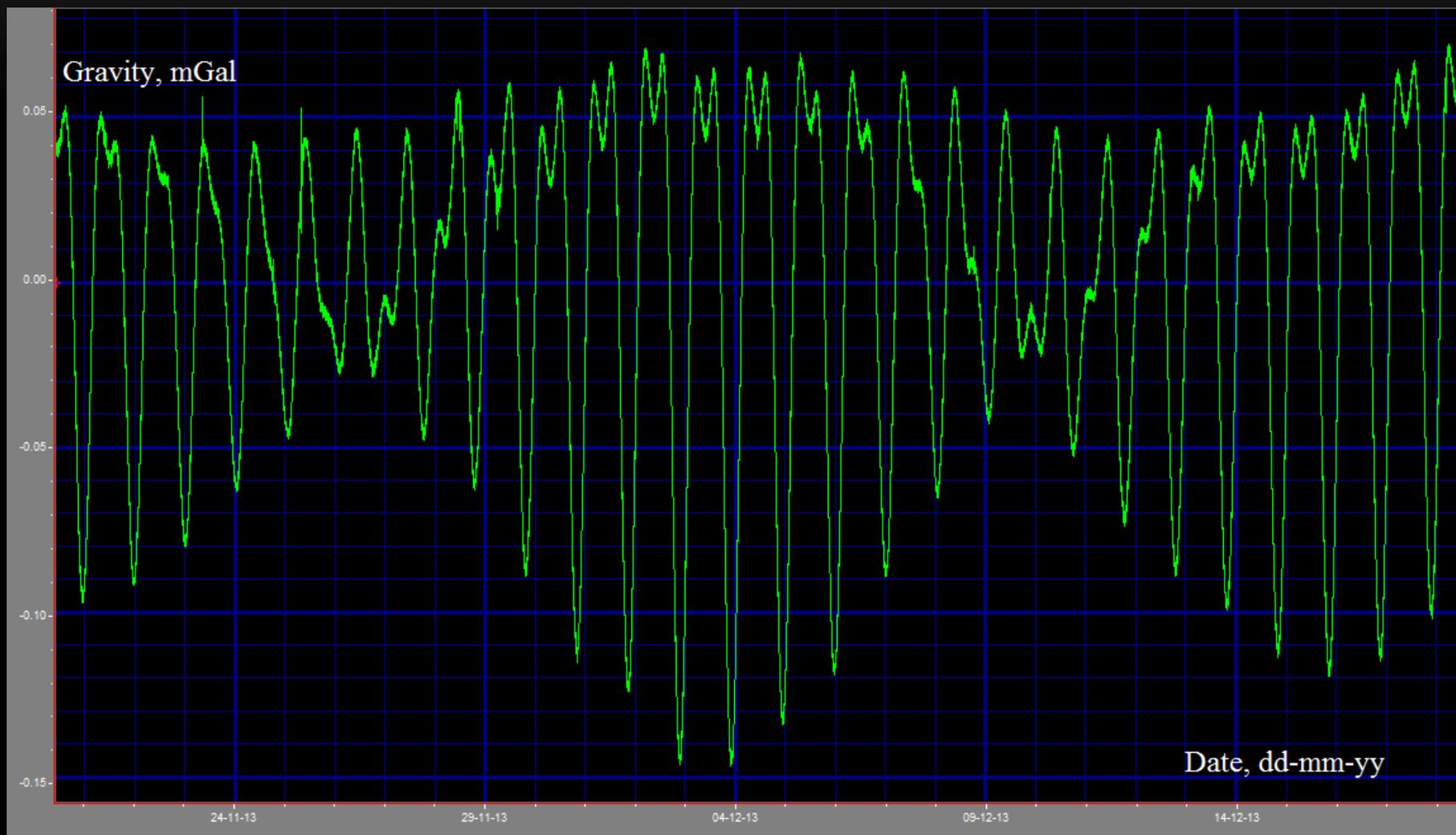
Предварительная обработка

Анализ данных

Результаты

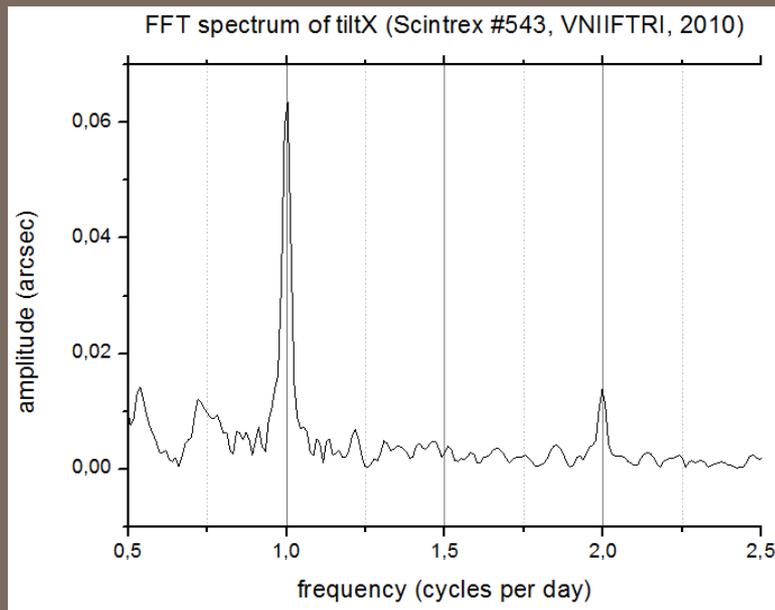
Выводы

Образец приливной записи (TSoft)

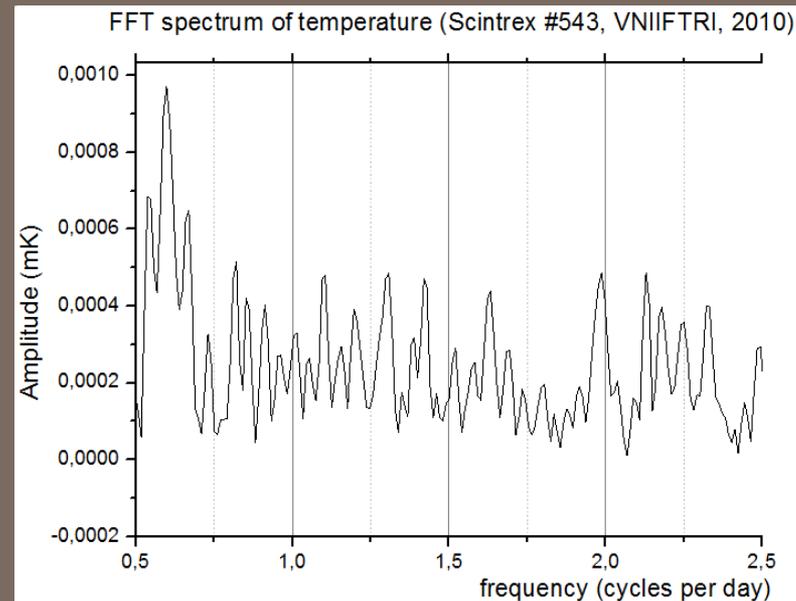


Возможные причины, ухудшающие точность определения приливных параметров в данной работе

Вариации наклонов прибора



Вариации температуры



Анализ наблюдательных данных выполняется с помощью программного пакета ETERNA, основанного на гармоническом анализе по МНК. Преимущества метода перед Фурье-анализом:

1. Из астрономии точно известны периоды, амплитуды и фазы всех приливных волн.
2. МНК применим при наличии пробелов в наблюдательных данных.
3. Возможен контроль качества данных.

Оценка погрешностей определения приливных параметров в ETERNA

1. Определение стандартных отклонений из МНК.
2. Вычисление Фурье-спектра остаточного сигнала.

Оценка по методу 2 получается примерно вдвое больше и является более реалистичной.

δ-факторы для различных приборов

Волна	Параметр	Scintrex №543 (2010)	Scintrex №570 (2010)	Scintrex №543 (2013)
O1	δ-фактор	1.146 ± 0.003	1.146 ± 0.003	1.155 ± 0.002
	сигнал/шум	386	350	554
	шум в суточной полосе, нГал	86	94	60
M2	δ-фактор	1.177 ± 0.002	1.176 ± 0.002	1.182 ± 0.001
	сигнал/шум	668	650	1137
	шум в полусуточной полосе, нГал	41	42	24

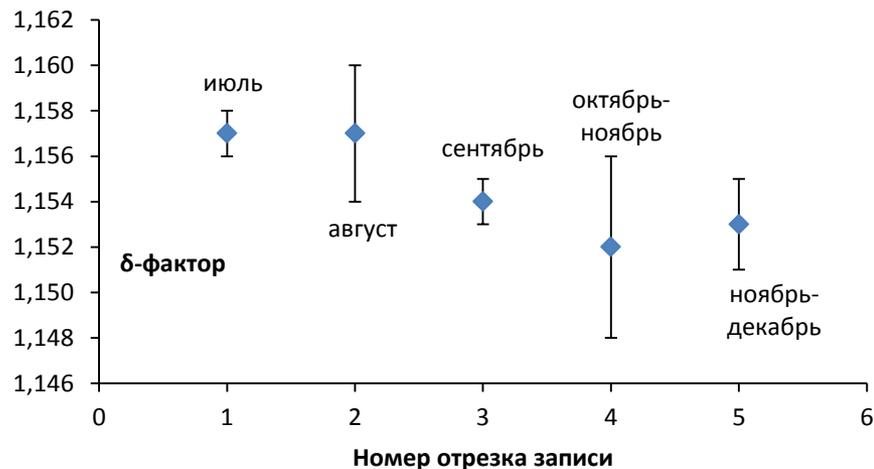
Фазовые задержки для различных приборов

Волна	Scintrex №543 (2010)	Scintrex №570 (2010)	Scintrex №543 (2013)
O1	$0.36 \pm 0.15^\circ$	$0.21 \pm 0.16^\circ$	$0.10 \pm 0.10^\circ$
M2	$1.18 \pm 0.09^\circ$	$1.30 \pm 0.09^\circ$	$-0.01 \pm 0.05^\circ$

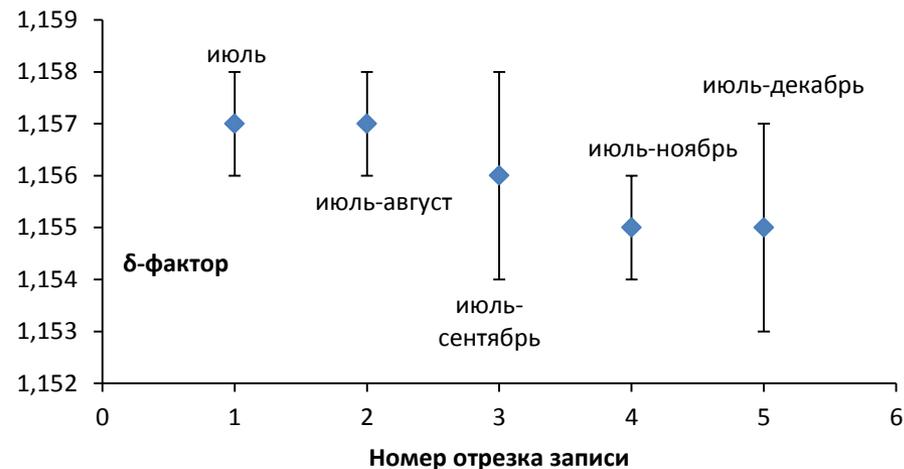
Сравнение результатов наблюдений с моделями

Волна	Параметр	Результат наблюдений (2010)	Результат наблюдений (2013)	DDW99 + среднее по 6 моделям океанических приливов (CSR4,NAO99,TEX07,GOT00,AG06, FES04)
O1	δ-фактор	1.147 ± 0.003	1.155 ± 0.002	1.1509
	фазовая задержка, °	0.29 ± 0.16	$0.10 \pm 0.10^\circ$	0.17
M2	δ-фактор	1.178 ± 0.002	1.182 ± 0.001	1.1778
	фазовая задержка, °	1.24 ± 0.09	$-0.01 \pm 0.05^\circ$	0.04

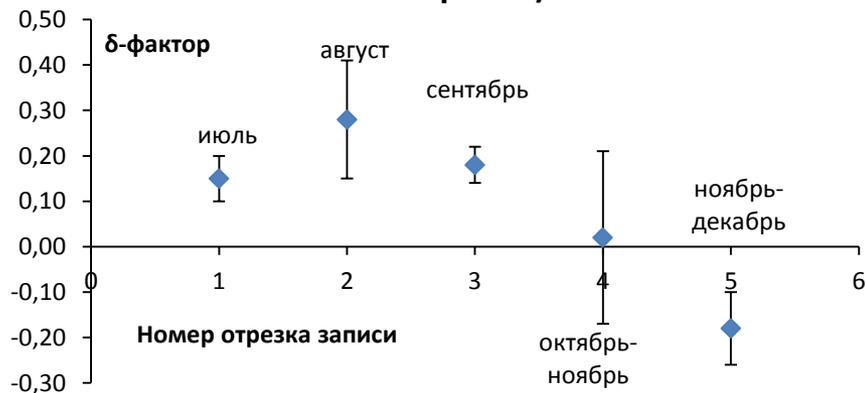
δ -фактор для волны O1 (отдельные отрезки)



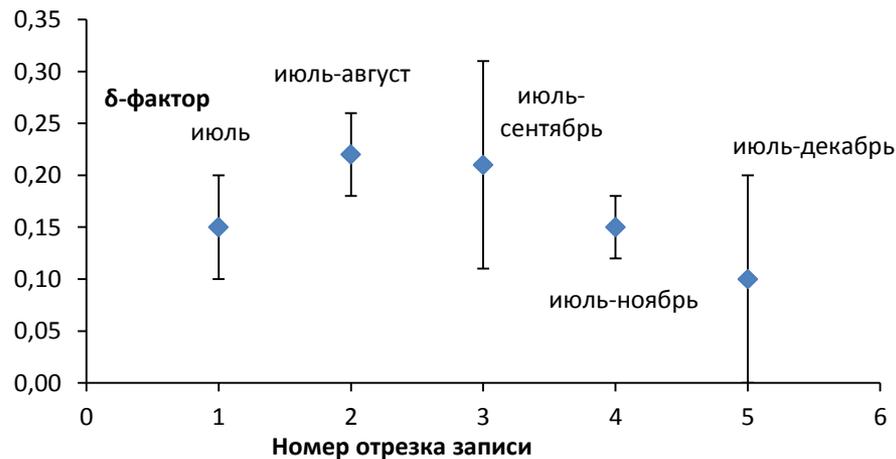
δ -фактор для волны O1 (объединение отрезков)



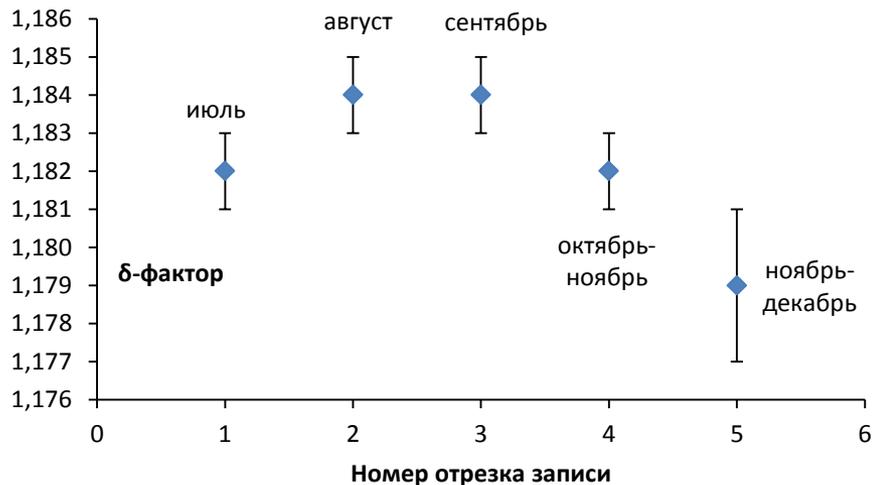
Задержка фазы для волны O1 (отдельные отрезки)



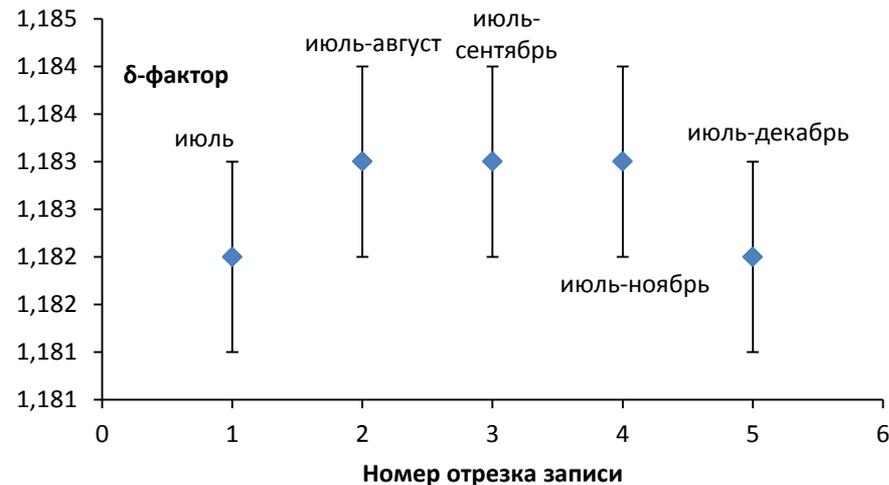
Задержка фазы для волны O1 (объединение отрезков)



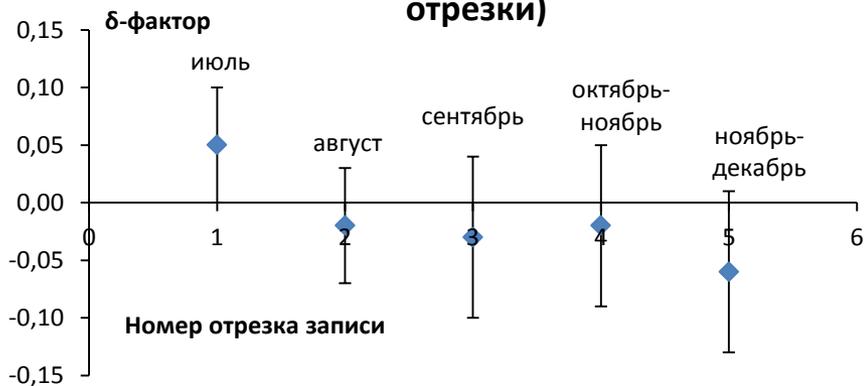
δ -фактор для волны M2 (отдельные отрезки)



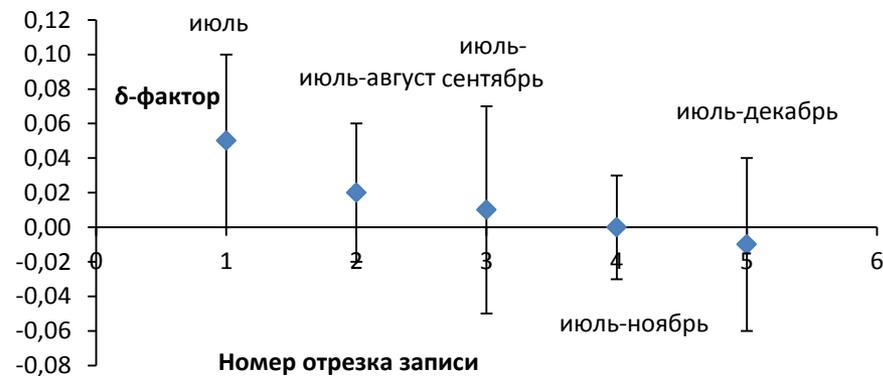
δ -фактор для волны M2 (объединение отрезков)



Задержка фазы для волны M2 (отдельные отрезки)



Задержка фазы для волны M2 (объединение отрезков)



Большая продолжительность записи даёт возможность выделить волну Mf

Номер блока	Среднеквадратичное отклонение, нм/с ²	Длина блока, сут.
1	161	35.21
2	61	31.00
3	216	34.17
4	130	41.29
5	42	27.38

Приливные параметры для волны Mf

Исп. блоки	Сигнал/шум	δ-фактор	Фазовая задержка, °	Учёт атм. Давления
1;2;3;4;5	4.4	1.3 ± 0.3	$5 \pm 13^\circ$	Нет
1;2;3	3.4	1.3 ± 0.4	$18 \pm 17^\circ$	Нет
1;2;3	2.8	1.3 ± 0.5	$-14 \pm 21^\circ$	Есть
2;5	4.4	1.0 ± 0.2	$-7 \pm 13^\circ$	Нет

Введение

Приборы и условия наблюдений

Цели работы

Предварительная обработка

Анализ данных

Результаты

Выводы

ИТОГИ РАБОТЫ

Уточнены приливные параметры волн O1 и M2 для гравиметрического пункта ВНИИФТРИ

Изучена работа гравиметра Scintrex CG-5 при долговременных стационарных измерениях

Выделена приливная волна Mf, с погрешностью 20% определён её δ -фактор